



Université de Constantine 3
Faculté d'Architecture et d'urbanisme
Département d'Architecture

IMPACT DE LA FORME DE L'ENVELOPPE SUR LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS CAS DES CLIMATS CHAUDS ET ARIDES

THESE

Présentée pour l'Obtention du Diplôme de
Doctorat en Sciences
en Architecture Bioclimatique et environnement

Par
ZEROUAL Daoud

Année Universitaire
2024-2025

N° de série :

N° d'ordre :

IMPACT DE LA FORME DE L'ENVELOPPE SUR LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS CAS DES CLIMATS CHAUDS ET ARIDES

THESE

Présentée pour l'Obtention du Diplôme de
Doctorat en Sciences
en Architecture Bioclimatique et environnement

Par

ZEROUAL Daoud

Devant le Jury Composé de :

.....	Président	.....	.....
BOUKHELKHAL Islem	Directeur	MCA	Université Constantine 3
.....	Examineur	.....	.....
.....	Examineur	.....	.....
.....	Examineur	.....	.....
.....	Examineur	.....	.....

Année Universitaire
2024-2025

REMERCIEMENT

À l'issue de ce parcours doctoral, jalonné d'efforts, d'apprentissages et de moments de réflexion, je ressens une immense gratitude envers toutes les personnes qui ont, à leur manière, contribué à l'aboutissement de ce travail.

À mon encadrant, Dr. Boukhelkhal Islam, et à Pr. Bourbiaa F. Je tiens à vous adresser mes remerciements les plus sincères et les plus chaleureux. Votre soutien indéfectible, vos conseils éclairés et votre patience tout au long de ce projet ont été une véritable boussole pour moi. Vous avez su m'encourager à chaque étape et, grâce à votre rigueur scientifique et votre bienveillance, j'ai pu relever les défis avec confiance. Votre accompagnement m'a profondément marqué et a enrichi cette aventure bien au-delà du domaine académique.

Aux collègues et collaborateurs, Je vous suis reconnaissant pour votre solidarité.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à rendre cette expérience possible. Que ce soit par une parole réconfortante, une idée inspirante, ou simplement par leur présence, vous avez laissé une empreinte indélébile sur ce projet.

À vous tous, je dis merci du fond du cœur.

DEDICACES

À ma famille, Ce travail est avant tout le fruit de votre amour, de votre soutien et de vos sacrifices. À vous qui m'avez toujours encouragé à poursuivre mes rêves, même lorsque le chemin semblait difficile. Que cette réalisation soit le reflet de votre soutien indéfectible et de tout l'amour qui m'a porté jusque-là.

Avec toute ma reconnaissance et mon affection,

Zeroual Daoud

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	ii
DEDICACES	iii
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES TABLEAUX	xvi
LISTE DES ABREVIATIONS	xviii
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE.....	1
Introduction.....	2
1. Problématique	4
2. Hypothèses.....	5
2.1. Hypothèse principale	6
2.2. Postulats secondaires	6
3. Objectifs de la recherche.....	6
3.1. Objectif principal	7
3.2. Objectifs spécifiques.....	7
4. Méthodologie de la recherche	7
4.1. Approche théorique.....	8
4.2. Application pratique et développement d'outils	8
5. Structure de la thèse	9
CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides	12
Introduction.....	13
1. Caractéristiques spécifiques des climats chauds et arides	14
1.1. Indice d'aridité.....	15
1.2. Puissance du rayonnement solaire en été.....	16
1.3. Élévation des températures de l'air extérieur	18

1.4. Variations diurnes et nocturnes de la température	18
2. Phénomènes météorologiques extrêmes dans les climats chauds et arides	19
3. Enjeux environnementaux des bâtiments dans ces climats	21
4. Impact des bâtiments sur la consommation énergétique	22
4.1. Responsabilité du secteur du bâtiment dans la consommation énergétique	22
4.2. Le bâtiment comme levier de réduction des émissions	23
4.3. Approches et outils pour l'amélioration de la performance énergétique	24
5. Principes fondamentaux de la conception bioclimatique dans les climats chauds et arides.....	24
5.1. Renforcer la conception du bâtiment en agissant en amont du projet	26
5.2. Conception bioclimatique Efficace.....	27
5.3. Le bâtiment a haute efficacité énergétique comme vision nouvelle du secteur... 28	
6. Importance de l'approche passive dans la conception architecturale d'été.....	29
7. Conception pour minimiser l'exposition au soleil	31
7.1. Forme compacte.....	31
7.2. Orientation optimale	32
7.3. Protections solaires des ouvertures.	34
7.4. Traitement des parois horizontales	35
8. Mesures d'évaluation de l'efficacité de l'enveloppe des bâtiments dans ces climats	35
9. Concept de l'enveloppe comme barrière et Technique pour minimisation des gains .	37
10. Amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe en climat chaud et aride	39
Conclusion	40

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides ... 42

Introduction.....	43
1. Revue de littérature	44
1.1. Jean Michel Bloch Laine 1979	45

1.2. V. Gupta 1986	48
1.3. J. Louis Izard et Pierre André Bernard, 1987	49
1.4. Knowles Ralph. L, 1994	49
1.5. P. Depecker, C. Menezo, J. Virgone, S. Lepers: 2001	51
1.6. Carlo Ratti, Dana Raydan, Koen Steemers; 2003.....	52
1.7. Choi; won-ki* Kim; heon-joong et all; 2007.....	52
1.8. Idil Erdemir Kocagil, Gül Koçlar Oral: 2015	53
1.9. Mamdooh Alwetaishi et Dr Ahmed S. Elamary; 2016:.....	54
1.10. Laëtitia Arantes, Solène Marry, Olivier Baverel et Daniel Quenard Date ; 2016	55
1.11. Anxiao Zhang, Regina Bokel, et all; 2017.....	55
1.12. Islam Tibermacine, Nouredine Zemmouri; 2017:	56
1.13. Shakila Pathirana, Asanka Rodrigo, Rangika Halwatura: 2019	57
1.14. F. Soufiane, A. Atef, M. Mohamed, D. Salaheddine: 2019.....	58
1.16. Boukhelkhal, I et Bourbia, F; 2021.....	59
1.17. Laila Koubaa Turki et Abdelkader Ben Saci, 2022	60
1.18. Ayman Ragab; 2022	61
1.19. Khaled Mansouri, Sriti Leila: 2023	62
1.20. Makhloufi, A.W. et Louafi, S., 2023	63
2. Choix de Méthodologie	65
3. Méthodologies avancées pour l'optimisation des formes d'enveloppe	67
3.1. Méta-modélisation de la relation forme-énergie.....	67
3.2. Modélisation paramétrique et optimisation	67
3.3. Validation des résultats par simulation numérique.....	68
3.4. Synthèse de l'approche méthodologique avancée	68
4. Paramètres et indicateurs des simulations de la performance énergétique de l'enveloppe sous climat aride.....	69
4.1. Facteur de compacité	69

4.2. Facteur de forme	69
4.4. Coefficient d'absorption et couleur de l'enveloppe.....	71
4.5. Inertie thermique.....	71
5. Recommandations pour une enveloppe performante.....	71
5.1. Recommandations sur la morphologie générale.....	72
5.2. Recommandations sur les composants constructifs et l'épiderme	72
5.3. Recommandations pour l'intégration urbaine	73
Conclusion	74
CHAPITRE IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe	76
Introduction.....	77
1. Diagnostic des charges énergétiques en relation avec le bâtiment	78
2. Examen et analyse des charges énergétiques sur le bâtiment.....	80
2.1. Les charges du a la convection à travers les ouvrants	80
2.2. Les charges énergétiques du au rayonnement solaire à travers les surfaces vitrées	82
2.3. Les charges énergétiques du au rayonnement solaire à travers les surfaces opaques (murs et toits).....	83
2.3.1. Le facteur d'absorption a	84
2.3.2. Le coefficient d'échanges des surfaces externes f_e ou h_e	85
2.4. Les charges énergétiques du a la conduction thermique à travers les parois extérieures opaques.....	86
2.4.1. Le coefficient de transmission thermique k.....	88
3. Évaluation de l'impact de la forme de l'enveloppe sur la minimisation des charges énergétiques.....	91
3.1. Hypothèse 01 – Isolation de l'indicateur	92
3.2. Hypothèse 02 - Fixation des indicateurs non concerné	93
3.3. Hypothèse 03 - Contrainte d'abstraction mathématique.....	94

3.4. Hypothèse 04 -Choix de L'orientation favorable	95
4. Définition de l'indicateur « l'enveloppe » et sa relation avec la quantité d'énergie entrant dans le bâtiment.....	95
5. Détermination de l'impact de l'enveloppe sur la quantité des gains énergétiques entrant dans le bâtiment.....	97
5.1. Formalisation de l'analyse numérique	98
5.1.1. Minimisation des gains énergétiques par conduction sous L'effet du gradient thermiques ($t_i - t_e$).....	98
5.1.2. Minimisation des gains énergétiques par rayonnement sous L'effet du supplément de température	99
5.2. Les invariables de l'analyse numérique (Caractéristiques thermo physiques et données climatiques)	101
5.3. Choix des échenillons et de Leur caractéristiques morphologiques	102
Conclusion	104

CHAPITRE V : Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique 106

Introduction.....	107
1. Minimisation des gains énergétiques par conduction sous L'effet du gradient thermiques ($t_i - t_e$).....	108
1.1. Influence de l'Indice géométrie	110
1.1.1. Étude de l'influence de la géométrie sur le facteur de forme pour divers volumes à valeur constante.....	110
1.2. Influence de l'Indice volume	114
1.2.1. Étude de l'influence du volume sur le facteur de forme pour les trois géométries.....	114
1.2.2. Étude de l'influence du volume sur le facteur de gains « Ga » des trois morphologies	116
1.3. Synthèse	118

2. Minimisation des gains énergétiques par rayonnement sous L'effet du supplément de température (tsa).....	118
2.1. Influence de l'Indice dimensions et proportions.....	120
2.1.1. Étude de l'influence des proportions et des dimensions - le Cube	120
2.1.2. Étude de l'influence des proportions et des dimensions cas du Parallélépipède et de la tour.....	122
3. Synthèse	131
Conclusion	132

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments 134

Introduction.....	135
1. Objectifs De La Simulation	136
2. Analyse de l'efficacité énergétique.....	137
3. Principe d'Optimisation du raisonnement mathématique à la programmation informatique	138
3.1. Fondements physiques et mathématiques.....	138
3.1.1. Quantification des charges énergétiques du bâtiment.....	138
3.1.2 Simplification et isolation de l'indicateur forme.....	138
3.2. Analyse paramétrique de l'influence géométrique.....	138
3.2.1. Étude de la minimisation de $G_a = K E C_f \Delta T$	138
3.2.2. Étude de la minimisation de $G_b = (K E a I / f_e) C_{fn}$	139
3.3. Reformulation mathématiques avancée	139
3.3.1. Définition du problème d'optimisation non linéaire	139
3.3.2. Application des conditions de Karush-Kuhn-Tucker (KKT).	140
3.3.3. Algorithme d'optimisation.	140
3.4. Développement de l'outil de simulation OPTIone.....	142
3.4.1. Architecture du logiciel OPTIone est structurée en plusieurs modules interconnectés.	142

3.4.2. Interface utilisateur L'interface d'OPTIone permet.....	143
3.5. Poursuite de l'optimisation et effet des indices	143
3.5.1 Équations et indices de comparaison	143
3.5.2. Simulation et analyse des résultats	144
3.5.3. Interprétation et conclusions	144
4. Analyse climatique et bioclimatique des régions algériennes à climat chaud et aride	145
4.1. Présentation et description du cas d'étude ; 19 régions du sud algérien.....	145
4.2. Caractéristiques climatiques du cas d'étude 19 régions	145
4.3. Analyse bioclimatique	147
5. Application de la simulation et la modélisation sur 19 régions	148
5.1. Données climatiques des 19 régions d'étude	149
5.2. Caractéristiques thermo physique des composants et de l'épiderme de l'enveloppe	151
6. Application protocol de Simulation – la région de Biskra- par OPTI 01	152
6.1. Introduction des données (information région) et lecture des résultats	152
6.2. Détermination des dimensions et des proportions de l'optimisation.....	154
6.3. Comparaison des valeurs maximales et minimales de l'optimisation	156
7. Poursuite de l'optimisation et l'effet des indices (suite du Protocol)	157
7.1. Effet de l'indice géométrie Début d'optimisation valeur 26	158
7.2. Effet de l'Indice (ke, a, Fe) Fin d'optimisation la valeur 1	159
7.3. Interprétation effet des indices géométrie et (K.a. fe) début et fin de l'optimisation.....	161
7.4. Poursuite de l'optimisation - indice volume	162
7.5. Interprétation de la poursuite de l'optimisation indice volume	164
7.6. Application de la simulation pour le cas représentatif de la région de Biskra...	166
8. Effet des fluctuations des données climatiques - Application de la Simulation pour toutes les régions	169

8.1. Objectif de la simulation sur toutes les régions	169
8.2. Application de la Simulation pour toutes les régions (19 cas) Sur OPTI 01	170
8.2.1. Application via la rubrique 08 synthèse d'optimisation	170
8.2.2. Application via le bouton synthèse d'optimisation par région	175
9. Synthèse de la simulation pour toutes les régions	181
Conclusion	184
CHAPITRE VII : CONCLUSION GENERALE	186
BIBLIOGRAPHIE	194
ANNEXES	208
Annexes A: Algorithme d'optimisation.....	209
Annexes B : Programmation de l'algorithme -code source.....	217
Annexes C : application de la simulation par régions (19 simulation).....	229
Annexes D : Synthèse de Simulation et la poursuite de l'optimisation pour les 19 cas	309
Annexe E: Article Publié	317

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 2.1 : répartition mondiale des zones désertique ; arides et semi arides selon l'indice d'aridité.....	16
Figure 2.2 : évolution du rayonnement solaire selon les heures jours dans une région chaude	17
Figure 2.3 : Élévation de la Température extérieure à Béchar pour les périodes (1965 - 1984) et (2001 - 2005)	18
Figure 2.4 Évolution du nombre de jours chauds par an au sud tunisien avec une hausse de température extérieur d'environ 1,1°C 1978 à 2012	20
Figure 2.5 : l'augmentation de la consommation énergétique due à la climatisation (nombre de climatiseurs).....	22
Figure 2.6 : Répartition par secteur de la consommation finale d'énergie en 2020	23
Figure 2.7 : protection par compacité ksser bounourra	25
Figure 2.8 : Adaptation volumétrique d'un module simple pour une utilisation optimale de l'énergie solaire en fonction des besoins,	28
Figure 2.9 : “Paris Smart City 2050” fruit d’une imagination débordante L’architecte Vincent Callebaut	29
Figure 2.10 : Vue des maisons construites en argile à Tombouctou au Mali.....	30
Figure 2.11 : minimisation des surfaces exposées par la densification du volume -la compacité.....	32
Figure 2.12 : maison séminole Floride, 30*53 m	34
Figure 2.13 : impact de la forme ; taille et mitoyenneté sur l'efficacité énergétique a volume constant en tenant compte de la compacité relative et du facteur de forme	37
Figure 2.14 : illustration du rôle de l'enveloppe des bâtiments dans l'amélioration de la performance énergétique	38
Figure 3.1 : Variation des besoins en chauffage pour un même volume selon la forme du bâtiment	46
Figure 3.2 : typologie des modèles générés par les 8 modules cubiques de 5.4m de côté utilisé par l'INSA de Lyon.	46
Figure 3.3 : formes proposées selon les résultats de l'étude de la performance.....	47
Figure 3.4 : Les trois types (street, pavillon, court).....	48
Figure 3.5 : approximation de l'enveloppe pure d'un même volume	50

Figure 3.6 Les deux situations possibles pour l'étude de la forme des bâtiments.	51
Figure 3.7: DEM des formes urbaines génériques présentées.....	52
Figure 3.8: Modélisation du bâtiment en combinant des modules unitaires	53
Figure 3.9 : Alternatives au type de plan et à la texture du règlement	54
Figure 3.10 : les modèles étudiés qui ont le même volume de bâtiment et des formes différentes	54
Figure 3.11 : Les six formes urbaines analysées et leurs dimensions (n = nombre d'étages, L = longueur).....	55
Figure 3.12 : Les formes des bâtiments scolaires analysées dans l'étude	56
Figure 3.13 (a) configuration dalle « référence », (b) configuration pavillon, (c) forme U, (d) forme L, (e) configuration cour	57
Figure 3.14 : Exemples de modèles de maisons d'études de cas	57
Figure 3.15 : L'étude s'inspire du cactus tonneau pour optimiser l'enveloppe du bâtiment. La configuration optimale présente un réseau d'unités orientées à 43° avec une inclinaison de 69°.....	59
Figure 3.16 Les textures sélectionnées pour les mesures de température de surface. (a) texture lisse (STB) — (b) texture rugueuse (RTB) — (c) texture cristalline (CTB) — (d) texture à lames (BTB).....	60
Figure 3.17 : Exemples de comparaison des volumes selon la durée d'accès solaire entre l'état initial en restriction d'ombrage, une heure et six heures d'échange d'accès solaire..	61
Figure 3.18 : Les orientations du bâtiment étudié	62
Figure 3.19 : La composante de l'enveloppe du bâtiment.....	63
Figure 4.1 : les flux thermiques traversant le bâtiment en été	78
Figure 4.2 : Ksar Timimoun (Algérie). Ksar Ouarzazate (Maroc).....	81
Figure 4.3 : projet espagnol d'architecture biophilique à Valence par le groupe Nice.....	83
Figure 4.4 : influence de l'épiderme sur l'absorption du rayonnement solaire.	85
Figure 4.5 : La conduction thermique à travers les composants du mur (gains de chaleur).	87
Figure 4.6 schémas des effets de la conduction et du rayonnement à travers l'enveloppe opaque.....	92
Figure 4.7 : schéma explicatif du facteur de forme	96
Figure 4.8 : les modèles de la simulation	103
Figure 4.9 : Schéma de simulation détaillé	105

Figure 5.1 : graphiques montrant l'effet des trois géométries sur le facteur de forme pour les cinq volumes	111
Figure 5.2: graphiques montrant l'effet des trois géométries sur le facteur de gains pour les cinq volumes.....	113
Figure 5.3: graphiques montrant l'effet des cinq volumes sur le facteur de forme pour les trois géométries	115
Figure 5.4: graphiques montrants l'effet des cinq volumes sur le facteur de gains pour les trois géometries.	117
Figure 5.5 : graphique des variations de « Cfn » par rapport a la dimension « a » du Cube.	121
Figure 5.6 graphique des variations de G2 par rapport à « Cfn » cas du Cube	121
Figure 6.1 : zones chaudes et arides su la carte climatique de l'Algérie selon la classification de Köppen.....	145
Figure 6.2 : Caractéristiques climatiques de la ville de Ouargla période 1999-2000.....	146
Figure 6.3 Organisation spatiale, maison traditionnelle Ouargla.	148
Figure 6.4 : démarrage de la simulation sur OPTIone Biskra pour $v=125m^3$	153
Figure 6.5 : optimisation et comparaison des MIN et MAX par OPTIone	156
Figure 6.6 : interface effet de l'indice géométrie début de l'optimisation la valeur26	159
Figure 6.7 : Interface effet de l'indice géométrie fin de l'optimisation la valeur 26.....	161
Figure 6.8 : interface utilisateur - rubrique 07 l'optimisation du volume pour deux volumes exemplaires de $125m^3$ et $15625m^3$	162
Figure 6.9 : la rubrique 3 - optimisation - indice dimensions et proportions pour deux volumes.....	163
Figure 6.10 : interface - la rubrique 08- synthèse de l'optimisation par région	164
Figure 6.11 : Intefrace l'utilisation du bouton – synthèse de l'optimisation par région - du logiciel OPTIone.	170
Figure 6.12 : application de la simulation via le bouton "synthèse de l'optimisation par région"	176
Figure 6.13 : graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur la capacité du système de l'enveloppe du bâtiment dans la minimisation des gains Gp.Gt.Gc dans leurs valeurs maximales de l'optimisation.....	178
Figure 6.14 : graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur la capacité du système de l'enveloppe du bâtiment dans la minimisation des gains Gp.Gt.Gc dans leurs valeurs minimales de l'optimisation	179

Figure 6.15: graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur le taux de participation à l'optimisation de l'indice (K. a. fe)	179
Figure 6.16 : graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur le taux de participation à l'optimisation de l'indice géométrie du modèle Parallélépipède	180
Figure 6.17 : graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur le taux de participation à l'optimisation de l'indice géométrie du modèle Tour.....	180

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 2.1: Typologies des outils d'aide à la conception (inspiré de Lawrence, 1993) .	27
Tableau 3.1 : résumé des besoins pour les formes de maisons, en relation avec le climat chaud et aride	47
Tableau 3.2 : les caractéristiques géométriques des trois types (le pavillon, le parallélépipède, la cour) concernés par l'étude	48
Tableau 3.3 Les différentes formes simulées et leurs données initiales	64
Tableau 4.1 : Facteur d'absorption de différentes couleurs de l'épiderme	85
Tableau 4.2 : valeurs du facteur d'échange des surfaces externes	86
Tableau 4.3 : conductivité thermique lambda	89
Tableau 4.4 : Valeurs du coefficient d'échange superficiel.	90
Tableau 4.5 : quelques valeurs du coefficient k pour murs et planchers	91
Tableau 4.6 : description morphologique des modèles de la simulation	103
Tableau 5.1 : sélection des volumes fondamentaux pour la simulation.....	108
Tableau 5.2 : donnent les valeurs du coefficient de forme pour les trois géométries avec une variation de cinq volumes.....	109
Tableau 5.3 : facteur de forme calculé pour les trois géométries et les cinq volumes à valeurs constantes.....	110
Tableau 5.4 : calcule du facteur de gains énergétique G pour les trois géométries et les cinq volumes	112
Tableau 5.5: facteur de forme calculé pour les cinq volumes et les trois géométries fixées	115
Tableau 5.6: calcule du facteur de gains énergétique G pour les cinq volumes et les trois géométries.	116
Tableau 5.7 : Les variations de « Cfn » par rapport à la dimension « a » du Cube	120
Tableau 5.8 : Les variations G2 de par rapport à « Cfn » cas du Cube.....	121
Tableau 5.9 : application numérique sur les volumes (125m ³ , 8000m ³ , 15625m ³) pour déterminer les proportions optimales.	129
Tableau 5.10 : calcule du cumule des gains énergétiques selon les trois niveaux de simulation.....	130
Tableau 6.1 : données climatiques et géographiques des 19 régions de la simulation ...	150

Tableau 6.2 : 27 résultats de simulation d'optimisation de G en fonction de la géométrie ; L ; H ; l –	154
Tableau 6.3 : 09 solutions de dimensions pour TOUR et PARALLELELIPIPEDE pour 125m ³	155
Tableau 6.4 : tableau comparatif 01 des proportions et des taux d'optimisation réalisés par les indices géométrie et caractéristiques (K.a. fe) par région	177
Tableau 6.5 : tableau comparatif 02 des proportions et des taux d'optimisation réalisés par les indices géométrie et caractéristiques (K.a. fe) par région.....	178
Tableau 6.6 : Preservation des proportions quelque soit le volume.....	181

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation :	Signification	Unité
λ :	La conductivité thermique	w/m.h. °C
E :	Épaisseur	m
te :	Température moyenne de l'air extérieur	°C
ti :	Température intérieure de base	°C
c :	La conduction	w/h. °C
R :	Résistance thermique	m ² °C/W
K :	Le coefficient de transmission thermique	W/m ² . °C
KE :	Le coefficient global de transmission thermique	W/m ² . °C
S :	La surface de la paroi	m ²
tsa :	Température air - soleil	°C
fe :	Coefficient total d'échange de surface externe	W/m ² . °C
tr :	Température radiante	°C
fr :	Coefficient de rayonnement de surface externe	
Qc :	Quantité de flux de chaleur transmis par conduction	W
Qs :	Quantité de flux transmis par rayonnement	W
O :	Facteur de gain solaire	
Qv :	Quantité de flux de chaleur par ventilation	W
V :	Taux de changement d'air	m ³ /s
Δt :	Écart de température (te - ti)	°C
N :	Nombre de changement d'air	
V :	Volume du local (bâtiment, pièce) considéré	m ³
QI :	Quantité des gains internes	W
fe :	Coefficients d'échange superficiel de la face externe	m ² °C/W
fi :	Coefficients d'échange superficiel de la face interne	m ² °C/W
P :	Pluviométrie annuelle ou mensuelle	mm/an
T :	Température moyenne annuelle ou mensuelle	°C
S exp :	Surface des parois exposées au soleil	m ²
S env :	Surface totale de l'enveloppe exposée aux gains de chaleur	m ²
S n-exp :	Surface des parois non exposées aux gains de chaleur	m ²
Cf :	Coefficient ou facteur de forme	
Cfn :	Coefficient ou facteur de forme partiel	
H :	Hauteur du bâtiment	m
L :	Longueur du bâtiment	m
I :	Largeur du bâtiment	m
W :	Largeur de la rue	m
S vide :	Surface du vide (les ouvertures)	m ²
S plein :	Surface du plein (les parois opaques)	m ²
G :	Coefficient de gains de chaleur	w/m ³
S1 :	Surface de la façade Est	m ²
S2 :	Surface de la toiture	m ²
S3 :	Surface de la façade Ouest	m ²
à :	Arrête du cube	m

G :	Coefficient global de gains de chaleur	w/m^3
Ko :	Coefficient de transmission de chaleur du mur Ouest	$\text{w/m}^2.\text{°C}$
So :	Surface de la façade Ouest	m^2
Ke :	Coefficient de transmission de chaleur du mur Est	$\text{w/m}^2.\text{°C}$
Se :	Surface de la façade Est	m^2
Ks :	Coefficient de transmission de chaleur du mur Sud	$\text{w/m}^2.\text{°C}$
Ss :	Surface de la façade Sud	m^2
Kn :	Coefficient de transmission de chaleur du mur Nord	$\text{w/m}^2.\text{°C}$
Sn :	Surface de la façade Nord	m^2
Kt :	Coefficient de transmission de chaleur de la toiture	$\text{w/m}^2.\text{°C}$
St :	Surface de la toiture	m^2
1300 :	Chaleur spécifique volumique de l'air	$\text{J/m}^3.\text{°C}$
V :	Taux de changement d'air	m^3/s
K :	Coefficient de transmission des composants de l'enveloppe	$\text{W/m}^2.\text{°C}$
R :	Résistance thermique	$\text{m}^2.\text{°C/W}$
I :	Intensité de la radiation solaire	W/m^2
O :	Facteur de gain solaire	
S :	Surface de la baie (fenêtre)	m^2
a :	Facteur d'absorption de la surface externe exposée au rayonnement	
fe :	Coefficient total d'échange de surface externe	$\text{W/m}^2.\text{°C}$
K :	Coefficient de transmission des composants de l'enveloppe	W/m^2
Δt :	Gradient thermique	°C
tsa :	Température au soleil	°C
S' :	Surface ensoleillée du bâtiment	m^2
IN0 :	Intensité de la radiation solaire incidente sur un plan vertical orienté Est 08:00-09:00	W/m^2
IN1 :	Intensité de la radiation solaire incidente sur un plan horizontal à 11:00-12:00	W/m^2
IN2 :	Intensité de la radiation solaire incidente sur un plan vertical - Ouest à 15:00-16:00	W/m^2
OPTI01 :	Code informatique pour l'évaluation de l'efficacité des enveloppes des bâtiments	
Gp :	Coefficient de gains énergétiques de la géométrie parallélépipédique	
Gc :	Coefficient de gains énergétiques de la géométrie cube	
Gt :	Coefficient de gains énergétiques de la géométrie Tour	
OPT-géo-dim :	Taux d'optimisation de l'efficacité énergétique par l'indice géométrie	
OPT (ke, a, Fe) :	Taux d'optimisation de l'efficacité énergétique par l'indice des caractéristiques thermo-physiques	
OPT-géo (L, H, I) paral :	Taux d'optimisation de l'efficacité énergétique par la géométrie parallélépipédique	

OPT-géo

(L, H, I)

tour : Taux d'optimisation de l'efficacité énergétique par la géométrie Tour

OPT-V : Taux d'optimisation de l'efficacité énergétique par l'indice volume

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement

AIE : Agence internationale de l'énergie

CIRED : Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

UIA : Union Internationale des Architectes

CREEE : Centre de Recherche en Énergie Renouvelable et en Efficacité Énergétique

SVF : Facteur de vue du ciel

Bwh :

Classification des régions à climat chaud et aride selon le système climatique de Koppen

CIBSE : *Chartered Institution of Building Services Engineers*

IPCC : *Intergovernmental Panel on Climate Change*

PMV : Vote moyen prévisible

PCI : Processus de conception intégrée

Résumé

Cette thèse examine l'impact de la forme des enveloppes des bâtiments sur leur efficacité énergétique dans les régions chaudes et arides, notamment en Algérie, dans le contexte du développement durable et de lutte contre le changement climatique. L'objectif principal est d'optimiser la conception des enveloppes pour minimiser les gains de chaleur et réduire les besoins en climatisation, tout en assurant le confort thermique des occupants.

La recherche combine une approche théorique, comprenant une analyse approfondie de la littérature sur la conception bioclimatique et l'efficacité énergétique, et une approche pratique. Cette dernière développe un modèle mathématique et numérique innovant pour évaluer l'impact des caractéristiques morphologiques de l'enveloppe (géométrie, volume, dimensions) sur les gains de chaleur. Ce modèle est implémenté dans OPTI-ONE, un outil de simulation paramétrique spécialement conçu pour cette étude.

OPTI-ONE a été utilisé pour simuler diverses configurations d'enveloppes dans 19 régions chaudes et arides d'Algérie. Les résultats démontrent que la forme de l'enveloppe peut réduire les gains de chaleur de 1% à 29%, l'augmentation du volume de 50% à 80%, et l'optimisation des caractéristiques thermos physiques de 16% à 79%. L'étude a également déterminé des proportions optimales pour les formes parallélépipédiques et les tours, constantes quelle que soit la région.

Cette recherche contribue significativement à la compréhension de l'optimisation énergétique des bâtiments dans les climats chauds et arides. Elle fournit des recommandations concrètes pour la conception d'enveloppes efficaces et démontre le potentiel d'économies d'énergie considérables. OPTI-ONE offre aux professionnels un outil pratique pour intégrer ces considérations énergétiques dès les premières phases de conception.

Les résultats proposent des solutions pour réduire la consommation énergétique des bâtiments tout en améliorant le confort thermique. Ils ouvrent également la voie à de futures recherches sur l'optimisation énergétique à l'échelle urbaine et l'intégration de ces principes dans les réglementations de construction.

Mots-clés : développement durable, architecture bioclimatique, efficacité énergétique, régions chaudes et arides, besoins en climatisation, enveloppe des bâtiments, optimisation énergétique.

Abstract

This thesis thoroughly examines the impact of building envelope shapes on energy efficiency in hot and arid regions, particularly in Algeria. It aligns with sustainable development goals and efforts to combat climate change, which have become crucial challenges for sustainable construction in areas with harsh climates. The primary objective of this research is to optimize the design of building envelopes to minimize excessive heat gains caused by high external temperatures and intense solar radiation. This optimization allows for reduced air conditioning needs and, consequently, lower energy consumption while ensuring the thermal comfort of occupants and maintaining a pleasant indoor environment.

The research methodology combines both a theoretical and practical approach. The theoretical component includes a detailed analysis of existing literature on bioclimatic design and various energy efficiency strategies applied to buildings in hot and arid zones. This analysis includes passive and active solutions aimed at reducing dependence on cooling systems. The practical approach, in turn, focuses on the development of an innovative mathematical and numerical model designed to evaluate the impact of morphological characteristics of the building envelope, such as geometry, volume, and dimensions, on heat gains. This model is then implemented in a parametric simulation tool named OPTI-ONE, specifically developed to meet the unique needs of this study.

The OPTI-ONE tool enabled the simulation of various envelope configurations across a total of 19 hot and arid regions in Algeria, representing diverse local climate conditions. The results indicate that the envelope shape can reduce heat gains by between 1% and 29%, depending on the configurations. Increasing the volume of an envelope can reduce air conditioning needs by 50% to 80%, and optimizing thermophysical characteristics, such as insulation and material thickness, contributes to an improvement of 16% to 79% under certain conditions. Furthermore, the study identifies optimal proportions for parallelepiped and tower-shaped envelopes, which prove consistent regardless of the region studied.

This research significantly advances knowledge on energy optimization for buildings in hot and arid climates. It provides concrete recommendations for the design of efficient building envelopes and demonstrates the potential to reduce energy consumption while maintaining a comfortable indoor environment. The OPTI-ONE tool offers construction professionals and architects a practical means of integrating energy considerations from the early stages of architectural design, promoting more sustainable buildings.

The findings from this research propose practical solutions to reduce energy consumption in buildings while improving occupants' thermal comfort. They also pave the way for future research focused on energy optimization at the urban scale and the integration of these efficiency principles into building regulations, aiming for greater long-term sustainability.

Keywords: sustainable development, bioclimatic architecture, energy efficiency, hot and arid regions, cooling needs, building envelope, energy optimization.

ملخص

تتناول هذه الأطروحة بعمق تأثير شكل أغلفة المباني على كفاءتها الطاقوية في المناطق الحارة والجافة، وخاصة في الجزائر. وتندرج هذه الدراسة في إطار التنمية المستدامة ومكافحة تغير المناخ، وهي قضايا أصبحت جوهرية لتحقيق البناء المستدام في المناطق ذات المناخ القاسي. يتمثل الهدف الرئيسي لهذا البحث في تحسين تصميم أغلفة المباني لتقليل اكتساب الحرارة المفرط الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة الخارجية وشدة الإشعاع الشمسي، مما يساهم في تقليل الحاجة إلى التكييف، وبالتالي خفض استهلاك الطاقة، مع ضمان راحة حرارية للمقيمين والمحافظة على بيئة داخلية مريحة.

يجمع منهج البحث بين المقاربة النظرية والمقاربة العملية. تتضمن المقاربة النظرية تحليلاً دقيقاً للأدبيات المتاحة حول التصميم المناخي الحيوي واستراتيجيات كفاءة الطاقة المطبقة على المباني في المناطق الحارة والجافة. ويشمل هذا التحليل حلولاً تصميمية تهدف إلى تقليل الاعتماد على أنظمة التبريد. أما المقاربة العملية فتركز على تطوير نموذج رياضي ورقمي مبتكر لتقييم تأثير الخصائص المورفولوجية لغلاف المبنى، مثل الشكل الهندسي والحجم والأبعاد، على اكتساب الحرارة. يتم بعد ذلك تنفيذ هذا النموذج في أداة محاكاة بارامترية تسمى OPTI-ONE، التي تم تطويرها خصيصاً لتلبية الاحتياجات الخاصة بهذه الدراسة.

مكّن استخدام أداة OPTI-ONE من محاكاة ثلاثة نماذج لأشكال أغلفة المباني في 19 منطقة حارة وجافة في الجزائر، تمثل ظروفًا مناخية محلية متنوعة. وتظهر النتائج أن شكل الغلاف يمكن أن يقلل من اكتساب الحرارة بنسبة تتراوح بين 1% و 29% حسب الشكل الهندسي للغلاف. كما يمكن أن تقلل زيادة حجم الغلاف من الحاجة إلى التكييف بنسبة تتراوح بين 50% و 80%، ويساهم تحسين الخصائص الفيزيائية الحرارية، مثل العزل وسمك المواد، في تحسين بنسبة تتراوح بين 16% و 79% في بعض الحالات. إضافة إلى ذلك، تحدد الدراسة نسباً مثلى لأبعاد متوازي المستطيلات والأبراج، والتي أثبتت ثباتها بغض النظر عن المنطقة التي تمت دراستها.

تساهم هذه الدراسة بشكل كبير في تطوير المعرفة حول تحسين كفاءة الطاقة للمباني في المناخات الحارة والجافة. فهي تقدم توصيات ملموسة لتصميم أغلفة مباني فعالة وتظهر الإمكانيات لتقليل استهلاك الطاقة مع ضمان بيئة داخلية مريحة. توفر أداة OPTI-ONE للمهنيين في مجال البناء والمهندسين المعماريين وسيلة عملية لدمج الاعتبارات الطاقوية في المراحل المبكرة من التصميم المعماري، مما يعزز من تحقيق مبانٍ أكثر استدامة.

تقترح نتائج هذه الدراسة حلولاً عملية لتقليل استهلاك الطاقة في المباني مع تحسين الراحة الحرارية للمقيمين. كما تمهد الطريق لأبحاث مستقبلية تركز على تحسين كفاءة الطاقة على المستوى الحضري وإدماج هذه المبادئ في اللوائح الخاصة بالبناء، بهدف تحقيق الاستدامة.

الكلمات المفتاحية: التنمية المستدامة، العمارة البيو مناخية، كفاءة الطاقة، المناطق الحارة والجافة، احتياجات التبريد، غلاف المباني، تحسين الطاقة.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

Introduction

"La conception architecturale bioclimatique s'inscrit dans la problématique contemporaine liée à l'aménagement harmonieux du territoire et à la préservation du milieu naturel. Cette démarche, partie prenante du développement durable, optimise le confort des habitants, réduit les risques pour leur santé et minimise l'impact du bâti sur l'environnement." (Liébard et De Herde ; 2003)

Durant ces dernières années, notre compréhension des défis environnementaux complexes auxquels nous sommes confrontés a considérablement évolué, surtout en ce qui concerne les futures générations. Les avancées de la technologie ont certes amélioré notre niveau de vie, mais les vingt dernières années ont été marquées par un réchauffement climatique notable et une recherche accrue de confort obtenu par une forte utilisation de la climatisation artificielle (Khoury et al, 2023).

Malheureusement, Cette tendance à la climatisation a marginalisé les techniques passives et semi-actives traditionnelles, particulièrement dans les constructions récentes (Bodach et al, 2022). Par conséquent, la demande croissante en climatisation estivale a significativement augmenté la consommation électrique, mettant à l'épreuve les infrastructures énergétiques. Albadra et al, (2021) rapportent une hausse de 15% de la consommation électrique liée à la climatisation dans les régions chaudes et arides ; telles que celles du sud algérien.

Dans ce contexte de changement climatique et de préoccupations énergétiques, l'Algérie, avec ces vastes étendues sahariennes, offre un terrain d'étude favorable pour l'application des principes de conception bioclimatique. Les régions du sud algérien, confrontées à des conditions climatiques extrêmes, soulignent l'urgence d'adopter des approches innovantes en matière de conception architecturale, adaptées aux réalités locales tout en s'inscrivant dans une perspective de durabilité globale.

La popularité grandiose des climatiseurs illustre le conflit entre confort moderne et protection environnementale. Face à leur impact croissant sur le climat, le GIEC appelle à développer des solutions plus écologiques, rejoignant ainsi les préoccupations historiques du rapport Brundtland en 1987 sur le développement durable.

Le secteur du bâtiment, joue un rôle prépondérant dans les discussions actuelles sur la durabilité environnementale, étant donné qu'il consomme d'environ 40 % de l'énergie mondiale (PNUE, 2022). Tous les acteurs impliqués dans la production des bâtiments, a prioris les architectes, sont donc interpellés. Cette sollicitation concerne toutes les échelles

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

de l'architecture, depuis la conception d'une simple pièce habitable jusqu'à la planification d'un quartier entier. Il s'agit à la fois d'améliorer chaque niveau individuellement et de comprendre l'interdépendance entre ces différentes échelles d'intervention (AIE, 2021). Cette approche englobe notamment les concepts de bâtiment écologique et de bâtiment à haute qualité environnementale. Dans ce même contexte, les aspects énergétiques de l'architecture climatique sont cruciaux, avec l'émergence de bâtiments à faible empreinte énergétique.

L'enjeu principal consiste donc à concevoir des structures qui minimisent leur empreinte écologique, tout en offrant à leurs occupants un cadre de vie agréable, respectueux de l'environnement. Pour atteindre cet idéal, il est impératif d'adopter une approche conceptuelle écologique et esthétique. Comme le soulignent James Wines, Marc Vaye et Michèle Turbin dans leur ouvrage de 1997, il est nécessaire d'ouvrir de nouvelles perspectives en matière d'architecture environnementale, En prenant en compte tous ces aspects dans notre approche de conception et de construction des futurs édifices, nous pouvons renforcer le bâtiment lui-même en le considérant comme une enveloppe thermique. Cela signifie qu'une réflexion approfondie doit être menée sur la manière dont les enveloppes des bâtiments peuvent être conçus et construites de manière à améliorer leur efficacité énergétique et de minimiser leur impact environnemental, nous pouvons alors ; jouer un rôle significatif dans le développement durable du cadre bâti.

Dans un contexte où la durabilité et l'efficacité énergétique sont devenues des impératifs, l'architecture bioclimatique se positionne comme une réponse essentielle pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. Au cœur de cette approche se trouve une focalisation particulière sur l'enveloppe des bâtiments, élément central dans la régulation thermique et énergétique des espaces habitables (Foruzanmehr et Vellinga, 2021). Cette enveloppe, constituée des murs et des toits - éléments de séparation avec l'extérieur- joue un rôle crucial dans l'efficacité énergétique en agissant comme une barrière entre l'intérieur et l'extérieur. Cette dynamique influence directement les échanges de chaleur avec l'environnement, impactant ainsi la consommation d'énergie nécessaire à la climatisation.

Cette recherche s'introduit dans l'impact capital de l'enveloppe des bâtiments sur leur performance énergétique dans les régions chaudes et arides. Cette problématique prend en importance face aux projections inquiétantes du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), qui prévoit une augmentation significative des températures allant de 1,5 à 4°C d'ici 2100 dans ces régions. L'optimisation de l'enveloppe du bâtiment émerge

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

comme une solution prometteuse, Cette approche promet de diminuer considérablement les besoins énergétiques et l'impact écologique des bâtiments, tout en optimisant le bien-être de leurs usagers et en augmentant la capacité des structures à s'adapter aux changements climatiques. Dans ce contexte, où l'architecture doit impérativement s'adapter à des conditions climatiques extrêmes tout en répondant aux impératifs de durabilité, se dessine le cœur de notre problématique : comment concilier efficacité énergétique, confort thermique et résilience climatique à travers la conception innovante de l'enveloppe du bâtiment dans ces environnements arides ? Cette question multifacette oriente notre recherche et amorce une analyse détaillée des liens entre la conception architecturale, l'efficacité énergétique et l'adéquation aux conditions climatiques.

1. Problématique

Les régions au climat chaud et aride font face à des défis particuliers en matière de bâtiment et d'énergie. Les données récentes mettent en lumière l'ampleur de ces exagérations : l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) rapporte que jusqu'à 70% de l'énergie consommée dans ces zones est attribuable aux bâtiments résidentiels et commerciaux. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) a enregistré une augmentation de 45% de la demande en climatisation sur les deux dernières décennies. Plus préoccupant encore, une recherche publiée dans Nature Climate Change révèle une augmentation de 7% des émissions de CO₂ liées au secteur du bâtiment entre 2010 et 2020, principalement due à l'utilisation intensive de la climatisation (Zaki et al, 2020). Ces chiffres soulignent l'importance cruciale de repenser l'architecture des bâtiments pour ces environnements.

L'Algérie illustre cette situation, particulièrement dans ces régions chaudes et arides. Malgré des politiques environnementales affichées, on constate une prolifération de climatiseurs, augmentant la consommation d'énergie et contribuant à la dégradation environnementale. Les températures extérieures peuvent atteindre 45°C à l'ombre (ONMA, 2023). Selon le Bureau International de l'Énergie, la climatisation représente près de 60% de la demande totale en électricité dans ces climats, accentuant significativement les émissions de GES.

Les architectes sont au cœur des solutions environnementales futures. L'Union Internationale des Architectes (UIA) estime qu'une approche écoresponsable dans la conception et la construction pourrait diviser par deux la consommation énergétique du

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

secteur d'ici 2030, contribuant ainsi directement aux objectifs de développement durable fixés par les Nations Unies. Dans ce contexte, la question centrale qui émerge est la suivante : Comment pouvons-nous repenser le rôle de la conception du bâtiment, en particulier son enveloppe thermique, pour réduire efficacement sa consommation d'énergie et ses émissions de GES, contribuant ainsi à la transition vers un avenir plus durable et résilient ? Cette problématique principale soulève plusieurs questions secondaires essentielles :

- Quels facteurs expliquent la hausse de la consommation d'énergie dans les zones étudiées, et quelles solutions peuvent être mises en œuvre pour maîtriser cette augmentation ?
- Quelles stratégies de conception écologique peuvent être adoptées pour diminuer la consommation énergétique des bâtiments ?
- Comment la conception innovante de l'enveloppe bâtie peut-elle limiter le recours à la climatisation et améliorer la performance énergétique des édifices en milieu chaud et aride ?

En abordant ces questions, cette recherche vise à contribuer au développement des solutions innovantes et durables pour la conception de bâtiments dans les régions chaudes et arides, répondant ainsi aux défis urgents posés par le changement climatique et la consommation énergétique excessive. Pour répondre à cette problématique complexe, nous avançons les postulats suivants, fondés sur notre examen préliminaire et les recherches préexistantes dans ce champ d'étude.

2. Hypothèses

Dans un l'air de notre étude où les participations énergétiques et écologiques s'allongent dans les zones au climat chaud et sec, l'amélioration des pratiques de la conception architecturales s'avère essentielle. Notre recherche se fonde sur l'idée que plusieurs paramètres influencent l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Parmi ces paramètres, la morphologie de l'enveloppe du bâtiment joue un rôle aussi important que les matériaux utilisés. D'autres facteurs incluent l'orientation du bâtiment, les systèmes de ventilation, l'isolation thermique et l'utilisation de technologies passives. Cependant, notre étude se concentre particulièrement sur l'impact de l'enveloppe, reconnaissant son rôle crucial dans la performance énergétique globale du bâtiment. Cette approche novatrice pourrait révolutionner la manière dont nous concevons les bâtiments dans ces climats exigeants.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

Les travaux du Centre pour l'Énergie et l'Atmosphère corroborent cette hypothèse, suggérant qu'une approche bioclimatique pourrait diminuer de 30% la consommation d'énergie des édifices en milieu aride et chaud. Notre étude se concentre ainsi sur l'optimisation morphologique de l'enveloppe bâtie dans ces environnements particuliers, visant à accroître l'efficacité énergétique et à réduire l'empreinte carbone des constructions.

2.1. Hypothèse principale

La configuration optimale des attributs géométriques de l'enveloppe architecturale exerce une influence prépondérante sur l'efficacité énergétique des édifices. Cette relation s'avère particulièrement significative dans les environnements caractérisés par un climat chaud et sec, où ces caractéristiques morphologiques jouent un rôle clé dans le contrôle thermique et l'efficacité énergétique.

2.2. Postulats secondaires

- La qualité environnementale et l'efficacité énergétique d'un bâtiment sont directement liées et peuvent être optimisées dès la phase de conception par une approche intégrée.
- Une enveloppe compacte, agissant comme barrière contre les perturbations extérieures, favorise un confort intérieur optimal tout en permettant des économies d'énergie significatives.
- L'optimisation de l'enveloppe contribue grandement à la création de bâtiments durables et écologiques.

Afin de tester ces hypothèses et d'apporter des réponses concrètes à notre problématique, nous définissons les objectifs suivants.

3. Objectifs de la recherche

Face aux défis de l'adaptation climatique, l'amélioration de l'efficacité énergétique des constructions revêt d'une importance capitale, notamment dans les zones au climat aride et chaud. Ces environnements, déjà vulnérables, sont confrontés à des défis supplémentaires dus à la généralisation des systèmes de refroidissement artificiel. Notre objectif est d'optimiser l'efficacité énergétique tout en assurant le confort des occupants par des solutions constructives durables et adaptées.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

. D'après Zhao et al. (2021), malgré les avancées en simulation numérique, l'adaptation climatique locale reste limitée dans l'architecture, bien que l'impact des matériaux et des protections solaires soit reconnu, le potentiel d'optimisation offert par les caractéristiques morphologiques des enveloppes des bâtiments demeure sous-exploité. Notre étude cherche ainsi à pallier ces insuffisances en analyseront l'influence du choix de l'enveloppe bâtie sur l'efficacité énergétique des édifices, dans les contextes caractérisés par la hausse de chaleur.

3.1. Objectif principal

Cette recherche examine comment la conception de l'enveloppe des bâtiments en climat chaud peut optimiser leur performance énergétique, afin de proposer des solutions architecturales alliant durabilité environnementale et efficacité thermique.

3.2. Objectifs spécifiques

- Évaluer l'effet des formes architecturales sur la consommation énergétique en climat chaud et aride.
- Développer un outil d'optimisation morphologique pour minimiser les besoins énergétiques.
- Comparer l'influence de la morphologie du bâtiment sur sa performance thermique en rapport avec les matériaux de construction.
- Élaborer des directives de conception architecturale adaptées aux régions a climat chaud et sec du Sud Algérien.

Ces objectifs s'alignent directement avec notre problématique centrale : repenser le rôle de la conception du bâtiment, particulièrement son enveloppe extérieure, Chaque objectif spécifique aborde un aspect crucial de cette problématique. Pour atteindre ces objectifs et valider nos hypothèses, nous avons élaboré une méthodologie rigoureuse combinant approches théoriques et pratiques.

4. Méthodologie de la recherche

Cette thèse adopte une approche méthodologique en deux volets, combinant une analyse théorique approfondie et une application pratique rigoureuse. Dans un premier temps, une recherche bibliographique exhaustive est menée pour établir le cadre conceptuel de l'architecture bioclimatique et de l'optimisation énergétique dans les régions au climat chaud et sec. Cette exploration théorique sert de fondement à l'élaboration de notre hypothèse

principale et justifie l'adoption des techniques de modélisation paramétrique et numérique pour le cas de notre étude.

4.1. Approche théorique

- Recherche bibliographique approfondie sur la conception bioclimatique et l'efficacité énergétique
- Analyse des mécanismes d'inconfort thermique et de consommation énergétique
- Formulation de l'hypothèse centrale sur l'intégration des principes bioclimatiques
- Choix et justification des méthodes de simulation

Dans un second temps, l'approche pratique se concentre sur l'analyse des besoins énergétiques spécifiques aux régions étudiées, en utilisant des modèles de base pour représenter le bâtiment. Cette phase comprend le développement d'un méta-modèle et la réalisation de simulations pour évaluer différentes configurations d'enveloppes basées sur ces modèles simplifiés. L'utilisation de ces modèles de base permet une analyse comparative efficace et complexe grâce à l'utilisation d'un code informatique. Cette étape aboutit à la formulation de recommandations pratiques et au développement d'un outil d'aide à la conception. Cet outil combine les éléments numériques nécessaires à la prédiction des performances énergétiques, en se basant sur les résultats obtenus à partir de ces modèles fondamentaux.

4.2. Application pratique et développement d'outils

- Analyse du comportement thermique
- Développement du méta-modèle
- Simulations et analyses
- Recommandations et lignes directrices
- Outil d'aide à la conception
- Discussion et perspectives

Cette étude se démarque par la création d'OPTI-ONE, le logiciel simule et optimise la performance énergétique des bâtiments en climat chaud et aride du Sud Algérien. Créé sur la base des recherches fondatrices de Traisnel et al (1997), Siddiqi (2001) et Knowles (1993), tout en intégrant les découvertes récentes de Chen et al (2020), García et al. (2021) et Khan

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

et al (2019), ce programme considère l'enveloppe bâti comme un élément crucial de la performance énergétique. Notre programme simulera l'effet de la morphologie de l'enveloppe et des matériaux qui le composent sur l'efficacité énergétique, tout en intégrant les spécificités climatiques du sud algérien, offrant ainsi un outil prédictif adapté au contexte local.

Cette méthodologie innovante permet de vérifier les hypothèses avancées et de formuler des recommandations pratiques pour la conception d'édifices écoénergétiques. Elle s'inscrit dans une structure de thèse rigoureusement élaborée, contribuant ainsi à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'architecture durable en milieu chaud et aride.

5. Structure de la thèse

Cette thèse s'articule autour de sept chapitres, formant une hiérarchie logique de l'introduction générale aux conclusions finales. Cette structure permet une exploration systématique de la problématique, allant des concepts théoriques aux applications pratiques et aux recommandations concrètes ; chaque chapitre s'appuie sur les précédents pour construire une argumentation solide. Voici une description détaillée de chaque chapitre :

CHAPITRE I : Introduction générale

- Contextualisation du sujet
- Présentation de la problématique et des questions de recherche
- Énoncé des hypothèses et des objectifs
- Aperçu de la méthodologie

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

- Analyse des caractéristiques spécifiques des climats chauds et arides
- Étude des enjeux environnementaux des bâtiments dans ces climats
- Exploration des principes fondamentaux de la conception bioclimatique
- Évaluation de l'importance de l'approche passive dans la conception architecturale d'été

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties – revue de littérature

- Examen approfondi des études antérieures sur l'optimisation énergétique des bâtiments
- Analyse critique des différentes approches et méthodologies
- Identification des lacunes dans la recherche actuelle
- Positionnement de notre étude par rapport à l'état de l'art

CHAPITRE IV : Comportement thermique du bâtiment en été et relation avec la forme de l'enveloppe

- Étude détaillée des charges énergétiques sur le bâtiment
- Analyse de l'impact de la forme de l'enveloppe sur la minimisation des charges énergétiques
- Définition et exploration de l'indicateur "enveloppe"
- Formalisation de l'analyse numérique

CHAPITRE V : Procédures de minimisation des charges - simulation paramétrique

- Analyse de l'influence des différents paramètres (géométrie, volume, dimensions)
- Interprétation des résultats préliminaires
- Présentation du logiciel OPTI-ONE et de ses fonctionnalités
- Description des procédures de simulation et d'optimisation

CHAPITRE VI : Simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

- Application du protocole de simulation à différentes régions
- Analyse comparative des résultats entre les régions
- Évaluation de l'impact des fluctuations des données climatiques
- Synthèse des résultats de simulation

CHAPITRE VII : Conclusion générale et discussion

- Récapitulation des principaux résultats
- Réponse aux questions de recherche initiales
- Discussion des implications théoriques et pratiques
- Identification des limites de l'étude et perspectives pour de futures recherches

Pour conclure, ce chapitre d'ouverture a établi le cadre fondamental de notre étude, en précisant la question centrale, les postulats, les visées et l'approche méthodologique qui guideront notre enquête sur le rapport entre la configuration de l'enveloppe bâti et l'efficacité énergétique des édifices en milieu chaud et aride. Les sections suivantes approfondiront chaque aspect de cette recherche, en débutant par l'identification climatique des régions d'étude et l'examen détaillé des concepts d'architecture bioclimatique adaptés à ces contextes environnementaux particuliers.

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

Introduction

Ce chapitre explore les principes fondamentaux de la conception bioclimatique adaptés aux climats chauds et arides, une approche cruciale face aux défis environnementaux et énergétiques actuels. Dans un contexte de changement climatique mondial, caractérisé par une augmentation des températures moyennes et une intensification des phénomènes météorologiques extrêmes, ces régions sont particulièrement vulnérables (Lopez, 2022).

Les changements climatiques ont profondément impacté la consommation énergétique et les performances des bâtiments, notamment en accroissant la dépendance aux systèmes de climatisation (Al-Khaled, 2023). Cette réalité met en lumière des défis majeurs en matière de durabilité énergétique et d'impacts socio-économiques. La climatisation accroît les émissions de gaz à effet de serre et aggrave les îlots de chaleur urbaine. Le bâtiment représente 40% des émissions mondiales de CO₂ (PNUE, 2016).

Face à ces défis, L'architecture écologique et les méthodes de construction responsables deviennent indispensables pour réduire la dépendance énergétique et l'empreinte carbone des constructions (Rodriguez, 2018). Ces solutions bioclimatiques offrent des alternatives prometteuses pour s'adapter aux changements climatiques tout en limitant la dépendance à la climatisation (Garcia, 2021).

Cette partie précise les différents phénomènes climatiques afin de mieux définir notre problème. L'exposition solaire, facteur clé des gains de chaleur, contribue également à la difficulté d'évaluer avec précision les conditions climatiques en environnement urbain. On examinera d'abord les caractéristiques spécifiques des climats chauds et arides, notamment l'indice d'aridité, la puissance du rayonnement solaire et l'élévation des températures. Nous analyserons ensuite les enjeux environnementaux liés aux bâtiments dans ces climats, en mettant l'accent sur leur impact face à la consommation d'énergie.

Nous nous concentrerons sur les principes de conception bioclimatique, soulignant l'importance de l'approche passive dans la conception architecturale estivale ; nous examinerons ainsi ; des solutions comme la réduction de l'exposition solaire, l'optimisation de la conception des bâtiments, et l'utilisation de dispositifs d'ombrage et de revêtements à haute réflectivité. En dernier lieu, notre analyse portera sur les outils d'évaluation de la performance énergétique des enveloppes architecturales adaptées à ces conditions climatiques, ainsi que sur les stratégies visant à limiter les apports thermiques indésirables.

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

Cette exploration vise à établir un socle de connaissances robustes pour la conception d'édifices écoresponsables et peu énergivores dans les zones arides et chaudes.

1. Caractéristiques spécifiques des climats chauds et arides

Les régions à climat chaud et aride présentent un climat extrême, marqué par un écart important entre les températures diurnes très élevées et les températures nocturnes fraîches, pouvant même être froides. L'amplitude thermique quotidienne est ainsi conséquente, allant jusqu'à 20°C (Smith et al, 2022). Ces régions sont également définies par un ensoleillement exceptionnellement fort, dépassant largement les 4000 heures par an, soit plus du double des régions méditerranéennes les plus ensoleillées (OMM, 2023). Ce fort rayonnement solaire contribue à l'augmentation de températures extérieures déjà élevées de 38°C à 45°C.

Par ailleurs, le climat est sec, avec des prélèvements rares (moins de 200 mm/an), irrégulières, et certaines années complètement inexistantes en période de sécheresse (GIEC, 2023). L'humidité de l'air est donc très faible. On remarque des vents de sable fréquents qui participent à l'aridité et accentuent la sécheresse (Johnson et al, 2023). Au final, ces régions connaissent une longue saison sèche, s'étalant sur 8 à 9 mois minimum. Certaines zones comme Tamanrasset au sud de l'Algérie font même face à la sécheresse de façon permanente tout au long de l'année (I R D, 2024).

Ces régions sont caractérisées par : De très faibles prélèvements (moins de 200 mm/an), irrégulières et parfois nulles lors des années de sécheresse ; Un ensoleillement très élevé (plus de 4000 heures/an contre 2000 heures dans les régions méditerranéennes). Des températures très élevées le jour et basses la nuit ; Un ciel clair ; Une forte intensité de rayonnement ; Un très faible taux d'humidité ; Des vents de sable qui accentuent l'aridité.

Ces caractéristiques augmentent les défis liés à la conception architecturale, à la santé humaine et à l'écosystème environnant (Brown et al, 2024). Comprendre en profondeur les aspects spécifiques de ces climats est cruciaux pour élaborer des solutions adaptées, durables et résilientes face à ces conditions extrêmes (OMS, 2023).

1.1. Indice d'aridité

Paramètre essentiel pour caractériser les zones chaudes et sèches, il quantifie l'intensité de la sécheresse en relation avec les températures (FAO, 2023). L'échelle de l'indice d'aridité établie par De Martonne se structure de la manière suivante :

- Hyperaride : < 5
- Aride : 5-10
- Semi-aride : 10-20
- Subhumide sec : 20-30
- Humidité : > 30

Dans des zones comme le désert du Sahara, avec un indice inférieur à 10 selon la classification de Köppen, les prélèvements hivernaux sont extrêmement faibles, souvent en dessous de 200 mm par an. Les valeurs très basses de cet indice caractérisent des zones hyperarides telles que l'Atacama au Chili ou le Sahara, où l'indice peut chuter jusqu'à 5. Dans les régions arides et désertiques comme le Sahara, le désert du Thar en Inde ou dans le désert de Tanezrouft en Algérie, l'indice d'aridité peut atteindre jusqu'à 10, indiquant des conditions climatiques très sèches avec des températures limitées et élevées. Cet indice reste un outil crucial pour évaluer la sécheresse climatique dans les régions chaudes, permettant une meilleure compréhension et gestion de ces environnements extrêmement secs (Garcia, 2019). La figure (2.1) montre bien en rouge l'importance territoriale de ces régions selon leurs indices d'aridité.

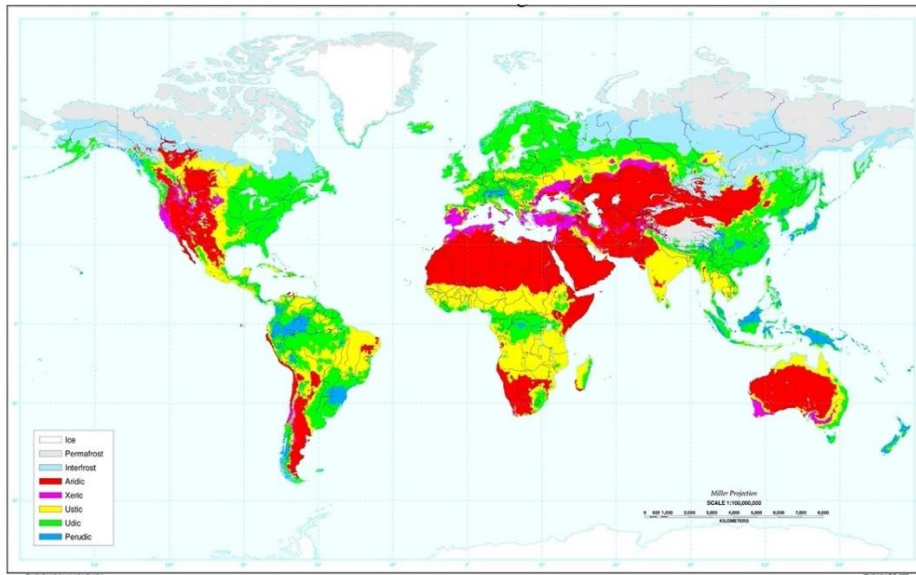


Figure 2.1 : répartition mondiale des zones désertique ; arides et semi arides selon l'indice d'aridité
Source : (maxicours, 2019)

Dans ces environnements, l'air sec influence considérablement le confort thermique, amplifiant la perception de chaleur et rendant les températures plus difficilement supportables. La présence de particules en suspension et l'absence de brassage d'air limite l'efficacité de la ventilation naturelle, que ce soit en journée ou pendant la nuit, ce qui compromet le bien-être dans les espaces intérieurs. Pour remédier à ces obstacles, Il est essentiel de contrôler l'entrée de poussière et d'installer des systèmes de ventilation efficaces pour une circulation d'air idéale.

1.2. Puissance du rayonnement solaire en été

Le fort ensoleillement dans les régions chaudes et désertiques impacte fortement le microclimat urbain et l'efficacité énergétique des bâtiments. (Zhang et al, 2023), l'intensité du rayonnement solaire est un facteur déterminant dans le confort thermique des habitants ainsi que dans la conception des bâtiments urbains. L'intensité du rayonnement solaire dans ces zones est considérablement élevée, avec des valeurs dépassant souvent les 1000 Watts par mètre carré (W/m^2) pendant les heures de pointe (Algarni et Nutter, 2018). La figure (2.2) illustre bien l'importance et la répartition du rayonnement solaire par jour sur une région chaude. La clarté du ciel et la longue durée d'ensoleillement quotidien (jusqu'à 14h), associées au changement climatique et à l'effet de serre atmosphérique accentuent encore l'impact du rayonnement. Cela augmente fortement la charge thermique sur les constructions et les besoins en climatisation, comme il contribue à la formation des îlots de chaleur urbaine,

prétendant ainsi le bien-être des habitants. Ces conditions extrêmes ont des diverses répercussions sur la santé publique, notamment une augmentation des cas de déshydratation et de stress thermique, ainsi que sur les écosystèmes locaux, biodiversité et les cycles hydrologiques (Rodriguez et al, 2024).

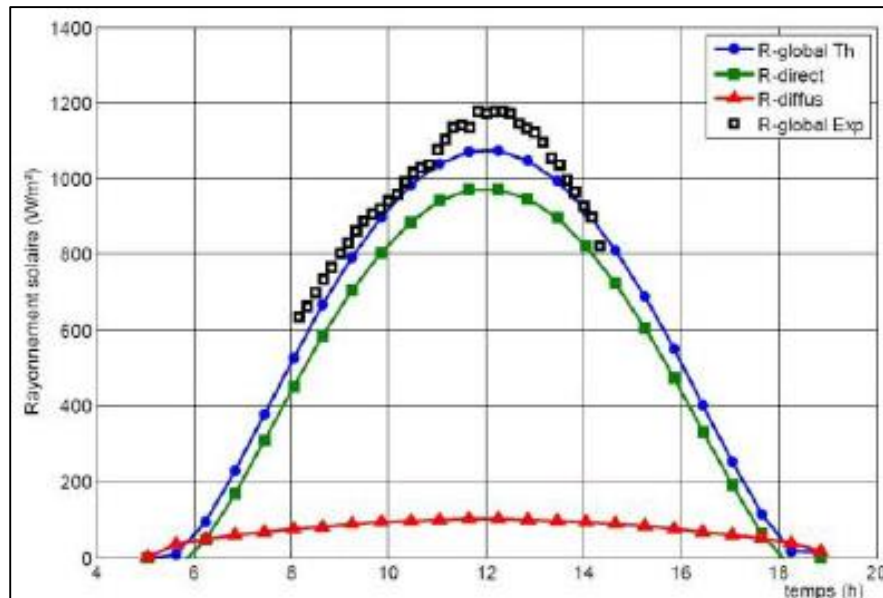


Figure 2.2 : évolution du rayonnement solaire selon les heures jours dans une région chaude

Source : (Bahria, 2013)

Pour atténuer ces effets, diverses pratiques passives ont prouvé leur efficacité. L'utilisation de matériaux de construction réfléchissants, comme les « toits frais », peut réduire l'absorption de chaleur par les bâtiments jusqu'à 70 %, diminuant la température intérieure de 3 à 5°C (Akbari et al, 2022). L'ajout de végétation et d'espaces verts urbains peut réduire la température de l'air ambiant de 2 à 8°C (Chen et al, 2023). L'orientation optimisée des bâtiments, notamment nord-sud avec des brise-soleil adaptés, peut réduire l'exposition directe au soleil de 40%, entraînant une baisse de 25 à 35% de la consommation d'énergie pour le refroidissement (Peng et al, 2021). Les techniques architecturales traditionnelles restent pertinentes : l'intégration de cours intérieurs dans les bâtiments modernes peut réduire la température intérieure de 4 à 6°C par rapport à l'extérieur (Fathy et al, 2024), tandis que l'intégration d'arcades et de façades ventilées peut diminuer les besoins en refroidissement de 30 à 40% dans les édifices commerciaux situés en zones chaudes et sèches (Alrashed et al, 2023). Cette approche architecturale traditionnelle s'avère donc particulièrement efficace pour optimiser l'efficacité énergétique du cadre bâti sous ces climats rudes.

1.3. Élévation des températures de l'air extérieur

Les régions chaudes et arides connaissent des températures estivales extérieures entre 38°C et 45°C à l'ombre ils peuvent même atteindre 70°C sous l'effet du rayonnement solaire (Matzarakis et Koch, 2021). L'amplitude thermique journalière pendant la période chaude est également marquée de l'ordre de 15 ÷ 25 C°, avec une baisse rapide des températures la nuit due au rayonnement vers la voûte céleste (Lorraine Dufour, 2004). Ces niveaux élevés ont un impact majeur sur les bâtiments. Ils accentuent les charges thermiques, nécessitant plus d'énergie pour le refroidissement (Sharples et Fikiry, 2019). Cependant, le choix approprié de matériaux et l'intégration de principes bioclimatiques permettent d'atténuer cet effet. Des recherches montrent que de telles stratégies réduisent efficacement la dépendance à la climatisation. Une conception architecturale durable paraît donc essentielle pour se protéger des températures extrêmes d'étés dans ces régions. La figure (2.3) montre l'augmentation de la température dans une ville du Sud algérien (Béchar) entre les périodes 1965 - 1984 et 2001 - 2005, ce qui doit interpeller les consciences sur les risques du réchauffement de la planète.

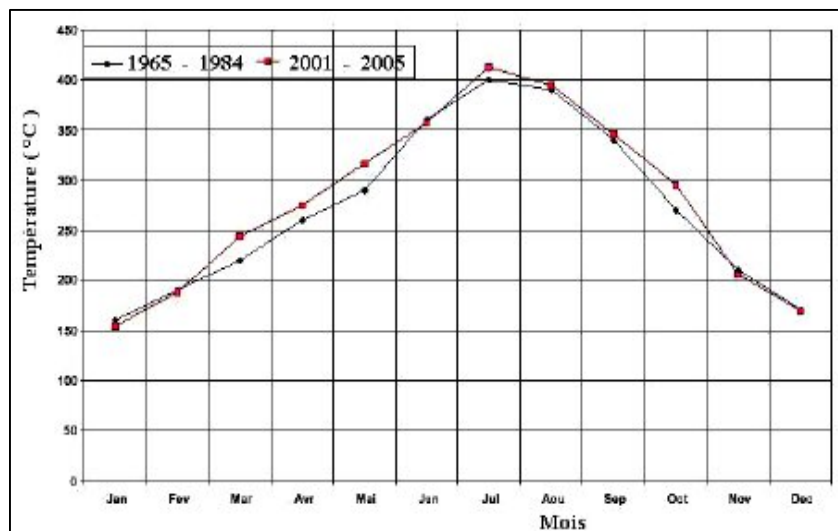


Figure 2.3 : Élévation de la Température extérieure à Béchar pour les périodes (1965 - 1984) et (2001 - 2005)

Source : (Mokhtari, 2008)

1.4. Variations diurnes et nocturnes de la température

Les régions chaudes sont particulièrement sensibles aux variations importantes diurnes et nocturnes de la température, avec des écarts pouvant atteindre jusqu'à 15 à 25 degrés Celsius (Santamouris et al, 2022). Ces variations extrêmes peuvent avoir un impact significatif sur

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

la santé et le confort des habitants. En effet, les températures élevées pendant la journée peuvent engendrer une fatigue intense, des risques d'hyperthermie et divers troubles de santé, tandis que les températures moins chaudes relativement la nuit peuvent provoquer des inconforts thermiques et des complications pour le sommeil.

De plus, ces variations thermiques caractéristiques de ces régions influencent profondément l'approche architecturale. Pour garantir un confort de vie optimal tout en limitant le recours aux systèmes de climatisation énergivores, il est nécessaire d'adopter des stratégies d'adaptation climatique ciblées. Celles-ci incluent l'utilisation de matériaux à forte inertie thermique pour modérer les écarts de température, une orientation réfléchie des édifices optimisant l'ombrage, et l'intégration de la disposition transversale pour optimiser la circulation d'air frais.

En complément, L'intégration d'éléments de refroidissement passifs tels que ; les puits de lumière, les auvents et les brise-soleils peuvent atténuer efficacement l'impact des variations thermiques tout en particulier la consommation énergétique (Al-Obaidi et al, 2024). La combinaison de ces différentes techniques de conception conduit à la création d'un cadre bâtis à la fois résilients, confortables et écologiquement responsables dans ces zones caractérisées par des amplitudes thermiques importantes.

2. Phénomènes météorologiques extrêmes dans les climats chauds et arides

Le réchauffement climatique se manifeste par une augmentation globale des températures de 0,74°C entre 1906 et 2005 d'après le GIEC, avec une accélération à +0,18°C par décennie ces 30 dernières années. Cependant, cette hausse thermique n'est pas uniforme et touche plus intensément certaines régions. C'est le cas des zones arides et semi-arides « *Les régions à climat chauds seront les plus touchée par le changement climatique que la plupart des autres régions du monde au cours du 21ème siècle* ». (GIEC, 2007) ; notamment au Moyen-Orient et en Afrique, particulièrement vulnérables de par leur climat déjà chaud. « *Ce réchauffement est également perceptible sur le nord de l'Afrique même s'il est plus difficilement quantifiable du fait d'un réseau d'observation moins complet. Ainsi, la région est qualifiée de hot spot du changement climatique* » (GIEC, 2007) ; il devrait accentuer l'ensoleillement déjà très important. On prévoit une hausse du rayonnement solaire direct et diffus de 5 à 10% d'ici 2100. Une modélisation a montré une augmentation probable du

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

rayonnement solaire direct de $8,3\% \pm 2,1\%$ en 2050 dans ces régions. Cela impactera significativement leur bilan énergétique on s'attend à :

- La hausse des besoins en énergie pour le refroidissement des bâtiments entraîne une augmentation des émissions de CO₂.
- Des risques sanitaires accrus : famine, maladies.
- Une accentuation des phénomènes climatiques extrêmes auxquels ces régions sont déjà vulnérables.

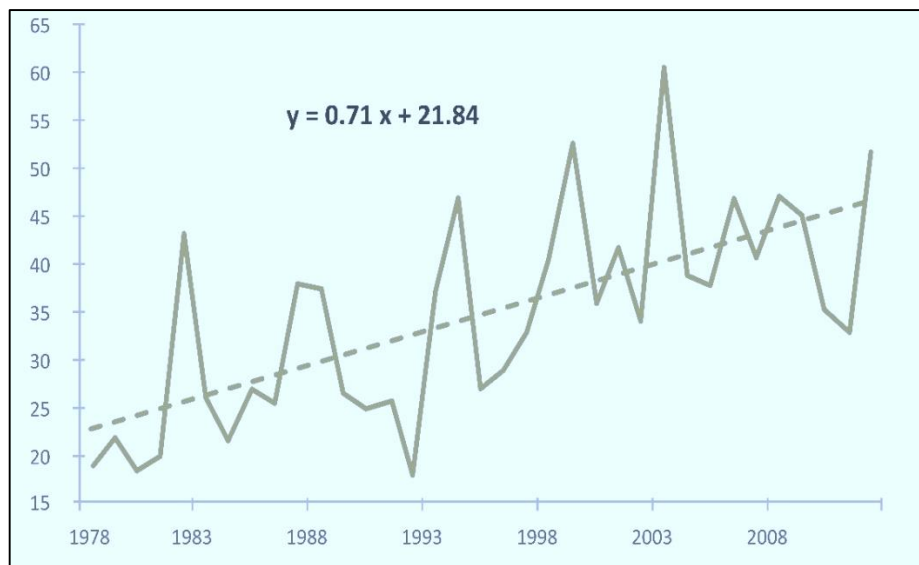


Figure 2.4 Évolution du nombre de jours chauds par an au sud tunisien avec une hausse de température extérieur d'environ 1,1°C 1978 à 2012

Source : (Drias, 2023)

Une action urgente de lutte contre le changement climatique et d'adaptation est nécessaire pour atténuer ces impacts négatifs majeurs sur les pays secs et chauds. L'effet de serre accru par les émissions humaines de gaz comme le CO₂ est responsable de ce réchauffement rapide d'après le GIEC. Les concentrations de CO₂ atmosphérique dépassent désormais 400 ppm, soit 45% de plus que le niveau préindustriel. Le secteur de la construction est responsable d'environ un quart des émissions de gaz à effet de serre. Selon une étude de la Banque Mondiale (2014), d'ici 2050, la région MENA pourrait connaître une hausse des températures de 2 à 4°C et une baisse des précipitations de 10 à 30%, accentuant le risque de désertification extrême.

Cette aridification croissante, couplée à l'explosion démographique et à l'exode rural, exercera une hausse marquée de la demande énergétique pour la climatisation selon l'AIE, pouvant atteindre +45% à +50% d'ici 2050 dans ces régions au climat rude. Pour atténuer

ces effets étouffants, une amélioration sévère de l'efficacité énergétique du bâti apparaît indispensable ; Des solutions bioclimatiques et l'usage rationnel des ressources locales permettront de diminuer les exigences en climatisation dans les édifices.

3. Enjeux environnementaux des bâtiments dans ces climats

Le GIEC (2022) souligne l'urgence de réduire les émissions humaines de gaz à effet de serre, notamment dans le secteur de la construction. Dans les régions arides et chaudes, cette problématique est cruciale en raison de la forte demande énergétique liée à la climatisation.

D'après l'AIE (2023), la demande énergétique pour la climatisation dans ces zones pourrait tripler d'ici 2050, sous l'effet conjugué de la hausse démographique, de l'élévation du niveau de vie et du réchauffement climatique. Dans certains pays, cette consommation accrue pourrait atteindre jusqu'à un quart de la demande électrique totale.

Pour rompre ce cercle vicieux entre climatisation intensive et réchauffement global, une refonte de la conception architecturale s'impose. L'architecture bioclimatique, utilisant des techniques passives pour rafraîchir les espaces, offre des solutions prometteuses. Une étude récente de Hamdan et al (2024) démontre que l'application de principes bioclimatiques dans les bâtiments situés dans les zones chaudes et arides peut diminuer de 40 à 60 % de la consommation énergétique liée à la climatisation.

L'efficacité énergétique joue également un rôle crucial. Des recherches menées par Al-Saadi et al (2023) ont montré que l'application de normes strictes d'efficacité énergétique dans ces régions pourrait réduire les émissions de CO₂ liées aux bâtiments de 30 à 40 % d'ici 2040.

La conception adaptée au climat local est primordiale. Une étude de Radhi et al (2022) a révélé que l'intégration de stratégies de conception passive adaptées au climat local peut réduire la température intérieure de 4 à 6°C sans recours à la climatisation mécanique, améliorant ainsi significativement le confort thermique des occupants.

L'exploitation de données météorologiques précises est essentielle pour une conception optimale ; Wang et coll (2023) ont développé un modèle prédictif basé sur l'apprentissage automatique qui permet d'optimiser la conception des bâtiments en fonction des données

climatiques locales, particulièrement la minimisation de la consommation d'énergie de 25 à 35% par rapport aux méthodes de conception conventionnelles.

En conclusion, relever les défis environnementaux des bâtiments dans les climats chauds et arides nécessite une approche holistique, intégrant l'architecture bioclimatique, l'efficacité énergétique et la conception basée sur des données climatiques précises. Ces approches permettent de diminuer l'empreinte écologique des édifices tout en progressant d'un confort de qualité dans ces zones sensibles aux changements climatiques.

4. Impact des bâtiments sur la consommation énergétique

4.1. Responsabilité du secteur du bâtiment dans la consommation énergétique

Le secteur du bâtiment est reconnu comme le principal consommateur d'énergie, représentant 42,5 % de la consommation finale d'énergie globale (GIEC, 2018). Une partie importante de cette consommation, environ deux niveaux, est attribuée à la climatisation, particulièrement dans les climats chauds et arides. Depuis 1970, cette consommation a augmenté de 30 % (GIEC, 2018), Notamment à cause de l'expansion des villes et de la prolifération des climatiseurs (Figure 2.5) ; (Asdrubali et al, 2022).

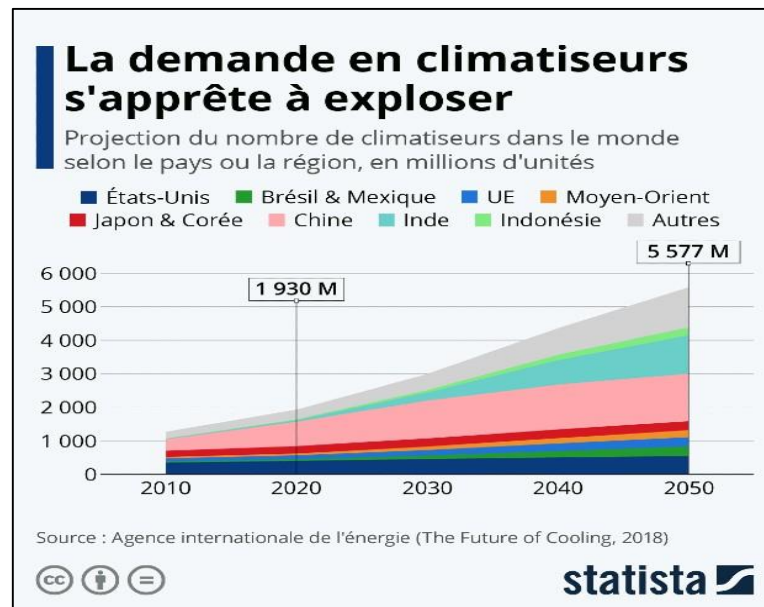


Figure 2.5 : l'augmentation de la consommation énergétique due à la climatisation (nombre de climatiseurs).

Source : (AIE, 2018)

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

La climatisation, consommant environ 40% de l'énergie totale (figure 2.6), contribue significativement à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Une analyse approfondie des systèmes énergétiques s'impose pour développer des stratégies innovantes et réduire l'empreinte écologique des bâtiments. (André et Jean-Marie, 2007 ; Asdrubali et coll, 2022)

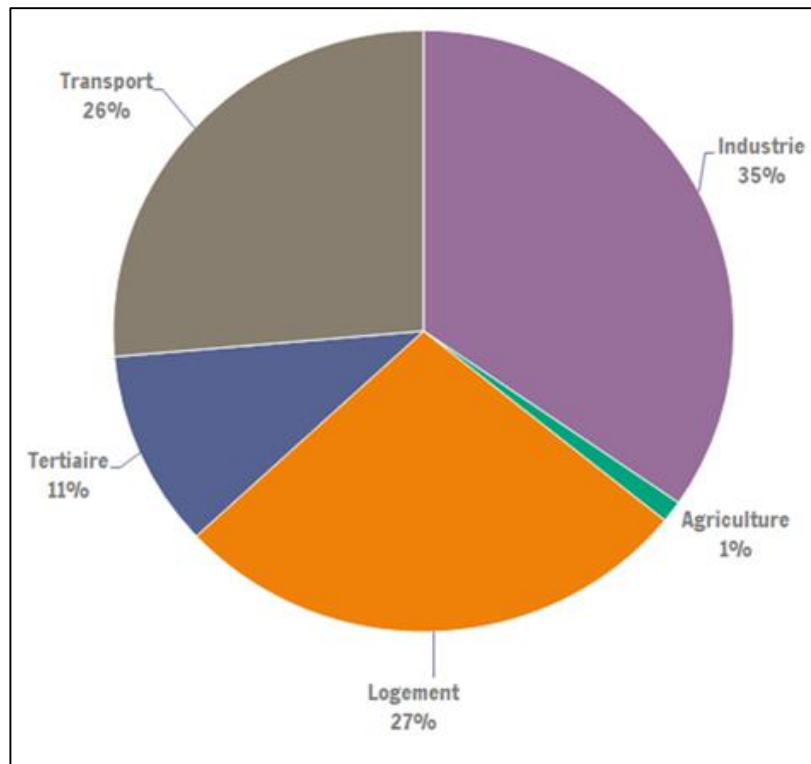


Figure 2.6 : Répartition par secteur de la consommation finale d'énergie en 2020

Sources : (ICEDD. Direction de la promotion de l'énergie durable, 2023)

4.2. Le bâtiment comme levier de réduction des émissions

La diminution des émissions des bâtiments est devenue une exigence obligatoire. Les efforts doivent se concentrer sur la conception de bâtiments et de formes urbaines adaptées au climat, minimisant les gains énergétiques tant à l'échelle urbaine qu'à celle du bâtiment individuel. L'optimisation de l'enveloppe du bâtiment comme un levier crucial pour réduire l'empreinte énergétique, particulièrement dans les régions à climat chaud et aride (André et Jean, 2007). Cette approche soulève des questions de recherche cruciales:

Quelle est l'effet de l'enveloppe des bâtiments sur leur consommation énergétique ?
Comment garantir la qualité environnementale face aux contraintes climatiques spécifiques?

4.3. Approches et outils pour l'amélioration de la performance énergétique

L'émergence des outils de simulation permet maintenant une meilleure compréhension des interactions complexes entre les paramètres climatiques d'un site et les futures constructions. Ces outils nécessitent des données météorologiques précises pour une analyse scientifique rigoureuse, pour garantir l'efficacité de la réponse architecturale dans les milieux arides (Gelil, 2021). Pour atteindre l'objectif de réduction de la demande énergétique, les acteurs du bâtiment doivent:

- Concevoir dès le départ pour une consommation énergétique minimale
- Implémenter des mesures d'économie d'énergie à chaque étape du cycle de vie
- Personnaliser les stratégies en fonction du climat local spécifique

5. Principes fondamentaux de la conception bioclimatique dans les climats chauds et arides

Durant la saison chaude, la demande en climatisation d'un édifice est principalement affectée par deux phénomènes : la conduction thermique via les murs et toitures, ainsi que l'apport solaire pénétrant par les baies vitrées. Une conception bioclimatique permet de réduire considérablement les besoins en rafraîchissement. Il est essentiel d'appliquer des solutions bioclimatiques dès la conception du bâtiment pour améliorer le confort thermique en milieu aride et chaud, la conception architecturale joue un rôle essentiel. L'optimisation de l'enveloppe du bâti, la sélection des matériaux de construction et le choix réfléchi des teintes extérieures sont des éléments clés pour créer un environnement intérieur agréable (Cheung, et al, 2021).

L'étude de la conception de bâtiments dans ces climats doit se focaliser sur la limitation des apports solaires à travers l'enveloppe. La meilleure protection contre la chaleur consiste à empêcher celle-ci de pénétrer dans le bâtiment ; (Bougiatioti et Michael, 2023) ont démontrés qu'une conception intelligente de l'enveloppe d'un bâtiment en zones chaudes peut réduire l'impact de la chaleur de 60%, réduisant ainsi la consommation énergétique liée à la climatisation de 30 à 40%. La figure (2.7) met en vérité l'utilisation de la compacité dans la ville de Ghardaïa, ce qui contribue à une meilleure protection contre la surchauffe et favorise un cadre de vie humaine en harmonie avec l'environnement.



Figure 2.7 : protection par compacité ksser bounourra

Source : (Gasmi, 2018)

Certains choix dès la conception (localisation, orientation) permettent de limiter les dépenses énergétiques pour le rafraîchissement. En complément d'une enveloppe optimisée, l'application de stratégies supplémentaires adaptées aux climats chauds et arides peut permettre de diminuer davantage les besoins en refroidissement, jusqu'à les réduire de moitié. Ces mesures complémentaires ciblent spécifiquement la limitation des apports de chaleur dans les bâtiments (Peng Yang et al, 2021), Pour cela, plusieurs stratégies ont été identifiées par la recherche :

- L'optimisation de la morphologie et du positionnement d'un édifice peut significativement réduire son exposition solaire, en particulier durant les pics de chaleur quotidiens. Cette approche permet de diminuer les apports thermiques de 15 à 20%. Une conception compacte, associée à une orientation réfléchie, constitue donc une stratégie efficace pour améliorer la performance thermique du bâtiment dans les climats chauds. (Akbari et al. 2015).
- Utiliser des matériaux de construction appropriés à forte inertie thermique et isolants peut limiter les transferts de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment, diminuant la consommation énergétique pour le refroidissement jusqu'à 30% (Santamouris et Kolokotsa, 2013).

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

- Intégrer des protections solaires efficaces et adaptées (casquettes, brise-soleil, végétation) peut réduire les gains solaires de 60 à 80% tout en permettant une ventilation naturelle (Bellia et al, 2014).
- Favoriser la ventilation naturelle peut rafraîchir efficacement les espaces intérieurs la nuit, réduisant la température intérieure de 2 à 5°C par rapport à l'extérieur (Givoni, 2011).
- Intégrer des dispositifs de rafraîchissement passif additionnels comme les puits provençaux ou les tours à vent peut apporter un rafraîchissement supplémentaire a moins de 3 à 6°C dans les climats chauds et arides (Saadatian et al, 2012).

Cette approche intégrée, combinant plusieurs stratégies passives, peut conduire à une réduction significative des besoins en refroidissement, comme l'ont démontré (Attia et Carlucci, 2015) dans leur étude comparative sur les bâtiments à haute performance énergétique en climat chaud.

5.1. Renforcer la conception du bâtiment en agissant en amont du projet

Pour créer un bâtiment économe en énergie, il est essentiel d'instruire des simulations dès les débuts de la conception. Les programmes de simulation numérique moderne permettent d'évaluer et de comparer différentes dispositions d'optimisation énergétique avant d'arrêter un choix définitif. Toute défaillance conceptuelle initiale sera extrêmement difficile et coûteuse à corriger ultérieurement, remettant en cause la rentabilité économique générale du projet. L'un des principaux rôles de ces simulations est de dimensionner au mieux les systèmes d'efficacité énergétique dès la phase de conception préliminaire, garantissant ainsi leur pleine intégration au bâtiment. (Jrade et Jalaei, 2020). Une étude de cas sur un immeuble de bureaux à Doha (Wigginton & Harris, 2002) a montré qu'intégrer la simulation énergétique dès l'avant-projet permettait une réduction potentielle de 45% de la consommation énergétique anticipée. Cette phase initiale offre l'opportunité d'apporter des changements significatifs à la forme du bâtiment et aux dispositifs de protection solaire, modifications qui deviendraient difficiles, voire impossibles, à mettre en œuvre dans les étapes ultérieures du projet, alors que dans un processus conventionnel moins de 5% d'économie était possible une fois le projet déjà avancé. (Attia et al, 2009).

Dans cette perspective, la contribution active des architectes est essentielle dès l'expression initiale des besoins pour intégrer au mieux les objectifs d'économie énergétique (Kim et al, 2022). Les architectes de l'agence ARUP à Dubaï travaillent en amont avec des

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

spécialistes pour intégrer la problématique énergétique ; au vu des enjeux énergétiques dans cette région, ils doivent collaborer activement avec des spécialistes dès la formalisation du programme pour intégrer la question de l'efficacité. Les logiciels de modélisation sont limités à la visualisation des concepts du designer. En revanche, les moteurs de calcul numérique réalisent des analyses répétées et évolutives pour simuler les performances du bâti. Ces simulations prédictives dépassent les modèles statiques, en optimisant l'efficacité énergétique à partir des conditions thermiques. Cependant, de nombreux architectes hésitent à adopter des logiciels avancés, tels que ceux répertoriés dans le Tableau (2.1) des outils de conception (Lawrence, 1993).

Tableau 2.1: Typologies des outils d'aide à la conception (inspiré de Lawrence, 1993)

Source :(Gagnon, 2012)

	Perceptuel	Conceptuel
Statique	Croquis Photographie Dessin	Plans Carte
Dynamique	Simulateur	Logiciels de simulation Ordinateur connecté à internet

Au-delà des principes théoriques, La construction de bâtiments écoénergétiques exige un changement des méthodes traditionnelles de conception et de construction. Il est essentiel de réinventer ces approches pour maximiser l'efficacité énergétique tout au long du processus de développement du bâtiment, une approche résolument transversale et interdisciplinaire devra être privilégiée, délaissant les solutions cloisonnées au profit d'une vision d'ensemble intégrée. L'architecte se trouve alors dans une position charnière pour catalyser ce dialogue entre les différents corps de métier. Son rôle est de fédérer les perspectives variées autour d'une vision d'ensemble cohérente, en rassemblant les multiples expertises vers un objectif commun.

5.2. Conception bioclimatique Efficace

L'application des principes de conception bioclimatique aux constructions dans ces zones climatiques peut considérablement améliorer leur efficacité énergétique. Des stratégies telles que la compacité ; l'orientation solaire optimale, l'utilisation de matériaux à faible impact

environnemental et la ventilation naturelle peuvent Améliorer la valeur énergétique des bâtiments et limiter la climatisation. Des études récentes soulignent l'importance de ces méthodes pour abaisser les émissions de dioxyde de carbone (Moslehi, Parsaee, Ashouri et Firouzi, 2022). Dans la conception bioclimatique, des éléments clés comme le choix des matériaux et la configuration géométrique influencent fortement la demande énergétique liée au chauffage et à la climatisation (Brown, 2001; Morrissey et al, 2011). Le bâtiment joue un rôle majeur dans ses propres besoins énergétiques, comme illustré par la figure (2.8), qui montre comment ajuster la forme pour optimiser ou réduire l'absorption solaire.

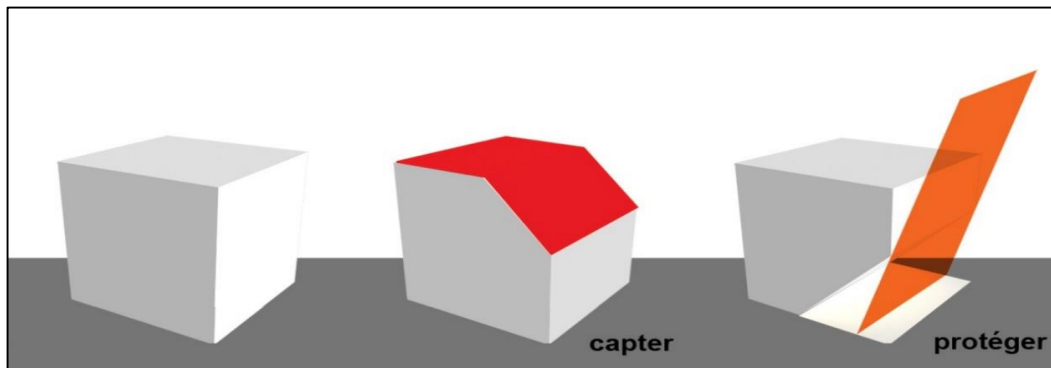


Figure 2.8 : Adaptation volumétrique d'un module simple pour une utilisation optimale de l'énergie solaire en fonction des besoins,
Source : (Gagnon, 2011)

5.3. Le bâtiment a haute efficacité énergétique comme vision nouvelle du secteur

« Nous devons ouvrir les voies d'une architecture environnementale par une approche à la fois conceptuelle, écologique et esthétique. » (Wines Vaye & Michèle ,1997).

Avant de se focaliser sur l'aspect technique, il est important de rappeler que l'objectif premier d'un bâtiment à basse consommation énergétique est d'accueillir des usagers et de remplir sa fonction. Un bâtiment qui économiserait beaucoup d'énergie mais fonctionnerait mal et qui ne serait pas esthétiquement beau ne serait pas satisfaisant. Un bon bâtiment de haute performance énergétique combinant à la fois de bonnes qualités d'usage et une grande qualité environnementale tel que l'illustre la figure (2.9) de la ville de Paris imaginée d'ici 2050 et qui, répond à la demande de l'agence parisienne désirent des prototypes de tours à basse énergie prenant en compte les contraintes écologiques futures. La démarche consiste à faire de son mieux pour tendre vers ce double objectif. Il faut peut-être mettre en place un système d'évaluation qui permette de mesurer la performance énergétique, afin de répondre à la

question suivante : comment concevoir et construire un bâtiment à la fois confortable pour ses occupants et bénéfique pour l'environnement ?



6.

Figure 2.9 : “Paris Smart City 2050” fruit d’une imagination débordante

L’architecte Vincent Callebaut Source : (Doutreligne, 2015)

6.Importance de l'approche passive dans la conception architecturale d'été.

L'approche passive est fondamentale dans la conception architecturale des bâtiments en climat chaud. Elle vise à exploiter au maximum le potentiel du site et les ressources naturelles disponibles avant de recourir à des systèmes actifs énergivores. Cette démarche nécessite des études préalables approfondies, comme le démontré Freewan (2014), dans ses travaux sur l'architecture bioclimatique au Moyen-Orient. La conception passive repose sur plusieurs principes clés :

- L'orientation : minimiser les façades exposées au rayonnement solaire direct.
- La forme : privilégier la compacité du volume, intégrer des protections solaires et des patios ombragés.
- Les matériaux : utiliser des matériaux à forte inertie et à haute isolation thermique
- Les protections solaires : dimensionner et positionner en fonction de la course du soleil.
- La ventilation naturelle : favoriser par une compacité réduite et l'orientation judicieuse des ouvertures.

Ces stratégies permettent de créer un environnement intérieur confortable de manière passive et durable, comme le soulignent Calautit, O'Connor et Hughes (2018), L'architecture

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

vernaculaire offre de précieuses leçons en matière d'adaptation au climat. Par exemple, l'architecture saharienne réduit les ouvertures et maximise l'inertie thermique des murs épais en brique de terre pour filtrer la chaleur (Bouchair, 2019). Les maisons d'argile du Mali illustrent parfaitement cette approche :



Figure 2.10 : Vue des maisons construites en argile à Tombouctou au Mali.

Source : (Paula Rosas, 2022)

L'analyse de ces constructions traditionnelles, comme les tours du Yémen ou les habitations à patio de Ghardaïa, révèle des formes architecturales qui minimisent naturellement le captage solaire. Ces observations ont été confirmées par des études morphologiques détaillées (Chandel et al, 2016).

Dans les régions arides et ensoleillées, des solutions architecturales traditionnelles telles que les patios intérieurs, galeries, moucharabiehs se sont avérées efficaces pour se protéger du soleil brûlant. L'objectif principal est de minimiser les apports solaires excessifs à travers l'enveloppe du bâtiment. Pour améliorer les performances thermiques, plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre :

- Augmenter l'inertie thermique par le choix de matériaux lourds (pierre, brique, béton).
- Utiliser des isolants réfléchissants sur les parois opaques.
- Installer des protections solaires (casquettes, brise-soleil) sur les baies vitrées.

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

- Végétaliser les murs et toitures pour créer un filtre naturel et favoriser l'évapotranspiration.

Ces différentes stratégies passives doivent être intégrées dès les premières phases de conception et optimisées à travers des simulations répétées, comme le recommandent (Ascione, Stasio et al, 2017). L'adaptation de ces principes vernaculaires aux constructions contemporaines offre un potentiel significatif pour réduire la consommation énergétique et assurer le confort des occupants (Amraoui, Sriti et al, 2020). En combinant judicieusement ces stratégies passives, il est possible de créer des bâtiments performants et durables, particulièrement adaptés aux climats chauds.

7. Conception pour minimiser l'exposition au soleil

L'exposition au rayonnement solaire direct est la principale source d'inconfort et de surchauffe en climat chaud. La conception architecturale doit ainsi chercher en priorité à minimiser les apports solaires dans le bâtiment par des solutions passives tel que :

7.1. Forme compacte

Une forme compacte permet de réduire l'enveloppe exposée du bâtiment par rapport au volume intérieur, limitant ainsi les apports solaires. Selon Fernandez et al (2022), *"un bâtiment considéré efficace du point de vue énergétique selon les normes les plus sévères est conçu pour maintenir une enveloppe thermique efficace contre la chaleur"*. Techniquement, ces bâtiments ont un coefficient de forme très bas, réduisant les gains de chaleur au minimum. La sphère, par exemple, présente le facteur de forme le plus faible, mais sa réalisation est souvent complexe. Il est donc plus pratique de minimiser les surfaces exposées tout en respectant les exigences esthétiques, fonctionnelles et structurales de l'architecture.

Augmenter la taille du bâtiment est une méthode pour réduire les gains solaires relatifs, comme illustré dans la figure (2.11). Ce principe doit être vérifié en quantifiant la chaleur pénétrant à l'espace intérieur selon l'effet de la température et du rayonnement (sol - air - température). Selon Al Sanea et Zedan (2012), une forme compacte limite la surface de l'enveloppe et donc les gains par les parois opaques.

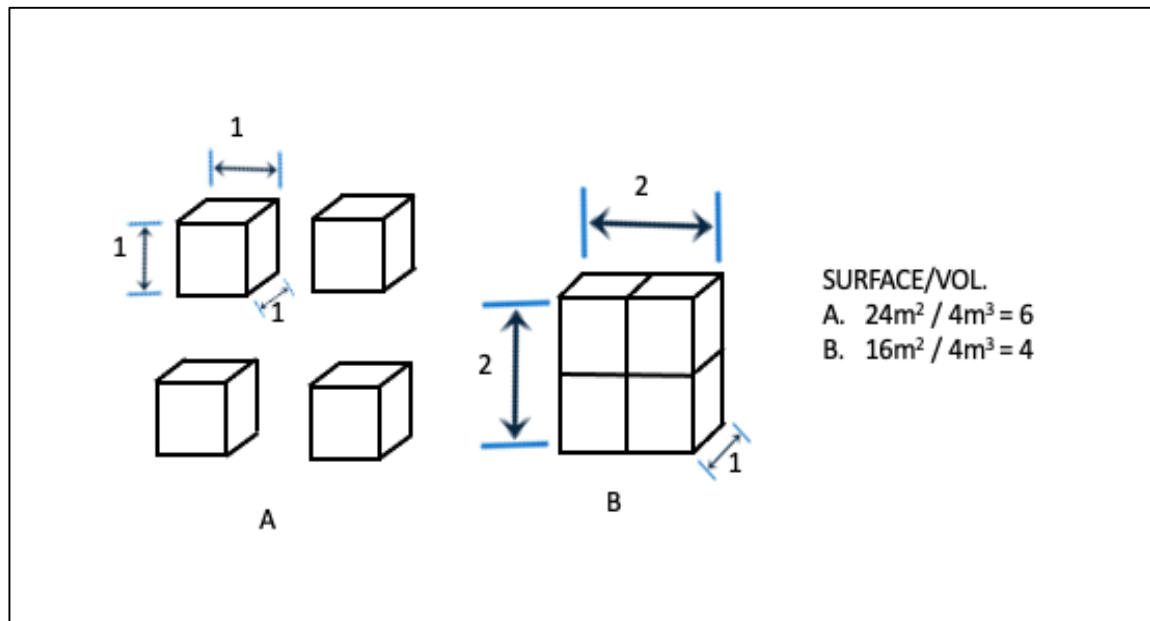


Figure 2.11 : minimisation des surfaces exposées par la densification du volume -la compacité.

Source : (Wright, 1979)

Cependant, il est important de noter que le facteur forme et l'ombrage ne se limitant pas à l'échelle du bâtiment individuel. À l'échelle urbaine, ces facteurs prennent une dimension supplémentaire, influençant considérablement le microclimat et la performance énergétique globale des bâtiments.

La morphologie urbaine, l'effet du canyon, l'ombrage mutuel entre bâtiments, l'albédo urbain et la présence de végétation sont autant d'éléments qui interagissent avec la forme des bâtiments pour déterminer leur efficacité énergétique. Par exemple : Oke et al (2017), ont démontré qu'une conception urbaine optimisée peut abaisser la température de surface de 2 à 4°C comparativement aux zones urbaines sans planification adéquate.

Le coefficient de compacité et le facteur de forme devient des indicateurs pertinents pour concevoir des enveloppes économes en énergie, il est crucial de les évaluer pour prendre en compte les interactions entre le bâtiment et son environnement, afin de maximiser les performances énergétiques dans ces régions.

7.2. Orientation optimale

L'orientation de la façade principale et des espaces de vie revêt une importance cruciale. Pour réduire l'exposition solaire en été, notamment durant les pics de chaleur de l'après-midi. Les bâtiments dont la conception ne prend pas en compte la trajectoire solaire et l'énergie rayonnée présentent des besoins énergétiques accumulés pour leur refroidissement. Une

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

configuration allongée selon l'axe Est-Ouest, avec la façade la plus étendue exposée au Sud où les apports sont minimaux, et des façades Est et Ouest de dimensions réduites face aux apports maximaux, s'avèrent généralement optimales en période estivale. Cette approche est corroborée par les travaux de (Krüger & Sungur, 2020).

La nature mobile de la source solaire exige une stratégie adaptative pour gérer l'exposition de l'enveloppe du bâtiment, particulièrement lors des journées estivales les plus chaudes. Les façades Est et Ouest, ainsi que la toiture, sont les plus vulnérables aux apports thermiques solaires. Il est donc crucial de développer des solutions pour compenser le mouvement solaire et réguler efficacement l'exposition de ces surfaces critiques au rayonnement (Mirakhorli & Dong, 2021).

La performance énergétique des bâtiments dépend fortement de leur orientation, qui ajuste les proportions de leur silhouette. Ce facteur doit être pris en compte en quantifiant les apports de chaleur au travers de l'enveloppe selon deux critères : d'une part, l'étendue des surfaces (L/H , l/H ou L/l) et d'autre part, l'intensité du rayonnement solaire reçu, laquelle varie en fonction de l'orientation et de la configuration morphologique des parois (verticales - Est, Ouest, Sud, Nord -, horizontales, inclinées ou courbes). (Zeroual et Bourbiaa, 2006)

Victor Olgyay en 1962 a fait le calcul des forces thermiques qui influent sur les deux côtés opposés du parallélépipède ($\Sigma c1$, $\Sigma c2$) puis il a mis une condition pour laquelle on peut juger la performance thermique du volume tel que :

$$L \Sigma c1 + l \Sigma c2 = 0 \dots\dots\dots (a).$$

D'où : $\Sigma c1$, $\Sigma c2$ est la somme des forces thermiques (gains), influant sur les deux côtés opposés du volume. L'équation peut s'écrire comme suit : $\Sigma c2 / \Sigma c1 = L / l \dots\dots\dots (b)$,

L'interprétation de l'équation (b) montre que la performance thermique d'un parallélépipède est conditionnée par un rapport entre longueur et profondeur (L, l) qui doit être calculé en tenant compte du rapport entre les gains de chaleur entrant par les deux côtés opposés. Dans les climats chauds et arides, cas de la station de phoenix, V. Olgyay a examiné sa méthode par une expérimentation basée sur le calcul des gains et leur comparaison avec le rapport (L / l) ; à la fin, il a proposé une forme de base pour les conditions d'été, cas du climat chaud et aride, qui est un cube légèrement allongé dans l'axe Est Ouest dont le rapport est $L = l * 1.3$. Ceci est très clair dans la Figure (2.12).

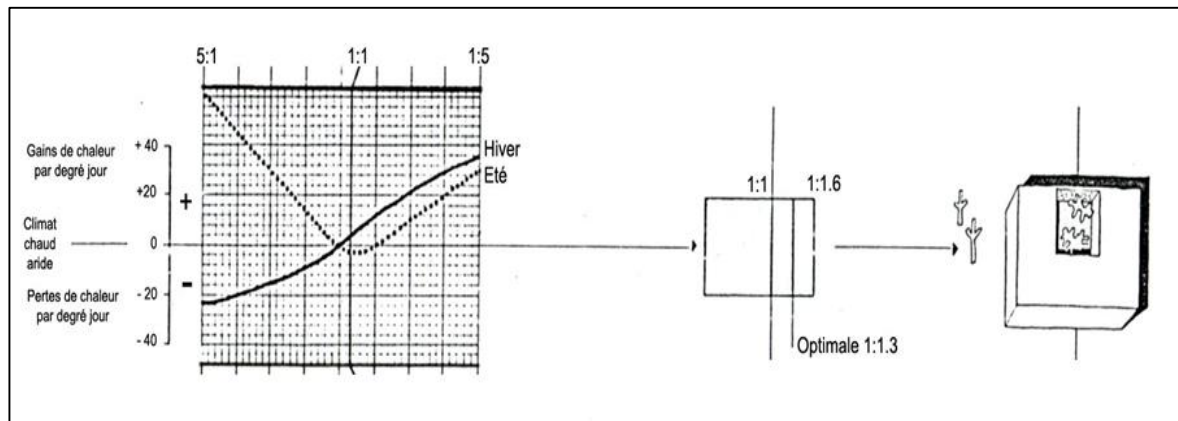


Figure 2.12 : maison séminole Floride, 30*53 m

Source : (Olgyay, 1962)

En préambule, il convient d'identifier la forme optimale pour garantir une performance énergétique satisfaisante de l'enveloppe bâtie, en adéquation avec les exigences des régions à climat chaud et aride. Ensuite, il s'avère primordial de déterminer avec précision les caractéristiques morphologiques et les dimensions de ces différentes surfaces, voire leurs proportions respectives, dans le but d'aboutir à un édifice offrant un environnement intérieur de qualité supérieure, doté de systèmes techniquement durables.

7.3. Protections solaires des ouvertures.

Dans les climats chauds et arides, les protections solaires sont essentielles à la performance énergétique des bâtiments. Leur efficacité dépend de trois facteurs clés :

- Dimensionnement adapté (blocage estival, pénétration hivernale).
- Positionnement optimisé pour intercepter le rayonnement direct.
- Prise en compte de la course solaire et des masques proches.

Ces protections peuvent prendre diverses formes : casquettes, débords de toiture, brise-soleil ou végétation caduque. Le rayonnement solaire, surtout dans le proche infrarouge, peut représenter jusqu'à 40% des gains thermiques totaux à travers les vitrages (Long et al, 2022 ; Garde et al, 2014). Une modélisation géométrique précise des effets d'ombrage est donc cruciale dès la conception initiale. Freewan (2014), a démontré qu'une géométrie optimisée des débords de toiture peut bloquer 80% du rayonnement solaire estival et seulement 40% en hiver sur les façades ouest dans le désert jordanien (Ascione et al, 2017). Pour maximiser l'efficacité, recommandent :

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

- Des simulations répétées des principes de compacité et d'orientation
- L'analyse détaillée pour quantifier l'influence des paramètres sur les performances
- La détermination d'un ratio optimal surface/volume et d'une orientation préférentielle

7.4. Traitement des parois horizontales

En ce qui concerne les parois horizontales, une attention particulière doit être portée à la toiture. Une isolation renforcée, l'application de peintures réfléchissantes et l'utilisation de toitures jardins ou de toits parasol sont des solutions efficaces. Santamouris (2015), a démontré que la toiture reçoit plus de 70% du rayonnement solaire total sur une enveloppe de bâtiment sous ces climats. Des isolants réfléchissants peuvent diminuer ces apports de 35%. ; Nous soulignons que ces approches "passives" reposent avant tout sur une bonne compréhension et intégration des spécificités du climat local dès les premières phases de conception. Bien sûr de nombreuses autres solutions existent. L'ensemble formant un arsenal pour lutter contre les surchauffes estivales. Au final, les choix judicieux en amont de la conception permettent de garantir le confort d'été sans climatisation dans ces régions.

8. Mesures d'évaluation de l'efficacité de l'enveloppe des bâtiments dans ces climats

L'impact des constructions sur leur milieu immédiat est considérable, affectant le sol, la biosphère et les conditions microclimatiques. L'intensité de ces effets est directement liée à l'ampleur des modifications géométriques que la forme et la disposition des bâtiments jouent un rôle crucial dans la transformation du paysage local et de ses dynamiques écologiques. Ces changements sont plus marqués en milieu urbain qu'en zone rurale et leur importance varie selon trois paramètres principaux :

- La masse physique globale des bâtiments à l'échelle d'un îlot ou d'un quartier, qui modifie l'inertie thermique et les échanges énergétiques (Lo et Quattrochi, 2003)
- Les propriétés des enveloppes externes telles que l'albédo, l'émissivité, la rugosité et la compacité qui influent sur les transferts radiatifs (Santamouris, 2015) ;
- La configuration géométrique et volumétrique des édifices et leur agencement, déterminants pour les effets d'ombrage porté et le régime des vents (Ratti et al, 2005).

Les recherches de Perera (2020) et Zhao (2021) ont analysé divers paramètres pour évaluer la performance énergétique et l'empreinte écologique d'un ensemble architectural, même à un niveau local. Il serait pertinent de développer un logiciel de modélisation. Un tel

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

modèle permettrait d'évaluer l'effet de différentes configurations d'enveloppes sur la consommation énergétique des bâtiments (Hachem et Fazio, 2011).

L'hypothèse de travail serait que la forme de l'enveloppe, qui conditionne les échanges thermiques avec l'extérieur, peut constituer un bon indicateur traduisant la performance énergétique, et l'influence climatique au final. En effet, contrairement aux seuls matériaux constructifs, les propriétés morphologiques des enveloppes ont l'avantage de modéliser les interactions avec le climat local. Elles sont également pertinentes pour une analyse multi-échelle, de l'édifice à l'ensemble urbain (Pacheco, 2022).

Cette méthode permet d'évaluer pratiquement l'influence des variations géométriques de l'enveloppe sur le confort intérieur et l'efficacité énergétique. Les simulations dynamiques et paramétriques offrent un outil précieux pour cette analyse, intégrant finement les données météorologiques, permettraient de quantifier ces phénomènes. Face au défi climatique, l'enjeu prioritaire réside dans le renforcement des réglementations pour améliorer la performance du cadre bâti. Parmi les leviers d'action, la conception de l'enveloppe nous semble centrale. Deux questions essentielles se posent alors : Quelles configurations d'enveloppe bâtie sont les plus adaptées aux conditions climatiques chaudes et arides? Et Comment la morphologie architecturale peut-elle optimiser l'efficacité énergétique et minimiser l'impact environnemental des bâtiments ?

Ces problématiques s'inscrivent pleinement dans une démarche de développement durable, en lien avec les questions de santé et d'environnement. Ainsi, nos objectifs seraient :

- La recherche et la modélisation de l'équilibre entre le bâtiment, le climat et les usagers dans une visée bioclimatique.
- Le suivi scientifique de projets expérimentaux dans ce domaine.
- La collaboration pluridisciplinaire autour des modèles numériques.
- L'analyse de l'efficacité énergétique de différentes configurations d'enveloppes pour le tertiaire, en lien avec le confort ressenti.

L'objectif est d'exploiter des simulations avancées pour améliorer l'architecture durable. La figure (2.13) montre comment la forme, les dimensions et la mitoyenneté influencent

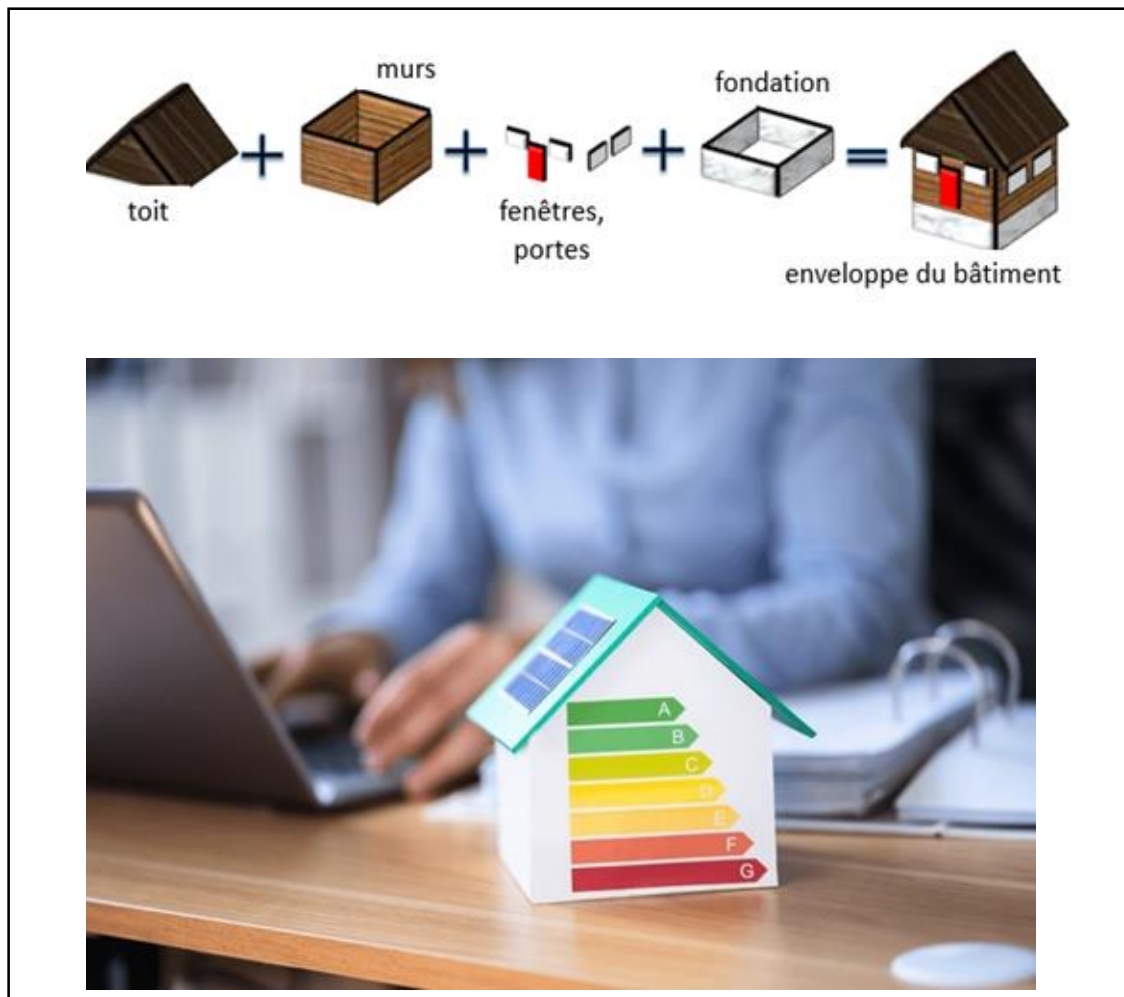


Figure 2.14 : illustration du rôle de l'enveloppe des bâtiments dans l'amélioration de la performance énergétique

Source : (IKO Global, 2019)

Pour les régions au climat chaud et aride, la priorité est de limiter l'apport solaire en optimisant l'efficacité énergétique de l'enveloppe du bâtiment, cela suppose l'optimisation de la géométrie et l'utilisation de la ventilation nocturne évacuant la chaleur emmagasinée. (Attia et Carlucci, 2015). Une approche par simulation est pertinente pour explorer les configurations optimales d'enveloppes et quantifier les économies d'énergie associées (Roulet, 2004 ; Kim et al, 2019). Dans une optique de développement d'une conception durable est de minimiser la consommation énergétique pour répondre aux problèmes énergétiques. (Abraham Seno et al, 2019)

Plusieurs techniques, appliquées à la conception de l'enveloppe, permettent de limiter efficacement les gains dans les bâtiments sous climat chaud et aride. Tout d'abord, l'orientation doit chercher à minimiser l'exposition aux rayonnements solaires, en particulier

l'après-midi lorsque ceux-ci sont les plus intenses (Garde et al, 2014). De plus, la compacité du volume bâti conditionne les surfaces de déperditions : un ratio de compacité élevé sera recherché (Wang et al, 2022). Ensuite, des protections solaires adaptées (casquettes, brise-soleil, végétation caduque...) doivent être prévues sur toutes les façades exposées. Leur dimensionnement dépendra de la course du soleil selon la latitude (Mataet al, 2021).

Également, l'inertie thermique élevée de certains matériaux de construction (béton, brique) amortit et décale les pics de chaleur par stockage/déstockage, limitant les surchauffes (Ascione et al, 2018). Enfin, la ventilation naturelle nocturne permet d'extraire la chaleur emmagasinée dans la masse et de diminuer les températures intérieures. L'association optimisée de ces techniques offre des potentiels d'économie d'énergie de 30 à 50% dans cette catégorie de bâtiments et ce type de climat chaud et sec (Kim et al, 2019 et Fernandez et al, 2022).

10. Amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe en climat chaud et aride

L'optimisation de l'efficacité énergétique des enveloppes dans les régions aux climats extrêmement chauds nécessite une approche proactive dès les phases initiales de conception. Les décisions prises au début du projet sont cruciales car elles déterminent largement la performance thermique future du bâtiment. La gestion efficace des apports thermiques et solaires est primordiale pour définir le comportement thermique global de la structure. Dans ces environnements climatiques rudes, le risque de surchauffe constitue un défi majeur que l'enveloppe du bâtiment doit impérativement maîtriser.

Les recherches de Ryu et al (2019), démontrent que plus de 70% du potentiel d'efficacité énergétique d'un bâtiment est défini de sa conception Cette découverte souligne l'importance des décisions prises dès les premières étapes de conception pour optimiser la performance énergétique globale. Les choix initiaux concernant la forme, l'orientation et les caractéristiques de l'enveloppe ont donc un impact déterminant sur la capacité du bâtiment à minimiser les gains thermiques indésirables tout au long de sa durée de vie. Les choix faits en aval ont une influence assez limitée. Ceci est confirmé par le projet SOLAN, portant sur une maison individuelle au Caire (Kim et al, 2019). L'optimisation dès la phase de préconception peut entraîner une réduction de plus de 80% des besoins en climatisation. Une analyse paramétrique réalisée par (Mohamed et al, 2020) à un constat similaire. Selon leurs simulations, modifier la compacité globale du bâtiment impacterait ses consommations de

climatisation quasi autant que le passage d'un simple à un double vitrage sur toutes les façades.

Ces différents travaux montrent clairement que les choix morphologiques initiaux, touchant à la fois la volumétrie et l'enveloppe, sont déterminants vis-à-vis des objectifs de performance énergétique. Une attention particulière doit leur être portée en phase amont de conception.

Conclusion

L'analyse des principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides souligne L'adoption d'une approche globale dès le début de la conception est essentielle. Diminuer la consommation d'énergie dans ces zones repose principalement sur une conception judicieuse de l'enveloppe du bâtiment, véritable interface entre l'environnement extérieur hostile et les espaces intérieurs à maintenir confortables.

Sous les conditions extrêmes des régions arides, environ 50% des surfaces opaques des bâtiments sont soumises à des températures dépassant les limites tolérables (Brown, 1983). L'enveloppe joue donc un rôle primordial pour filtrer et réguler les flux thermiques, bien au-delà des accessoires tels que balcons, loggias et brise-soleil qui n'interviennent qu'a posteriori. Les stratégies clés identifiées pour une conception bioclimatique efficace incluent

1. L'optimisation de la compacité : un facteur de forme faible (ex : 0,2 pour une tour de bureau) peut réduire jusqu'à 38% des charges de rafraîchissement (Mohamed et al, 2022).
2. La gestion des surfaces vitrées : limiter à 10-15% de la surface des façades et protéger par des casquettes dimensionnées (Kim et al, 2019).
3. L'utilisation judicieuse des protections solaires : l'usage des protections horizontales et le dimensionnement adapté à la course du soleil permet une réduction de 65% des gains (Ascione et al, 2017).
4. Le choix de matériaux à haute inertie thermique : privilégier une inertie élevée pour le stockage/déstockage, avec isolation renforcée des parois exposées (Long et al, 2022).
5. L'utilisation de couleurs claires : blanchir les murs et toitures pour une meilleure réflectivité et moins de 10% d'absorption du rayonnement (Al-Khaled et al, 2022).
6. La maximisation de la ventilation naturelle nocturne : utiliser des patios, cheminées ou autres dispositifs pour favoriser la ventilation.

CHAPITRE II : Principes de conception bioclimatique pour les climats chauds et arides

Au-delà de ces stratégies, L'étude approfondie de la forme du bâtiment est cruciale pour maîtriser les apports solaires. L'enjeu est d'identifier les configurations morphologiques idéales, en considérant l'orientation, le volume, la forme et la compacité, afin de réduire au maximum les apports thermiques indésirables. Cette approche bioclimatique, appliquée à la conception des enveloppes architecturales, permet d'obtenir des bâtiments confortables en été comme en hiver, sans recours excessif à la climatisation artificielle. Elle démontre le potentiel de l'architecture à répondre aux enjeux environnementaux tout en limitant le recours à des solutions énergivores de correction du confort intérieur.

La réflexion approfondie sur les interactions entre l'enveloppe et le climat, ainsi que des choix morphoclimatiques pertinents, ouvrent des perspectives prometteuses pour une architecture durable dans les régions chaudes et arides. Cette stratégie améliore à la fois la durabilité environnementale et le confort des occupants.

Fort de cette compréhension des principes bioclimatiques, Le chapitre suivant examine comment la morphologie de l'enveloppe impacte la performance énergétique en climat chaud, s'appuyant sur les principes bioclimatiques précédemment exposés.

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

Introduction

Cette section examine en détail l'impact des caractéristiques architecturales extérieures de l'enveloppe sur l'efficacité énergétique des constructions situées dans des régions aux conditions climatiques exigeantes. Elle s'appuie sur les constats précédents pour explorer la relation entre forme et efficacité énergétique, en adoptant une approche quantitative basée sur la modélisation et la simulation numérique. L'investigation antérieure a confirmé que le choix d'une enveloppe adaptée aux contraintes climatiques doit être une priorité dès la conception initiale. La forme du bâtiment, via ses attributs morphologiques, dimensionnels et son orientation, doit répondre à l'objectif de réduction des apports solaires excessifs pour garantir le confort thermique interne (Ourghi et al, 2021). Selon Brown (1983), Dans ces conditions, une proportion significative - jusqu'à la moitié - des parois non transparentes de l'édifice risque d'être soumise à des niveaux thermiques nettement plus élevés que ceux de l'atmosphère environnante.

Notre étude vise à caractériser la corrélation entre les particularités géométriques de l'enveloppe et son comportement thermique. Pour ce faire, Notre étude débutera par une analyse approfondie de la littérature scientifique existante, fournissant ainsi une base de connaissances solide. Cette fondation nous permettra de développer une méthodologie de simulation précise et fiable, d'élaborer un modèle théorique pertinent, et de concevoir un protocole expérimental complet et validé. Nous présenterons la méthodologie choisie, justifiant le choix des outils de simulation et détaillant les indicateurs clés tels que la compacité, le facteur de forme, l'orientation, et les propriétés des matériaux. Les stratégies passives viseront à minimiser les gains en modelant les surfaces via une conception bioclimatique globale (Mohamed & al, 2014; Pacheco et al, 2022). L'analyse des résultats inclura la classification des configurations selon leur efficacité énergétique et le développement d'un méta-modèle statistique.

Cette méthodologie rigoureuse nous aidera à déterminer les conceptions d'enveloppe architecturale les mieux adaptées aux régions chaudes et sèches. Notre analyse se penchera sur l'influence des diverses caractéristiques morphologiques interagissant pour influencer la performance thermique globale du bâtiment. Cette analyse approfondie nous aidera à dégager des principes de conception applicables dans divers contextes architecturaux et urbains.

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

Cette recherche étudie l'impact de l'enveloppe des bâtiments sur leur performance énergétique en climat chaud et aride. L'objectif est d'établir des lignes directrices de conception bioclimatique fondées sur des données probantes, afin d'accompagner les professionnels dans le développement d'une architecture durable adaptée aux zones chaudes.

1. Revue de littérature

Cette section vise à élargir et approfondir notre compréhension des diverses méthodologies employées dans la recherche scientifique pour estimer la relation forme d'enveloppe et l'efficacité énergétique. Notre analyse se structurera chronologiquement, en mettant l'accent sur l'évolution des approches et des outils utilisés au fil du temps.

Premières études sur la morphologie et l'énergie (années 1970-1990)

- Examen des travaux pionniers établissant les liens entre forme du bâtiment et consommation énergétique
- Analyse des méthodes empiriques et analytiques initiales

Émergence des simulations numériques (années 1990-2000)

- Introduction des premiers logiciels de simulation thermique dynamique
- Comparaison entre les approches statiques traditionnelles et les nouvelles méthodes dynamiques

Développement des études paramétriques (années 2000-2010)

- Essor des analyses de sensibilité pour identifier les paramètres morphologiques clés
- Analyse des recherches portant sur l'amélioration des configurations architecturales

Assemblage des systèmes constructifs formant l'enveloppe bâtie (années 2010-2020)

- Analyse des relations entre l'enveloppe bâtie et le comportement thermique des bâtiments
- Évaluation de l'influence de l'efficacité des fenêtres, de l'isolation et de la masse thermique en fonction de la morphologie de l'enveloppe.

Approches avancées de modélisation (2020 à aujourd'hui)

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

- Exploration des méthodes de simulation paramétrique, comme celles d' (Ourghi et al, 2021)
- Analyse des techniques d'optimisation multi-objectifs, telles que proposées par (Pacheco-Torres et al, 2022)

Comparaison entre bâtiments isolés et groupés :

- Perfectionnement des recherches sur l'influence de la compacité urbaine et des phénomènes d'ombrage.
- Comparaison des approches d'évaluation entre édifices uniques et groupes de constructions

À travers cet examen chronologique et thématique, nous mettrons en lumière les avancées significatives dans la compréhension des liens entre morphologie et efficacité énergétique. Nous soulignerons également les lacunes potentielles dans la littérature existante, ouvrant ainsi des pistes pour notre propre recherche.

Cette revue critique nous permettra d'identifier les méthodes les plus fortes et les plus adéquates pour notre étude. Nous estimerons en particulier le potentiel des simulations numériques dynamiques récentes, qui offrent la possibilité de quantifier avec précision l'influence des paramètres morphologiques sur les flux thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment.

En conclusion, cette analyse approfondie de la littérature scientifique constituera le socle théorique et méthodologique de notre recherche. Elle nous guidera dans le choix d'une approche rigoureuse et scientifiquement validée pour estimer l'efficacité énergétique de l'enveloppe habitée, en tenant compte de sa morphologie et de ses composants constructifs.

1.1. Jean Michel Bloch Laine 1979

La morphologie d'un bâtiment influence significativement son équilibre thermique. Une forme compacte réduit la surface d'échange avec l'extérieur, limitant les apports de chaleur estivaux. Pour un même volume habitable, le choix entre une forme allongée et cubique peut doubler les besoins énergétiques. Une morphologie optimisée peut réduire la consommation de 25%, tandis qu'une forme défavorable peut l'augmenter jusqu'à 100% tel qu'exprime la figure (3.1). La forme architecturale est donc un levier énergétique crucial, à considérer dès

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

les premières phases de conception pour maîtriser les besoins énergétiques futurs du Bâtiment.

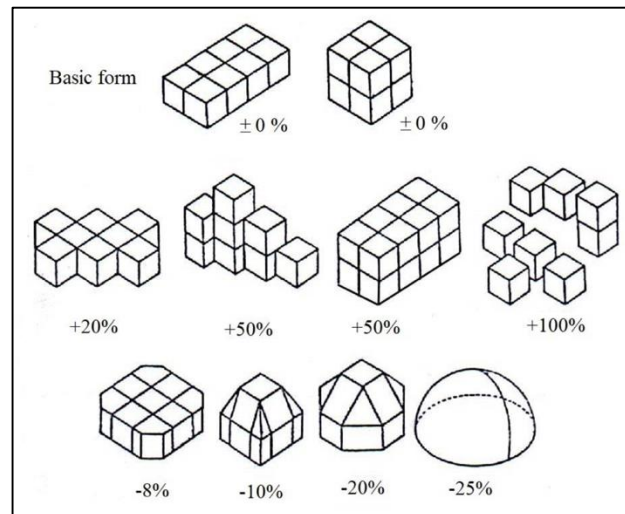


Figure 3.1 : Variation des besoins en chauffage pour un même volume selon la forme du bâtiment

Source : (Bloch Laine, 1979)

JL Vincent a proposé en 1987 Une technique pour estimer l'efficacité énergétique des structures architecturales. Cette technique repose sur l'assemblage d'unités cubiques standardisées 5,4 m pour créer un volume de 150 m³ sur 58 m² au sol tel exprime la figure (3.2) Cette approche visait à étudier l'impact de la forme sur les besoins énergétiques à volume constant. Les résultats confirment les théories de JMB Laine, soulignant l'importance du facteur de forme (rapport surface/volume) sur la performance énergétique globale du bâtiment.

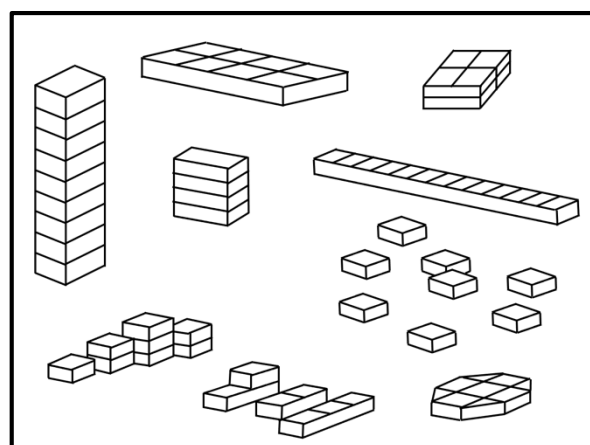


Figure 3.2 : typologie des modèles générés par les 8 modules cubiques de 5.4m de côté utilisé par

l'INSA de Lyon.

Source : (Vincent, 1987)

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâtis comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

La morphologie d'un bâtiment peut être optimisée pour tirer parti des aspects bénéfiques du climat local et minimiser l'impact des facteurs défavorables. La configuration architecturale doit s'harmoniser avec les exigences du climat local. En zones chaudes et sèches, l'efficacité énergétique dépend largement de la capacité à maintenir un confort intérieur malgré un rayonnement solaire extrême. L'objectif est alors de limiter les gains thermiques via une configuration géométrique compacte tel que les configurations proposées par (Evans, 1979) ; dans la figure (3.3).

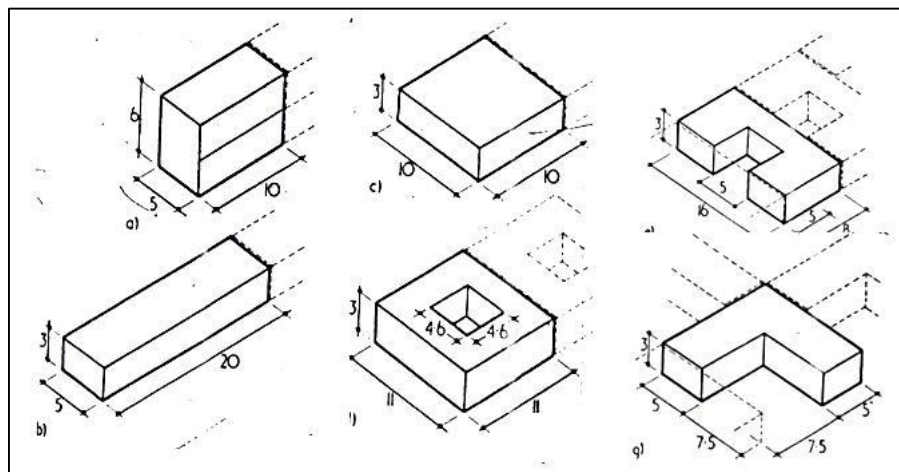


Figure 3.3 : formes proposées selon les résultats de l'étude de la performance

Source : (Evans, 1979)

Parmi les résultats significatifs de l'étude incluent des constats sur les demandes thermiques variées associées aux diverses configurations architecturales en milieu chaud et sec, synthétisées (tableau 3.1). Cette ressource documentaire fournit une analyse détaillée des liens entre la géométrie du bâti, les conditions climatiques locales et le confort intérieur qui en découle.

Tableau 3.1 : résumé des besoins pour les formes de maisons, en relation avec le climat chaud et aride

Source : (Evans, 1979)

Climat	Besoins recherchés	Objectif
Chaud et aride	Minimiser la surface des murs Ouest	Réduire les gains de chaleur
	Minimiser la surface de l'enveloppe	Réduire les gains de chaleur

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

	Augmenter la hauteur de la construction	Introduire la capacité thermique
	Réduire les surfaces des ouvertures	Le contrôle de la ventilation, les gains et l'éclairage

1.2. V. Gupta, 1986

Une étude de la performance thermique de trois architectures (pavillons, parallélépipèdes et cours) vise à déterminer l'implantation optimale. Analysés isolément, en groupe et avec espace extérieur, ces types posent des défis : le comportement thermique de formes assemblées se complexifie avec les effets d'ombre. Dès lors, des chercheurs comme Gupta, Knowles et Al ont élaboré des techniques de représentation numérique et photographique pour appréhender spécifiquement cette interaction. Leur approche générique pallie les contraintes inhérentes à la modélisation thermique des morphologies dans leur contexte urbain.

H_w : Le rapport de la

Hauteur du bâtiment par la

Profondeur de la rue.

N : nombre de pavillons, de

Cours ou de blocs.

L : la longueur du bâtiment

W : la largeur du bâtiment

H : la hauteur du bâtiment

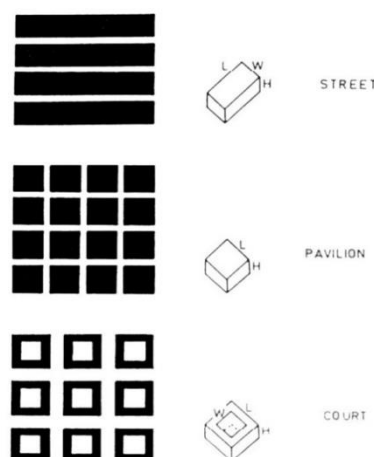


Figure 3.4 : Les trois types (street, pavillon, court)

Source : (Gupta, 1986)

Tableau 3.2 : les caractéristiques géométriques des trois types (le pavillon, le parallélépipède, la cour) concernés par l'étude

Source : (Gupta, 1986)

Type	Variables	Volume	Surface de l'enveloppe	Surface de la toiture
Pavillon	L, H, N, H_w	$L^2.H.N^2$	$N^2 L (L+4H)$	$L^2.N^2$
Parallélépipède de	L, W, H, N, H_w	$L. W. H. N$	$N. W. L+2H (L+W)$	$N. L. W.$

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

A Cour	L, W, H, N, H _w	4. H.W.N ² (L+W)	4. N ² .W (L+W) +2H (L- W)	4. W.N ² (L+W)
--------	-------------------------------	--------------------------------	--	------------------------------

Les propositions établies pour l'efficacité de la forme des constructions vis-à-vis à l'exposition au soleil sont : Le facteur de performance d'un bâtiment isolé :

$$E_w = \frac{\text{Exposition hiver}}{\text{Exposition été}} \times 100\%.$$

Le facteur de performance d'un bâtiment dans un groupement :

$$E_s = \frac{\text{Exposition été}}{\text{surface sole exposée été}} \times 100\%$$

Menée par Anis Sidiqi (1986), puis Carlo Ratti et al (2003), cette étude visait à déterminer la morphologie optimale dans les climats chauds et arides conciliant densité et efficacité énergétique. En appliquant la méthode du coefficient de forme ($C_f = S/V$), ils ont démontré que : La maison à cour constitue le meilleur choix, grâce à son rapport surface/volume plus faible. Le pavillon isolé est quant à lui très dépendant de son orientation, du fait de sa compacité limitée.

1.3. J. Louis Izard et Pierre André Bernard, 1987

La simulation de la performance thermique peut s'appuyer sur l'étude de modèles réels. Cette approche consiste à évaluer la consommation d'énergie d'habitations et d'édifices de grande taille déjà construits. L'analyse prend en compte leurs caractéristiques particulières telles que la géométrie, les dimensions, la masse thermique et les modes d'utilisation. L'examen des données captées sur le terrain permet de déterminer l'impact relatif de ces divers facteurs. Néanmoins, cette méthode est plus propice à la validation de résultats qu'à la modélisation paramétrique visant à optimiser les configurations. Ainsi, J.L. Izard a examiné les besoins thermiques de plusieurs types de maisons individuelles sur trois sites climatiques, en faisant varier tour à tour divers facteurs d'analyse thermique.

1.4. Knowles Ralph. L, 1994

Une étude menée à 35°N (New Mexico) a montré que la géométrie solaire dicte la morphologie optimale pour contrôler les apports solaires (solar envelope). Celle-ci dépend

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

également de l'utilisation du bâtiment et des techniques de construction employées. Pour évaluer et comparer les propriétés thermiques des différentes formes architecturales, certains indicateurs sont utilisés :

- Coefficient d'efficacité de la forme $\frac{E_i}{E_m}$: rapport entre l'énergie reçue par les surfaces et celle avec exposition plein sud.
- Coefficient d'efficacité énergétique $\frac{E_{vt} + E_{ht}}{E_{mt}}$: comparaison des transmissions par parois.
- Coefficient d'orientation $\frac{E_w}{E_s}$: équilibre des apports entre façades sud et ouest.

Interconnectés avec d'autres indices morphologiques, ces coefficients évaluent finement la performance.

Limites : vue la difficulté d'application numérique sur des géométries circulaires, organiques ou complexes. La discrétisation en cubes simplifie l'analyse en approchant la forme réelle par son enveloppe.

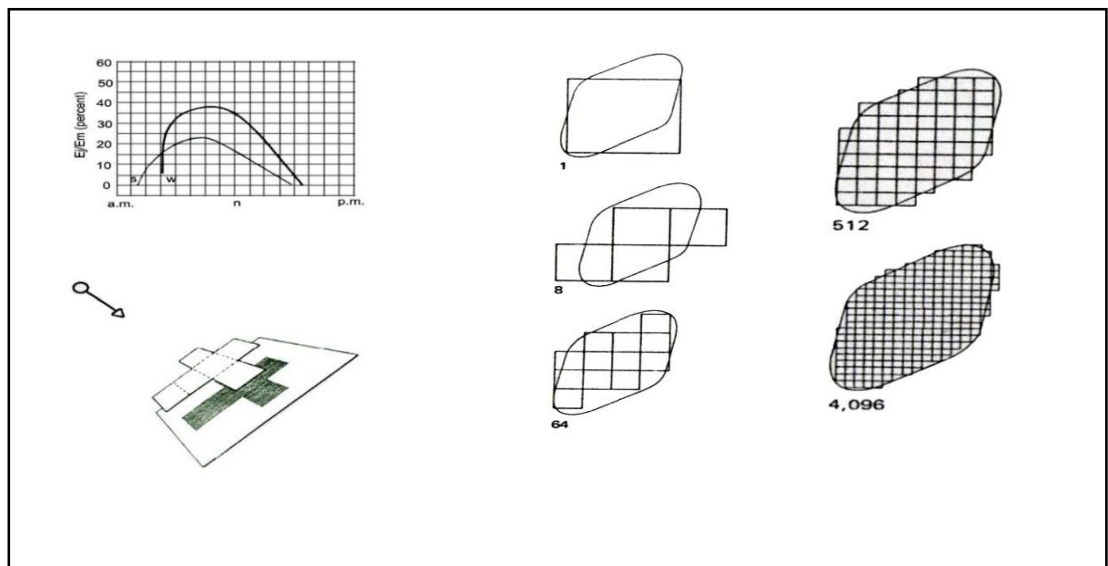


Figure 3.5 : approximation de l'enveloppe pure d'un même volume

Source: (Knowles, 1994)

1.5. P. Depecker, C. Menezo, J. Virgone, S. Lepers: 2001

Une étude a analysé le lien entre morphologie des bâtiments et consommation énergétique, dans l'optique de fournir des règles d'expertise aux architectes et ingénieurs. La méthodologie repose sur :

- La définition d'un coefficient de forme comparant surface d'enveloppe et volume intérieur.
- La simulation des besoins en chauffage de 14 bâtiments aux typologies variées.
- La comparaison des consommations pour un même volume mais des compacités différentes.

Les résultats obtenus en climat extrême démontrent que la compacité réduit significativement les déperditions thermiques. Ils permettent ainsi d'élaborer des recommandations de conception qui prennent en considération l'influence de la forme architecturale sur l'efficacité énergétique.

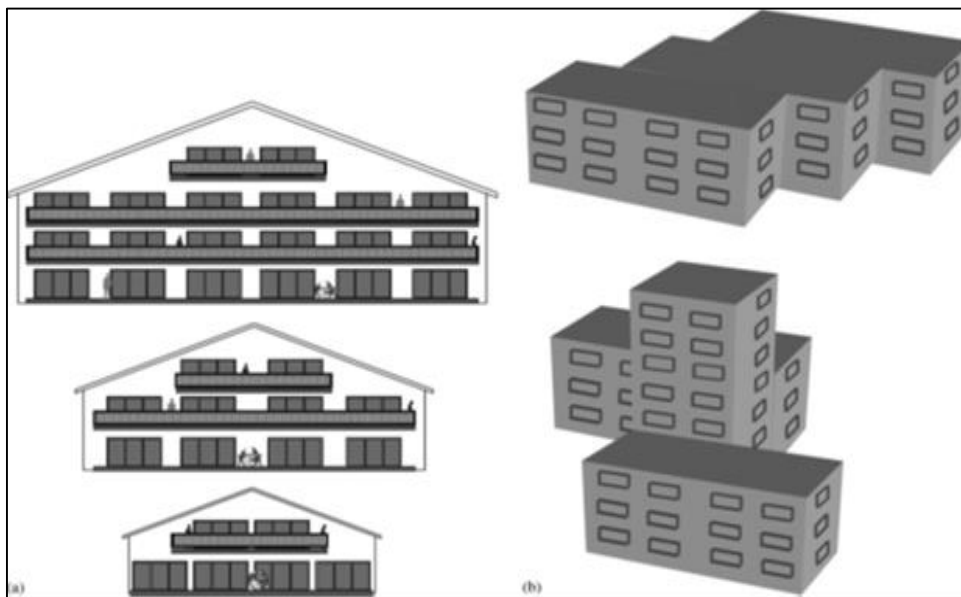


Figure 3.6 Les deux situations possibles pour l'étude de la forme des bâtiments.

Source: (Depecker et al, 2001)

(a) Les deux situations possibles pour l'étude de la forme des bâtiments. Cas n°1 : La forme des bâtiments est constante, leurs dimensions sont différentes ; (b) Les deux situations possibles pour l'étude de la forme du bâtiment. Cas n°2 : La forme des bâtiments change, leur taille reste la même.

1.6. Carlo Ratti, Dana Raydan, Koen Steemers; 2003

Cette étude réévalue le travail originel de Leslie Martin sur les archétypes de formes urbaines, sous l'angle de performances environnementales, dans les climats chauds et arides. Martin et al. Avaient identifié dans les années 60 des typologies génériques pour examiner l'utilisation optimale du sol. Leur démarche est ici réappliquée:

- Analyse des archétypes par traitement d'images
- Application au tissu en cours de Marrakech
- Comparaison des variables : ensoleillement, facteur de vue ciel

La cour offre de meilleurs résultats grâce à son ratio surface/volume, son facteur de vue réduit, et sa création d'un microclimat ombragé.

Ainsi, l'adaptation de la forme urbaine au climat est déterminante. La cour, introvertie avec patio central, est mieux adaptée aux contraintes des contextes chauds et arides.

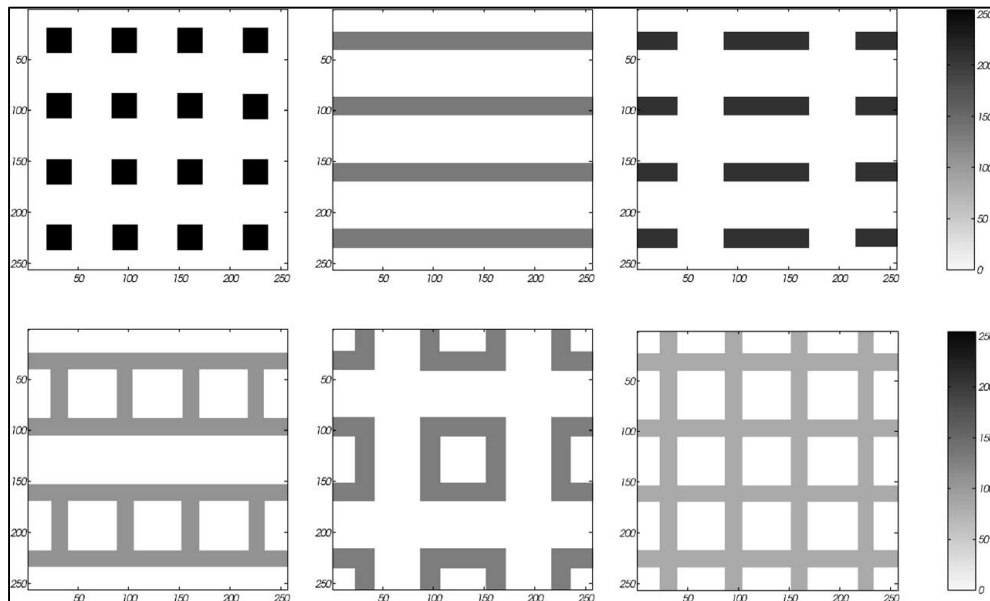


Figure 3.7: DEM des formes urbaines génériques présentées

Source: (Ratti et al, 2003)

1.7. JL Vincent; 2007

JL Vincent a étudié l'impact de la forme sur l'efficacité énergétique en assemblant des modules cubiques pour créer un volume constant. L'étude valide l'impact significatif du ratio surface/volume sur l'efficacité énergétique des constructions. Ces conclusions

viennent appuyer les concepts développés par JMB Laine concernant l'influence de la géométrie du Bâtiment sur sa consommation énergétique.

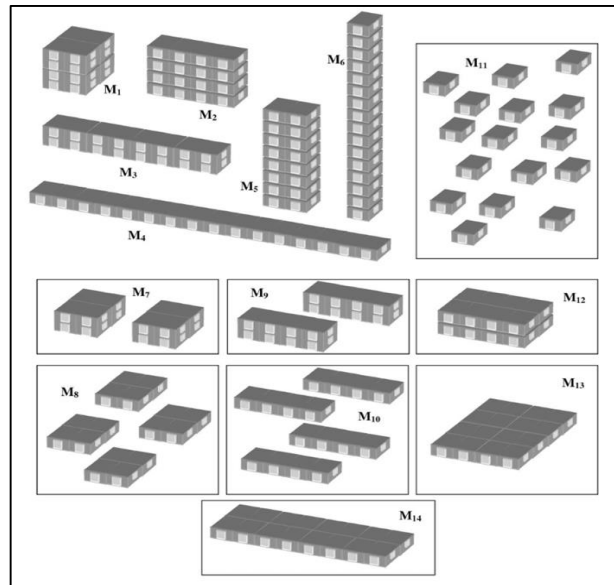


Figure 3.8: Modélisation du bâtiment en combinant des modules unitaires

Source: (Vincent, 2007)

1.8. Idil Erdemir Kocagil, Gül Koçlar Oral: 2015

Cette étude analyse l'influence de l'enveloppe des bâtiments et du tracé urbain résultant sur la consommation de l'énergie dans l'architecture traditionnelle de Diyarbakır, ville au climat chaud et sec. Utilisant DesignBuilder pour simuler diverses configurations, la recherche compare les besoins en climatisation. Les résultats confirment que les maisons à cour intérieure et les tracés compacts sont les plus efficaces, tandis qu'une trame urbaine dense réduit les charges de refroidissement, surtout avec un faible ratio surface/volume. L'étude conclut que l'intégration de ces principes traditionnels dans l'architecture contemporaine pourrait optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments en climat chaud.

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

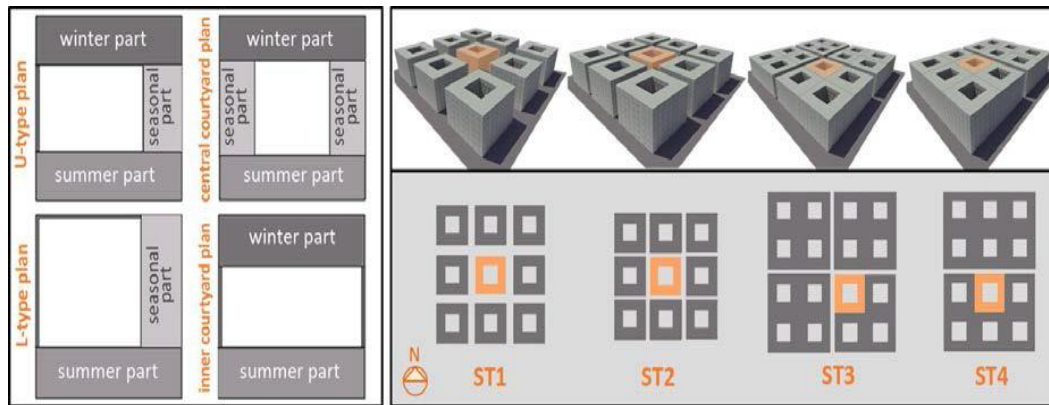


Figure 3.9 : Alternatives au type de plan et à la texture du règlement

Source : (Kocagil et Koçlar, 2015)

1.9. Mamdooh Alwetaishi et Ahmed S. Elamary; 2016:

Cette étude analyse l'influence de l'enveloppe des bâtiments sur l'efficacité énergétique et le coût structurel. En modélisant 7 formes à volume constant et en simulant leur comportement thermique, ils démontrent que les formes à moins de côtés (triangle, pentagone) sont plus performantes énergétiquement grâce à l'autoprotection solaire. Bien que le cercle soit le moins coûteux, les formes efficaces n'entraînent qu'un surcoût mineur de 3-12%. L'étude conclut que les formes à cinq côtés ou moins offrent le meilleur compromis énergétique et économique, soulignant l'influence significative du nombre de côtés sur les performances globales du bâtiment.

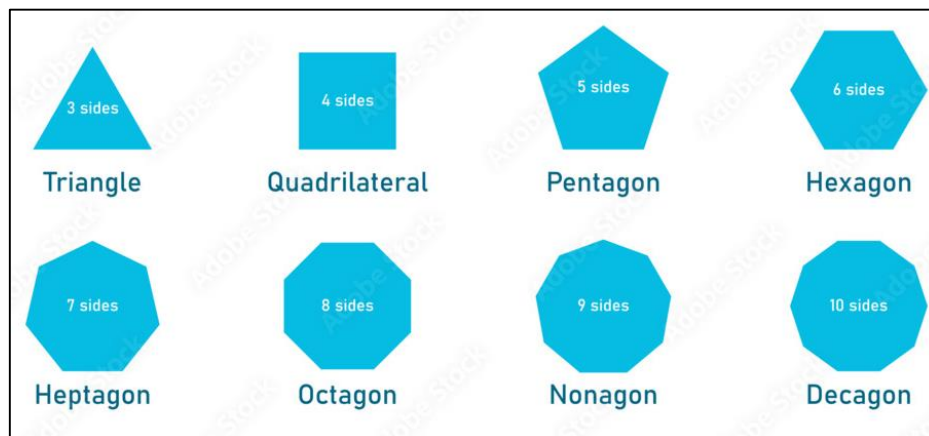


Figure 3.10 : les modèles étudiés qui ont le même volume de bâtiment et des formes différentes

Source : (Mamdooh et al, 2016)

1.10. Laëtitia Arantes, Solène Marry, Olivier Baverel et Daniel Quenard Date ; 2016

L'étude d'Arantes et al (2016), examine le lien complexe entre forme urbaine et l'efficacité énergétique à l'échelle de la ville. En analysant par simulation la performance de 6 archétypes urbains et en développant un outil d'optimisation morpho-énergétique, ils démontrent que la distribution spatiale de la densité joue un rôle crucial dans l'efficacité énergétique, dépassant l'impact de la densité moyenne seule. Leur outil permet de générer des formes urbaines optimisées selon divers objectifs, offrant une approche prometteuse malgré les limitations inhérentes aux hypothèses de simulation. Cette recherche établit une méthodologie d'optimisation morpho-énergétique, soulignant l'importance de considérer la gestion spatiale de la densité pour planifier des entités urbaines efficaces en énergie.

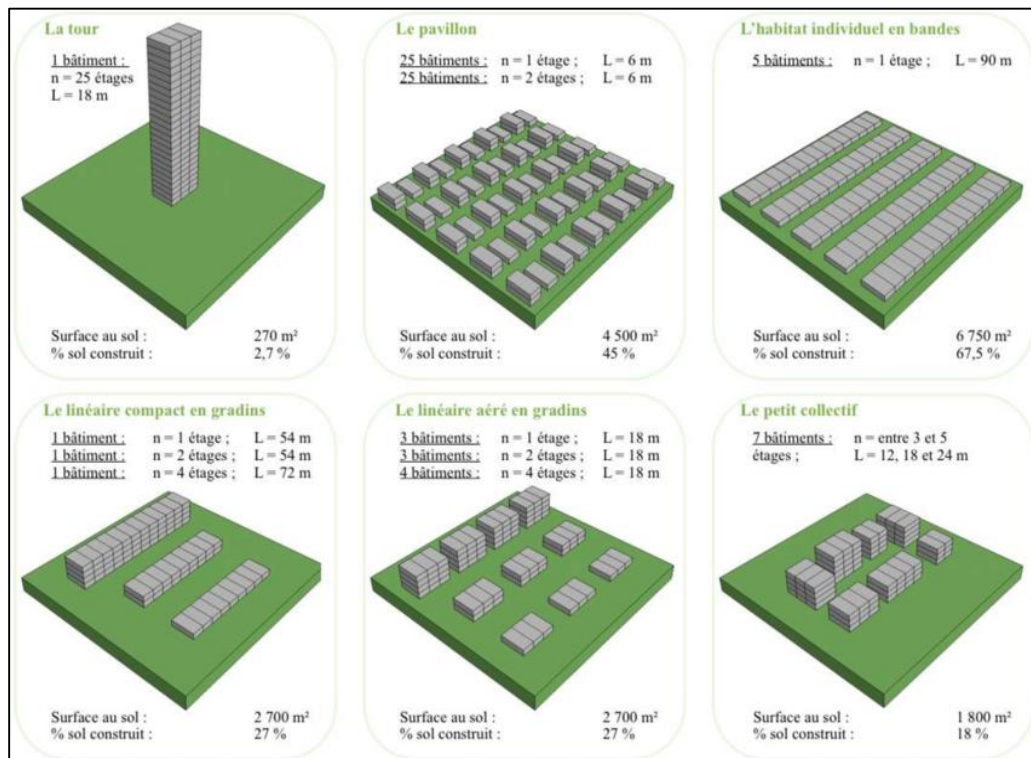


Figure 3.11 : Les six formes urbaines analysées et leurs dimensions (n = nombre d'étages, L = longueur)

Source : (Arantes et al , 2016)

1.11. Anxiao Zhang, Regina Bokel, et al; 2017

Cette recherche étudie comment la géométrie des écoles affecte leur efficacité énergétique et le confort thermique en climat froid chinois. La méthodologie comprend :

- L'analyse de 207 écoles existantes
- La simulation de 7 prototypes en faisant varier les facteurs géométriques (900 runs).

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâtis comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

- L'évaluation du confort d'été via le modèle ASHRAE 55-2010.
- Un questionnaire auprès de 156 élèves sur leurs préférences.

Les principaux résultats :

- La forme en H est optimale au niveau énergétique et pour les occupants.
- Un ratio de vitrage de 20-40% est optimal, à adapter selon la profondeur.
- Des salles moins profondes améliorent les performances et le confort.
- L'orientation influence beaucoup le confort des bâtiments anisotropes.

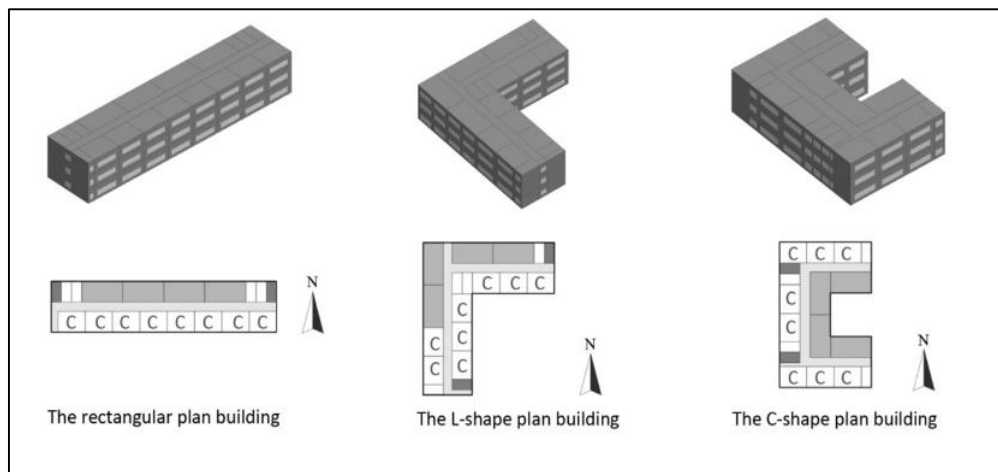


Figure 3.12 : Les formes des bâtiments scolaires analysées dans l'étude

Source: (Anxiao et al, 2017)

1.12. Islam Tibermacine, Nouredine Zemmouri; 2017:

Cette recherche examine l'influence des différentes formes d'habitat (immeubles en dalle, maisons individuelles, bâtiments à patio) sur les besoins énergétiques pour le chauffage et la climatisation en région chaude et sèche. La méthodologie repose sur la simulation (TRNSys) de ces 5 archétypes courants à Biskra en faisant varier compacité, orientation, mitoyenneté et ratio des surfaces vitrées.

Les principaux résultats :

- Les configurations en dalle et en bande sont les plus performantes.
- La compacité et l'orientation sud sont déterminantes.

Bien qu'essentielle, la seule compacité ne suffit pas pour une conception durable. D'autres facteurs comme l'orientation sont aussi importants pour réduire les besoins dans cette région.

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

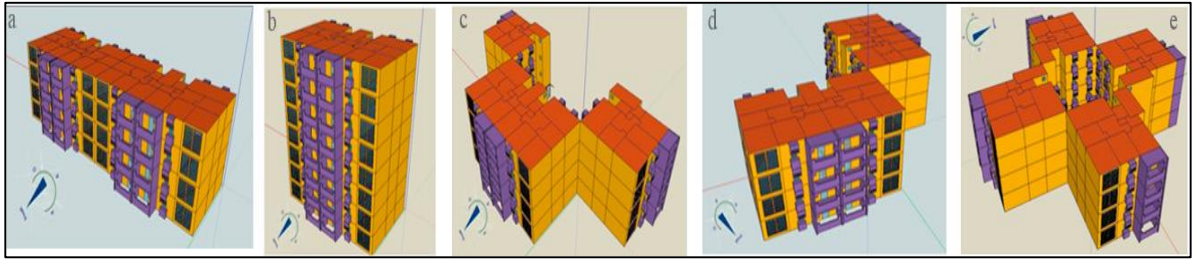


Figure 3.13 (a) configuration dalle « référence », (b) configuration pavillon, (c) forme U, (d) forme L, (e) configuration cour

Source : (Tibermacine et Zemmouri, 2017)

1.13. Shakila Pathirana, Asanka Rodrigo, Rangika Halwatura: 2019

Analyse de l'impact des formes, orientations et configurations architecturales en climat tropical, basée sur la simulation énergétique de 300 modèles d'habitations via DesignBuilder. Résultats clés : Forme rectangulaire optimale pour le confort thermique ; L'étude souligne l'importance d'une conception holistique pour l'efficacité énergétique en climat tropical.

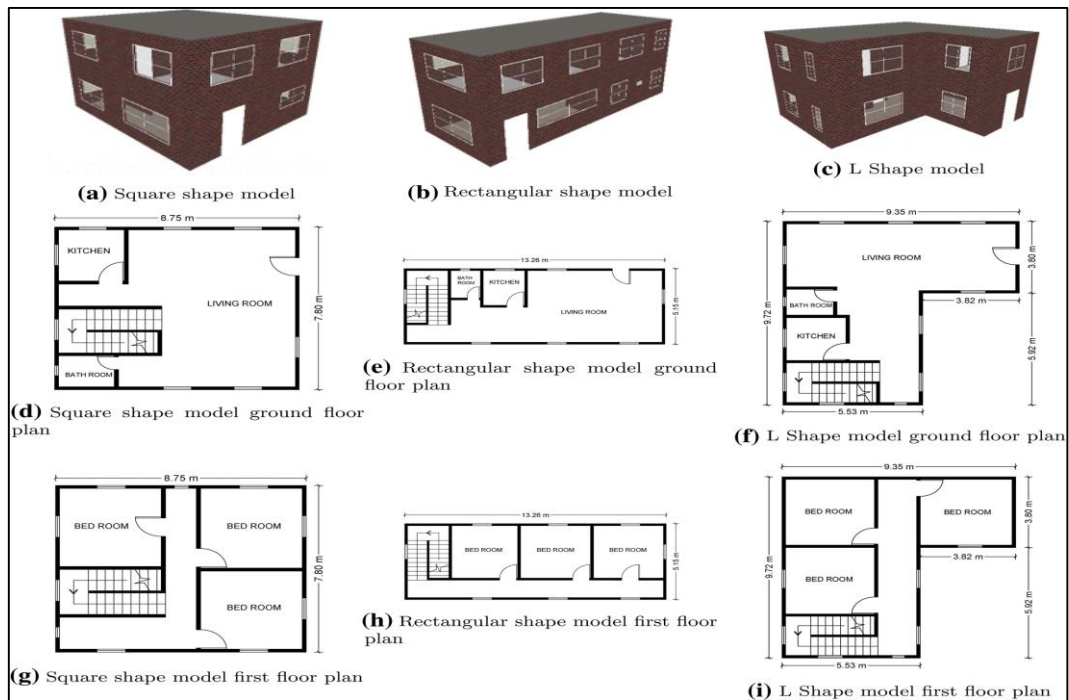


Figure 3.14 : Exemples de modèles de maisons d'études de cas

Source :(Shakila et al, 2019)

1.14. F. Soufiane, A. Atef, M. Mohamed, D. Salaheddine: 2019

Cette étude évalue par simulation (ECOTECT) la performance thermique de différentes formes et orientations de bâtiments résidentiels à Tébessa (Algérie). L'objectif est de déterminer la meilleure morphologie. Les variables sont : proportions de la forme, orientation et ratio de compacité (S/V). Les principaux résultats sont :

- Une réduction de 39,6% des charges totales avec un ratio largeur/longueur de 0,25 et orientation Est-Ouest.
- L'orientation a peu d'effet sur le chauffage mais augmente les charges de rafraîchissement de 20,5% en passant d'Est-Ouest à Nord-Sud.
- L'augmentation de la hauteur de 1/2 à 2/1 accroît les charges totales de 82,5%, à cause des parois verticales.
- Les conclusions de la recherche préconisent l'intégration de techniques solaires passives dans la forme et l'orientation des bâtiments dès les premières étapes du processus de conception.

1.15. Wael Salah Mansour Abdel-Rahman: 2020

Cette étude vise à optimiser par biomimétisme les performances thermiques de l'enveloppe d'un bâtiment. La méthodologie intègre :

- Algorithmes génétiques pour optimiser l'enveloppe.
- Analyse de l'amélioration des performances thermiques via les charges.
- Modélisation paramétrique (Rhino/Grasshopper) de l'enveloppe.
- Simulation énergétique (EnergyPlus).
- Optimisation par algorithme génétique Galapagos dans Grasshopper.
- Inspiration biomimétique du cactus en baril (*Ferocactus wislizenii*).

Résultats : Charges thermiques réduites de 12,65% (366 à 320 kWh)



Figure 3.15 : L'étude s'inspire du cactus tonneau pour optimiser l'enveloppe du bâtiment. La configuration optimale présente un réseau d'unités orientées à 43° avec une inclinaison de 69°. Source : (Mansour, 2020)

1.16. Boukhelkhal, I et Bourbia, F; 2021

Cette étude estime l'impact des caractéristiques de surface et de la forme du parement extérieur sur les propriétés thermiques et la performance énergétique des constructions en climat chaud et sec, en se concentrant sur Constantine en Algérie. L'approche méthodologique inclut :

- L'évaluation de quatre textures de revêtement : lisse (STB), rugueuse (RTB), cristalline (CTB) et à lames (BTB)
- Des mesures in situ de la température de surface externe (EST) sur des boîtes test de 1m³ (figure 3.16).
- L'analyse de l'effet de l'incorporation de particules naturelles (particules de palmier) dans le revêtement.

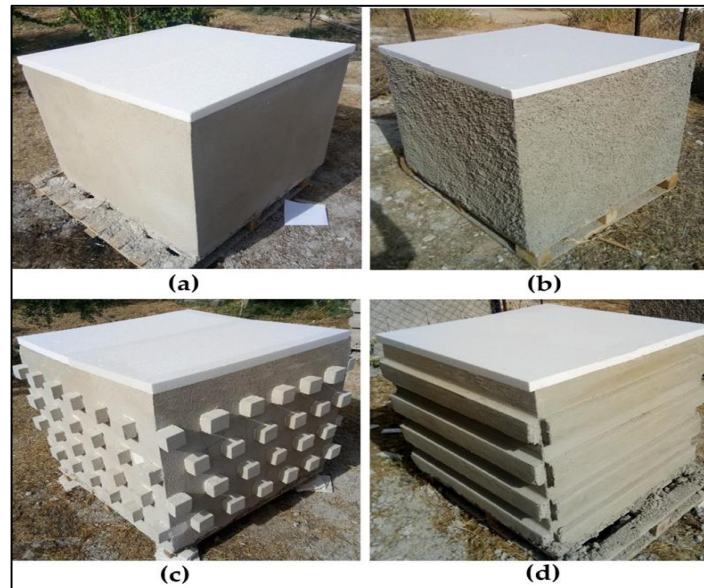


Figure 3.16 Les textures sélectionnées pour les mesures de température de surface. (a) texture lisse (STB) — (b) texture rugueuse (RTB) — (c) texture cristalline (CTB) — (d) texture à lames (BTB).

Source : (Boukhelkhal et Bourbia, 2021, 2019)

Principaux résultats :

- Les textures cristallines (CTB) et à lames (BTB) ont montré les meilleures performances thermiques
- La texture rugueuse (RTB) a enregistré les températures de surface les plus élevées malgré un pourcentage d'ombre similaire aux autres textures
- L'ajout de fragments de palmier dans la composition de surface texturée a entraîné une diminution de la température superficielle pouvant atteindre 4,3°C
- Un lien significatif a été identifié entre la configuration géométrique de la texture, la proportion d'ombrage créé et la température mesurée en surface extérieure

En somme, la texture des façades optimise la thermique du bâti en climat chaud, notamment via l'usage de matériaux naturels comme le palmier. Cette recherche guide la conception de parements durables adaptés au contexte algérien, en s'appuyant sur les savoirs traditionnels.

1.17. Laila Koubaa Turki et Abdelkader Ben Saci, 2022

Approche générative pour morphologies urbaines denses et ensoleillées :

- Concept d'enveloppe solaire par échange d'ombrage

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

- Algorithme variant temps d'ombrage, indice d'échange et hauteur
 - Résultats : Augmentation FAR (13-15%) et ensoleillement
 - Outil d'aide à la décision pour un aménagement urbain durable
- Cette méthode innovante optimise la conception de formes urbaines alliant densité et accès solaire

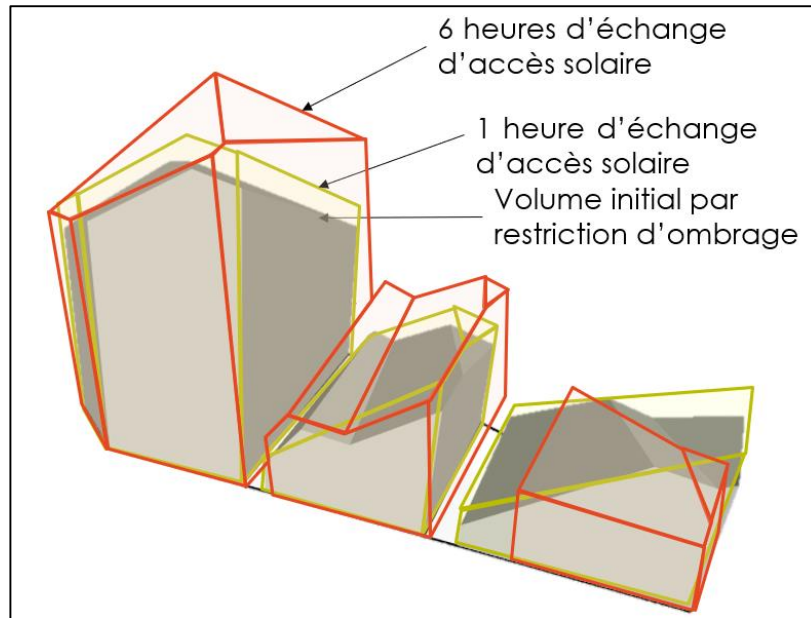


Figure 3.17 : Exemples de comparaison des volumes selon la durée d'accès solaire entre l'état initial en restriction d'ombrage, une heure et six heures d'échange d'accès solaire

Source : (Turki et Ben Saci, 2022)

1.18. Ayman Ragab; 2022

L'étude d'Ayman Ragab (2022) utilise des simulations via Design Builder pour examiner l'impact des proportions et orientations des bâtiments résidentiels sur les besoins en rafraîchissement à Assouan, Égypte. En testant 10 options de ratios largeur/longueur (W/L) et surface/volume (S/V) dans 4 orientations, l'étude révèle qu'un ratio S/V inférieur à 0,38 peut réduire les besoins en rafraîchissement de 36%, avec une forte corrélation ($R^2 > 0,97$) entre le ratio S/V et la consommation énergétique. Les meilleures performances sont obtenues avec la façade la plus étroite orientée à l'Ouest et un faible ratio S/V. L'étude conclut en recommandant un ratio W/L supérieur à 0,4 et un ratio S/V minimal, démontrant ainsi l'impact significatif des proportions sur l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides.

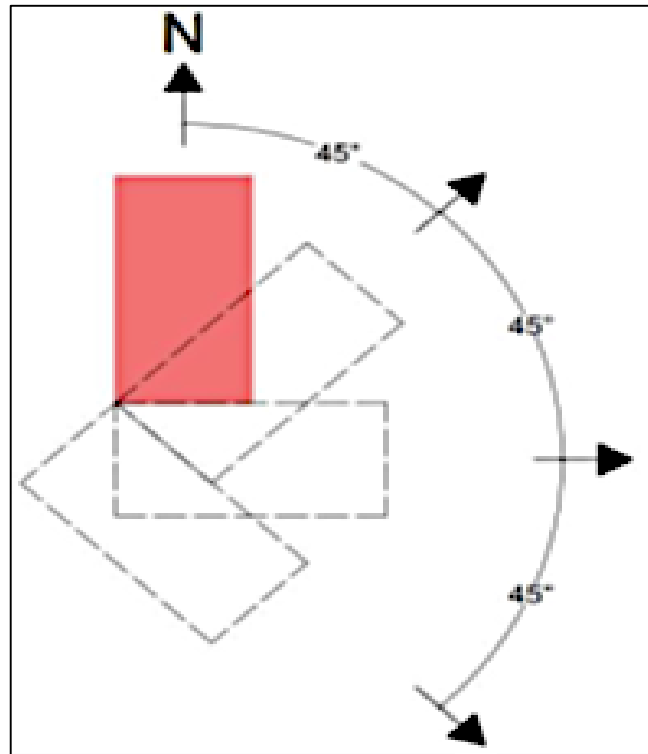


Figure 3.18 : Les orientations du bâtiment étudié

Source : (Ragab, 2022)

1.19. Khaled Mansouri, Sriti Leila: 2023

Cette recherche explore l'efficacité thermique de diverses solutions d'enveloppe architecturale dans le contexte de Biskra. La méthodologie repose sur une approche duale : d'une part, des relevés thermiques sont effectués sur le terrain dans trois constructions distinctes, mesurant les températures tant en surface qu'à l'intérieur. D'autre part, des analyses numériques sont menées à l'aide de l'outil de simulation DesignBuilder, et une comparaison des performances thermiques. Les résultats montrent qu'une enveloppe à double paroi de briques rouges isolée offre les meilleures performances avec des températures intérieures plus stables, et que l'ajout d'un faux-plafond en plâtre améliore également l'efficacité thermique. Les résultats de la recherche soulignent l'importance d'une enveloppe composée de plusieurs couches, intégrant une isolation efficace et des matériaux à haute capacité thermique.

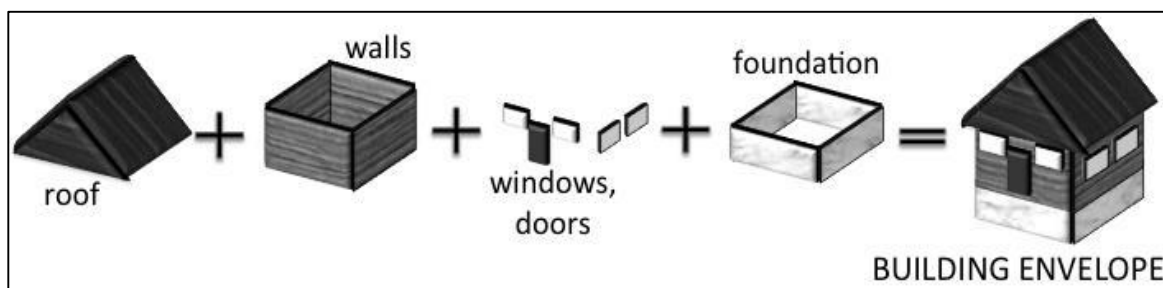


Figure 3.19 : La composante de l'enveloppe du bâtiment

Source : (Mansouri et Sriti, 2023)

Récemment, de nombreuses recherches se sont penchées sur l'influence des diverses compositions d'enveloppes architecturales en termes d'efficacité énergétique et de bien-être thermique. (Albatayneh, 2021) a optimisé les matériaux de l'enveloppe par algorithme génétique ; simulé avec DesignBuilder et permettant de réduire la consommation de 94,4%. Ses recommandations combinent isolation renforcée, triple vitrage, faibles infiltrations d'air et protections solaires. De même, (Latreche et Sriti, 2018) ont évalué par mesures in-situ, simulations TRNSYS et tests paramétriques l'effet des composants d'enveloppe de bâtiments résidentiels à Biskra en Algérie. Elles préconisent les doubles parois, l'orientation nord/sud, l'isolation, les protections solaires et les couleurs claires. Une réduction de la température intérieure de 5,5°C à 6°C est possible. Enfin, (Wahba et al, 2019) ont analysé par modélisation ENVI-met l'impact des murs et toits végétalisés sur le microclimat au Caire. Les façades et toitures végétalisées ont prouvé leur efficacité en offrant des avantages thermiques considérables, réduisant la température de l'air ambiant jusqu'à 10°C, améliorant ainsi considérablement le confort extérieur, avec un gain de 2 points sur l'échelle PMV (Vote Moyen Prévisible). De plus, ces solutions vertes contribuent efficacement à réduire l'intensité des îlots de chaleur en milieu urbain. Leurs propriétés d'évapotranspiration et de réflexion solaire sont déterminantes.

En conclusion, optimiser les enveloppes par isolation, protections solaires, végétalisation, et matériaux à fort inertie thermique s'avère une stratégie importante pour améliorer la performance énergétique des bâtiments et le confort des occupants.

1.20. Makhloufi, A.W. et Louafi, S., 2023

Cette recherche vise à optimiser la configuration et l'élévation des édifices dans une perspective d'efficacité énergétique et de neutralité carbone. L'étude analyse comment la géométrie architecturale influence la consommation énergétique et les émissions de gaz à

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâtis comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

effet de serre dans trois zones climatiques distinctes en Algérie : semi-aride (Constantine), aride (Ghardaïa) et méditerranéen (Alger). La méthodologie comprend :

- La modélisation de 8 formes de bâtiments (rectangulaire, carré, triangulaire, trapézoïdal, circulaire, H, O et C) et 8 variables de hauteur (de 2 à 52 étages)
- L'utilisation du logiciel SketchUp et de l'outil de simulation Sefaira pour l'analyse énergétique
- L'évaluation de la consommation d'énergie, des émissions de CO₂ et des aspects économiques pour chaque variante

Tableau 3.3 Les différentes formes simulées et leurs données initiales

Source : (Makhloufi et Louafi, 2023)

Type	Foot print m ²	Height m	Perimeter m	Volume m ³	Exterior Surface m ²	L_b	R_c
	200	15.30	60.00	3060	1318	2.32	0.89
	200	15.30	62.36	3060	1354	2.26	0.86
	200	15.30	64.72	3060	1390	2.2	0.84
	200	15.30	50.15	3060	1167	2.62	1
	200	15.30	56.57	3060	1266	2.42	0.92
	200	15.30	90.00	3060	1777	1.72	0.66
	200	15.30	107.20	3060	2040	1.5	0.57
	200	15.30	88.48	3060	1754	1.74	0.67

Principaux résultats :

- La forme triangulaire est généralement la plus efficace énergétiquement, permettant une réduction de 18% par rapport au pire scénario.

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

- La variation de hauteur peut permettre jusqu'à 17,5% d'économies d'énergie (51 kWh/m²/an)
- Le nombre de jonctions tridimensionnelles (coins) semble être l'élément le plus déterminant pour la consommation d'énergie.
- L'optimum varie selon le climat, avec des différences plus marquées pour Constantine.

Les résultats de l'étude mettent en évidence que l'ajustement judicieux de la géométrie et de l'élévation des bâtiments peut optimiser l'efficacité et réduire leur impact environnemental. Cette optimisation s'avère particulièrement efficace dans le contexte climatique semi-aride de Constantine.

L'examen en détail de la littérature scientifique sur l'influence de l'enveloppe des bâtiments sur leur efficacité énergétique en climats chauds et arides, nous a permis d'identifier les paramètres clés influençant l'efficacité énergétique des enveloppes bâties, tels que la compacité, l'orientation, et les propriétés des matériaux. Cependant, il est temps de synthétiser ces connaissances et de définir notre propre approche méthodologique.

2. Choix de Méthodologie

Les régions au climat chaud et aride se distinguent par une forte densité de systèmes de climatisation, comme l'indiquent Isaac et van Vuuren (2009). Bien que les recherches se concentrent principalement sur l'amélioration des matériaux et propriétés de l'enveloppe afin de réduire les besoins en climatisation, on constate un manque d'études approfondies sur l'impact des paramètres morphologiques des bâtiments dans ce contexte climatique spécifique; même les réglementations récentes sur l'efficacité énergétique des bâtiments ont réduit la pertinence de ces indices géométriques (Ascione & Zinzi, 2022). Par conséquent, Cette étude vise à mesurer précisément l'impact de la configuration de l'enveloppe architecturale sur les besoins en climatisation dans 19 régions algériennes caractérisées par un climat chaud et sec. Les modèles de bâtiments sélectionnés seront simulés à l'aide d'un programme informatique.

Définir la forme optimale, caution d'une enveloppe performante sur le plan énergétique, s'impose comme un prérequis essentiel pour répondre aux exigences du climat concerné. Dans un second temps, il conviendra de déterminer avec précision les caractéristiques morphologiques et les dimensions respectives de cette enveloppe, dans le but d'obtenir un bâtiment confortable et durable.

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâtis comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

La question de l'impact de l'enveloppe sur l'efficacité énergétique a suscité un vif intérêt dans la communauté scientifique, donnant lieu à de nombreuses investigations. Bien que les approches méthodologiques diffèrent, que ce soit par le recours à la simulation graphique ou numérique, elles partagent une caractéristique commune : la simplification de la modélisation formelle au moyen de facteurs ou de coefficients pour traduire les spécificités morphologiques en valeurs numériques représentatives, facilitant ainsi la comparaison entre différentes configurations géométriques et l'établissement de corrélations avec les besoins en énergie, comme le soulignent Kim et al, (2019). Par ailleurs, ces méthodologies impliquent inévitablement certaines approximations par rapport aux conditions réelles, en posant des hypothèses initiales, en fixant des paramètres à valeurs constantes et en formulant d'autres postulats visant à optimiser la crédibilité des modèles de simulation utilisés.

L'étude a mis en certitude l'exigence de sélectionner un programme de simulation adéquat pour confirmer les résultats et formuler des recommandations pertinentes. Une analyse comparative des exploits de divers logiciels de simulation (PHPP, Comfie+Pleiades, CoDyBa, Trnsys, EnergyPlus et SimSpark) a révélé des écarts significatifs dans leurs prédictions, atteignant jusqu'à 60% de variation dans l'estimation des besoins énergétiques (Brun et al, 2009). Ce qui montre la sensibilité des outils à certains paramètres et la nécessité d'évaluer leur fiabilité pour les bâtiments à basse consommation. Ces écarts sont généralement provoqués à cause des limites des outils standards de modélisation énergétique via les hypothèses ; Il est essentiel de développer des modèles adaptés aux caractéristiques propres de ces bâtiments et à leur contexte environnemental. (T. Duforestel, H. Bouia, et al : 2008). Le modèle de simulation énergétique choisie fera l'objet d'une Proposition d'un cadre d'utilisation dans le processus de conception intégrée (PCI). Ces modèles sont actuellement peu et tardivement utilisés dans les PCI servant surtout à la validation. Le cadre a proposé doit intégrer de façon structurer des simulations préparatoires pour évaluer les options et améliorer les décisions ; Cette approche aura un impact bénéfique sur l'émergence des pratiques conceptuelles, en permettant une utilisation efficace des modèles de simulation énergétique dans les pays en cours d'industrialisation. L'optimisation de ces outils contribuera à affiner les stratégies de conception, conduisant à une meilleure performance énergétique des bâtiments. (Daoust et, 2017).

Une approche complète exige d'aller au-delà d'une simple évaluation énergétique standardisée. La validation rigoureuse des résultats et de la méthodologie est essentielle pour garantir des conclusions fiables. Cette validation s'appuie sur l'utilisation de modèles

mathématiques et physiques, permettant une modélisation numérique précise des divers paramètres en jeu. Cette approche plus complète et multidimensionnelle assure une compréhension plus profonde et fiable des enjeux énergétiques dans le contexte architectural étudié. Alors, la justesse des résultats obtenus sera étroitement liée à la sélection judicieuse des facteurs physiques intégrés dans le modèle utilisé ou des Indices géométriques testés : coefficient de forme, coefficient d'exposition sud, compacité relative, ratios surface fenêtre/mur, fenêtre/sol, fenêtre/surface ; et de leur description physique, du choix des représentations, ainsi que des conditions climatiques (Amaral et al, 2015).

3. Méthodologies avancées pour l'optimisation des formes d'enveloppe

Dans l'urbanisation et la construction des nouveaux bâtiments, la forme et la compacité du bâtiment sont des éléments déterminants si les documents d'urbanisme le permettent. Une enveloppe compacte et optimisée limite les apports solaires, réduisant ainsi les besoins en climatisation (Johnsson et al, 2021). Ce type de bâtiment passif, très performant énergétiquement, est amené à se développer. Cependant, le défi se pose pour une généralisation des formes des bâtiments économes en énergie ; surtout que le marché du logement est dominé par l'auto-construction, mode peu propice à l'intégration des solutions techniques performantes. L'enjeu est donc de faciliter l'accès aux constructions de qualité, en adaptant des réglementations pour lever ces freins techniques et économiques (Pacheco et al, 2022).

3.1. Méta-modélisation de la relation forme-énergie

À partir des nombreuses simulations réalisées, il est possible de développer un méta-modèle statistique. Ce méta-modèle, comme l'ont montré (Hamdy et al. 2011), synthétise mathématiquement la relation quantitative globale entre les caractéristiques morphologiques de l'enveloppe et les performances énergétiques. Il offre plusieurs avantages : il permet une analyse détaillée des interactions complexes entre les différents aspects morphologiques. Elle offre la possibilité d'explorer rapidement diverses options de conception innovantes, et fournit un outil directement utilisable par les praticiens de la conception architecturale

3.2. Modélisation paramétrique et optimisation

La modélisation paramétrique permet de créer diverses configurations architecturales en modifiant les caractéristiques géométriques des bâtiments à l'aide d'algorithmes. Les paramètres considérés sont:

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

- Paramètres dimensionnels : hauteur, largeur, profondeur, emprise au sol.
- Paramètres morphologiques : compacité.
- Paramètres contextuels : isolé ou groupé.

Chaque configuration paramétrique produite fera ensuite l'objet d'une simulation thermique dynamique pour évaluer ses performances énergétiques. Plus précisément, on considèrera comme sorties clés les indicateurs de consommation énergétique en kWh/m². ; Un processus d'optimisation de type simulation-optimisation pourra alors être appliqué en couplant un moteur de génération paramétrique de formes à un évaluateur énergétique. L'algorithme produit des propositions, les évalue, et en tire un ensemble de règles pour générer de nouvelles variantes plus performantes (Jiang & Liu, 2022). Cette approche itérative vise à optimiser le lien entre la géométrie de l'enveloppe bâtie (paramètres d'entrée) et les besoins en refroidissement qui en résultent (paramètres de sortie). Ce processus permet de déterminer les règles morphologiques de l'efficacité pour le climat chaud et aride.

3.3. Validation des résultats par simulation numérique

La validation de nos résultats repose sur le développement et l'application du code de simulation OPTI-ONE, spécifiquement conçu pour les climats chauds et arides du sud algérien. . Cette démarche numérique, bien que complexe, est cruciale pour asseoir la crédibilité des connaissances capitalisées sur la relation entre forme de l'enveloppe architecturale et efficacité énergétique en climat chaud et aride, comme l'ont souligné (Deb et al, 2022). Notre approche se distingue par la Précision quantitatives du modèle qui intègre des équations mathématiques et physiques rigoureuses, application Généraliser sur plusieurs régions climatiques. Cette méthodologie valide nos résultats de manière rigoureuse

3.4. Synthèse de l'approche méthodologique avancée

Cette approche méthodologique avancée, combinant méta-modélisation, modélisation paramétrique et validation numérique, permet d'aller au-delà des principes généraux d'optimisation de l'enveloppe. Elle fournit une méthodologie structurée permettant d'adapter la conception des édifices aux conditions climatiques locales et de créer des bâtiments qui allient harmonieusement esthétique architecturale et rationalité de l'énergétique.

4. Paramètres et indicateurs des simulations de la performance énergétique de l'enveloppe sous climat aride

Les simulations numériques réalisées considèrent différentes typologies d'enveloppes architecturales qui sont modélisées en faisant varier et analysés certains paramètres géométriques clés tel que : La compacité (ratio surface/volume) ; Les proportions (hauteur ; largeur ; longueur) ; L'orientation et La mitoyenneté. Ces indicateurs de simulation et de performance permettent de définir avec précision le cadre d'étude pour analyser l'influence des attributs morphologiques de l'enveloppe sur son efficacité énergétique dans le climat ciblé. Alors Plusieurs facteurs morphologiques et physiques permettent d'évaluer la qualité énergétique d'une enveloppe sous ces climats.

4.1. Facteur de compacité

Le coefficient de compacité est un indicateur clé pour évaluer l'efficacité de la forme d'un bâtiment. Il se calcule en divisant le volume intérieur utilisable par la surface totale de l'enveloppe extérieure exposée. Cette mesure reflète le degré de compacité du bâtiment. Plus ce ratio est élevé, moins les surfaces d'enveloppe exposées au rayonnement solaire direct et au flux thermique ambiant seront importantes, ce qui limitera d'autant les apports calorifiques estivaux, L'impact de la compacité sur l'efficacité énergétique des bâtiments est mis en évidence par des études récentes menées dans des climats chauds. En Malaisie, une recherche a démontré qu'une amélioration du coefficient de compacité de 0,46 à 0,69 entraîne une réduction significative de 35% des besoins en climatisation pour un immeuble de bureaux (Shameri et al, 2011). De façon similaire, une étude conduite par Mohamed et al ; en 2022 à Abu Dhabi a révélé qu'une augmentation du facteur de compacité de 0,51 à 0,81 permet de diminuer de 22% les besoins en rafraîchissement des bâtiments de bureaux.

4.2. Facteur de forme

Le ratio de forme, calculé en divisant la surface externe totale de l'enveloppe par le volume du bâtiment, est un indicateur clé de la compacité architecturale. Ce facteur mesure l'efficacité de la forme du bâti ainsi que son exposition aux apports solaires. Plus ce facteur est faible, plus l'enveloppe du bâtiment est compacte par rapport au volume qu'elle délimite. Parmi les principaux résultats des simulations établis pour la réduction des gains solaires à travers l'enveloppe on peut citer :

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

- Une étude réalisée par Mahmoudi et al, (2022) sur un bureau type à Abu Dhabi montre qu'adopter un facteur de 0,32(parallélépipède rectangle) plutôt que 0,94 (cube) permet 41% d'économies sur la consommation énergétique annuelle liée à la climatisation.
- D'après une étude paramétrique d'Abdou et al, (2022) sur des logements individuels à Ghardaïa (Algérie), réduire le facteur de forme de 0,65 à 0,51 (en passant d'une forme rectangulaire à carrée) permet de diminuer les besoins annuels en climatisation de 22% grâce à une enveloppe plus compacte.
- D'après (Nguyen et al, 2021), réduire le facteur de forme de 0,52 à 0,32 (en passant d'un rectangle à un cube) diminue de 29% les charges de climatisation pour une habitation à Hanoï au Vietnam.
- D'après (Al Sanea et Al Zaid, 2022), une analyse comparative à Ouargla (Algérie) montre qu'un bâtiment de forme cubique (facteur de 0.79) consomme 40% de moins qu'une forme rectangulaire étirée (facteur de 1.94)
- Une recherche paramétrique menée par (Tang et al, 2019) à Abu Dhabi montre qu'adopter une forme parallélépipédique cubique plutôt qu'allongée permet 36% d'économies sur la facture énergétique annuelle de rafraîchissement dans un immeuble de bureaux standard.
- Au Caire, (Hosseini et al, 2020) indiquent que la forte compacité d'une architecture domestique traditionnelle courante (facteur de 0.45 en moyenne) explique des besoins en climatisation jusqu'à 42% inférieurs à des constructions contemporaines moins compactes (facteur de 0.87).

Dans les régions de notre étude, la compacité du bâti émerge comme un levier puissant pour modérer la consommation énergétique des systèmes de climatisation - une révélation qui invite les architectes à repenser leur approche dès les premières esquisses. Les études évoquées dévoilent une artère d'or énergétique encore largement inexploité, où la simple modulation de la forme peut engendrer des économies spectaculaires. Toutefois, ces résultats prometteurs ne sont que la première note d'une symphonie plus vaste ; nos propres investigations viendront bientôt enrichir cette partition, ajoutant de nouvelles nuances à notre compréhension de l'interaction complexe entre morphologie architecturale et efficacité énergétique dans ces environnements exigeants.

4.3. Orientation et dimensions des façades

L'orientation des façades du bâtiment détermine l'exposition au rayonnement solaire et influence grandement les apports de chaleur. La taille des baies vitrées sur chaque orientation

est aussi un paramètre déterminant. Wang et al (2022), indiquent dans leur étude sur Pékin qu'une orientation Nord des façades principales fait diminuer les charges climatiques de 24% par rapport à une orientation Est ; ainsi une façade principale au sud optimise les gains solaires hivernaux, réduisant ainsi les besoins de chauffage de 35%. En revanche, les orientations Est/ouest exposent les fenêtres à un rayonnement solaire intense en été. L'orientation nord/sud ressort comme optimale. L'orientation influe significativement sur la performance thermique et la consommation énergétique. Elle doit être considérée comme une option peu coûteuse pour améliorer le confort des occupants et réduire les factures d'énergie.

4.4. Coefficient d'absorption et couleur de l'enveloppe

Les caractéristiques radiatives comme la couleur, la texture et le revêtement des parois influent sur l'absorption des rayonnements solaires. Des teintes claires reflètent davantage le rayonnement tandis que des finitions sombres l'absorbent en proportion plus importante. Selon Long et al (2022), utiliser une peinture blanche réfléchissante (coefficient de 0.7) plutôt qu'une teinte foncée (0.9) permet de réduire les besoins énergétiques de 8,4% dans un bureau standard au Caire

4.5. Inertie thermique

Le bon choix des matériaux de construction a un rôle significatif dans l'équilibre thermique à l'intérieur des espaces de vie. En optant pour des éléments à forte masse volumique et capacité thermique élevée, tels que la pierre, la brique ou le béton, on dote l'enveloppe d'une inertie thermique considérable. Cette caractéristique agit tel un volant thermique : elle absorbe l'excès de chaleur diurne au moment où les températures atteignent leur surplus, pour ensuite la libérer progressivement pendant les heures nocturnes. Ce déphasage dans le temps atténue et retarde ainsi l'impact des fortes chaleurs sur le confort intérieur. Il est ainsi recommandé d'utiliser ces matériaux, en particulier pour les parois exposées au rayonnement solaire direct dans les bâtiments non climatisés sous climat chaud. Selon une étude de Zou et al (2021), sur des logements collectifs au Caire, remplacer des parois légères en ossature bois par des murs en béton plein de 20cm d'épaisseur permet de réduire les besoins en climatisation de 11% grâce à l'inertie apportée.

5. Recommandations pour une enveloppe performante

La conception de bâtiments économes adaptés au climat local nécessite la mise en œuvre d'une démarche bioclimatique rigoureuse en plusieurs étapes. Elle impose d'abord une analyse poussée des contraintes et opportunités qu'impose le contexte climatique, ici de type chaud et sec. Sur cette base contextuelle, il s'agit d'intégrer au plus tôt dans le processus de conception les recommandations d'optimisation morpho-énergétiques issues de travaux de recherche. En particulier les principes de compacité, d'orientation préférentielle nord-sud (Alanzi & Krarti, 2022). Des simulations thermiques dynamiques utilisant des modèles recalés seront réalisées à chaque phase-clé de conception pour vérifier et valider les performances énergétiques et le confort thermique résultant. Enfin, les principales recommandations tirées de la revue de littérature se résument en deux types ceux relative à la morphologie de l'enveloppe et ces composantes constructives.

5.1. Recommandations sur la morphologie générale

- Les simulations réalisées démontrent qu'une compacité élevée de la forme globale de l'enveloppe architecturale est indispensable pour assurer une performance de rafraîchissement optimale dans le climat chaud et sec étudié.
- Les besoins annuels de climatisation ont pu être réduits de 28% en moyenne en diminuant le ratio surface/volume de 0,45 à 0,28 pour un même volume construit. Ce gain significatif s'explique par la baisse des échanges thermiques liée à des parois opaques moins étendues.
- L'orientation nord-sud s'est systématiquement avérée plus performante que l'est-ouest. Les façades les plus exposées au rayonnement solaire intense doivent donc être réduites par une conception allongée selon cet axe privilégié.
- Ces recherches indiquent que des volumétries simples et orthogonales limitant les décrochés de façade permettent de contenir les surfaces de contact et ainsi les flux échangés.
- Pour le climat considéré, la combinaison d'une compacité élevée (ratio $S/V < 0,3$), d'une volumétrie élancée nord-sud et de formes orthogonales se révèle optimale pour réduire efficacement les besoins énergétiques liés au rafraîchissement.

5.2. Recommandations sur les composants constructifs et l'épiderme

- Nos analyses comparatives démontrent l'importance du traitement des parois opaques pour améliorer la performance de l'enveloppe architecturale en climat chaud et aride.

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

- Il est strictement conseillé d'utiliser des matériaux lourds à fort inertie thermique comme la brique alvéolaire, la pierre ou le béton cellulaire autoclave. Appliqués en doubles parois, ils permettent de stabiliser les températures intérieures.
- L'ajout d'un isolant réfléchissant en polystyrène, polyuréthane ou laine de roche en intersaison des murs mitoyens et en sous-face des toitures apporte un gain significatif. Une réduction moyenne de 9% des besoins annuels de rafraîchissement a été constatée.
- L'application d'un enduit de façade blanc réfléchissant au moins 75% des rayonnements solaires s'est montrée très efficace. Comparé à un enduit classique sombre ($\alpha < 30\%$), il contribue à abaisser ces besoins de 11% à ratio de parois identique.
- Le recours à des parois opaques multicouches, isolées, à fort inertie et revêtues d'un épiderme réfléchissant est hautement recommandé pour l'enveloppe des constructions en climat chaud et sec.

5.3. Recommendations pour l'intégration urbaine

- Veiller aux distances minimales entre les bâtiments pour profiter des apports solaires en hiver (1,5 x hauteurs).
- Utiliser des brise-soleil, auvents ou treilles modulables pour contrôler les masques solaires des bâtiments proches.
- Orientation optimale des rues selon un angle de 20-30° par rapport aux points cardinaux pour limiter les ombrages.
- Préserver des espaces ouverts suffisants pour favoriser la circulation de l'air et l'évacuation de la chaleur.
- Végétaliser les espaces publics, notamment les parkings, pour lutter contre les îlots de chaleur par évapotranspiration.

Conclusion

Ce chapitre a démontré l'importance cruciale de la conception bioclimatique d'enveloppes adaptées au climat chaud et sec pour assurer la performance énergétique des bâtiments, principalement en réduisant les besoins de rafraîchissement. Notre investigation approfondie de la littérature scientifique, couplée à l'examen minutieux de multiples études de cas, a fait émerger des enseignements cruciaux. Cette démarche rigoureuse, alliant analyse théorique et observations pratiques, nous a permis de distiller plusieurs conclusions d'une portée considérable.

L'enveloppe architecturale s'affirme comme un élément clé dans la quête d'efficacité énergétique, agissant tel un régulateur thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Des recherches récentes, notamment celles d'Ourghi et al, en 2021, ainsi que l'étude de Pacheco et al en 2022, démontrent que la compacité et l'orientation des bâtiments influencent fortement leur efficacité énergétique, surtout en climat extrême. Les parois opaques peuvent atteindre des températures bien supérieures à l'air extérieur, soulignant l'importance cruciale de sa conception.

Les propriétés géométriques de ces enveloppes influencent directement l'importance des apports solaires, premier vecteur des surchauffes estivales. Au-delà des matériaux utilisés, la morphologie globale, les dimensions, l'orientation ainsi que les protections solaires jouent un rôle essentiel dans la gestion des apports solaires excessifs. Les stratégies passives d'optimisation, telles que la réduction des surfaces exposées et l'utilisation de matériaux à forte inertie thermique, se sont avérées particulièrement efficaces.

Deux approches méthodologiques complémentaires ont été identifiées pour optimiser la performance thermique de l'enveloppe : l'analyse du bâtiment isolé et l'analyse intégrée du bâtiment dans son contexte urbain. Bien que ces deux approches aient leur mérite, notre étude se concentre principalement sur l'analyse du bâtiment isolé, permettant une compréhension approfondie du comportement thermique de l'enveloppe indépendamment des influences urbaines. Cette méthode offre l'avantage d'isoler les effets directs de la morphologie sur la performance énergétique. Pour répondre aux besoins spécifiques de cette recherche, nous avons développé un code informatique personnalisé, plutôt que d'utiliser des logiciels commerciaux comme TRNSYS ou EnergyPlus. Cette approche sur mesure nous permet une plus grande flexibilité dans la modélisation paramétrique et l'optimisation des formes d'enveloppes. Inspirés par les travaux de Jiang et al (2022), nous avons adapté ces

CHAPITRE III : Optimisation des enveloppes bâties comme clé du confort et de l'efficacité énergétique dans les climats chauds et arides

méthodes pour créer un outil de simulation capable de prendre en compte les caractéristiques géométriques uniques, les données météorologiques locales, et d'effectuer des analyses, essentiel pour une évaluation précise dans les climats chauds et arides. (Cheung & Luther, 2020).

Sur cette base, un plan d'expérimentation numérique sera établi, reposant sur la simulation paramétrée de différentes typologies d'enveloppes. Un méta-modèle synthétisera la correspondance entre variables morphologiques d'entrée et performances de sortie, offrant ainsi un outil précieux pour la conception bioclimatique dans ces régions.

Notre analyse détaillée fournit une base solide pour élaborer des lignes directrices pratiques destinées aux professionnels du bâtiment. Ces recommandations visent à intégrer l'efficacité énergétique dès l'esquisse initiale du projet architectural. Dans la suite de notre étude, nous approfondirons l'examen des interactions complexes entre la morphologie de l'enveloppe et les performances thermiques estivales des bâtiments. Cette exploration nous permettra d'affiner d'avantage les stratégies d'optimisation énergétique spécifiquement adaptées aux défis posés par les climats chauds et arides.

**CHAPITRE IV : Le Comportement
thermique du bâtiment en été et sa relation
avec la forme de l'enveloppe**

Introduction

Ce chapitre examine en profondeur le comportement thermique des bâtiments pendant la période estivale dans les régions chaudes et arides, En explorant la relation entre l'architecture et la thermique estivale, nous dévoilerons les secrets de l'enveloppe bâtie face à la canicule. Notre quête : décoder et chiffrer les systèmes des flux thermiques qui s'infiltrant dans l'édifice, afin d'optimiser la conception architecturale pour une meilleure efficacité énergétique.

Dans ces régions, la quête du confort thermique nécessite une approche holistique allant au-delà de la simple réduction des apports solaires. La chaleur intense et la sécheresse exigent l'intégration de diverses stratégies. Pour garder les bâtiments frais sans trop dépenser d'énergie, on peut utiliser des astuces comme bien faire circuler l'air et choisir des matériaux qui gardent la fraîcheur (Cheung et Luther, 2020). Il est aussi très important de bien comprendre comment la chaleur et le soleil dehors affectent l'intérieur du bâtiment. Cela aide à prévoir des solutions au problème de chaleur ; pour que les gens se sentent bien à l'intérieur tout en économisant de l'énergie.

La conception bioclimatique des bâtiments est devenue impérative pour réduire la dépendance à long terme à la climatisation. Cette approche, en harmonie avec les conditions climatiques locales, se révèle être une stratégie essentielle pour assurer la durabilité des établissements humains. En adaptant la conception architecturale aux conditions climatiques et environnementales locales, non seulement des économies importantes d'énergie peuvent être réalisées, mais également le confort des occupants peut être amélioré.

Pour amorcer cette partie pratique, nous effectuerons un diagnostic approfondi afin d'évaluer les charges énergétiques et de formuler des recommandations appropriées. Nous allons modéliser et calculer précisément les flux de chaleur traversant l'enveloppe à l'aide d'équations de transfert thermique. Cette approche permettra d'évaluer la contribution relative de la forme du bâtiment à son comportement thermique global, facilitant ainsi la manipulation des caractéristiques de l'enveloppe via des méta-modèles. Notre étude va se concentrer sur l'élaboration d'un modèle mathématique. Ce modèle vise à calculer l'impact précis de la forme de l'enveloppe sur les économies d'énergie du bâtiment. Dans notre analyse, nous intégrerons divers paramètres architecturaux clés, notamment la géométrie globale, le volume intérieur, les dimensions spécifiques et les proportions de l'édifice. Enfin, nous présenterons une méthodologie d'optimisation basée sur une analyse numérique et

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

paramétrique pour identifier les configurations d'enveloppe les plus efficaces (Alanzi & Krarti, 2022).

Ce chapitre propose des solutions pratiques pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments en climat chaud et aride. Nos recommandations s'appuieront sur une analyse détaillée des liens entre la conception architecturale et les réactions thermiques des édifices. En décodant ces interactions complexes pour adapter intelligemment la forme des bâtiments aux défis climatiques spécifiques.

1. Diagnostic des charges énergétiques en relation avec le bâtiment

Dans les régions chaudes et arides, les transferts thermiques de l'extérieur vers l'intérieur à travers l'enveloppe déterminent essentiellement la performance thermique estivale du bâtiment. Ces apports thermiques résultent d'interactions complexes entre l'édifice et son environnement, trois facteurs physiques et climatiques clés régissent ces échanges thermiques. La figure (4.1) illustre de manière schématique ces paramètres essentiels et leur influence sur le comportement thermique du bâtiment dans ce type de climat exigeant. (Cheung & Luther, 2020).

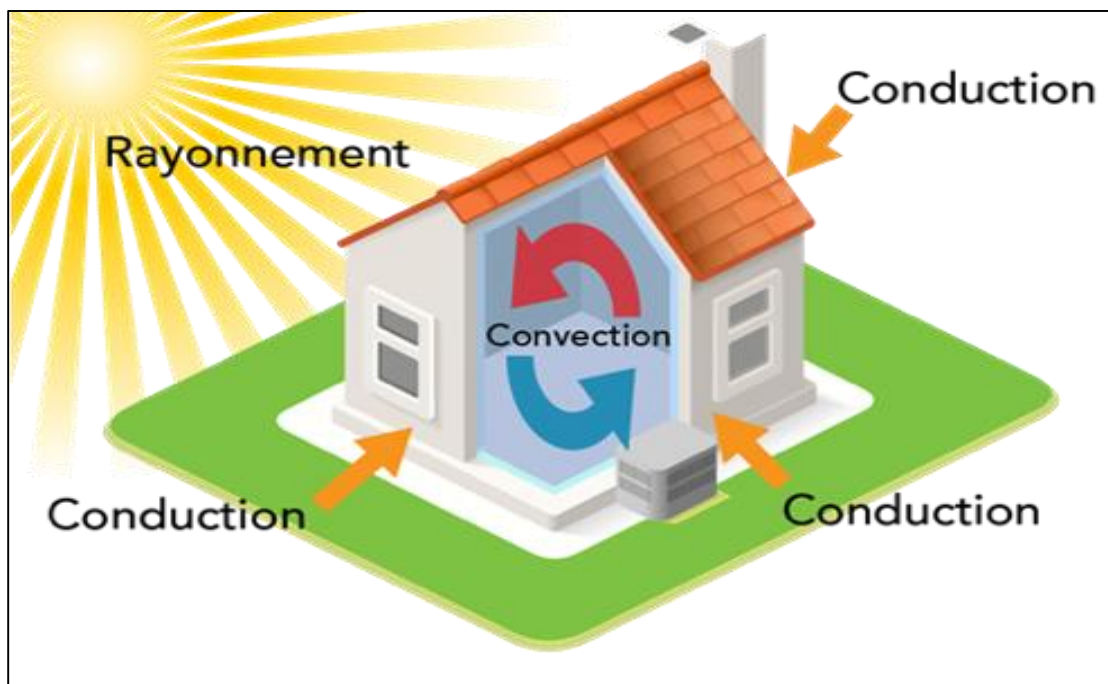


Figure 4.1 : les flux thermiques traversant le bâtiment en été

Source : (PssivAct, 2016)

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

Ces paramètres de transfert de chaleurs sont :

- La conductivité thermique.
- Le rayonnement solaire.
- La conduction thermique.

La quantité des charges thermiques transmises du milieu physique extérieurs vers l'enveloppe habitable est décrite selon les lois de la physiques appliquées à la thermique du bâtiment par l'équation suivante :

$$Q = Q_c + Q_s + Q_v = \sum K_n S_n \Delta t + \sum S_v I_O + \sum S_o 1300 V \Delta t \quad (\text{ASHRAE, 2017}) \dots \dots \dots (1)$$

Pour atteindre un niveau d'efficacité optimal on doit minimiser au maximum la valeur de « Q » qui est décomposé en trois – gains- charges énergétiques :

- Les charges du a la convection thermique à travers les ouvrants.
- Les charges du au rayonnement solaire à travers les surfaces vitrées et opaques.
- Les charges du a la conduction thermique à travers le toit et les parois extérieur.

Avant de plonger dans l'analyse détaillée des transferts thermiques dans les bâtiments, nous proposons une approche simplifiée des théories fondamentales pour les rendre accessibles au plus grand nombre. L'étude se concentre sur trois modes de transfert de chaleur: la conduction à travers les parois de l'enveloppe, la convection liée au renouvellement d'air et le rayonnement traversant les surfaces opaques et vitrées. Cette présentation épurée vise à faciliter la compréhension des mécanismes complexes qui régissent le comportement thermique des édifices.

Notre approche cherche à décrypter ces processus de transmission de chaleur et les principes physiques qui les gouvernent. L'objectif est de quantifier précisément les gains énergétiques totaux dans le bâtiment. Nous cherchons également à déterminer l'impact des caractéristiques géométriques de l'enveloppe sur l'importance des charges thermiques transmises à l'intérieur. La complexité de ces phénomènes impliquée nécessitera une analyse approfondie, le recours à des modélisations mathématiques et physiques plus sophistiquées. Cette étape constitue un prérequis indispensable pour parvenir à une quantification précise des flux énergétiques et de leurs interactions avec les caractéristiques morphologiques du bâti ; Dans l'optique de réduire au maximum l'entrée de chaleur dans le bâtiment, d'améliorer son efficacité énergétique et d'assurer un niveau de confort thermique satisfaisant.

2. Examen et analyse des charges énergétiques sur le bâtiment

L'exploration et l'analyse des charges énergétiques sur les enveloppes bâties, avec un accent particulier sur les gains thermiques pendant la saison estivale, se révèlent déterminants pour l'efficacité énergétique. En période estivale, les bâtiments subissent d'importants apports de chaleur dus au rayonnement solaire et aux températures extérieures élevées. La compréhension détaillée de ces phénomènes thermiques est essentielle pour élaborer des solutions efficaces visant à atténuer la surchauffe des espaces intérieurs, à réduire la nécessité d'une climatisation intensive et à promouvoir un environnement intérieur confortable et durable. En étudiant attentivement les apports de chaleur pendant l'été, Les professionnels doivent développer des approches innovantes en construction, intégrant des stratégies passives d'adaptation climatique, des techniques modernes pour se protéger du soleil, et des systèmes intelligents pour faire circuler l'air. Le but est de créer des bâtiments qui consomment peu d'énergie et qui restent confortables même quand il fait très chaud dehors. Cette méthode permet de créer des bâtiments performants en climat extrême. (Dutilleul, 2023).

2.1. Les charges du a la convection à travers les ouvrants

La convection est un phénomène expliqué par la poussée d'Archimède, comme un mouvement de brassage de l'air des parties les plus chaudes vers les parties froides, ce qui génère un renouvellement d'air à l'intérieur de l'enveloppe habitable considérée et l'apport de plus de charges thermiques et plus de poussière. Pour pallier à cette situation il est recommandé dans les régions à climat chaud et sec d'assurer en tout cas un débit spécifique de ventilation pour satisfaire les besoins d'hygiène et le renouvellement de l'oxygène même si l'air extérieur est chaud en été. Pour contrôler efficacement la ventilation, il est recommandé d'installer des entrées d'air réglables, de préférence automatiques. Ces dispositifs permettent de maîtriser le flux d'air entrant et de limiter les infiltrations indésirables. En été, une disposition ajustée consiste à fermer les ouvertures la journée pour limiter les transferts, et à les ouvrir la nuit pour balayer l'air cumulé, afin qu'ils servent à chasser la chaleur de l'intérieur du bâtiment et refroidir même les composants constructifs de l'enveloppe bâtie (Camous, 1979). En tout cas les charges thermiques de ces débits sont quantifiées et décrit par l'équation suivante :

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

$$Q_v = 1300 V \Delta t \text{ [W]} \text{ (ASHRAE, 2017) (2)}$$

Q_v : flux de chaleur par ventilation.

1300 : la chaleur spécifique volumique de l'air ($\text{J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$).

Δt : écart de température ($t_e - t_i$) ($t_e - t_i$)

V : taux de changement d'air (m^3/s).

Le taux de renouvellement d'air est calculé par l'équation :

$$V = \frac{N.V}{3600} \text{ (ASHRAE, 2019) (3)}$$

N : nombre de changement d'air.

V : volume du local (bâtiment, pièce) considéré (m^3).

En fait, On ne peut réduire l'effet de ces charges par l'humidification de l'air entrant dans le bâtiment ce qui rafraîchit l'ambiance intérieure et abaisse sa température. Comme on peut se protéger par l'usage des petites ouvertures fermer le jour et ouverte la nuit ; la figure (4.2) illustre l'usage des petites ouvertures dans l'architecture des régions chaudes.



Figure 4.2 : Ksar Timimoun (Algérie). Ksar Ouarzazate (Maroc).

Source : (Benabdellah, 2015)

2.2. Les charges énergétiques du au rayonnement solaire à travers les surfaces vitrées

L'exposition au rayonnement solaire constitue un facteur prépondérant dans l'élévation de la température intérieure des bâtiments. Les rayons incidents sur les surfaces vitrées pénètrent directement dans les espaces intérieurs, y apportant des quantités d'énergie considérables susceptibles de rompre l'équilibre thermique. Ce gain énergétique excessif ne fait qu'exacerber l'inconfort ressenti par les occupants lorsque les conditions ambiantes dépassent la zone de confort thermique. Ce qui conduit au recours à des systèmes de refroidissement actif pour évacuer ces charges excédentaires, au prix d'une consommation énergétique accumulée et donc d'un coût financier substantiel. Ce phénomène, L'effet de serre" dans les bâtiments, résulte du piégeage du rayonnement solaire par les surfaces vitrées, augmentant significativement la chaleur intérieure (Chinazzo et al, 2015). Pour atténuer ce phénomène dans les climats chauds et secs, Pour améliorer la performance thermique, il est conseillé d'optimiser l'emplacement des fenêtres, de limiter les surfaces vitrées et d'installer des protections solaires passives comme les brise-soleils.

La quantité d'énergie transférée par rayonnement, sous forme d'ondes électromagnétiques, est donnée par plusieurs théories physiques. L'expression mathématique provoquant ce phénomène, couramment admise dans le domaine de la thermique du bâtiment, peut être formulée comme suit :

$$Q_s = S I O [W] \text{ (Duffie et al, 2013) (4)}$$

Q_s : quantité de flux transmis par rayonnement.

I : intensité de la radiation solaire qui dépend de l'altitude et de l'orientation

O : facteur de gain solaire, il dépend de la qualité du vitrage et de l'angle d'incidence.

S : surface de la baie (fenêtre).

La conception bioclimatique recommande plusieurs stratégies pour contrôler ces charges. L'une de ces stratégies consiste à minimiser les surfaces des ouvrants et d'introduire des protections solaires passives, la figure (4.3) illustre l'usage de protections solaires passives ; en fait ces charges peuvent être une source importante de gains de chaleur en été. Une autre stratégie consiste à encourager la promotion des pratiques humaines appropriées, et l'intégration de procédés passifs. En combinant ces stratégies, il est possible de réduire significativement les besoins en énergie (Mohammad Arif Kamal, 2021).



Figure 4.3 : projet espagnol d'architecture biophilique à Valence par le groupe Nice
Source : (Boulay, 2022)

2.3. Les charges énergétiques du au rayonnement solaire à travers les surfaces opaques (murs et toits)

Le rayonnement solaire chauffe les parois et la toiture, transmettant la chaleur vers l'intérieur. Cette chaleur se propage ensuite à l'intérieur, créant un flux thermique supplémentaire. L'ampleur de cet apport de chaleur dépend de plusieurs facteurs : comment les surfaces sont orientées, leur angle par rapport au soleil, où se trouve le bâtiment sur la planète, et l'heure de la journée. Capderou a étudié ces variations en 1978. Pour calculer précisément cette charge thermique additionnelle due au soleil et à ce qu'on appelle l'effet de température air-soleil, les experts utilisent une formule spéciale. Cette équation permet de déterminer ce qu'on nomme la "température équivalente" tel que :

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

$$Q_{CR} = K.S \left(\frac{aI}{f_e} \right) \text{ (FP et al, 2007). (5)}$$

a : facteur d'absorption de la surface externe exposée au rayonnement.

I : intensité du rayonnement solaire global reçue par la surface considérée.

f_e : coefficient total d'échange de surfaces externes.

S : surface exposée au rayonnement.

K : coefficient de transmission des composants de l'enveloppe

Δ t : gradient thermique (t_e-t_i)

Le supplément de température dû à l'exposition des surfaces opaques du bâtiment au rayonnement solaire peut augmenter les charges énergétiques du bâtiment. Cette augmentation dépend des facteurs tels que l'intensité du rayonnement, le facteur d'échange des surfaces externes et le facteur d'absorption de l'épiderme (Givoni, 1968).

Il est donc important de limiter ces apports de chaleur solaire en amont du projet, en choisissant une orientation appropriée du bâtiment. Cette orientation doit être choisie de manière à minimiser la surface des parois les plus exposées au rayonnement solaire.

En effet, une forme d'enveloppe bien dimensionnée et bien orientée peut réduire l'exposition des parois au rayonnement solaire, ce qui peut réduire les charges dues à l'exposition solaire.

2.3.1. Le facteur d'absorption a

La capacité d'une paroi à absorber le rayonnement solaire incident est quantifiée par le facteur d'absorption « a ». Celui-ci représente le rapport entre l'énergie effectivement absorbée par la surface et l'énergie totale reçue ; tel exprimé sur la figure (4.4). Cette proportion d'énergie captée ne doit aucunement être négligée lors de l'évaluation des flux radiatifs transmis à travers l'enveloppe. A titre d'illustration, considérons une température extérieure de 38°C, valeur courante en période estivale. Sous l'effet du rayonnement solaire direct, la face externe d'une paroi verticale exposée peut alors atteindre des températures extrêmes de 60 à 70°C, pour un coefficient d'absorption proche de l'unité (Lotz, 1964). Ce phénomène revêt une importance cruciale dans le calcul précis des charges énergétiques induites.

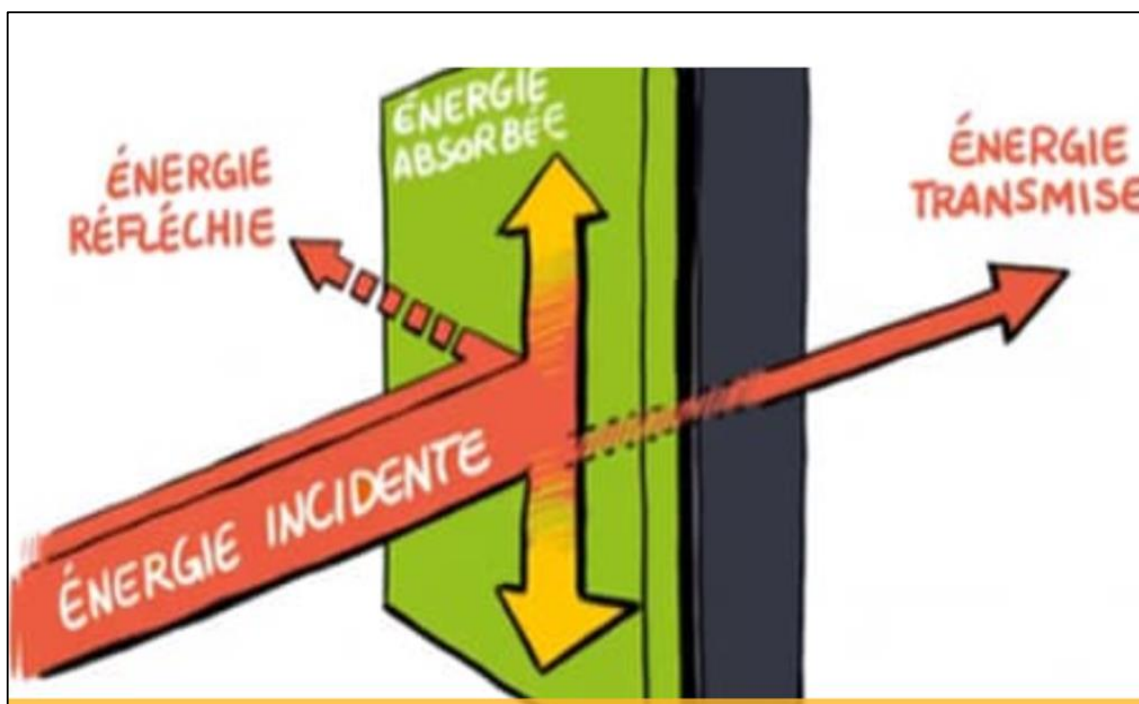


Figure 4.4 : influence de l'épiderme sur l'absorption du rayonnement solaire.

Source : (Watson, 1987)

La valeur du facteur « a » dépend intrinsèquement des propriétés de surface, la texture et la couleur. Afin d'en permettre une estimation fidèle, un système de notation numérique a été établi pour les teintes couramment utilisées dans la construction. Le tableau (4.1) ; répertorie les coefficients d'absorption associés à différents matériaux de construction.

Tableau 4.1 : Facteur d'absorption de différentes couleurs de l'épiderme

Source : (Givoni, 1978)

Surfaces badigeonnées neuves	0.10	—	0.15
Peinture à l'huile blanche	0.20	—	0.30
Marbre blanc	0.40	—	0.50
Gris moyen	0.60	—	0.70
Brique, béton	0.70	—	0.75
Noir brillant	0.80	—	0.85
Noir mat	0.90	—	0.95

2.3.2. Le coefficient d'échanges des surfaces externes *fe* ou *he*

Au niveau de l'enveloppe d'un bâtiment, un écart de température est généralement observé entre l'air extérieur et les parois. Ce phénomène résulte de la présence d'une mince couche

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

d'air stagnante à la surface des murs. Les transferts thermiques à travers ce film sont régis par un coefficient d'échanges superficiel traduisant la résistance thermique de cette lame d'air immobile et selon la face considérée de la paroi.

$$R = \frac{1}{h_e} \text{ (FP et al, 2007).....(6)}$$

Il convient de noter que le coefficient « h_e » n'est pas une propriété thermodynamique intrinsèque. Il s'agit d'une corrélation simplifiée permettant de caractériser les conditions aux limites des flux. C'est pourquoi on le désigne souvent comme une "propriété de flux". La plupart des ouvrages de référence fournissent des valeurs tabulées de ce coefficient de transfert thermique par convection pour diverses configurations. Le tableau (4.2) ; répertorie les valeurs types du coefficient h_e correspondant aux échanges par convection naturelle libre avec l'air ; ces valeurs sont les plus rapproché aux climats chaud et aride et aux conditions des journées chaudes de l'été.

Tableau 4.2 : valeurs du facteur d'échange des surfaces externes

Source : (Cengel, 1998)

Milieux	Coefficient de transfert thermique h_e (W/m ² .K)
Air (convection naturelle)	5-25
Air confiné	07
Air calme	10
Air libre	15

2.4. Les charges énergétiques du a la conduction thermique à travers les parois extérieures opaques

Lorsque la température extérieure dépasse celle de l'intérieur, la chaleur traverse l'enveloppe du bâtiment de l'extérieur vers l'intérieur. Ce phénomène de conduction thermique trouve son origine au niveau moléculaire. Les molécules possédant une énergie cinétique plus élevée, de par leurs vibrations plus importantes à haute température, transfèrent une partie de cette énergie thermique aux molécules voisines moins agitées. La conduction thermique dans les matériaux se fait par transfert d'énergie moléculaire des zones

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

chaudes vers les zones froides. Ce phénomène est au cœur des échanges thermiques dans l'enveloppe du bâtiment. L'efficacité de ce processus dépend étroitement des caractéristiques thermiques spécifiques de chaque couche composant les parois, comme l'illustre la figure (4.5). (Santamouris, 2001).

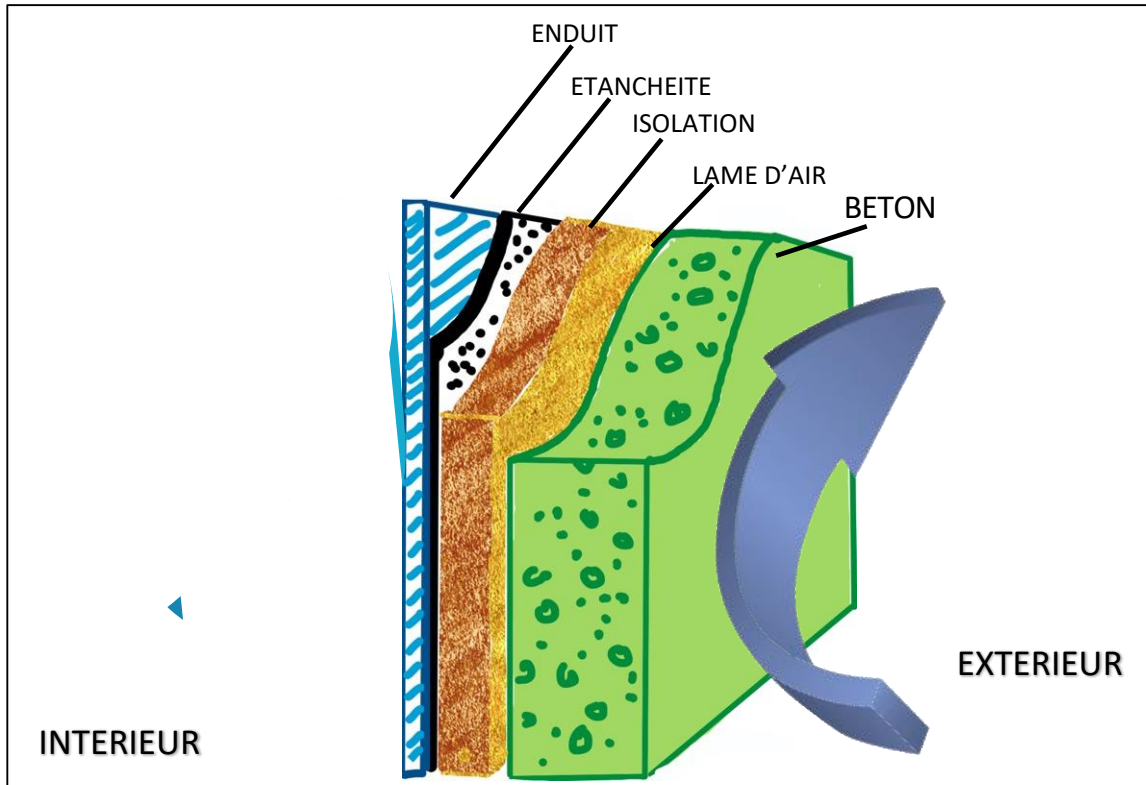


Figure 4.5 : La conduction thermique à travers les composants du mur (gains de chaleur).

Source : (Guyot, 1999)

Les apports de chaleur par conduction à travers l'enveloppe revêtent une importance accrue pour les bâtiments implantés en zones climatiques chaudes. Leur quantification dépend de la différence de température, des caractéristiques thermiques des parois et des surfaces d'échange. Le flux thermique transmis par conduction au travers des parois a été formalisé mathématiquement par (Fourier, 1822). Selon ses travaux fondateurs, ce transfert d'énergie est proportionnel à la différence de température ($\Delta t = t_e - t_i$) et au coefficient de conductivité thermique « k », caractéristique intrinsèque du matériau considéré. Les équations établies par Fourier demeurent aujourd'hui incontournables pour la modélisation des phénomènes de conduction au sein des bâtiments.

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

$$Q_c = \sum K.S (\Delta t) \text{ (ISO, 2017) } \dots\dots\dots(7)$$

$$Q_c = [K_n S_n + K_s S_s + K_e S_e + K_o S_o + K_t S_t]. (t_e - t_i)$$

t_e : température extérieure de base calculée pendant le jour et le mois le plus chaud de l'année moyenne des maximales

t_i : température intérieure de base (confort) égale la moyenne des températures annuelles

K : coefficient de transmission des composants de l'enveloppe (murs et toits) exprimé en (W/m². °C) ou (K cal/m². h. °C)

Le coefficient **K** est l'inverse de la résistance thermique : $K = \frac{1}{R}$

Pour réduire efficacement la consommation d'énergie liée aux transferts thermiques par conduction à travers l'enveloppe du bâtiment, plusieurs stratégies complémentaires sont à mettre en œuvre. Premièrement, il est crucial de minimiser les surfaces exposées aux conditions extérieures et d'optimiser leur orientation. Ensuite, le choix des matériaux de construction joue un rôle déterminant : il faut privilégier ceux qui offrent une résistance thermique élevée et un coefficient de transmission thermique très bas. Cette combinaison d'approches - conception architecturale réfléchie et sélection judicieuse des matériaux - permet de créer une barrière thermique efficace, minimisant ainsi fortement les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, ce qui réduit les besoins en climatisation. Cependant, pour obtenir une performance énergétique optimale, il est également important de choisir une forme d'enveloppe qui soit performante et efficace dans les conditions climatiques locales. En effet, la forme de l'enveloppe peut avoir un impact significatif sur les charges énergétique du bâtiment, en influençant la quantité de chaleur transférée à travers les parois.

2.4.1. Le coefficient de transmission thermique k

Le coefficient de transmission thermique (k) d'une paroi, exprimé en W/m²K, est un indicateur clé de sa performance isolante. Santamouris et al. (2013) le définissent comme la quantité de chaleur traversant une unité de surface de paroi par unité de temps et de différence de température entre ses faces. Mathématiquement, **k** est l'inverse de la résistance thermique totale (**RT**) : **$k = 1 / RT$** . Cette valeur est cruciale pour calculer les flux thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment. Un **k** faible indique une meilleure isolation. Dans la

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

pratique, les concepteurs privilégient l'utilisation de **k** plutôt que **RT** pour une estimation plus directe des transferts de chaleur.

$$K = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + h_e + h_i$$

R : Résistance thermique en (m².°C/W) ou (m².h.°C/K cal). Il est défini comme le pouvoir d'un matériau de freiner le flux de chaleur $R = \frac{e}{\lambda}$

La valeur du coefficient **k** dépend en grand partie de la conductivité thermique lambda selon le tableau (4.3).

Tableau 4.3 : conductivité thermique lambda
Source : (AGW, 2008)

Matériaux de construction	Conductivité thermique λ : (W/m ² °C)
Air (78% Azote N ₂ - 21% Oxygène O ₂ - 0,93% Argon Ar - 0,04% CO ₂)	0,025
Laine de verre ou laine de roche	0,035
Polystyrène expansé classe 5 selon la norme NF T 56-203	0,037
Bois (Fibre de)	0,04
Liège expansé pur	0,043
Liège comprimé	0,1
Bois - Panneaux de particules de bois	0,17
Bitume	0,23
Plâtre standard	0,35
Béton de pouzzolane	0,44
Amiante-ciment cellulose	0,46
Plâtre haute dureté	0,5
Brique (terre cuite)	0,84
Amiante-ciment	0,95
Terre cuite	1 - 1,35
Pierre tendre	1,05
Asphalte	1,15
Béton armé et mortier	1,5
Verre	1,5

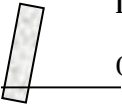
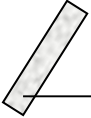
Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

Béton plein - Bétons de granulats lourds siliceux, silico-calcaires et calcaires	1,75
Ardoise	2,1
Marbre	2,9
Basalte	3,5
Granite	3,5

La valeur du coefficient **k** dépend aussi du coefficient d'échange superficiel qui correspond à la résistance du film d'air mince qui entoure l'épiderme de l'enveloppe $\frac{1}{h_e}$ sa valeur est donner selon le tableau (4.4).

Tableau 4.4 : Valeurs du coefficient d'échange superficiel.

Source : (Rebzani et Al, 1998)

$K = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{h_e + h_i}$	Paroi en contact avec l'extérieur		
	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$
 Latérale (Mur)	0.10	0.04	0.14
 Latérale (Mur)	0.16	0.04	0.2
 (plancher)	0.08	0.04	0.12

La valeur du coefficient **k** est donnée généralement en valeur tabulée dépendants des types fréquents des murs et toits ; issues des documents de la thermique de bâtiment tel que le tableau (4.5).

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

Tableau 4.5 : quelques valeurs du coefficient k pour murs et planchers

Source : (Energie. Environnement, 2018)

Type de paroi	Coefficient de transmission thermique (k) (en W/m²xK)
Mur plein de 29 cm	2,2
Mur plein de 39 cm	1,8
Mur creux non isolé	1,7
Mur creux isolé	0,45
Mur plein bardé non isolé	1,8
Mur plein bardé isolé	0,7
Toiture plate en béton non isolée	2,4
Toiture plate en béton isolée	0,45
Plancher en béton de combles inoccupés non isolé	2,6
Plancher en béton de combles inoccupés isolé	0,6

En climat chaud et aride, l'efficacité thermique du bâtiment repose sur une bonne gestion des composants de son enveloppe. Trois facteurs clés entrent en jeu : l'absorption (a), la conduction (k) et la réflexion (fe) des parois extérieures. Ces paramètres doivent être soigneusement équilibrés et travaillés en couple avec la réduction des surfaces exposées. Le but est de réduire les apports de chaleur non souhaités pour améliorer le confort et l'efficacité énergétique. Ernst et Sohn (2012), soulignent l'importance d'intégrer ces considérations dans la conception architecturale. En appliquant ces principes, il est possible de créer des espaces intérieurs confortables et économes en énergie, Satisfaisant ainsi aux critères actuels de durabilité et d'efficacité énergétique

Cette approche holistique de la conception thermique permet non seulement d'améliorer le bien-être des occupants, mais aussi de réaliser des économies d'énergie significatives, Un enjeu crucial dans les zones chaudes et arides où la maîtrise thermique est un défi permanent.

3. Évaluation de l'impact de la forme de l'enveloppe sur la minimisation des charges énergétiques

Sachant que La quantité de charges thermiques transmise est:

$$Q = Q_c + Q_s + Q_v = \sum K_n S_n \Delta t + \sum S_v I O + \sum S_o 1300 V \Delta t \dots\dots\dots (1)$$

3.1. Hypothèse 01 – Isolation de l'indicateur

Dans le cadre de cette étude, nous postulons que pour se concentrer de manière exclusive sur l'indicateur déterminant, à savoir la configuration générale de l'enveloppe du bâtiment, il est envisageable de négliger les contributions thermiques issues de la convection et du rayonnement solaire à travers les surfaces vitrées. Cette démarche implique la distraction des ouvertures dans le modèle de l'enveloppe opaque, de manière à ce que les transferts de chaleur par convection (Q_v) et par rayonnement solaire (Q_s) à travers ces surfaces soient minimisés, tendant ainsi vers une valeur négligeable. Cette hypothèse est fondée sur la supposition que l'impact de ces flux thermiques sur la forme générale de l'enveloppe est secondaire par rapport aux paramètres pris en compte dans cette étude. Cette modélisation simplifiée permettra une analyse plus précise et concentrée sur les caractéristiques morphologiques et géométriques principales du bâtiment. Voir la figure (4.6) pour une représentation graphique de l'approche de l'enveloppe compacte.

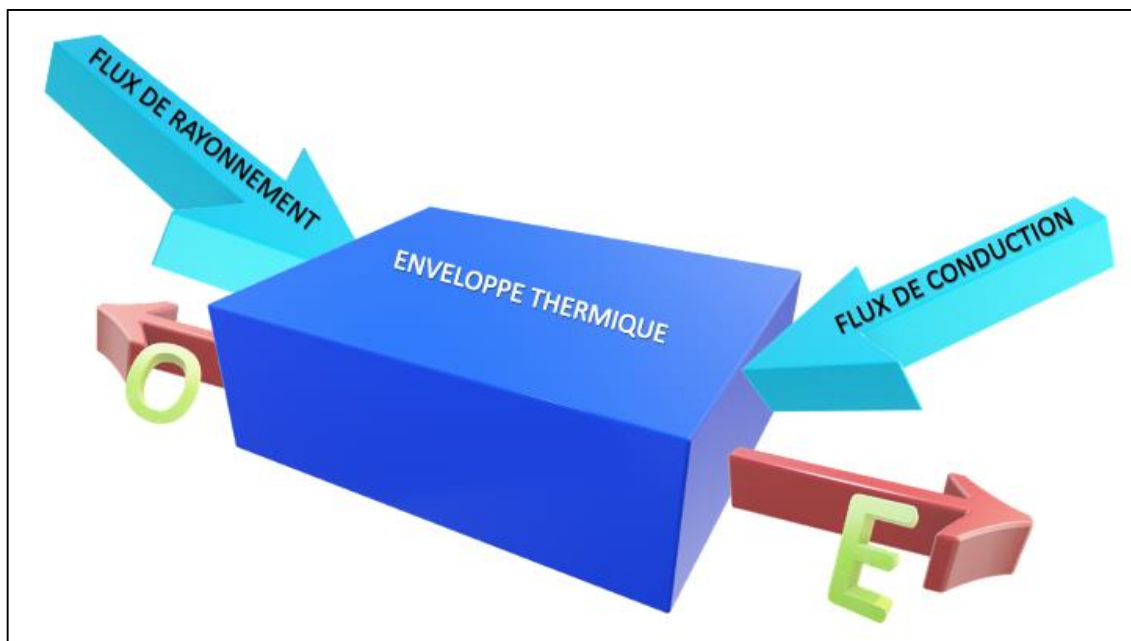


Figure 4.6 schémas des effets de la conduction et du rayonnement à travers l'enveloppe opaque

En isolant ainsi l'indicateur de la forme globale de l'enveloppe, il devient possible d'analyser de manière plus précise l'impact de cette forme sur les charges énergétiques du bâtiment. Cette démarche permet également de déterminer quelle configuration de l'enveloppe est la plus efficace pour réduire la quantité de chaleur transférée à travers celle-ci, ouvrant ainsi la voie à des économies d'énergie considérables.

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

Il convient de noter que cette approche simplifiée ne constitue pas une méthode exhaustive pour la conception énergétique des bâtiments. Les charges thermiques dues à la convection et au rayonnement solaire à travers les surfaces vitrées peuvent significativement impacter la performance énergétique globale, particulièrement dans les climats chauds et ensoleillés. Cependant, en négligeant ces facteurs, Notre recherche identifie et démontre l'impact majeur de la morphologie de l'enveloppe sur l'efficacité énergétique du bâtiment. Pour une analyse plus précise de son impact sur les charges thermiques du bâtiment, cette approche doit être utilisée avec intelligence et adaptée aux conditions climatiques et aux objectifs énergétiques spécifiques de chaque étude.

3.2. Hypothèse 02 - Fixation des indicateurs non concernés

La seconde hypothèse de notre recherche, "Fixation des indicateurs non concernés", se concentre sur l'analyse du lien direct entre la forme globale du bâtiment et ses gains de chaleur. Pour isoler cet aspect spécifique, Nous avons fixé comme constantes l'inertie thermique et les propriétés des matériaux. Cette approche nous permet d'examiner en détail l'impact de la morphologie du bâtiment sur sa performance énergétique, sans l'influence d'autres variables. En fixant ces paramètres, nous pouvons mieux comprendre comment la forme architecturale seule affecte les gains thermiques, offrant ainsi des solutions précieuses pour la conception de bâtiments énergétiquement efficaces dans divers contextes climatique. À cette fin, nous faisons l'hypothèse que les caractéristiques thermo-physiques des matériaux de construction sont similaires, ce qui nous permet de considérer que toutes les surfaces de l'enveloppe possèdent des caractéristiques thermiques identiques : coefficient **K**, coefficient d'absorption **a** et facteur de réflexion externe **fe**. Cette hypothèse simplifie l'étude et nous permet de nous concentrer spécifiquement sur l'impact de la forme globale du bâtiment sur les gains de chaleur. En isolant ainsi l'indicateur et en examinant la relation entre la forme globale du bâtiment et les gains de chaleur, nous sommes en mesure d'identifier les formes présentant un potentiel de performance ainsi que les possibilités d'amélioration.

$$K_1 = K_2 = \dots\dots\dots = K_n = K_E$$

K_E : est une expression numérique qui représente un coefficient de transmission thermique moyenne de l'enveloppe.

Tant que ; les charges dues aux ouvrants et aux surfaces vitrées seront négligées pour limiter les variables du contrôle des charges énergétiques dans le bâtiment. On peut donc

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

écrire dans une forme générale condensée pour un bâtiment situé dans une région à climat chaud et aride :

$$Q = Q_c + Q_{CR} = \sum K_n S_n \Delta t + K.S \left(\frac{aI}{fe} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Pour obtenir la quantité des charges transmises par rapport au volume habitable « **coefficient de gain G** » on divise les deux parties de l'équation par le volume considéré « **V** ».

$$\frac{Q}{V} = \frac{\sum K_n S_n \Delta t}{V} = \frac{\sum K_n S_n}{V} \Delta t + K.S \left(\frac{aI}{fe} \right) / V$$

$$G = \frac{(S_1 K_1 + S_2 K_2 + \dots S_n K_n)}{V} \Delta t + K.S \left(\frac{aI}{fe} \right) / V$$

Le coefficient de gains « G » peut alors s'écrire :

$$G = \frac{\sum S_n}{V} K_E \Delta t = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{V} K_E \Delta t + K.S \left(\frac{aI}{fe} \right) / v \dots\dots\dots (8)$$

D'où: $S_1 + S_2 + \dots + S_n = S_E$: est la somme des surfaces de l'enveloppe.

L'expression $G_a = \frac{\sum S_n}{V} K_E \Delta t$, fait apparaître que. Pour arriver à concevoir des formes efficaces il faut faire de tel sort que le rapport **Se/v** qui désigne le facteur de forme est d'autant plus réduit que possible ; cette dernière équation désignée comme étant début du méta-model considéré pour les futures simulations.

3.3. Hypothèse 03 - Contrainte d'abstraction mathématique

En réalité, l'équation $G = G_a + G_b = K_E .S_e/V. (t_i - t_e) + K S \frac{aI}{fe} \dots\dots\dots (09)$

Indique que la forme de l'enveloppe agira comme si elle n'était pas exposée au soleil, mais que la température extérieure sera plus élevée sur la surface ensoleillée pendant l'heure, le jour et le mois les plus chauds pris en compte dans l'analyse. En d'autres termes, cette équation permet de prendre en compte l'impact des gains sur la température intérieure du bâtiment, en considérant que la forme de l'enveloppe joue un rôle clé dans la régulation

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

thermique. Ainsi, elle permet de déterminer les quantités de chaleur qui pénètrent dans le bâtiment.

Étant donné que $Se/V = C_f$. Le facteur interprète la forme de l'enveloppe (l'indicateur) est un élément variable de l'équation, on peut atteindre notre premier objectif qui est la minimisation des charges par conduction $G_a = K_E Se/V (t_i - t_e) \dots\dots\dots(10)$

En minimisant la valeur C_f . ceci en faisant un choix étudier du volume et de la géométrie. Comme on peut atteindre notre deuxième objectif qui est la minimisation des charges par rayonnement ;

$$G_b = K.S \left(\frac{aI}{fe} \right) /v \text{ (Capderou, 1985)} \dots\dots\dots(11)$$

par la détermination des **dimensions et des proportions** optimales (**L, H, I**) du Point de vue énergétique en fixant l'orientation la plus favorable ; cette étape est considérée comme premier développement du méta-modèle.

3.4. Hypothèse 04 -Choix de L'orientation favorable

L'orientation du bâtiment joue un rôle crucial dans sa conception énergétique. J L Izard (1985) souligne l'importance de maîtriser l'exposition solaire pour optimiser les performances thermiques. Une stratégie courante consiste à aligner le bâtiment sur l'axe Est-Ouest. Cette orientation permet de minimiser l'impact du soleil sur les façades Est et Ouest, qui sont particulièrement vulnérables aux gains thermiques estivaux. En conséquence, ces façades font l'objet d'une attention particulière lors du dimensionnement et de la conception, visant à réduire leur exposition aux rayons solaires intenses. Il est recommandé, dans les régions telles que celle de notre étude, de privilégier un allongement dans les directions Est/Ouest (Zeng et al, 2020).

4. Définition de l'indicateur « l'enveloppe » et sa relation avec la quantité d'énergie entrant dans le bâtiment

Le concept d'enveloppe de bâtiment est relativement nouveau, étant introduit et développé dans la théorie architecturale au 18ème siècle. L'enveloppe est définie comme une sorte de peau séparant l'extérieur de l'intérieur du bâtiment, qui doit contribuer à rendre l'intérieur confortable. (Daniel, 1997). Cette approche vise à réguler le problème du confort dès la conception, pour mieux comprendre et impliquer la conception de l'enveloppe des bâtiments dans une nouvelle culture du confort durable, qui vise avant tout le confort et la santé des

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

occupants. En effet, l'enveloppe a une forte influence sur le confort, elle détermine les consommations énergétiques et régule les transferts entre l'intérieur et l'extérieur.

Les transferts thermiques d'un bâtiment dépendent principalement du rapport surface d'enveloppe/volume habitable, illustré en figure (4.7). Ce facteur de forme (**Cf**) dépend de plusieurs caractéristiques architecturales : le volume global, la géométrie, les dimensions et les proportions du bâtiment.

Dans notre étude, ces éléments sont traités comme des indices d'influence essentiels. Ils jouent un rôle crucial dans la performance thermique du bâtiment, influencent les flux de chaleur et orientent la conception architecturale selon le climat. Notre démarche vise à moduler l'enveloppe (forme géométrique, volume, dimensions et proportions) Pour développer des formes passives en évaluant scientifiquement la performance énergétique, nous mettons en place une stratégie visant à limiter l'utilisation des procédés de refroidissement en minimisant les échanges énergétiques à travers l'enveloppe.

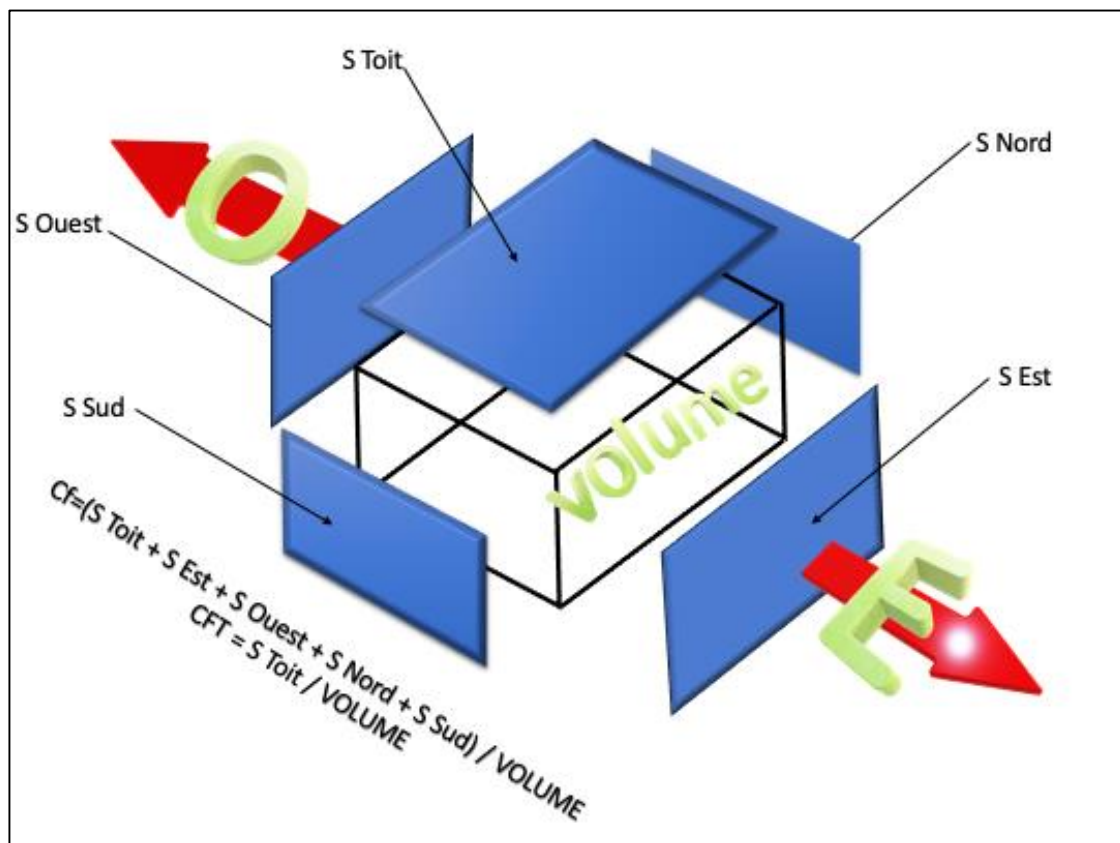


Figure 4.7 : schéma explicatif du facteur de forme

Source : (Auteur, 2024)

L'objectif principal pour atteindre un bilan énergétique optimal est de se protéger contre la radiation solaire. Le principe est assez simple : la configuration de l'enveloppe du bâtiment

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

permet à l'énergie solaire de pénétrer à l'intérieur, ce qui augmente la température intérieure et les besoins en refroidissement. Cependant, pour maintenir un équilibre thermique pendant les périodes de surchauffe, Dans notre cas, il faut diminuer les gains de chaleur par des solutions passives. L'optimisation thermique nécessite de calculer les transferts de chaleur (conduction, rayonnement) en fonction de la configuration morphologique du bâtiment. Cette approche permet de manipuler et minimiser ces transferts thermiques à travers la configuration architecturale. En effet, adapter la forme de l'enveloppe du bâtiment pour limiter les gains de chaleur s'avère être une stratégie efficace pour maintenir un équilibre thermique optimal (HEW et al, 2021).

5. Détermination de l'impact de l'enveloppe sur la quantité des gains énergétiques entrant dans le bâtiment

L'impact de l'enveloppe sur les gains énergétiques dans les régions chaudes et arides requiert une attention particulière. Bien que les nuances de chaleur et d'aridité varient d'un endroit à l'autre, ces régions partagent un défi commun : les importants gains de chaleur causés par l'intensité du rayonnement solaire et les températures extérieures très élevées. Ces flux de chaleur traversent les enveloppes des bâtiments selon les trois modes de transfert déjà cités (rayonnement, conduction, convection), provoquent une augmentation importante de la température intérieure. Les surfaces exposées (façades, murs, toits) atteignent des températures dépassant celle de l'air extérieur, affectant jusqu'à 50% des surfaces opaques. (Al-Ajmiet et al, 2020).

Face à ces conditions potentiellement inconfortables voire incontrôlables, Il est déterminant de réduire l'absorption de chaleur par les surfaces de l'enveloppe. Nous réfléchissons ainsi à concevoir des formes qui, par leurs géométries, volumes, dimensions et proportions, minimisent les gains de chaleur dus au rayonnement solaire et au gradient thermique. Notre démarche consistera à moduler ces indices clés (géométrie, volume, dimensions, proportions) pour aboutir à des modèles de formes passives et efficaces ; Pour parvenir à cet objectif, Il est essentiel d'établir des indicateurs chiffrés pour évaluer la performance énergétique des formes étudiées. Ces critères guideront l'analyse numérique et permettant d'évaluer l'optimisation de l'efficacité des enveloppes face aux charges énergétiques reçues, sachant bien que l'influence de l'énergie reçue ; absorbée et transmise seront prises en charge dans cette étude que pour une enveloppe opaque selon les hypothèses déjà annoncer.

5.1. Formalisation de l'analyse numérique

Notre problème sera interprété mathématiquement par la minimisation du facteur de gains énergétiques **G** à travers l'optimisation de l'équation (09)

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_a + \mathbf{G}_b = K_E \frac{Se}{V} (t_i - t_e) + K S \frac{aI}{f_e} \dots\dots\dots (09)$$

Ce Meta modèle veut dire que notre problème d'optimisation est divisé en deux sous problèmes tel que :

5.1.1. Minimisation des gains énergétiques par conduction sous L'effet du gradient thermiques ($t_i - t_e$)

$$\mathbf{G}_a = K_E \frac{Se}{V} (t_i - t_e) \dots\dots\dots (10) \text{ d'où } \frac{Se}{V} = C_f$$

Pour optimiser l'efficacité énergétique d'un bâtiment, on doit minimiser les gains de chaleur, représentés par la valeur **G_a**. La clé de cette optimisation réside dans la réduction du facteur de forme global (**C_f**), qui constitue l'élément variable de l'équation. Cette approche nécessite une attention particulière aux indices de géométrie et de volume du bâtiment. Le but est de créer une forme architecturale impliquant le rapport surface d'enveloppe/volume habitable (**C_f**), on réduit les surfaces d'échange thermique avec l'environnement extérieur, ce qui limite naturellement les gains de chaleur.

A- Indice d'influence de La géométrie

Lorsque nous fixons la valeur du volume « **V** », notre objectif est de déterminer la configuration géométrique optimale qui permet de minimiser les apports énergétiques par unité de volume (coefficient **G_a**) en trouvant la forme qui réduit le facteur de forme **C_f**, paramètre géométrique crucial pour limiter les échanges thermiques, en optimisant la configuration pour diminuer **C_f**, en limitant les surfaces d'échange avec l'extérieur, réduisant ainsi les gains de chaleur et améliorant naturellement la performance thermique du bâtiment. Toutefois, il convient de souligner que cette optimisation doit être réalisée tout en garantissant le maintien d'un niveau de confort thermique tolérable à l'intérieur du volume habitable. Ce processus d'optimisation géométrique s'inscrit dans une démarche scientifique rigoureuse visant les exigences de l'efficacité énergétique.

B - Indice d'influence du volume

Pour analyser de manière approfondie l'impact de la valeur du volume "V" sur la réduction des gains énergétiques par volume "Ga", une approche systématique sera adoptée. Dans cette optique, la forme géométrique du bâtiment sera maintenue constante tandis que différentes valeurs du volume seront explorées et étudiées. En effectuant cette variation, nous pourrions évaluer de manière exhaustive comment le volume du bâtiment influe sur ses performances énergétiques. Cette approche analytique vise à révéler les corrélations entre le volume bâti et les gains énergétiques correspondants. En examinant ces relations, nous pourrions dégager des tendances significatives qui guideront la conception architecturale. Ces solutions seront précieuses pour optimiser la forme des bâtiments, permettant ainsi de réduire efficacement leur consommation d'énergie. En étendant notre analyse sur une plage diversifiée de valeurs de volume, Cela permettra de mieux comprendre les facteurs qui déterminent l'efficacité énergétique de l'enveloppe bâtie.

5.1.2. Minimisation des gains énergétiques par rayonnement sous L'effet du supplément de température $\frac{aI}{fe}$

Le coefficient de gains énergétiques par volume « **Gb** », exprimé par l'équation :

$$\mathbf{Gb} = \mathbf{K} \frac{aI}{fe} * \mathbf{Cfn}.....(10), \text{ repose sur le facteur de forme partiel « Cfn », défini comme le}$$

rapport entre la surface exposée au soleil pendant une heure de simulation donnée et le volume total du bâtiment, représenté par **V**. Ce facteur constitue la variable clé de l'équation **Gb**, agissant pour minimiser les excédents de gains énergétiques résultant du rayonnement solaire. Par le suivi de l'évolution de l'indice dimensions et proportions, cette approche nous offre la possibilité de déterminer les proportions optimales favorisant l'efficacité énergétique de la forme architecturale, en tenant compte d'une orientation déjà recommandée selon nous hypothèses. Cette démarche analytique permet de rationaliser la conception architecturale en intégrant les principes de performance énergétique dans la phase de préconception.

C- Indice d'influence des proportions et des dimensions

En conservant la géométrie et le volume du bâtiment constants, Notre recherche vise à optimiser les dimensions des façades Est, Ouest et de la toiture. Cette analyse cible trois moments critiques de la journée, identifiés par simulation numérique : 10h, 12h et 16h. Cette approche est essentielle pour évaluer avec précision les gains de chaleur dus au rayonnement solaire pénétrant à l'intérieur du bâtiment à ces instants spécifiques. En analysant ces données à différents moments de la journée, nous pourrions déterminer la configuration optimale visant à minimiser ces gains de chaleur significatifs. Cette approche stratégique offre ainsi la possibilité d'adapter la conception architecturale de manière précise et ciblée, en tenant compte les variations journalières du rayonnement solaire et de leurs impacts sur la performance énergétique du bâtiment.

D- Les niveaux de la simulation numérique

Avant d'entreprendre la simulation, il est essentiel de fixer les paramètres adéquats afin d'évaluer précisément l'apport énergétique supplémentaire transmis à l'intérieur de l'édifice résultant de l'exposition au soleil d'une ou plusieurs surfaces de l'enveloppe. Cette étape requiert de définir rigoureusement les dimensions des surfaces exposées ainsi que leurs proportions relatives optimales. En fonction de la quantité de l'énergie reçu ; absorbé et transmise. Les calculs doivent être effectués dans des conditions climatiques extrêmes correspondant aux régions chaudes et arides, et plus spécifiquement, Durant le pic de chaleur annuel, typiquement le 21 juillet par ciel dégagé.

Les simulations énergétiques se concentrent sur les façades Est, Ouest et la Toiture, particulièrement exposées au soleil. L'analyse à trois moments clés (matin, midi, après-midi) offre un compromis optimal entre précision des résultats et simplicité du modèle pour évaluer les transferts énergétiques. Il donc possible de définir précisément les paramètres de simulation pour mesurer l'impact de l'exposition solaire. Sur la transmission de l'énergie à l'intérieur du bâtiment.

Niveau (1) : Le matin à (10:00 h)

La façade Est est la seule surface exposée de toute l'enveloppe.

$$G_1 = K_E \frac{S_e}{V} (t_i - t_e) - K_E \frac{S_1}{V} \frac{aI}{f_e} \dots\dots\dots(11) \text{ d'où:}$$

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

S₁: la somme des surfaces des parois orientées Est, exposée le matin à 10 :00 h.

Niveau (2) : A midi (12 :00 h) :

La toiture est la seule surface exposée de toute l'enveloppe.

$$G_2 = K_E \frac{S_e}{V} (t_i - t_e) - K_E \frac{S_2}{V} \frac{aI}{f_e} \dots\dots\dots (11) \text{ d'où:}$$

S₂ : la somme des surfaces horizontales (toitures), exposées à midi.12 :00h

Niveau (3) : L'après-midi à (16 :00 h) :

La façade Ouest est la seule surface exposée de toute l'enveloppe.

Dans ce cas le coefficient de gains de chaleur « G » devrait s'écrire tel que :

$$G_3 = K_E \frac{S_e}{V} (t_i - t_e) - K_E \frac{S_3}{V} \frac{aI}{f_e} \dots\dots\dots (11) \text{ d'où}$$

S₃ : la somme des surfaces des parois orientées Ouest exposées le soir à 16 :00h.

$$\frac{S_1}{V} + \frac{S_2}{V} + \frac{S_3}{V} + \dots\dots\dots + \frac{S_n}{V} = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots\dots + S_n}{V} = \frac{S_e}{V}$$

La somme de ces variables est appelée le facteur de forme partiel qui correspond à la somme des surfaces exposer pendant l'heure, le jour et mois considérer par rapport au volume habitable.

5.2. Les invariables de l'analyse numérique (Caractéristiques thermo physiques et données climatiques)

L'analyse numérique se fait théoriquement pour l'altitude 30° durant le mois de juillet et Le calcul de gains se fait sous un régime permanent. (Capderou. M. 1985).

K_E = Conductance des parois externe « moyenne » (1.3 w/m². °C).

a = Coefficient d'absorption de l'enveloppe (0.7).

f_e = Coefficient d'échange des surfaces externes (7 w/m². °C).

t_i = Température intérieur de base (confort) égale la moyenne des températures annuelles (25 °C).

t_e = Température extérieure (40 °C).

I₁ = Intensité de la radiation incidente sur S₁ (Est) = 516 w /m².

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

I_2 = Intensité de la radiation incidente sur S_2 (Toiture) = 776 w/m².

I_3 = Intensité de la radiation incidente sur S_3 (Ouest) = 516 w/m².

I_4 = Intensité de la radiation incidente sur S_4 (Sud) = 94 w/m².

I_5 = Intensité de la radiation incidente sur S_5 (Nord) = 50 w/m².

5.3. Choix des échenillons et de Leur caractéristiques morphologiques

Les formes architecturales comme le cube, le parallélépipède et la tour sont largement utilisées en milieu urbain pour leurs avantages multiples. Ces géométries offrent un équilibre entre esthétique, fonctionnalité et performance environnementale. Elles permettent une utilisation efficace de l'espace, facilitent la construction, et peuvent être optimisées pour l'efficacité énergétique. Leur adaptabilité aux diverses contraintes urbaines explique leur popularité dans la conception architecturale moderne. Ce choix est justifié en plus par leur efficacité spatiale, leur capacité à maximiser la densité urbaine et leur adaptabilité aux conditions climatiques spécifiques des régions chaudes et arides, telles que soulignées dans l'analyse typo-morphologique (zeroual et Bourbiaa, 2006).

"En outre, les tours ont été largement étudiées pour leur rôle dans la maximisation de la densité urbaine. Une recherche menée par Garcia et al (2020), a montré que les tours permettent de concentrer les activités et les habitations verticalement, libérant ainsi de l'espace au sol pour d'autres usages. Cette approche est cruciale pour répondre à la demande croissante de logements dans les zones urbaines densément peuplées" (Brown, 2019).

Quant à leur pertinence dans les régions chaudes et arides, une analyse menée par l'Institut de recherche en architecture durable (IRAD) a démontré que les formes cubiques et parallélépipédiques peuvent être adaptées pour améliorer le confort thermique des bâtiments dans de telles conditions climatiques. En concevant des façades bien orientées et en utilisant des matériaux appropriés, il est possible de minimiser l'exposition au soleil direct et de maximiser la ventilation naturelle (IRAD, 2015). De même, Une recherche de Johnson et al. (2017) sur des gratte-ciels emblématiques en climats chauds à montrer l'importance des protections solaires et de la ventilation pour le confort des occupants dans les grands bâtiments.

Les modèles architecturaux sélectionnés, à savoir le cube, le parallélépipède et la tour, sont exposés de manière détaillée dans le tableau (4.6) et la figure (4.8), mettant en lumière leurs caractéristiques distinctives en termes de conception.

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

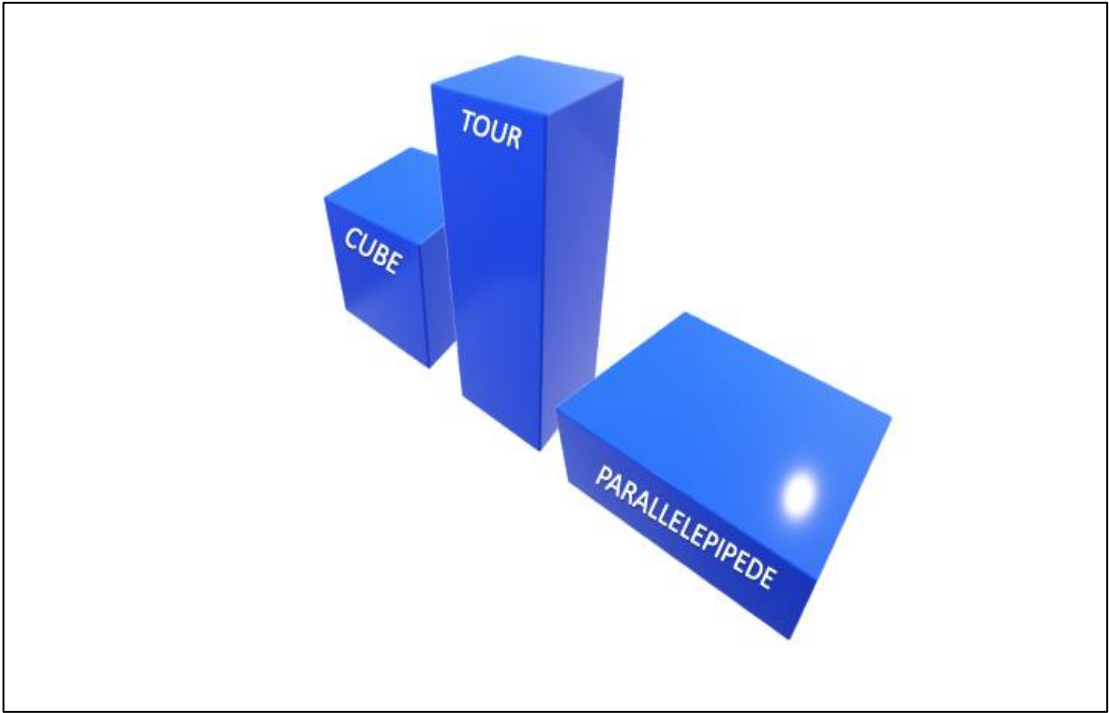


Figure 4.8 : les modèles de la simulation
Source : (Auteur, 2024)

Tableau 4.6 : description morphologique des modèles de la simulation
Source : (Auteur, 2024)

Modèle	SE	V	C _f	Les proportions	C _f ' (expression réduite)
Modèle 0 de référence Cube	S _{E0} =5 a ²	V ₀ = a ³	C _{f0} = $\frac{5}{a}$	/	C _{f0} = $\frac{5}{a}$
Modèle 1 Parallélépipède	S _{E1} =2LH+2 lH+LH	V ₁ = L l H	C _{f1} = $\frac{2}{L} + \frac{2}{l}$ + $\frac{1}{H}$	L= $\frac{3}{2}$ l H= $\frac{3}{4}$ l	C _{f1} = $\frac{25}{9l}$
Modèle 2 tour	S _{E2} =2LH+2lH+LH	V ₂ = L l H	C _{f2} = $\frac{2}{L} + \frac{2}{l}$ + $\frac{1}{H}$	L= $\frac{3}{2}$ l H= $\frac{9}{4}$ l	C _{f2} = $\frac{34}{9l}$

Chapitre IV : Le Comportement thermique du bâtiment en été et sa relation avec la forme de l'enveloppe

Conclusion

Ce chapitre a exploré en profondeur le comportement thermique des bâtiments dans les régions chaudes et arides, mettant en lumière l'interaction cruciale entre la forme de l'enveloppe et les performances énergétiques. Notre analyse a révélé que ces bâtiments sont exposés à de forts gains énergétiques de chaleur dus à l'intensité du rayonnement solaire et aux températures extérieures élevées, la majeure partie de ces gains étant transmise à travers l'enveloppe opaque par conduction thermique et rayonnement solaire.

Pour répondre à ces défis, nous avons développé un méta-modèle basé sur une analyse numérique et paramétrique de l'efficacité énergétique. Celui-ci vise à minimiser les gains énergétiques en optimisant l'équation du coefficient de gains énergétiques :

$$G = G_a + G_b = K_e \Delta T C_f + K_e aI/fe C_{fn}$$

Notre approche consiste à diviser le problème en deux sous-problèmes :

- Minimiser $G_a = k_e \Delta T C_f$, en étudiant l'influence du facteur de forme C_f sur les variations de G_a sous l'effet du gradient thermique ΔT .
- Minimiser $G_b = K_e aI/fe C_{fn}$, en explorant l'influence du rayonnement solaire sur les variations de G_b en fonction du facteur de forme partiel C_{fn} .

Notre approche méthodologique permis d'évaluer l'impact de la géométrie, du volume, des dimensions et des proportions sur l'efficacité énergétique des bâtiments, en considérant une orientation Est-Ouest optimale. Les résultats offrent aux professionnels du bâtiment des outils concrets pour concevoir des structures écoénergétiques adaptées aux climats chauds et arides. L'intégration précoce des principes bioclimatiques dans le processus de conception s'avère cruciale pour réduire la dépendance à la climatisation mécanique et promouvoir la durabilité des environnements bâtis. Cette approche holistique ouvre la voie à une architecture plus respectueuse de l'environnement et mieux adaptée aux défis climatiques actuels.

En conclusion, cette étude démontre que l'optimisation de la forme de l'enveloppe, en conjonction avec d'autres stratégies bioclimatiques, Cette approche optimise l'efficacité énergétique en climat chaud et aride, impliquant la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ tout en améliorant le confort. Le chapitre suivant sera consacré à l'application d'un méta-modèle d'analyse numérique et paramétrique avancé. Cet outil nous permettra d'évaluer en détail l'impact de chaque facteur sur l'optimisation de l'efficacité énergétique des bâtiments. Cette approche approfondie vise à valider les hypothèses de notre étude de manière rigoureuse

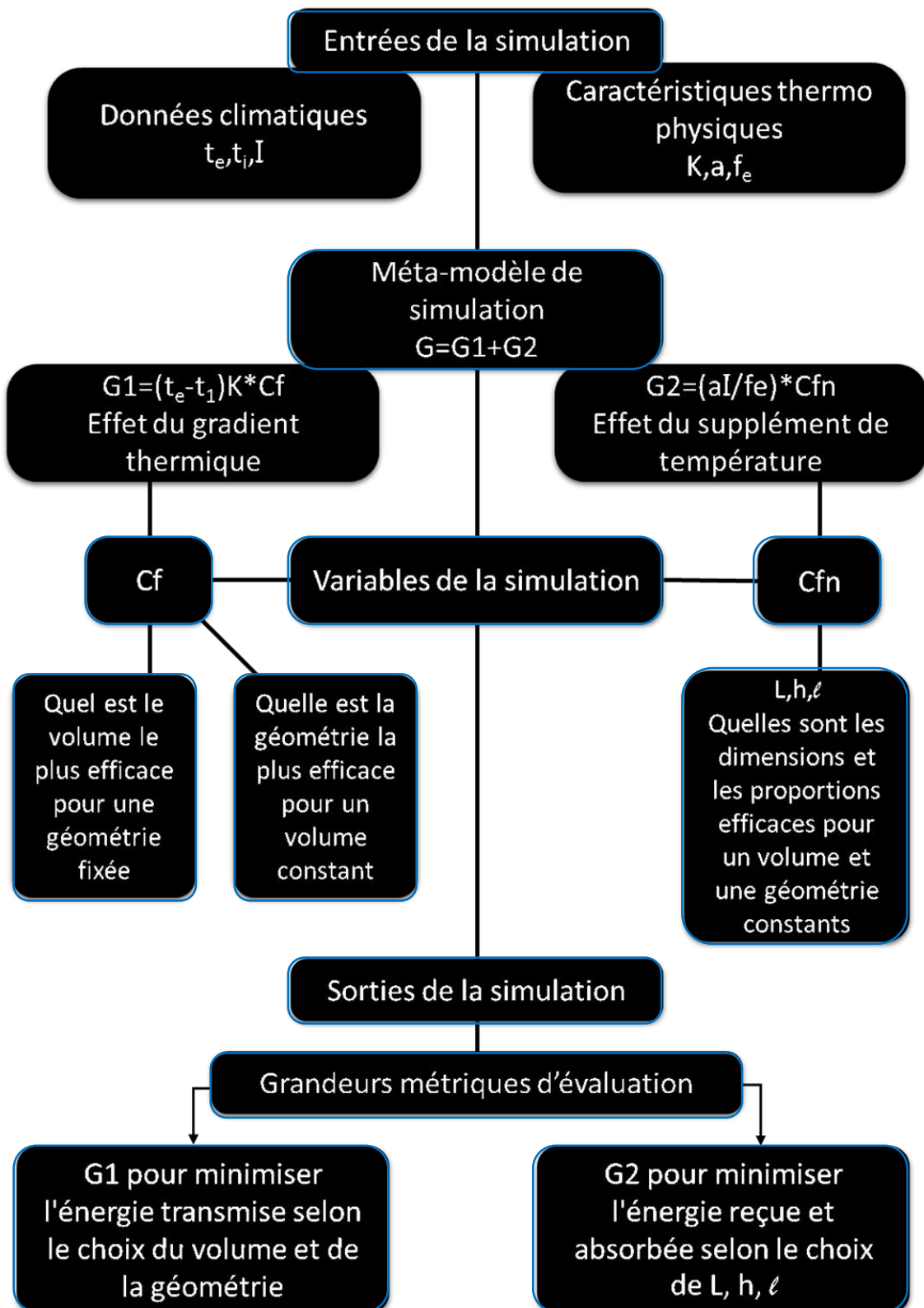


Figure 4.9 : Schéma de simulation détaillé

CHAPITRE V : Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

Introduction

Ce chapitre étudie l'optimisation énergétique des bâtiments via la géométrie de leur enveloppe. Les simulations permettent de constater des issues pour réduire la consommation d'énergie dès la phase de conception. L'optimisation énergétique des bâtiments se concentre principalement sur la limitation des échanges thermiques à travers leurs enveloppes extérieures. Pour évaluer l'efficacité des solutions adoptées, on utilise souvent des indicateurs de performance basés sur la consommation d'énergie (Roberts et al, 2018). Ces mesures sont généralement rapportées au volume habitable. Il est impératif de reconnaître que des solutions scientifiques et mathématiques doivent être mises en œuvre pour résoudre les défis complexes rencontrés dans le domaine du bâtiment (CIBSE, 2021).

La conception judicieuse de l'enveloppe d'un bâtiment est essentielle pour maîtriser les apports thermiques estivaux, ce qui permet de diminuer la consommation énergétique liée au refroidissement. Dans cette perspective, la forme du bâtiment joue un rôle déterminant. Les formes géométriques basiques, comme les cubes ou les parallélépipèdes, s'avèrent généralement plus performantes sur le plan énergétique. Elles limitent les gains de chaleur de façon plus efficace que des architectures aux formes élaborées. En outre, les volumes compacts présentent l'avantage de réduire les surfaces en contact avec l'extérieur, ce qui contribue également à limiter les apports de chaleur indésirables, tandis que des dimensions bien calculées permettent de minimiser les surfaces les plus exposées au soleil (IEA, 2020). Ces choix de conception sont étroitement liés aux indices de performance énergétique tels que la consommation d'énergie par unité de volume ($\text{kWh/m}^3\cdot\text{an}$). Cet indice de gain énergétique permet d'évaluer et de comparer les solutions d'enveloppe pour identifier les plus performantes.

Notre étude se basera sur un méta-modèle développé à partir d'une analyse numérique et paramétrique, visant à minimiser les gains énergétiques. Elle se divisera en deux parties principales : la minimisation des gains énergétiques par conduction et par rayonnement. Nous utiliserons des méthodes d'optimisation non linéaire pour déterminer les configurations optimales des enveloppes de bâtiments.

Le but recherché est d'établir des lignes directrices pratiques pour concevoir des bâtiments dont l'enveloppe est adaptée aux climats chauds et secs, en optimisant leur efficacité énergétique. L'intégration de ces paramètres dès le début de la conception permettra d'améliorer significativement la performance énergétique des constructions. Cette approche

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

visé un double objectif : Réduisez l'empreinte environnementale tout en assurant le confort des occupants.

1. Minimisation des gains énergétiques par conduction sous l'effet du gradient thermiques ($t_i - t_e$)

$$Ga = K_E \frac{Se}{V} (t_i - t_e) \dots\dots\dots(10) \text{ d'où } \frac{Se}{V} = C_f$$

$$Ga = C_f K_E \Delta t$$

$$F(x) = x K_E \Delta t \dots\dots\dots(12)$$

$$F(x) = - 19.5 x$$

La quantité de gains énergétiques transmise par conduction, exprimée en valeur par le coefficient des gains "Ga", est proportionnelle aux variations de la géométrie du bâtiment, exprimées par le facteur de forme "Cf". Ce dernier dépend à la fois de la quantité des surfaces exposées (SE) et de la valeur du volume habitable (V). Ainsi, pour étudier les variations de "Ga" par rapport à "Cf", nous adoptons l'approche suivante :

Dans un premier temps, en maintenant la valeur du volume habitable "V" constante, notre objectif est de déterminer la géométrie de l'enveloppe qui offre le facteur de forme minimal "Cfmin". Il est à souligner que la valeur de la constante "V" doit être choisie en fonction de la dimension "a" du cube, qui représente le cas de référence modèle "0". Cette sélection est fondamentale pour garantir une comparaison pertinente entre différentes géométries, comme indiqué dans le tableau (5.1).

Tableau 5.1 : sélection des volumes fondamentaux pour la simulation

Source : (Auteur, 2023)

a (m)	5	10	15	20	25
V (m ³)	125	1000	3375	8000	15625

Les valeurs sélectionnées répondent à des critères spécifiques, à savoir :

- Un espace habitable minimal de 125 m³, équivalent à 5 * 5 * 5 mètres.
- Une augmentation moyenne de 05 mètre, représentant la distance moyenne entre deux poteaux.

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

- Le choix de cinq valeurs représentatives, englobant à la fois de grands, petits et volumes moyens.
- Le calcul des surfaces de l'enveloppe de chaque type est fait selon les proportions définies par l'analyse typo morphologique : le parallélépipède $L = 3/2l = 2H$, la tour $L = 3/2l = 2/3H$ tel que (ex) :

Pour $V_1 = 1000 \text{ m}^3$

$$S_{E1} = 2 L H + 2 l H + L H \text{ d'où } L = \frac{3}{2} l \text{ et } H = \frac{3}{4} l$$

$$S_{E1} = \frac{39}{8} l^2$$

$$V_1 = L l H = \frac{9}{8} l^3 \quad l = 961$$

$$S_{E1} = 449.28 \text{ m}^2 \Rightarrow CF = \frac{449.28}{1000} = 0.44 \quad CF = 0.44$$

En effectuant le calcul pour tous les volumes et géométries on obtient le tableau (5.2)

Tableau 5.2 : donnent les valeurs du coefficient de forme pour les trois géométries avec une variation de cinq volumes

Source : (Auteur, 2023)

Volumes	Modèle 0 le cube			Modèle 1 le paral			Modèle 2 la tour		
	a	S_0	Cf_0	l_1	S_1	Cf_1	l_2	S_2	Cf_2
125	5	125	1	4.8	112.32	0.89	3.30	159.21	1.27
1000	10	800	0.5	9.6	449.28	0.44	6.60	638.77	0.63
3375	15	125	0.33	14.42	1013.68	0.30	9.92	1438.7	0.42
8000	20	2000	0.25	19.22	1800.86	0.22	13.23	2558.9	0.31
15625	25	3125	0.2	24.03	2815.02	0.18	16.54	3999.6	0.25

En procédant de cette manière ; L'étude permet d'évaluer comment les changements dans la géométrie de l'enveloppe du bâtiment influencent le coefficient "Ga", qui mesure les transferts thermiques par conduction. Cette comparaison détermine les formes d'enveloppe qui limitent le mieux les apports de chaleur et permet d'identifier les formes d'enveloppe les plus efficaces du point de vue énergétique, contribuant ainsi à une conception optimisée des bâtiments.

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

En second lieu notre approche consistera à définir la géométrie de l'enveloppe et analyser les variations du facteur de forme « Cf » en fonction du volume « V », en respectant les mêmes conditions précédemment évoquées. Ensuite, nous analyserons l'évolution du coefficient de gains énergétiques "Ga" et sa relation avec le facteur "Cf". L'analyse prend en considération deux paramètres clés : les caractéristiques volumétriques du bâtiment et la configuration géométrique de son enveloppe.

1.1. Influence de l'Indice géométrie

En supposant que le volume « V » est fixé, notre objectif est de trouver la forme géométrique qui présente le minimum de gains énergétiques par unité de volume, en outre la valeur minimale de « Ga ».

1.1.1. Étude de l'influence de la géométrie sur le facteur de forme pour divers volumes à valeur constante

A partir des volumes constants déjà définis précédemment en procédant au calcul de Cf pour les trois géométries qui sont présentés dans le tableau (5.3); on pourra facilement comparer les variations de Cf par rapport à ceux des trois géométries dans le sens horizontal et pour les cinq volumes. La figure (5.1) Montre par graphiques ces variations et leur interprétation sera possible

Tableau 5.3 : facteur de forme calculé pour les trois géométries et les cinq volumes à valeurs constantes

Source : (Auteur, 2023)

Cf pour cinq (05) volumes à valeurs constantes	volumes	géométrie		
		tour	cube	Parallélépipède
	125	1,27	1	0,89
	1000	0,63	0,5	0,44
	3375	0,42	0,33	0,3
	8000	0,31	0,25	0,22
	15625	0,25	0,2	0,18

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

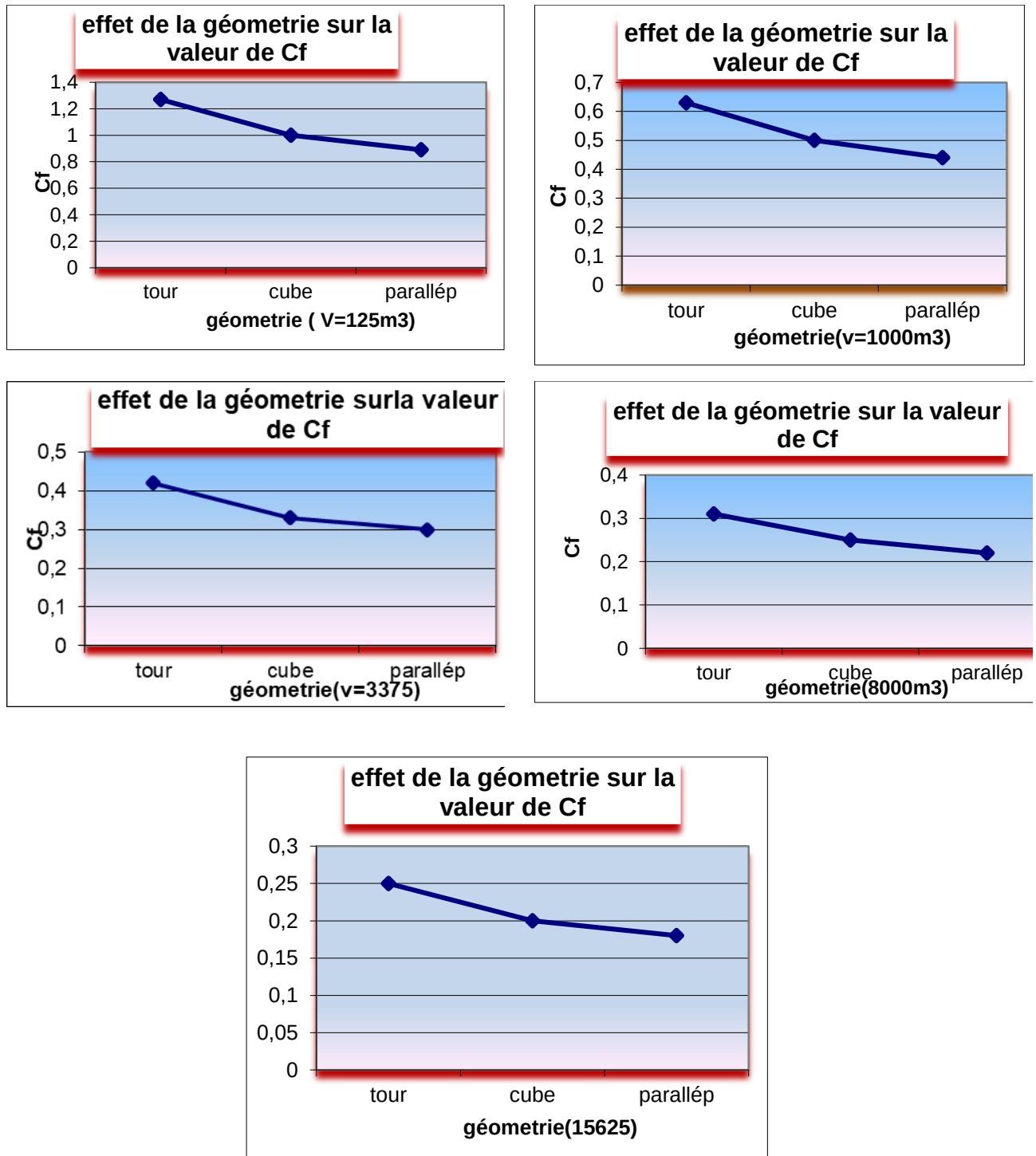


Figure 5.1 : graphiques montrant l'effet des trois géométries sur le facteur de forme pour les cinq volumes

Source : (Auteur, 2023)

Interprétation

À volume constant, la géométrie influence fortement le facteur de forme. Le classement des formes selon leur Cf minimal est : 1. Parallélépipède 2. Cube 3. Tour. Le classement des formes géométriques nous permet de faire une observation importante concernant la

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

performance de la tour du Yémen par rapport à la maison parallélépipédique du M'Zab. En effet, la tour est plus performante en raison de son volume important par rapport à celui du parallélépipède. Cependant, cette observation ne s'applique pas lorsque le volume est maintenu constant, car dans ce cas, la surface au sol du parallélépipède est plus grande que celle de la tour. Ainsi, Cette analyse met en évidence l'importance de considérer simultanément le volume et la géométrie pour évaluer efficacement la performance énergétique des bâtiments.

1.1.2. Étude de l'influence de la géométrie sur le facteur de gains « Ga »

Pour divers volumes à valeur constante

Après avoir établi la hiérarchie entre le facteur de forme **Cf** et le choix géométrique, nous allons maintenant explorer la relation entre ce choix géométrique et le facteur de gains énergétiques **Ga**. Ceci à partir du calcul du Ga pour les trois géométries et selon les cinq volumes ; exprimé sur le tableau (5.4). Ces données seront interprétées en graphiques afin de les interprétés (figure 5.2).

Tableau 5.4 : calcul du facteur de gains énergétique G pour les trois géométries et les cinq volumes

Source : (Auteur, 2023)

Volumes (v) m3	Cf et G (w/m3)	Géométrie		
		tour	cube	parallélépipède
125	Cf	1,27	1	0,89
	G	24,76	19,5	17,35
1000	Cf	0,63	0,5	0,44
	G	12,28	9,75	8,58
3375	Cf	0,42	0,33	0,3
	G	8,19	6,43	5,85
8000	Cf	0,31	0,25	0,22
	G	6,04	4,87	4,29
15625	Cf	0,25	0,2	0,18
	G	4,87	3,9	3,51

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

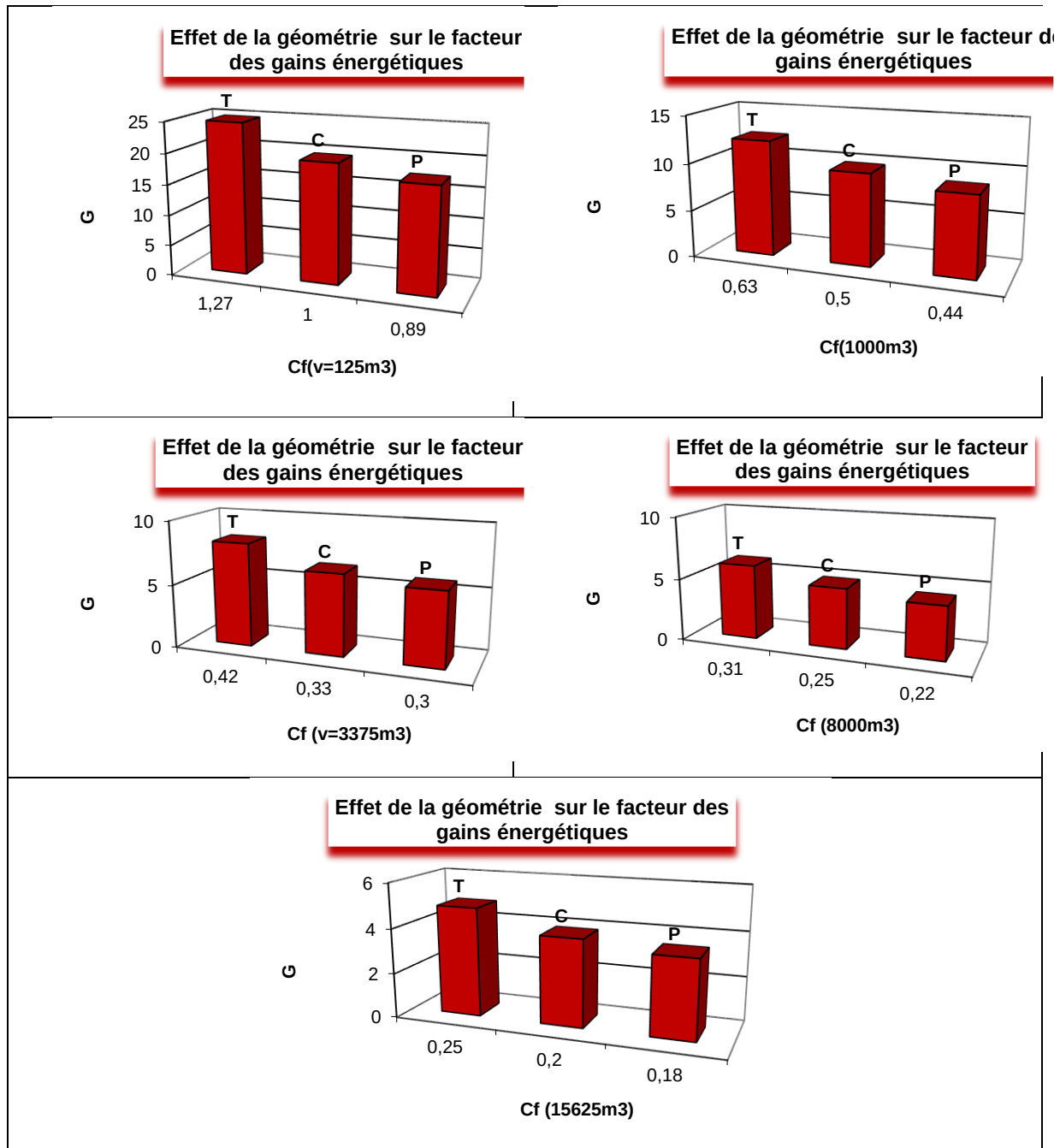


Figure 5.2: graphiques montrant l'effet des trois géométries sur le facteur de gains pour les cinq volumes

Source : (Auteur, 2023)

Interprétation

A travers l'interprétation des résultats ; une relation de proportionnalité entre les gains de chaleur (**Ga**) et le facteur de forme (**Cf**) est identifiée, exprimée par l'équation suivante : Lorsque le volume (**V**) est maintenu constant, les gains énergétiques (**Ga**) varient proportionnellement à la géométrie, caractérisée successivement par le calcul de **Cfmin** pour chaque forme géométrique (parallélépipède, cube, tour). Par conséquent, pour un volume

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

donné de 125 m³, les gains de chaleur (Ga) peuvent être modulés en fonction de la géométrie sélectionnée tel que :

Parallélépipède = minimisation de – **10 %**

Cube = **± 0 %**

Tour = augmentation + **26 %**

Pour V = 15625 m³ on aura une minimisation des gains « Ga » par l'effet de la géométrie et du volume qui peut atteindre :

Parallélépipède = minimisation de – **88 %**

Cube = minimisation de – **86 %**

Tour = minimisation de - **84 %**

1.2. Influence de l'Indice volume

En conservant la même configuration géométrique, il est possible d'explorer de quelle manière les variations du volume (V) influent sur la réduction du facteur de gains énergétiques (Ga). Autrement dit, en examinant comment la variation de la valeur de V peut contribuer à diminuer Ga pour une forme géométrique donnée, on peut mieux comprendre les mécanismes permettant d'optimiser l'efficacité énergétique.

1.2.1. Étude de l'influence du volume sur le facteur de forme pour les trois géométries

Dans cette partie on va comparer pour une même géométrie l'effet de la variation du volume (05 valeurs) sur les variations de Cf ; en outre une comparaison des valeurs sur le tableau (5.5) Dans le sens vertical où la géométrie est fixée et le volume varie de 125 à 15625 m³. Ces données seront traduites en graphiques tel que l'illustre la figure (5.3) Pour interprétation.

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

Tableau 5.5: facteur de forme calculé pour les cinq volumes et les trois géométries fixées

Source : (Auteur, 2023)

Volumes	Cf		
	Cube « Modèle 0 »	Parallélépipède « Modèle 1 »	Tour « Modèle 2 »
125	1	0.89	1.27
1000	0.5	0.44	0.63
3375	0.33	0.3	0.42
8000	0.25	0.22	0.31
15625	0.20	0.18	0.25

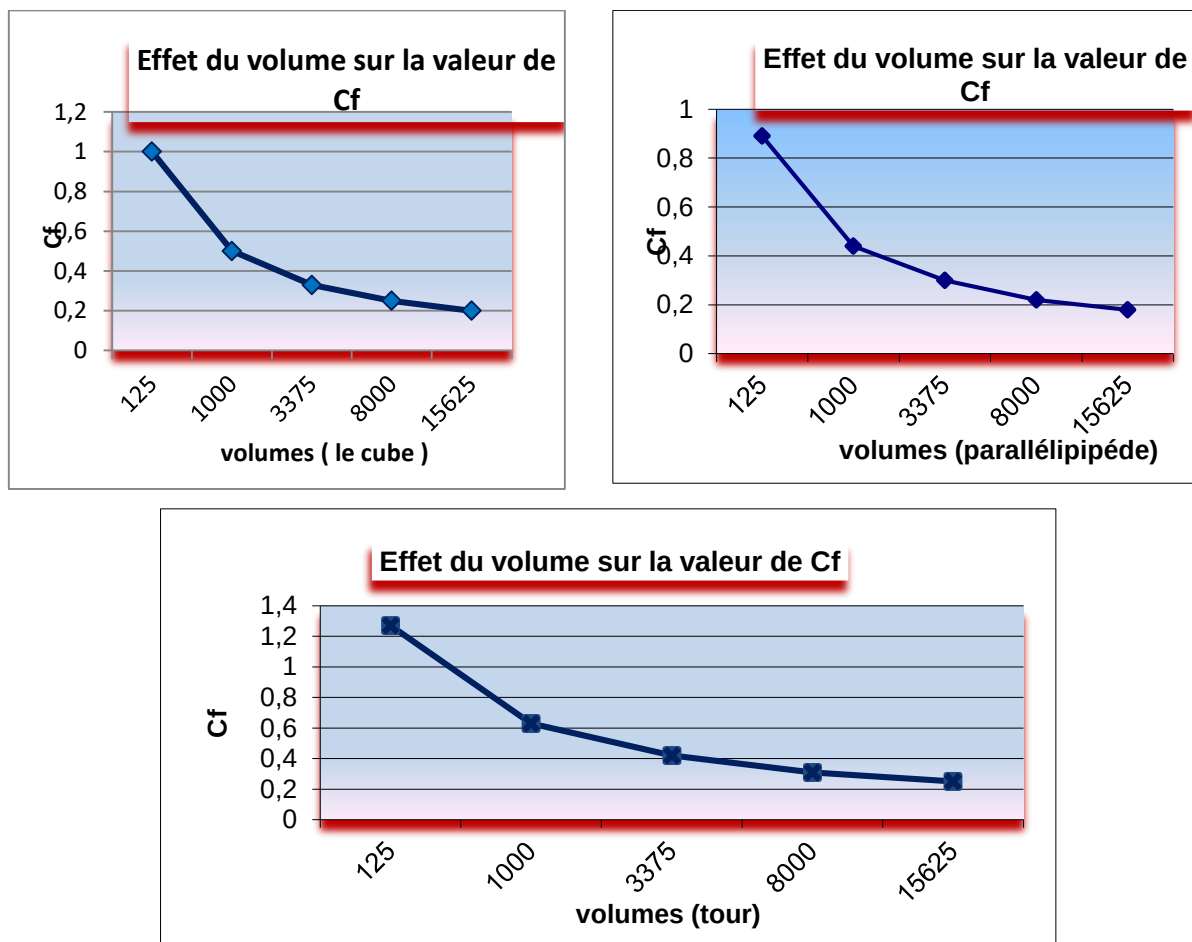


Figure 5.3: graphiques montrant l'effet des cinq volumes sur le facteur de forme pour les trois géométries

Source : (Auteur, 2023)

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

Interprétation

En examinant les graphiques illustrant l'effet du volume sur le facteur de forme, pour des géométries identiques, on remarque que, pour les 03 formes typiques, les changements du facteur de forme (Cf) sont inversement proportionnels aux variations du volume (V). Autrement dit, à mesure que le volume augmente, le facteur de forme diminue. Cette observation suggère que l'expansion de l'espace habitable peut contribuer à la réduction de la valeur de Cf.

1.2.2. Étude de l'influence du volume sur le facteur de gains « Ga » des trois morphologies

Après avoir identifié la relation inverse entre le facteur de forme Cf et le volume, nous allons maintenant examiner la relation entre le volume et le facteur de gains énergétiques Ga. Ceci à partir du calcul du Ga pour les cinq volumes et selon les trois géométries ; exprimé sur le tableau (5.6). Ces données seront interprétées en graphiques afin de les interpréter (figure 5.4).

Tableau 5.6: calcul du facteur de gains énergétique G pour les cinq volumes et les trois géométries. Source : (Auteur, 2023)

Géométrie	Cf et G (w/m3)	Volumes				
		125	1000	3375	8000	15625
Le Cube « Modèle 0 »	Cf	1	0,5	0,33	0,25	0,2
	G	19,5	9,75	6,43	4,87	3,9
Le parallélépipède « Modèle 1 »	Cf	0,89	0,44	0,3	0,22	0,18
	G	17,35	8,58	5,85	4,29	3,51
La tour « Modèle 2 »	Cf	1,27	0,63	0,42	0,31	0,25
	G	24,76	12,28	8,19	6,04	4,87

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

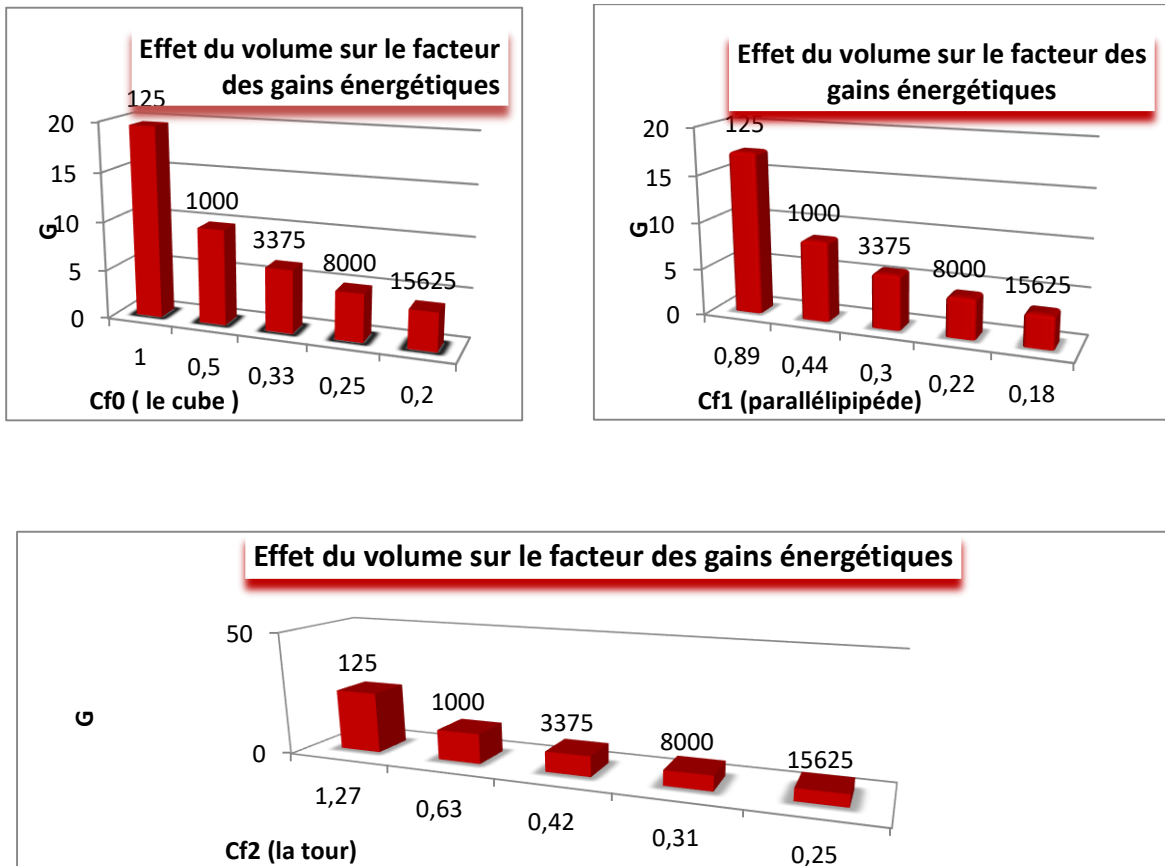


Figure 5.4: graphiques montrants l'effet des cinq volumes sur le facteur de gains pour les trois géométries. Source : (Auteur, 2023)

Interprétation

La relation entre la quantité de chaleur produite, notée "Ga", et les variations du facteur de forme "Cf" est relativement proportionnelle. Cette corrélation peut être formulée comme suit : Si la géométrie de la construction est maintenue constante, le facteur "Ga" devient inversement proportionnel aux variations du volume "V". En d'autres termes, pour atteindre un facteur de forme minimal "Cfmin" correspondant à une quantité minimale de gains énergétiques "Gfmin", il est nécessaire d'accroître le volume "V" de la construction. Pour le cas particulier du parallélépipède, les gains de chaleur "Ga" peuvent être ajustés en fonction du volume "V" de la construction tel que :

125	= ± 0 %
3375	= minimisation de – 70 %
15625	= minimisation de – 78 %

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

Pour la tour on aura une minimisation des gains « **Ga** » tel que :

125 = $\pm 0 \%$

3375 = minimisation de $- 67 \%$

15625 = minimisation de $- 82 \%$

1.3. Synthèse

Dans les régions chaudes et arides, les besoins énergétiques des constructions peuvent être réduits en minimisant les gains de chaleur. Pour y parvenir, deux options principales sont envisagées : l'augmentation du volume et le choix judicieux de la géométrie. Toutefois, l'impact de l'augmentation du volume est plus significatif que celui de la géométrie. De plus, L'optimisation de l'empreinte au sol du bâtiment représente une stratégie efficace pour limiter les apports thermiques indésirables. La répartition horizontale de la structure permet de réduire l'exposition au rayonnement solaire. Cette configuration étalée offre l'avantage de diminuer la quantité d'énergie solaire captée par le bâtiment, contribuant ainsi à une meilleure gestion des gains de chaleur totaux.

Cette phase de recherche vise à identifier les dimensions et ratios idéaux pour les bâtiments présentant un facteur de forme "Cfmin" minimal. Pour valider cette démarche, il est nécessaire d'étendre notre analyse en étudiant comment l'augmentation de température (tsa) affecte la performance énergétique de trois échantillons de constructions types. Cette investigation complémentaire permettra d'affiner les caractéristiques morphologiques des formes performantes. Ces caractéristiques comprennent la géométrie, le volume et les dimensions des constructions, qui seront déterminées avec plus de précision grâce à cette étude.

2. Minimisation des gains énergétiques par rayonnement sous L'effet du supplément de température (tsa)

Après avoir étudié l'influence des paramètres géométriques et volumétriques sur la performance énergétique des enveloppes, nous abordons maintenant l'impact du différentiel de température (tsa) sur les gains thermiques (Gb). Cette section de l'analyse examine l'interaction du rayonnement solaire avec les proportions du bâtiment, afin d'identifier les ratios dimensionnels les plus efficaces pour la construction. L'objectif est d'identifier les

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

proportions les plus favorables qui, pour une géométrie donnée et un volume constant, minimisent les gains énergétiques.

Alors, le facteur de gains de chaleur « G » doit s'écrire tel que :

$$G = G_a + G_b = C_f \Delta t K_E + \frac{aI_n}{f_e} C_{fn} \dots\dots\dots (09)$$

I_n = l'intensité de la radiation solaire.

C_{fn} = un facteur de forme partiel ($\frac{S_n}{V}$), ou le rapport de la surface exposée au volume du bâtiment.

La valeur de « G_b » est donnée par la fonction suivante : $G_b = \frac{aI_n}{f_e} C_{fn} \dots\dots\dots (10)$. Cette dernière permet d'évaluer l'effet du supplément de température « t_{sa} » sur la quantité des gains de chaleur liés aux radiations solaires. L'objectif est de minimiser ces gains en réduisant le facteur de forme partiel « C_{fn} ».

Il est important de noter que le facteur d'absorption « a » et le coefficient d'échange « f_e » sont uniformes Pour l'ensemble de l'enveloppe, la valeur de la constante "I" varie en fonction de l'orientation des surfaces et du moment de la simulation. On remarque une relation proportionnelle entre la réduction des gains thermiques "Gb" et les changements du facteur de forme partiel. « C_{fn} » ; alors pour une géométrie quelconque on aura :

Niveau 01 et 03 : Le matin a (10:00 h), le soir (16:00 h)

$$G_b = \frac{aI_1}{f_e} C_{f1} \dots\dots\dots(10) \text{ dont :}$$

I_1 = est l'intensité de la radiation solaire pour les surfaces orientées Est.

$$C_{f1} = \frac{S_1}{V} \text{ d'où } S_1 \text{ est la somme des surfaces orientées vers l'Est 10 :00hou}$$

l'Ouest 16 :00h

Niveau 2 : A midi (12:00 h)

$$G_b = \frac{aI_2}{f_e} C_{f2} \text{ dont :}$$

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

I_2 = est l'intensité de la radiation solaire incidente sur les surfaces horizontales.

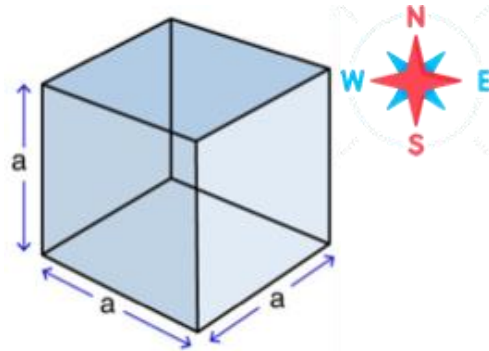
$$C_{f2} = \frac{S_2}{V} \text{ d'où } S_2 \text{ est la somme des surfaces horizontales.}$$

2.1. Influence de l'Indice dimensions et proportions

2.1.1. Étude de l'influence des proportions et des dimensions - le Cube

$$C_{f1} = C_{f2} = C_{f3} = C_{f4} = C_{f5} = \frac{1}{a}$$

$$C_{fn} = \frac{1}{a}$$



Les variations de « Cfn » pour toutes les orientations sont inversement proportionnelles à la dimension « a » du Cube (tableau 5.7) et (figure 5.5). En d'autres termes, l'augmentation de la dimension « a » du Cube conduit à une diminution du facteur de forme partiel « Cfn » tel que le désigne le tableau (5.8) et le graphique sur la figure (5.6) ce qui permet de réduire les gains de chaleur liés à la radiation solaire. Cette observation montre qu'il est obligatoire de modifier la géométrie du Cube pour réduire les effets de la radiation solaire en augmentant sa taille tel que :

Tableau 5.7 : Les variations de « Cfn » par rapport à la dimension « a » du Cube

Source : (Auteur, 2023)

a (m)	5	10	15	20	25
C _{fn}	0.2	0.1	0.06	0.05	0.04

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

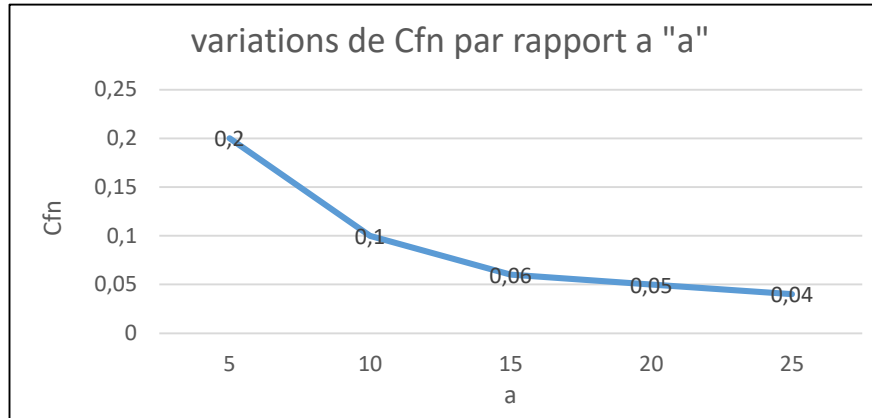


Figure 5.5 : graphique des variations de « Cfn » par rapport a la dimension « a » du Cube. Source : (Auteur, 2023)

Tableau 5.8 : Les variations G2 de par rapport à « Cfn » cas du Cube
Source : (Auteur, 2023)

Cfn	0.2	0.1	0.06	0.05	0.04
Gb (w/m3) (à 10:00)	24.08	12.04	7.22	6.02	4.81
Gb (w/m3) (à 12:00)	36.2	18.1	10.86	9.05	7.24

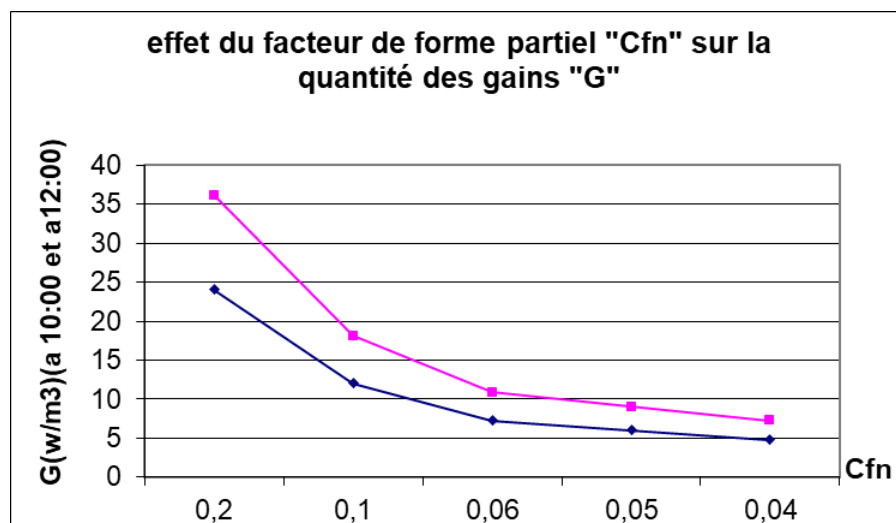


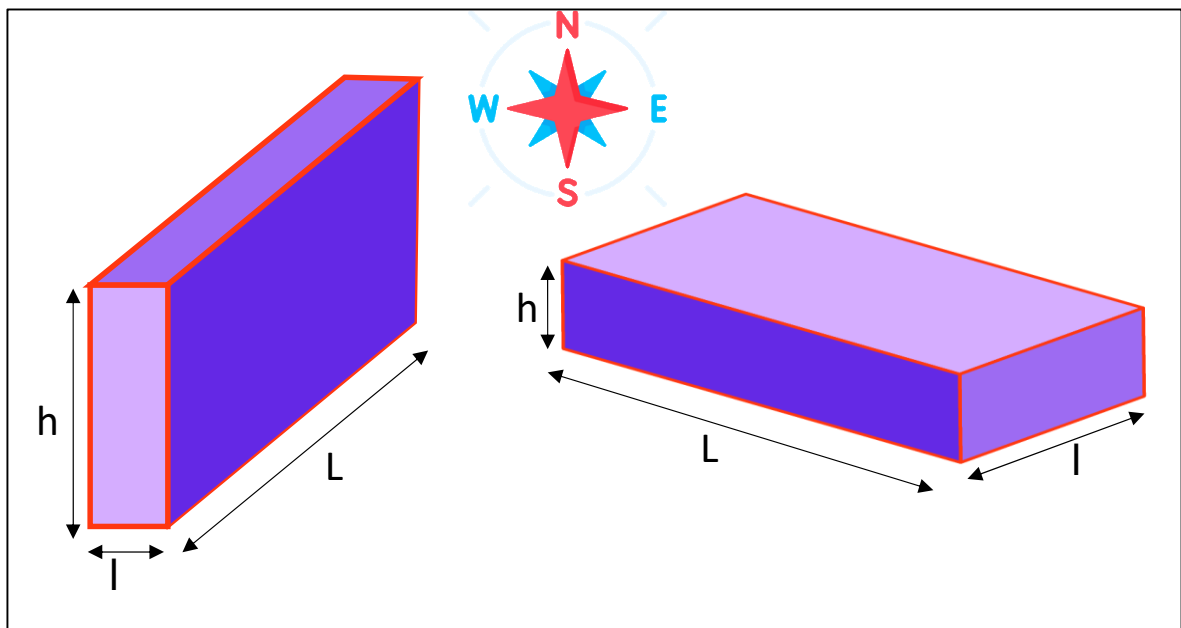
Figure 5.6 graphique des variations de G2 par rapport à « Cfn » cas du Cube
Source : (Auteur, 2023)

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

Interprétation

Les graphes présentant les variations de « Cfn » et de « Gb » soulignent que la réduction des gains de chaleur dus à la radiation solaire peut être atteinte en minimisant les valeurs du facteur de forme partiel « Cfn ». Cela peut être réalisé en augmentant la valeur de « a », ce qui augmente également le volume « V ». Par conséquent, l'effet de la radiation solaire sur le Cube est similaire à celui du gradient thermique. Toutefois, pour minimiser les effets de la radiation solaire, il est nécessairement obligatoire de modifier la géométrie du Cube en la transformant en un Parallélépipède ou une Tour, afin de réduire l'exposition des surfaces Est, Ouest et de la toiture aux radiations solaires intenses.

2.1.2. Étude de l'influence des proportions et des dimensions cas du Parallélépipède et de la tour



Niveau 01 : Le matin à 10:00h ou le Soir à 16:00h

$$G_b = \frac{aI_1}{f_e} \left(\frac{1}{L} \right) \text{ ou } G_b = \frac{aI_1}{f_e} \left(\frac{l.H}{V} \right)$$

$$C_{f1} = \frac{1}{L} = \frac{l.H}{V} \quad / \quad V = l.H.L$$

Il a été observé que les variations de la valeur de « Gb » sont proportionnelles à celles de « Cf1 ». La valeur de « Cf1 » diminue à mesure que la hauteur « H » augmente, ce qui

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

entraîne une réduction automatique de la surface horizontale de la toiture (L. l). Cette observation suggère qu'une forme parallélépipédique pourrait être une option intéressante.

Niveau 02 : A midi 12:00h

$$G_b = \frac{aI_2}{fe} \left(\frac{1}{H} \right) \text{ ou } G_b = \frac{aI_2}{fe} \left(\frac{l.L}{V} \right)$$

$$Cf2 = \frac{1}{H} = \frac{l.L}{V} \quad / \quad V = l.H.L$$

Il est remarqué que les changements de la valeur de « Gb » sont également proportionnels à ceux de « Cf2 ». Cependant, dans ce cas, la valeur de « Cf2 » diminue lorsque la hauteur « H » augmente, entraînant ainsi une réduction automatique de la surface horizontale de la toiture (L. l). Cette observation suggère une approche opposée à celle du niveau 01, c'est-à-dire qu'une forme en tour pourrait être plus favorable dans ce cas.

Ainsi, il est nécessaire d'identifier les variables l, L et H pour les deux niveaux de simulation afin de minimiser la valeur de « G ». Des formes à volume constant seront utilisées pour une application numérique, et les résultats des deux niveaux de simulation seront comparés dans le but d'établir une corrélation et d'identifier les proportions optimales pour une forme géométrique plus efficace. Notre problème peut s'écrire donc comme suit :

$$G = C_f \Delta t K_E + \frac{aI_n}{fe} C_{f1}$$

Pour le niveau 01 :

$$G_1 = C_f \Delta t K_E + \frac{aI_1}{fe} C_{f1}$$

$$G_1 = \frac{159.4}{L} + \frac{39}{l} + \frac{19.5}{H} \dots\dots\dots(A)$$

Pour le niveau 02 :

$$G_2 = C_f \Delta t K_E + \frac{aI_2}{fe} C_{f2}$$

$$G_2 = \frac{39}{L} + \frac{39}{l} + \frac{200.5}{H} \dots\dots\dots(B)$$

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

Trouver les valeurs des variables (L, l, h) pour lesquelles les deux fonctions (A, B) convergent vers leur valeur minimale représente un défi mathématique. Il s'agit d'optimiser une fonction non linéaire à trois variables sous certaines contraintes, à savoir :

- $V = l \cdot L \cdot H$ Volume constant.
- $H \leq L$ où $H \geq L$ Contrainte de géométrie (parallélépipède ou tour).
- $O \leq l \leq L$ Contrainte de bonne orientation. D'où O est une constante supérieure à un.

- Résolution des problèmes d'optimisation non linéaires avec contrainte

f une fonction réelle de plusieurs variables.

$$f: \mathbb{R}^n \longrightarrow \mathbb{R}$$

On s'intéresse ici au problème suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser } f(x) \\ \text{sous les contraintes} \\ g_i(x) \leq 0 \quad i \in I = \{1, 2, \dots, m\} \quad / \quad g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R} \\ x \in \mathbb{R}^n \end{array} \right.$$

Toutes les fonctions f et g_i sont supposées continues et différentiables.

- Conditions nécessaires d'optimalité

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } f(x) \\ g_i(x) \leq 0 \quad \forall i \in I = \{1, \dots, m\} \end{array} \right.$$

- Théorème 1

On suppose que les fonctions f et g_i ($i \in I$) sont continues et différentiables

Si $x_0 \in X = \{x \in \mathbb{R}^n / g_i(x) \leq 0\}$

Une condition nécessaire pour x_0 soit un minimum local de f qu'il existe des nombres.

$\lambda_i \geq 0$ ($i \in I$) appelés multiplicateurs de Kuhn-Tucker tel que :

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla f(x_0) + \sum \lambda_i \nabla g_i(x_0) = 0 \\ \text{et} \\ \lambda_i \nabla g_i(x_0) = 0 \quad \forall i \in I \end{array} \right.$$

- Remarque

$\nabla f(x_0)$ désigne la valeur de facteur gradient de f au point x_0

$$\left[\begin{array}{c} X(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \\ \nabla f = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

- Condition suffisante d'optimalité (points cols)

Soit le problème (P)

$$(P) \left\{ \begin{array}{l} \text{Min } f(x) \\ g_i(x) \leq 0 \quad \forall i \in I = \{1, \dots, m\} \\ X \in \mathcal{R}^n \end{array} \right.$$

Associons à chaque contrainte ($i \in I$) un nombre réel $\lambda_i \geq 0$ appelé multiplication de Lagrange.

La fonction de Lagrange associée au problème est par définition la fonction suivante :

$$L(x, \lambda) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x)$$

- Définition On dit que (x, λ) est un point col de $L(x, \lambda)$ si :

$$L(x', \lambda') \leq L(x, \lambda') \quad \forall x$$

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

$$L(x', \lambda) \leq L(x', \lambda') \quad \forall \lambda \geq 0$$

- **Théorème 2** (x', λ') Est un point col pour $L(x, \lambda)$ si :

$$L(x', \lambda') = \min L(x, \lambda')$$

$$g_i(x') \leq 0 \quad \forall i \in I$$

$$\lambda g_i(x') = 0 \quad \forall i \in I$$

- **Exemple**

Soit le problème :

$$\begin{cases} \text{Min } (x^2 + y^2) \\ 2x + y \leq -4 \end{cases}$$

Pour déterminer l'optimum de ce problème convexe, en utilisant les conditions de (Kuhn-Tucker).

On définit la fonction de Lagrange :

$$L(x, y, \lambda) = x^2 + y^2 + \lambda (2x + y + 4)$$

Un point col s'il existe il est solution de :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L(x, y, \lambda)}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial L(x, y, \lambda)}{\partial y} = 0 \\ \lambda (2x + y + 4) = 0 \\ 2x + y + 4 \leq 0 \end{array} \right. \implies \left\{ \begin{array}{l} 2x + 2y = 0 \\ 2y + \lambda = 0 \\ \lambda (2x + y + 4) = 0 \\ 2x + y + 4 \leq 0 \end{array} \right.$$

$$\implies x = -\frac{8}{5}, y = \frac{4}{5} \implies \min f(x, y) = \left(-\frac{8}{5}\right)^2 + \left(\frac{4}{5}\right)^2 = \frac{80}{25} = \frac{18}{5}$$

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

La diminution des gains énergétiques dans les édifices réclame la détermination de la valeur optimale de la fonction G en fonction des dimensions L (longueur), l (largeur) et H (hauteur) pour des formes efficaces.

On a :
$$G = \frac{\alpha}{L} + \frac{\beta}{l} + \frac{\delta}{H}$$

Pour trouver la valeur minimale de G avec un volume constant $V=L \cdot l \cdot H$ il est nécessaire de résoudre un problème d'optimisation sous les contraintes suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } \frac{\alpha}{L} + \frac{\beta}{l} + \frac{\delta}{H} \\ L \cdot l \cdot H = V \\ \sigma \leq l \leq L \\ H \leq L \end{array} \right.$$

Si nous effectuons le changement de variables $V = L \cdot l \cdot H$ pour éliminer la contrainte d'égalité $V = L \cdot l \cdot H$, le problème devient :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } \frac{\alpha}{L} + \frac{\beta}{l} + \frac{\delta}{H} \cdot L \cdot l \\ V - l \cdot L^2 \leq 0 \\ \sigma - l \leq 0 \\ l - L \leq 0 \end{array} \right.$$

On reformule le problème (P) comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } [f(x, y) = \frac{\alpha}{x} + \frac{\beta}{y} + \frac{\delta}{V} \cdot x \cdot y] \\ V - x^2 y \leq 0 \\ y - x \leq 0 \\ \sigma - y \leq 0 \end{array} \right.$$

On définit la fonction de Lagrange :

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

$$L(X, \lambda) = \frac{\alpha}{x} + \frac{\beta}{y} + \frac{\delta}{V} x.y + \lambda_1 (V - x^2y) + \lambda_2 (y - x) + \lambda_3 (\sigma - y)$$

$$X \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \quad \lambda \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{pmatrix}$$

Si (X', λ') est un point col, alors il est solution de système :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = 0 \\ \lambda_1 (V - x^2y) = 0 \\ \lambda_2 (y - x) = 0 \\ \lambda_3 (\sigma - y) = 0 \end{array} \right.$$

On trouve que :

$$x = \sqrt[3]{\frac{\alpha^2 V}{\beta \cdot \delta}}$$

$$y = \sqrt[3]{\frac{\beta^2 V}{\alpha \cdot \delta}}$$

Enfin : $\text{Min } G = \frac{\alpha}{L} + \frac{\beta}{l} + \frac{\delta}{H}$ est un problème dont la solution est :

$$L = \sqrt[3]{\frac{\alpha^2 V}{\beta \cdot \delta}}, \quad l = \sqrt[3]{\frac{\beta^2 V}{\alpha \cdot \delta}}, \quad H = \sqrt[3]{\frac{\delta^2 V}{\beta \cdot \alpha}}$$

- Solution des conditions du niveau 01

$$L = \sqrt[3]{\frac{(159.4)^2 V}{39 \cdot 19.5}} = \sqrt[3]{33.41V} \quad \Rightarrow \quad L = \sqrt[3]{33.41V}$$

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

$$l = \sqrt[3]{\frac{(39)^2 V}{159.4 * 19.5}} = \sqrt[3]{0.5V} \quad \Rightarrow \quad l = \sqrt[3]{0.5V}$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{(19.5)^2 V}{159.4 * 39}} = \sqrt[3]{0.06V} \quad \Rightarrow \quad H = \sqrt[3]{0.06V}$$

- Solution des conditions du niveau 02

$$L = \sqrt[3]{\frac{(39)^2 V}{39 * 200.5}} = \sqrt[3]{0.19V} \quad \Rightarrow \quad L = l = \sqrt[3]{0.19V}$$

$$l = \sqrt[3]{\frac{(39)^2 V}{39 * 200.5}} = \sqrt[3]{0.19V}$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{(200.5)^2 V}{39 * 39}} = \sqrt[3]{26.43V} \quad \Rightarrow \quad H = \sqrt[3]{26.43V}$$

- Applications numériques

On va essayer de faire une application numérique sur les volumes (125m³, 8000m³, 15625m³) pour déterminer les proportions favorables sur le tableau (5.9) :

Tableau 5.9 : application numérique sur les volumes (125m³, 8000m³, 15625m³) pour déterminer les proportions optimales. Source : (Auteur, 2023)

Volume (m ³)	Dimensions (mL)	Conditions du niveau 01 Minimiser les gains par la réduction de la surface des façades Est et Ouest	Conditions du niveau 02 Minimiser les gains par la réduction de la surface de la toiture
125	L	16.10	2.89
	l	3.96	2.89
	H	1.95	14.89
15625	L	88.51	14.33
	l	19.95	14.33
	H	9.75	74.46
8000	L	64.41	11.49
	l	15.87	11.49
	H	7.82	59.57
<i>Résultat</i>		L = 8. H L = 4. L L= 2. H	L = l H = 5. L = 5. l

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

	Ce cas représente le parallélépipède « $H \leq L$ »	Ce cas s'applique sur les conditions de la tour « $L \leq H$ »
--	--	---

En observant le tableau ci-dessus, il est clair que les conditions du niveau 01, où les surfaces Est et Ouest sont exposées, entraînent une forme de parallélépipède (avec $L = 8 * H$ et $L = 4 * l$) tandis que celles du niveau 02, où la toiture est exposée, entraînent une forme de tour avec ($L = l$ et $H = 5 * L$). Ceci démontre que chaque géométrie doit avoir des caractéristiques spécifiques pour s'adapter aux conditions climatiques et aux besoins énergétiques des utilisateurs –minimisation des gains.

- Vérification des résultats

On doit vérifier nos résultats en estimant les gains de chaleur sous l'effet du cumul durant les trois heures de la simulation tel que :

$$\text{A 10:00h: } G_1 = \frac{159.4}{L} + \frac{39}{l} + \frac{19.5}{H} \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{A 12:00h: } G_2 = \frac{39}{L} + \frac{39}{l} + \frac{200.5}{H} \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{A 16:00h: } G_3 = G_1 = \frac{159.4}{L} + \frac{39}{l} + \frac{19.5}{H} \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{Alors : } G_g = G_2 + 2G_1 = \frac{357.8}{L} + \frac{117}{l} + \frac{239.5}{H} \dots\dots\dots(11)$$

Tableau 5.10 : calcul du cumule des gains énergétiques selon les trois niveaux de simulation

Source : (Auteur, 2023)

Volumes(m3)	G _g (w/m3)	
	Condition du niveau 01	Condition du niveau 02
125	174.58	181.50
15625	36.43	37.93
8000	43.62	45.34

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

3. Synthèse

L'analyse menée a permis de confirmer que la forme parallélépipédique est toujours plus performante que la forme tour, pour un volume constant. Les proportions optimales pour garantir l'efficacité énergétique de la forme (c'est-à-dire minimiser les gains de chaleur) ont été également déterminées tel que :

Le parallélépipède : **L = 8. H et L = 4. l**

La tour : **L = l et H = 5. L**

Plus précisément, les proportions recommandées pour le niveau 01 (parallélépipède) ou le niveau 02 (tour) peuvent être ajustées en fonction des contraintes d'occupation du sol, d'organisation fonctionnelle et d'aspect esthétique. Toutefois, Il est essentiel de considérer les mesures de protection adéquates afin d'assurer des performances énergétiques optimales pour le bâtiment. En d'autres termes, ces recommandations doivent être appliquées avec soin pour garantir le fonctionnement énergétique efficace du bâtiment.

- Les conditions du niveau 01

Dans ce cas, il est avantageux que le bâtiment soit protégé des rayons solaires de l'Est et de l'Ouest grâce à ses surfaces réduites. Cependant, l'inconvénient est que la surface horizontale du toit est très importante et exposée aux rayons solaires les plus intenses, ce qui peut causer une surchauffe du bâtiment. Pour garantir une bonne qualité énergétique de l'enveloppe, il est donc nécessaire de protéger cette surface en utilisant des moyens efficaces tels que l'installation d'une toiture réfléchissante. Il est également important de considérer d'autres installations pour réduire les besoins en climatisation. En prenant en compte tous ces éléments, il est possible de concevoir un bâtiment à haute efficacité énergétique qui offre un environnement de vie confortable et durable.

- Les conditions du niveau 02

Cette disposition offre un avantage majeur en réduisant la surface de la toiture, ce qui permet de limiter les apports thermiques par le haut du bâtiment. Toutefois, une attention particulière doit être portée à la protection des façades Est et Ouest, qui sont particulièrement vulnérables aux gains de chaleur causés par le rayonnement solaire horizontal ; tant le matin que le soir. En effet, ces surfaces peuvent être exposées à une quantité importante de rayonnement solaire qui peut causer une surchauffe du bâtiment, augmenter les coûts de climatisation et compromettre l'efficacité énergétique globale. Il s'avère donc crucial

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation paramétrique

d'intégrer cette exigence thermique dès la phase de conception architecturale. La mise en place de solutions adaptées pour protéger les façades Est et Ouest constitue un élément clé pour contrôler les apports de chaleur excessifs sur ces orientations particulièrement exposées.

Conclusion

Cette recherche approfondie sur l'influence de la géométrie de l'enveloppe sur la performance énergétique des bâtiments en climat chaud et aride aboutit à plusieurs conclusions significatives :

- Les résultats de l'analyse quantitative, fondée sur l'évaluation de la forme à travers le facteur (Cf), révèlent que la performance énergétique d'une construction est étroitement liée à la configuration de son enveloppe, particulièrement dans le contexte climatique des zones chaudes et arides.
- La comparaison des différentes géométries a révélé que le parallélépipède surpasse la tour et le cube en termes de performance énergétique. Cette supériorité est attribuée à sa surface d'emprise au sol considérable et à ses surfaces Est et Ouest moins étendues, offrant une meilleure protection contre les transferts de chaleur.
- L'augmentation du volume d'un bâtiment peut considérablement limiter les apports énergétiques non désirés, avec une réduction pouvant atteindre 90%. Cela implique qu'un habitat de grande envergure, tel qu'un immeuble d'habitation, sera plus avantageux qu'une maison individuelle en termes de maîtrise des gains énergétiques.
- Les calculs des ratios dimensionnels ont permis d'identifier les proportions les plus favorables pour optimiser l'efficacité énergétique:

Pour le parallélépipède : $L = 8H$ et $L = 4l$

Pour la tour : $L = l$ et $H = 5L$

- L'étude souligne l'importance de prendre en compte ces proportions dès les premières étapes de conception, ces proportions doivent être prises en compte pour assurer une performance énergétique optimale des futures constructions.
- La nécessité d'une modélisation plus complexe, montrant l'interaction des trois indices de la forme (géométrie, volume, dimensions), a été mise en évidence pour une optimisation plus précise. Cette modélisation devrait intégrer des valeurs variables pour les caractères (k_e , a , f_e) allant de défavorable à optimal.

CHAPITRE V: Procédures de minimisation des charges en relation avec la forme de l'enveloppe application de la simulation parametrique

Les conclusions théoriques et analytiques de cette recherche nécessitent une validation par des simulations plus sophistiquées. Cette validation requiert une modélisation complexe intégrant les dimensions du bâtiment (L , H , l) et la résolution d'équations non-linéaires à trois variables sous contraintes.

Pour conclure ce chapitre, l'étude apporte une contribution significative en présentant des approches et directives pratiques visant à optimiser l'enveloppe des constructions dans les climats chauds et arides. La mise en œuvre de ces concepts dès l'esquisse architecturale contribuera à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Le chapitre suivant développera une analyse plus détaillée basée sur des modélisations et simulations avancées pour consolider ces observations.

CHAPITRE VI : Simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Introduction

Cette partie de la recherche explore la modélisation numérique de l'efficacité énergétique des bâtisses adaptées aux zones chaudes et arides. Elle présente un nouvel outil de simulation, OPTIone, créé pour analyser l'impact de la configuration morphologique de l'enveloppe des bâtiments sur la diminution des gains énergétiques.

Au début de la conception d'un édifice, les décisions prises ont un impact démonstratif sur son comportement thermique, sa consommation énergétique et le confort ambiant. Ainsi, disposer d'un outil capable d'assister les concepteurs dans le choix des solutions architecturales performantes revêt d'une importance cruciale. Notre approche privilégie l'établissement d'un classement des solutions, du meilleur au moins performant, plutôt que de se limiter au choix d'une seule solution (Attia & Laouadi, 2018).

Les méthodes mathématiques sont essentielles dans cette démarche, car elles permettent de modéliser de manière précise et rigoureuse les phénomènes physiques. Leur pertinence réside dans leur capacité à quantifier les relations complexes entre les différentes variables en jeu, offrent ainsi ; une approche systématique pour évaluer diverses solutions architecturales avec précision et objectivité. En combinant calculs mathématiques et simulations numériques, nous pouvons explorer de nombreuses configurations et de déterminer les avancées de conception les plus adaptées pour concevoir des bâtisses écoresponsables

Nous présenterons d'abord le modèle mathématique et l'algorithme d'optimisation utilisés, puis nous détaillerons le protocole de simulation appliqué à différentes régions d'Algérie. Cette approche nous permettra d'évaluer l'influence des données climatiques locales sur l'efficacité énergétique des formes de bâtiments (Bennadji et al, 2020). Pour cette recherche, nous emploierons le programme OPTIone, un outil spécifiquement conçu pour analyser et optimiser l'efficacité énergétique des constructions selon leur géométrie et les propriétés de leur enveloppe. L'analyse portera sur trois typologies de formes (cubique, parallélépipédique, tour) et différents volumes de bâtiments.

Notre analyse examinera aussi l'influence des variations climatiques sur les résultats d'optimisation, en étudiant les performances dans 19 zones distinctes. Cette approche accèdera à la définition des fondements généraux et des recommandations pour la conception des bâtisses à faible consommation d'énergie ; adaptés aux climats chauds et arides. Cette recherche vise à développer des solutions pratiques pour optimiser la forme architecturale

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

selon les conditions climatiques locales, dans le but d'améliorer à la fois l'efficacité énergétique et le confort des occupants, tout en réduisant l'impact environnemental des constructions.

1. Objectifs De La Simulation

L'étude approfondie vise à analyser l'influence conjuguée des paramètres formels (volume, géométrie, dimensions et proportions) et des caractéristiques k_e , a et f_e sur l'efficacité énergétique des bâtiments, avec pour objectif la minimisation des gains thermiques G . Cette simulation précise substitue les facteurs théoriques (C_f , C_{fn}) par les dimensions concrètes (L , H , l) pour évaluer rigoureusement l'impact de chaque paramètre sur l'optimisation énergétique. de façon exacte. Par le billet de cette simulation on tentera aussi ce qui suit :

- Analyser le comportement de trois formes architecturales face à la chaleur estivale et explorer comment leurs caractéristiques morphologiques peuvent minimiser la réception, l'absorption et la transmission de chaleur. L'objectif est de définir la géométrie ; le volume et les dimensions réalisant l'optimalité énergétique par rapport aux paramètres (k_e , f_e , a).
- La détermination des dimensions et des proportions favorables pour une orientation fixe qui est l'allongement Est-Ouest
- L'examen de l'impact des variations climatiques, notamment la température extérieure et l'intensité du rayonnement solaire, sur l'optimisation de l'efficacité énergétique de la l'enveloppe du bâtiment. L'analyse comparative des résultats obtenus dans toutes les zones étudiées permettra d'établir des corrélations entre les conditions climatiques locales et la performance énergétique des différentes configurations architecturales.
- L'évaluation de la contribution relative des propriétés thermo-physiques des matériaux (k_e , f_e , a) par rapport aux caractéristiques morphologiques de l'enveloppe (volume, géométrie, dimensions) dans l'optimisation énergétique du bâtiment.
- Cette recherche vise à explorer les interactions entre l'enveloppe des bâtiments et les conditions climatiques, avec pour objectif l'amélioration des performances thermiques et la promotion d'une architecture durable en zones chaudes et arides. L'inconfort thermique dans ces régions est principalement généré par deux facteurs majeurs : les températures extérieures élevées et l'intensité du rayonnement solaire, Le modèle mathématique permettra de tester l'interaction entre le volume, la géométrie, les dimensions et les deux paramètres mentionnés, d'autre part.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

L'analyse utilise comme grandeur principal la quantité de gains thermiques par unité de volume transmise par conduction, qui intègre à la fois l'effet du gradient de température et de l'exposition solaire. Cette mesure sera modélisée en tenant compte de trois variables clés : le volume, la géométrie et les dimensions du bâtiment. La modélisation numérique s'appuie sur des principes physiques, de la thermodynamique. En résolvant simultanément ces équations, nous avons pu suivre l'évolution des principales variables caractéristiques de la forme et identifier des configurations mieux adaptées aux besoins énergétiques de ces régions. Au final, les solutions dégagées par simulation vont servir comme des recommandations concrètes de construction bioclimatique dans ces régions.

2. Analyse de l'efficacité énergétique

Dans cette partie, nous décomposerons l'influence de l'enveloppe sur l'efficacité énergétique des édifices situés dans des zones au climat chaud et aride. Nous chercherons à comprendre l'interaction entre l'efficacité énergétique de la forme représentée par ces indices (volume ; dimension et géométrie) et les propriétés thermo physiques de l'enveloppe et de son épiderme (k ; a ; f_e). Alors ; il ne suffit pas de chercher une réponse à notre problématique en se limitant à une approche purement scientifique, basée sur des modèles mathématiques ou physiques évaluant les besoins préalablement identifiés. Bien que les équations facilitent la modélisation numérique de la forme architecturale, il est nécessaire d'aller au-delà de cette démarche. Même si une telle méthode permet d'obtenir des résultats précis, il convient également de s'assurer de la faisabilité concrète des solutions proposées. En d'autres termes, une véritable analyse holistique implique non seulement une démarche scientifique rigoureuse, mais aussi une validation des potentiels ; **applications pratiques envisagées**, afin de s'assurer de leur pertinence dans **le contexte réel visé**. Nous montrant à travers ce prochain titre ; un préambule détaillé du principe d'optimisation à partir raisonnement mathématique jusqu'à la programmation informatique et la mise en œuvre du code informatique OPTI-one pour la simulation et la modélisation complexe et la généralisation des résultats.

3. Principe d'Optimisation du raisonnement mathématique à la programmation informatique

3.1. Fondements physiques et mathématiques

3.1.1. Quantification des charges énergétiques du bâtiment

L'équation générale des gains thermiques s'écrit :

$$Q = Q_c + Q_s + Q_v = \sum K_n S_n \Delta T + \sum S_v I_O + \sum S_o 1300 V \Delta T \dots\dots\dots(01)$$

Cette équation permet une analyse complète des flux thermiques, essentielle pour comprendre le comportement énergétique global du bâtiment.

3.1.2 Simplification et isolation de l'indicateur forme

Nous introduisons le facteur de forme $C_f = S/V$ et reformulons l'équation en termes de gains par unité de volume en considérant l'enveloppe comme opaque, possédant les mêmes caractéristiques thermo physique :

$$G = G_a + G_b = K_E C_f \Delta T + (K_E a / f_e) C_{fn} \dots\dots\dots (10)$$

Où :

- K_E : coefficient de transmission thermique équivalent
- $C_{fn} = S'/V$: facteur de forme partielle pour les surfaces exposées

Cette reformulation du méta-model, isole l'influence de la morphologie de l'enveloppe sur les performances énergétiques du bâtiment, permettant une analyse plus pointée.

3.2. Analyse paramétrique de l'influence géométrique

3.2.1. Étude de la minimisation de $G_a = K_E C_f \Delta T$

Nous comparons trois géométries (cube, parallélépipède, tour) pour cinq volumes (125, 1000, 3375, 8000, 15625 m³). Les calculs spécifiques utilisent : $V = L \times l \times H$; Avec les proportions suivantes :

- Parallélépipède : $L = 3/2l = 2H$
- Tour : $L = 3/2l = 2/3H$

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Cette analyse permet d'établir une hiérarchie des formes en termes d'efficacité thermique ; et de prouver que L'augmentation du volume réduit significativement G_a pour toutes les géométries

3.2.2. Étude de la minimisation de $G_b = (K_E a I / f_e) C_{fn}$

Nous décomposons G_b selon l'orientation et l'heure :

Matin/Soir: $G_b = (K_E a I_1 / f_e) C_{f1}$, où $C_{f1} = S_1 / V$

Midi: $G_b = (K_E a I_2 / f_e) C_{f2}$, où $C_{f2} = S_2 / V$

Le problème d'optimisation se formule alors :

Min $[G = C_f \Delta T K_E + (K_E a I / f_e) C_{fn}]$ sc $V = L l H$, $H \leq L$ ou $H \geq L$, $\sigma \leq l \leq L$ cette analyse de sensibilité sur K_e , a , f_e , I_1 , I_2 a permis de déterminer les proportions optimales :
Parallélépipède : $L = 8H$, $L = 4l$ Tour : $L = l$, $H = 5L$

Les résultats confirment notre hypothèse initiale pour ces cas particuliers en termes de volumes, géométries pour des conditions théoriques. Cependant, pour fonder un théorème solide et pertinent, il est nécessaire de passer à une recherche plus générale. Cette transition implique le développement d'un algorithme capable de traiter des variables plus complexes, basé sur la résolution d'équations non linéaires à trois variables.

3.3. Reformulation mathématiques avancée

3.3.1. Définition du problème d'optimisation non linéaire

Le problème consiste à minimiser une fonction de trois variables sous contraintes qui entre dans le domaine de "programmation mathématique avec contraintes " ; Les fonctions objectives sont :

$$G_1 (\text{midi}) = K_E \cdot \Delta T \cdot (2LH + 2Ll + HL) / (LHl) + (K_E \cdot a \cdot I_1 / f_e) \cdot (LH) / (LHl) \dots \dots \dots (11)$$

$$G_2 (\text{mat/soi}) = K_E \cdot \Delta T \cdot (2LH + 2Ll + HL) / (LHl) + (K_E \cdot a \cdot I_2 / f_e) \cdot (Ll) / (LHl) \dots \dots \dots (11)$$

Contraintes :

Volume : $V = L * H * l$.

Pour un parallélépipède : $L \geq H$

Pour une tournée : $L \leq H$

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Pour un cube : $L = H = l$

Pour les proportions : $1 \leq l \leq L$

3.3.2. Application des conditions de Karush-Kuhn-Tucker (KKT).

Pour aborder ce problème d'optimisation non linéaire avec contraintes, nous utilisons la méthode des multiplicateurs de Lagrange. L'expression du lagrangien pour ce problème est la suivante :

$$L(L, H, l, \lambda) = G(L, H, l) + \lambda_1(LHl - V) + \lambda_2(L - H) + \lambda_3(1 - l) + \lambda_4(L - l) \dots \dots \dots (13)$$

Les conditions KKT sont :

Les conditions d'optimalité de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) sont dérivées en égalant à zéro les dérivées partielles du Lagrangien par rapport à L , H , l et λ :

$$\begin{aligned} \partial L / \partial L &= \partial G / \partial L + \lambda_1 H l + \lambda_2 + \lambda_4 = 0 & \partial L / \partial H &= \partial G / \partial H + \lambda_1 L l - \lambda_2 = 0 & \partial L / \partial l &= \partial G / \partial l + \\ \lambda_1 L H + \lambda_3 - \lambda_4 &= 0 & \partial L / \partial \lambda_1 &= LHl - V = 0 & \partial L / \partial \lambda_2 &= L - H \geq 0, \lambda_2(L - H) = 0 & \partial L / \partial \lambda_3 &= 1 - l \\ \geq 0, \lambda_3(1 - l) &= 0 & \partial L / \partial \lambda_4 &= L - l \geq 0, \lambda_4(L - l) = 0 \end{aligned}$$

3.3.3. Algorithme d'optimisation.

Notre algorithme suit une approche itérative

1. Initialisation des dimensions (L , H , l) respectant les contraintes
2. Boucle d'optimisation :
 - Calcul de G_1 et G_2
 - Calcul des gradients $\partial G / \partial L$, $\partial G / \partial H$, $\partial G / \partial l$
 - Résolution du système KKT linéarisé
 - Mise à jour des dimensions
 - Vérification des contraintes

3. Test de convergence

4. Répétition pour différentes géométries et volumes

Notre algorithme d'optimisation peut s'écrire donc :

Lire : V , T_i , T_e , IN_1 , IN_2 ,

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

(IN1: intensité de la radiation solaire incidente sur le toit)

(IN2 : intensité de la radiation solaire incidente sur la paroi EST ou OUEST)

Ke (Ke1 , Ke2 , Ke3) , fe (fe1 , fe2 , fe3) , a (a1 , a2 , a3)

Les Valeurs :

V =125...1000. 10.000....etc

Ti = température moyenne annuel (À savoir la région)

Te = (À savoir la région)

IN1 = (À savoir la région)

IN2 = (À savoir la région)

Ke (0.9, 1.3 , 2)

Fe (1.5 , 3 , 5)

a (0.4, 0.7, 0.9)

Calcule Intermédiaire :

Calculer $\Delta T = T_i - T_e$

Calculer $C = \sqrt[3]{V}$

Boucle principale :

```
\begin{algorithm}
```

```
\caption{Boucle principale de l'algorithme d'optimisation}
```

```
\begin{algorithmic}[1]
```

```
\State Initialiser V, T_i, T_e, IN_1, IN_2, K_e, f_e, a
```

```
\State Calculer  $\Delta T = T_i - T_e$ 
```

```
\For{chaque volume V}
```

```
  \For{chaque configuration \in \{cube, tour, parallélépipède\}}
```

```
    \For{i = 1 to 3}
```

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

```
\For{j = 1 to 3}

  \For{k = 1 to 3}

    \State Calculer  $A_{ijk} = K_{e_i} \cdot \Delta T$ 

    \State Calculer  $B_{ijk} = (K_{e_i} \cdot a_j \cdot IN_1) / f_{e_k}$ 

    \State Calculer  $D_{ijk} = (K_{e_i} \cdot a_j \cdot IN_2) / f_{e_k}$ 

    \State Optimiser dimensions  $(L, H, l)_{ijk}^c$  selon contraintes

    \State Calculer  $G_{ijk}^c = f(A_{ijk}, B_{ijk}, D_{ijk}, (L, H, l)_{ijk}^c)$ 

  \EndFor

\EndFor

\EndFor

\EndFor

\State  $c_{opt} = \operatorname{argmin}_c \min_{i,j,k} G_{ijk}^c$ 

\State Stocker  $(c_{opt}, (L, H, l)_{opt}, G_{opt})$  pour V

\EndFor

\State \Return Résultats optimaux pour chaque volume \end{algorithmic}
```

L'algorithme détaillé et ainsi sa programmation est en annexe A

3.4. Développement de l'outil de simulation OPTIone.

L'outil de simulation **OPTIone** a été spécialement conçu et programmé pour optimiser l'efficacité énergétique des enveloppes de bâtiments en climat chaud et aride. En fait Windev 25 offre un environnement de développement intégré permettant de créer une application complète avec interface graphique. Voici plus de détails sur sa structure et son fonctionnement :

3.4.1. Architecture du logiciel OPTIone est structurée en plusieurs modules interconnectés.

- Système de calcul des transferts thermiques
- Composant d'optimisation dimensionnelle

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

- Base de données climatiques et matériaux
- Outil de monitoring des paramètres d'optimisation
- Interface graphique intuitive

Le programme offre un suivi dynamique du processus d'optimisation grâce à des indicateurs visuels et des représentations graphiques actualisées en continu.

3.4.2. Interface utilisateur L'interface d'OPTIone permet.

- Accès à une base de données climatique régionale
- Configuration des propriétés thermo-physiques des matériaux (ke, a, fe)
- Sélection des volumes et formes à analyser
- Visualisation dynamique du processus d'optimisation
- Comparaison des résultats par graphiques interactifs
- Paramétrage personnalisé des simulations

3.5. Poursuite de l'optimisation et effet des indices

3.5.1 Équations et indices de comparaison

- Pour évaluer optimisation due à la géométrie on utilise l'équation :

$$\text{OPT-géo-dim} = (G_x - G_c) / G_{c_{\max}} \dots \dots \dots (14)$$

Où x est soit 'p' pour parallélépipède, soit 'T' pour tour.

- Pour évaluer l'optimisation due aux caractères thermo physiques on utilise l'équation

$$\text{OPT} (k_e, a, Fe) = (G_c - G_{c_{\max}}) / G_{c_{\max}} \dots \dots \dots (15)$$

- Pour évaluer l'optimisation en fonction du volume

$$\text{OPT-V} (125, 1000, 3375, 8000, 15625 \text{ m}^3)$$

Une analyse de sensibilité est effectuée pour évaluer l'impact des différents paramètres (Ke, a, fe, I1, I2 ; géométrie ; volumes ; L ; H ; l) sur la solution optimale. Cela permet de comprendre quels facteurs ont le plus d'influence sur l'efficacité énergétique du bâtiment.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

3.5.2. Simulation et analyse des résultats

Pour chaque région :

- Entrée des données climatiques (t_e , t_i , I_1 , I_2 , I_3)
- Simulation pour différents volumes (125, 1000, 3375, 8000, 15625 m³) avec possibilité de personnalisation l'entrée.
- Comparaison des géométries (cube, parallélépipède, tour)
- l'Analyse de l'influence des paramètres (k_e , a , f_e)

3.5.3. Interprétation et conclusions

- Quantification des taux d'influence de chaque indice (géométrie, volume, k_e , a , f_e)
- Détermination des dimensions et proportions optimales pour chaque configuration
- Analyse de la sensibilité aux variations climatiques entre régions
- Une représentation graphique des performances optimisées
- Recommandations de conception pour bâtiments en climat chaud et aride

Cette approche, du modèle mathématique à l'outil informatique, montre la progression logique depuis les équations physiques de base jusqu'à un outil de simulation complet, en passant par une formulation mathématique rigoureuse du problème d'optimisation. Elle met en évidence la complexité du problème et justifie l'utilisation d'une approche numérique implémentée dans un logiciel dédié. Élaborer en concertation avec Dr Badis abd el hafid (MCA en mathématique) et Dr Siam rahim (MCA en informatique) et Mr Ghanem soufian (Ingénieur en informatique). Les résultats obtenus confirment généralement notre hypothèse initiale, ce qui est particulièrement satisfaisant. Cette méthode permet, par le biais de ces équations, d'analyser quantitativement l'influence de chaque facteur sur la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment, L'analyse multicritères de l'enveloppe permet d'améliorer l'enveloppe du bâtiment pour le climat chaud et aride, facilitant ainsi le choix des meilleures configurations (Ouahrani et al, 2022). Les résultats obtenus confirment nos hypothèses initiales et fournissent des recommandations architecturales précises. Cette validation confirme la solidité de notre méthode en matière d'efficacité énergétique des constructions.

4. Analyse climatique et bioclimatique des régions algériennes à climat chaud et aride

4.1. Présentation et description du cas d'étude ; 19 régions du sud algérien

Les 19 régions du sud algérien étudiées, couvrant environ 2 millions de km² (soit 80% du territoire national) tel qu'ils sont colorés en rouge sur la carte montrant l'étalement géographique et territorial de ces régions (figure 6.1), s'étendent entre la latitude 19°N et 35°N, et la longitude 9°W et 12°E. Cette vaste zone, caractérisée par un climat désertique (classification Köppen BWh), présente une diversité topographique allant des ergs aux plateaux rocheux, avec des altitudes variant du niveau de la mer à plus de 2000 mètres dans le Hoggar. Les principales villes étudiées, telles que Biskra (34°51'N, 5°44'E), Ouargla (31°58'N, 5°20'E), Adrar (27°52'N, 0°17'W), et Tamanrasset (22°47'N, 5°31'E), sont réparties sur ce territoire, chacune avec ces spécificités climatiques locales influencées par l'altitude et la position géographique (Saifi et al, 2023). Ces régions présentent des défis climatiques exceptionnels pour la conception architecturale et l'efficacité énergétique des bâtiments. Cette analyse vise à fournir une base solide pour l'optimisation des enveloppes des bâtiments et le développement d'outils d'aide à la conception adaptée à ces conditions extrêmes.

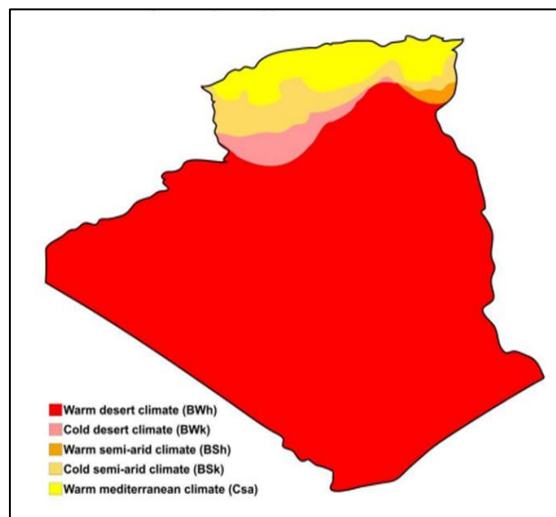


Figure 6.1 : zones chaudes et arides su la carte climatique de l'Algérie selon la classification de Köppen

Source : (Del Cielo et al, 2020)

4.2. Caractéristiques climatiques du cas d'étude 19 régions

Ces régions sont caractérisées par des températures extrêmes et un rayonnement solaire intense. Selon une étude récente de (Boukelia et al. 2023), les températures moyennes

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

annuelles des maxima absolues dépassant fréquemment 45°C en été. Les amplitudes thermiques journalières peuvent atteindre 20°C, soulignant l'importance de l'inertie thermique dans la conception (Ameur et al, 2022).

Les prélèvements sont extrêmement faibles, avec une moyenne annuelle inférieure à 100 mm dans la plupart des régions étudiées. Certaines zones, comme l'Adrar, enregistrent moins de 20 mm par an, accentuant les défis liés à l'aridité (Sahnoune et al, 2021).

Le rayonnement solaire est particulièrement intense. Des mesures récentes montrent des valeurs moyennes annuelles d'irradiation globale horizontale dépassant 2200 kWh/m²/an dans certaines régions, avec des photos journalières atteignant 1000 W/m² (Stambouli et al, 2022). Cette intensité solaire représente à la fois un défi pour le confort thermique et une opportunité pour l'exploitation de l'énergie solaire.

L'humidité relative est généralement basse, avec des moyennes annuelles entre 20% et 40%. Cependant, des études récentes ont noté une légère augmentation de l'humidité dans certaines régions, notamment liée aux changements climatiques (Bekkouche et al, 2023).

Ces régions sont également caractérisées par des vents chauds et secs appelés "Sirocco" ou "Chehili", qui surviennent en été et peuvent créer des conditions de confort thermique intolérables. La figure (6.2) indique les données climatiques d'une des 19 régions d'étude 1999-2000 à titre d'illustration.

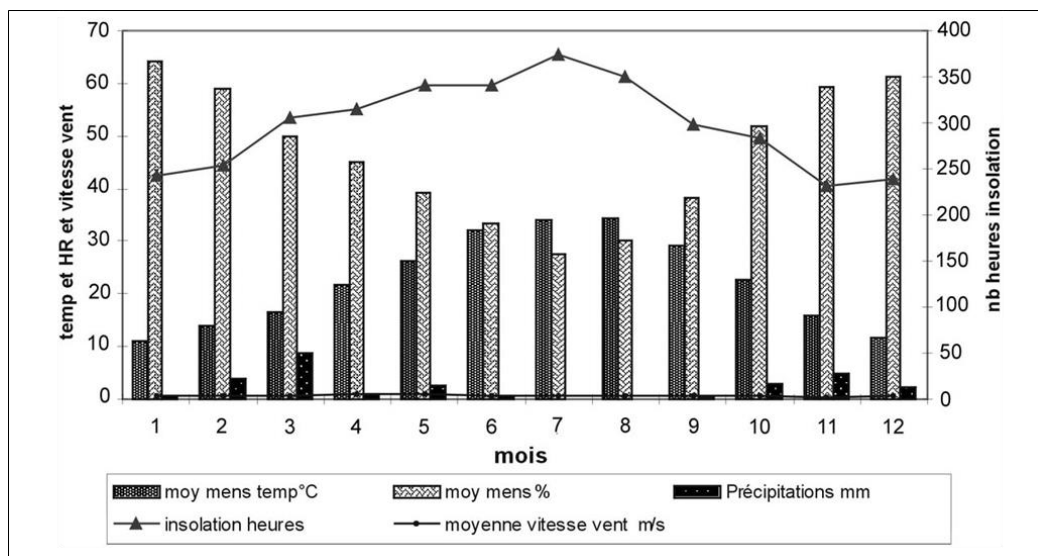


Figure 6.2 : Caractéristiques climatiques de la ville d'Ouargla période 1999-2000

Source : (station météorologique d'Ouargla, 2008)

4.3. Analyse bioclimatique

L'étude bioclimatique, appuyant sur les méthodes de Mahoney et de Givoni, détermine des méthodes indispensables pour optimiser l'efficacité énergétique des édifices en climat chaud. Selon les travaux récents de Fezzioui et al (2023), qui ont appliqué une version modernisée des tables de Mahoney, plusieurs recommandations spécifiques émergent:

- Une orientation Nord-Sud des bâtiments, notamment l'exposition solaire de 30% par rapport à une orientation Est-Ouest.
- Des murs à forte inertie thermique, avec une épaisseur optimale de 40-50 cm pour les matériaux locaux comme la brique de terre.
- Des ouvertures réduites (10-15% de la surface des murs) avec protection solaire, limitant les gains solaires de 60-70%.
- Des toits à haute réflectivité et bien isolés, notamment les gains thermiques de 80% par rapport aux toits conventionnels.

Le diagramme psychrométrique de Givoni, appliqué par (Hamdani et al, 2024), suggère que les stratégies passives suivantes peuvent assurer le confort thermique :

- L'inertie thermique couplée à la ventilation nocturne peut être efficace pendant 40 à 50 % de l'année, notamment les besoins en climatisation de 30 à 40 %.
- Le refroidissement évaporatif peut être efficace pour 25-35% du temps, offrant une alternative low-tech à la climatisation conventionnelle.
- La protection solaire est nécessaire presque toute l'année, avec un potentiel de réduction des gains solaires de 70 à 80 %.

Les besoins thermiques dans ces 19 régions se concentrent principalement sur la protection contre la chaleur excessive et le rayonnement solaire intense. L'étude de (Zerrouki et al, 2024) souligne l'importance cruciale de l'enveloppe du bâtiment, révélant que les gains solaires peuvent représenter jusqu'à 60% de la charge thermique totale. Ameur et al. (2023) démontrent que l'optimisation de l'enveloppe peut réduire les besoins énergétiques de climatisation de 40 à 50% par rapport aux pratiques conventionnelles, mettant en évidence son rôle central dans la régulation thermique et l'efficacité énergétique.

Cette importance de l'enveloppe est illustrée par l'étude d'Abdou et Boulaza (2014), sur la ville d'Ouargla, qui révèle des stratégies d'adaptation architecturale efficaces. La compacité urbaine, la morphologie horizontale des bâtiments, les constructions accolées

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

formant une masse thermique homogène, les patios quasi fermés, et les toitures en terrasses sont autant d'éléments qui optimisent la performance de l'enveloppe. De plus, l'aménagement urbain avec des rues sinueuses et profondes contribue à la protection solaire et à la gestion des vents. Ces observations, illustrées dans la Figure (6.3) De leur étude, démontrent comment l'enveloppe du bâtiment, au sens large, joue un rôle crucial dans l'adaptation au climat local, impactant directement la performance énergétique et le confort des occupants. Cette approche holistique souligne l'urgence d'adopter les nouvelles conceptions aux conditions climatiques extrêmes de ces régions.

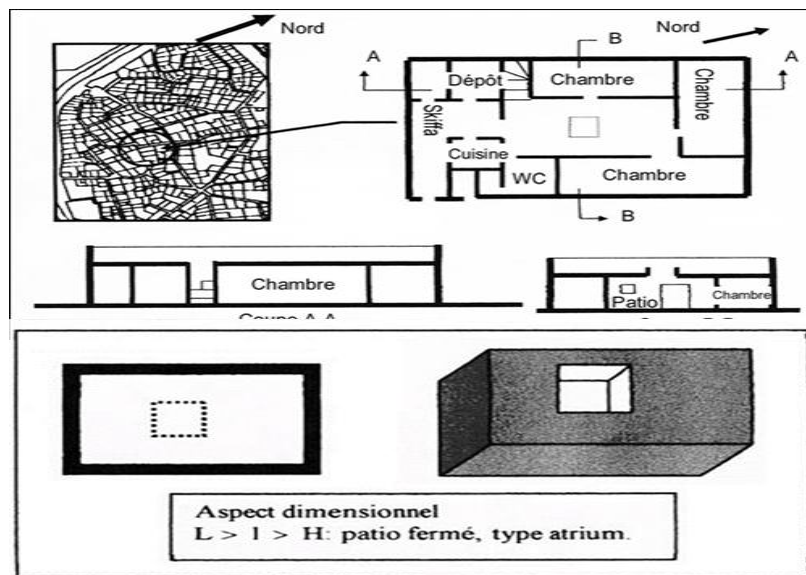


Figure 6.3 Organisation spatiale, maison traditionnelle Ouargla.

Source : (Abdou et Bboumaza, 2014)

5. Application de la simulation et la modélisation sur 19 régions

Cette simulation s'appliquera sur les régions à climat chaud et aride en Algérie, classées selon le système de classification climatique de Köppen (Bwh) ; Notre meta-modele utilise les données climatiques obtenues auprès de Météo Algérie pour l'année 2022. En analysant ces données, nous pourrions déterminer avec précision l'impact de chaque indice morphologique « géométrie ; volume et dimensions » sur la réduction des besoins énergétiques, tant individuellement que combinés. En comprenant mieux comment ces indices influent sur la performance énergétique dans un contexte climatique spécifique, nous serons en mesure de présenter des recommandations étudiées pour la conception d'édifices éco-efficaces ajustés à ces conditions particulières.

5.1. Données climatiques des 19 régions d'étude

Notre simulation s'inscrit dans le cadre de l'analyse de l'efficacité énergétique appliquée à 19 régions climatiques chaudes et arides du territoire algérien, qui ont été identifiées selon la classification climatique de Köppen. Cette approche permet une compréhension fine des fluctuations de ces régions présentes dans le pays, ce qui est crucial pour l'adaptation aux changements climatiques. Pour mener à bien cette simulation, Les données climatiques ont été obtenues à partir des relevés publiés des stations météorologiques locales. Elles incluent les températures extérieures et de base, qui constituent des paramètres climatiques essentiels. Pour notre analyse. Ces informations servent de base pour étudier l'influence des caractéristiques climatiques de chaque région et pour alimenter notre modèle de simulation.

Un aspect crucial de notre simulation est la prise en compte de l'intensité de la radiation solaire, qui est un facteur déterminant dans de nombreux processus environnementaux visant la minimisation de ces gains. Pour estimer cette donnée, nous utilisons le modèle PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) développé par l'Institut de l'énergie et des transports (IET) de la Commission européenne. Plus précisément, nous utilisons la version SARAHO2 de ce modèle, qui fournit des estimations détaillées du rayonnement solaire sur une base horaire pour des emplacements spécifiques. L'utilisation du modèle PVGIS SARAHO2 garantit une précision optimale dans nos estimations de l'intensité de la radiation solaire pour chaque région étudiée. Ces données presque similaires à ceux de (Capderou, 1979) ; sont cruciales pour évaluer l'efficacité énergétique dans chaque région, ce qui peut être un élément essentiel de la transition vers les bâtiments durables.

Ces données climatiques, qu'il s'agisse des estimations de l'intensité de la radiation solaire ou des températures extérieures ou de bases sont soigneusement définies et répertoriées dans le tableau (6.1), assurant ainsi une base solide et précise pour notre simulation. Cette méthodologie systématique et précise assure la robustesse et la pertinence des résultats, permettant ainsi d'orienter efficacement les choix architecturaux concernant l'enveloppe des bâtiments, notamment en termes de géométrie, volume, dimensions et proportions.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Tableau 6.1 : données climatiques et géographiques des 19 régions de la simulation

Source : (PVGIS Model Sarah02 et Climate-data.org , 2023 et Michel Capderou, 1985)

région	Lat	Long	Alt	t _i	t _e	In0 8.00/9.00	In1 11.00/12.00	In2 15.00/16.00
Biskra	34.48 N	5.44 E	81	22	39.2	662	934	761
Elouad	33.22 N	6.53 E	70	22.5	40.1	661	986	762
Ghardaia	32.23 N	3.49 E	450	22.1	39.7	684	1008	767
Ouargla	31.57 N	5.24 E	141	23.4	41.7	578	995	762
Bechar	31.38 N	2.15 W	806	21.55	39.9	747	1002	761
Adrar	27.52 N	17 W	264	25.5	45.2	743	1027	750
Tindouf	27.40 N	8.08 W	402	24.4	42.8	649	1028	767
Ilizi	26.30 N	8.26 E	559	22.7	40.8	745	1028	790
Tamanrasset	22.47 N	5.31 E	1378	20.2	35.3	711	1052	727
Touggourt	39.06 N	6.04 E	65	22.9	40.9	795	1021	796
Ouled Djalal	34.25 N	5.03 E	196	22.5	39.8	674	1003	784
M'ghair	33.57 N	5.55 E	02	21.9	40.8	644	961	772
Djanet	24.18 N	9.00 E	1050	19.5	35.5	798	1036	825
In geuzzam	19.34 N	5.46 E	400	20.4	35.3	685	1002	685
Bordj baji mokhtar	21.19 N	56.46 E	401	25.65	42.50	734	1033	762

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

In salah	27.15 N	2.31 E	293	25.6	44.6	744	1036	754
El menia	30.34 N	2.52 E	380	21.10	41.6	732	1012	767
Timimoune	29.15 N	0.15 E	288	25.4	40.7	763	1014	773
Beni abbés	30.05 N	2.06 W	483	22.85	42.7	751	1008	800

Ti : température de base ou de confort : température moyenne annuel (aussi température intérieure).

Te : température extérieure : la moyenne des maximales du mois de juillet

IN0 : intensité de la radiation solaire incidente sur un plan vertical orienté Est 08 :00 h / 9 :00.

IN1 : intensité de la radiation solaire incidente sur un plan horizontal a 11 :00 h / 12 :00 h

IN2 : intensité de la radiation solaire incidente sur un plan vertical orienté Ouest h15 :00 h /16 :00h

5.2. Caractéristiques thermo physique des composants et de l'épiderme de l'enveloppe

Les propriétés thermo-physiques de l'enveloppe et de son épiderme, représentées par les coefficients de transfert thermique (k_e), l'absorptivité (a) et l'émissivité (f_e), seront déclinées en trois niveaux distincts : défavorable, acceptable et optimal. Cette diversification vise à intégrer l'impact du volume, de la géométrie et des dimensions, en corrélation avec les caractéristiques thermo-physiques susmentionnées. Cette approche permettra d'évaluer la contribution de chaque indicateur à l'optimisation de l'efficacité énergétique du système. En effet, il s'agit d'une mise en concurrence de ces trois niveaux pour améliorer l'efficacité globale, Les choix des matériaux et des couleurs s'appuient sur les ressources et pratiques locales. Le coefficient de réflexion des surfaces extérieures est ajusté selon les spécificités climatiques des régions étudiées. Cette approche permettra ainsi d'adapter les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment aux spécificités climatiques locales, tout en cherchant à maximiser son efficacité énergétique. Alors ; ces valeurs sont :

Ke : coefficient de conduction thermique (0.8- 1.3- 2)

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

0.8 : dalle en corps creux avec isolant et étanchéité ou mur double avec isolant

1.3 : dalle en corps creux avec Chappe ou mur double avec lame d'air

2 : dalle en corps creux avec ou sans Chappe ou mur double sans lame d'air

a : coefficient d'absorption (0.20 - 0.55- 0.80)

0.2 : couleur blanche

0.55 : couleur gris moyen

0.80 : couleur noir

fe : facteur d'échange des surfaces externes (7- 10- 15)

7 : air confiné

10 : air calme

15 : air libre

6. Application du protocole de Simulation – la région de Biskra- par OPTI 01

6.1. Introduction des données (information région) et lecture des résultats

Initialement, sur la plateforme OPTIone, nous introduisons la valeur initiale de V, équivalente à 125 m³, et sélectionnons la région de Biskra pour charger les données climatiques pertinentes, comprenant la température intérieure de base (ti) et extérieure (te), ainsi que les données relatives à l'intensité de la radiation solaire (In₁ et In₂) la phase 01 lire liste régions. Par la suite, nous procédons au lancement de la phase 02 d'optimisation, conformément à la procédure illustrée sur la figure (6.4).

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE : BISKRA (125 m3)

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments



Figure 6.4 : démarrage de la simulation sur OPTiOne Biskra pour $v=125m^3$

Source : (OPTiOne, 2024)

Les résultats de l'optimisation, obtenus par le processus de minimisation des gains énergétiques, sont exprimés sous forme de valeurs du coefficient de gains énergétiques par unité de volume G , présentées dans le tableau (6.2) des 27 simulations. Ce coefficient représente une interpolation entre deux indices d'optimisation distincts :

- L'indice de géométrie et dimensions, qui prennent en compte la forme de l'enveloppe du bâtiment (**parallélépipède, tour, cube**) ainsi que ses dimensions (**longueur, hauteur, largeur**).
- L'indice de caractéristiques thermo-physiques, représenté par la triplet (**ke, a, Fe**), où chaque composant prend trois valeurs distinctes.

Cette méthodologie permet d'analyser conjointement l'impact de la configuration extérieur de l'enveloppe et de ses propriétés thermiques sur l'optimisation de l'efficacité énergétique, offrant ainsi une vue complète et détaillée des différentes possibilités pour améliorer l'efficacité énergétique du système.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Tableau 6.2 : 27 résultats de simulation d'optimisation de G en fonction de la géométrie ; L ; H ; l – K ; a ; fe pour v=125m³

Source : (OPTIone, 2024)

OptiOne

Nouvelle Optimisation

BISKRA

125 m3

Fermer

5 - Début de Optimisation Indice géométrie Valeur 26

6 - Fin Optimisation Indice Ke,Fe et a Valeur 1

7 - Optimisation Indice Volume

8 - Synthèse de l'optimisation

A propos

Parametres

1 - Liste Des Régions

2 - Optimisation

3 - Optimisation - Indice dimensions et proportions

4 - Optimisation et comparaison Min et Max

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT
0,80	15,00	0,20	14,28	15,75	15,02	7,48	2,89	5,78	5,00	5,00	5,00
0,80	10,00	0,20	14,81	16,75	16,75	8,04	2,79	5,58	4,93	5,14	4,93
0,80	7,00	0,20	15,43	18,03	17,91	8,73	2,68	5,35	4,61	5,88	4,61
0,80	15,00	0,55	15,97	19,24	18,88	9,36	2,58	5,17	4,37	6,54	4,37
0,80	15,00	0,80	16,99	21,73	20,62	10,59	2,43	4,86	4,00	7,80	4,00
0,80	10,00	0,55	17,09	21,98	20,78	10,71	2,42	4,83	3,97	7,92	3,97
0,80	7,00	0,55	18,33	25,50	22,80	12,33	2,25	4,50	3,62	9,53	3,62
0,80	10,00	0,80	18,41	25,72	22,91	12,42	2,24	4,49	3,60	9,63	3,60
0,80	7,00	0,80	19,95	30,84	25,31	14,60	2,07	4,14	3,26	11,75	3,26
1,30	15,00	0,20	23,21	25,60	24,41	7,48	2,89	5,78	5,00	5,00	5,00
1,30	10,00	0,20	24,06	27,22	27,21	8,04	2,79	5,58	4,93	5,14	4,93
1,30	7,00	0,20	25,07	29,30	29,10	8,73	2,68	5,35	4,61	5,88	4,61
1,30	15,00	0,55	25,96	31,26	30,68	9,36	2,58	5,17	4,37	6,54	4,37
1,30	15,00	0,80	27,61	35,31	33,51	10,59	2,43	4,86	4,00	7,80	4,00
1,30	10,00	0,55	27,77	35,72	33,77	10,71	2,42	4,83	3,97	7,92	3,97
1,30	7,00	0,55	29,79	41,44	37,05	12,33	2,25	4,50	3,62	9,53	3,62
1,30	10,00	0,80	29,91	41,79	37,23	12,42	2,24	4,49	3,60	9,63	3,60
1,30	7,00	0,80	32,42	50,11	41,13	14,60	2,07	4,14	3,26	11,75	3,26
2,00	15,00	0,20	35,71	39,38	37,55	7,48	2,89	5,78	5,00	5,00	5,00
2,00	10,00	0,20	37,02	41,87	41,86	8,04	2,79	5,58	4,93	5,14	4,93
2,00	7,00	0,20	38,58	45,07	44,77	8,73	2,68	5,35	4,61	5,88	4,61
2,00	15,00	0,55	39,94	48,10	47,21	9,36	2,58	5,17	4,37	6,54	4,37
2,00	15,00	0,80	42,48	54,33	51,56	10,59	2,43	4,86	4,00	7,80	4,00
2,00	10,00	0,55	42,72	54,95	51,95	10,71	2,42	4,83	3,97	7,92	3,97
2,00	7,00	0,55	45,84	63,75	57,00	12,33	2,25	4,50	3,62	9,53	3,62
2,00	10,00	0,80	46,01	64,29	57,28	12,42	2,24	4,49	3,60	9,63	3,60
2,00	7,00	0,80	49,88	77,10	63,28	14,60	2,07	4,14	3,26	11,75	3,26

6.2. Détermination des dimensions et des proportions de l'optimisation

Dans cette phase du protocole de simulation (**optimisation.3**), nous procédons à la détermination des dimensions et des proportions optimales pour notre modèle. Après avoir analysé le tableau d'optimisation généré par le logiciel de simulation **OPTIone**, nous observons que celui-ci nous a fourni **27 résultats** pour la forme de type **tour** et 27 pour la forme de type **parallélépipède**. Cependant, dans la pratique, ces résultats sont réduits à

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

seulement 9 solutions uniques, qui se répètent pour chacune des trois valeurs de K_e (0.8, 1.3 et 2), (tableau 6.3).

Tableau 6.3 : 09 solutions de dimensions pour TOUR et PARALLELELIPIPEDE pour 125m³

Source : (OPTIone, 2024)

Fe	a	LP	HP	Ip	LT	HT	Lt
15,00	0,20	7,48	2,89	5,78	5,00	5,00	5,00
10,00	0,20	8,04	2,79	5,58	4,93	5,14	4,93
7,00	0,20	8,73	2,68	5,35	4,61	5,88	4,61
15,00	0,55	9,36	2,58	5,17	4,37	6,54	4,37
15,00	0,80	10,59	2,43	4,86	4,00	7,80	4,00
10,00	0,55	10,71	2,42	4,83	3,97	7,92	3,97
7,00	0,55	12,33	2,25	4,50	3,62	9,53	3,62
10,00	0,80	12,42	2,24	4,49	3,60	9,63	3,60
7,00	0,80	14,60	2,07	4,14	3,26	11,75	3,26

Proportions parallépipède: $I_p = 2,00 * H_p$

Proportions tour: $L_t = 1,00 * L_t$

Volume: 125 m3, 1000 m3, 3325 m3, 8000 m3, 15625 m3

L, H, I: * 1, * 2, * 3, * 4, * 5

Cette répétition montre que La détermination des dimensions des formes performantes n'a rien avoir avec la valeur du coefficient de transmission thermique K ; par contre elle prouve qu'elle a une relation déterminante avec la valeur du couple (le facteur d'absorption a et le facteur d'échange des surfaces externes fe). Ceci nous mis devant l'évidence que les dimensions optimales sont les responsables sur la minimisation de l'énergie reçue (fe) et de l'énergie absorbée (a). En outre la couleur de l'enveloppe et l'échange par conductivité des surfaces externes sont les paramètres déterminants les dimensions.

D'après la comparaison entre les valeurs L ; H et I des neufs 09 résultats ont arrivé à déduire les deux rapports suivants ; Proportions parallépipède : $I_p = 2 * H_p$ Proportions Tour : $I_t = L_t$. A l'exception de la première valeur calculer pour le couple ($fe = 15$ et $a = 0.2$) ou le logiciel à dégager une solution d'un cube au lieu d'une tour. Ceci est expliqué par l'usage des caractéristiques thermo-physique de valeurs optimales qui sont la couleur blanche avec un environnement extérieur caractérisé par un air en mouvement libre. C'est pour cela il est recommandé dans ces régions l'usage des couleurs blanches et claires.

6.3. Comparaison des valeurs maximales et minimales de l'optimisation

Dans cette phase, nous procéderons à une simplification du tableau contenant les 27 résultats de la simulation. Nous nous concentrerons uniquement sur les valeurs optimales minimales et maximales, en mettant en œuvre une comparaison à la fois numérique et graphique. Cette comparaison sera établie par le logiciel OPTIone, conformément à la représentation graphique illustrée dans la figure (6.5) de l'étape d'**optimisation 4**. Cette approche permettra de mettre en lumière les différences significatives entre les valeurs minimales et maximales obtenues lors du processus d'optimisation. La présentation graphique facilitera la visualisation des tendances et des écarts entre ces valeurs, tandis que l'analyse numérique fournira des données précises pour évaluer la performance du système dans différents scénarios. En combinant ces deux méthodes, nous serons en mesure d'obtenir un aperçu complet des résultats de l'optimisation et de déterminer les meilleures options pour maximiser l'efficacité énergétique du système étudié.

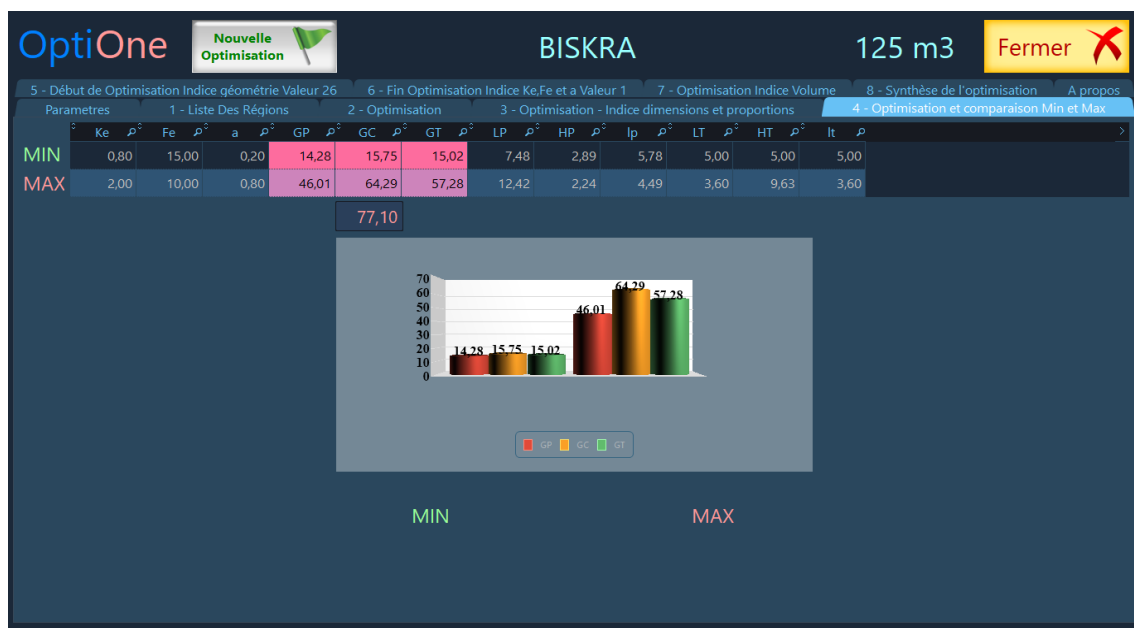


Figure 6.5 : optimisation et comparaison des MIN et MAX par OPTIone

Source : (OPTIone, 2024)

Après une analyse approfondie des valeurs maximales et minimales du coefficient de gains énergétiques par mètre cube (Gp, Gc, Gt), il est évident que le choix des matières de construction de l'enveloppe, avec des propriétés thermo-physiques optimales telles que $ke=0.8$, $a=0.2$ et $fe=15$, peut entraîner une réduction significative des gains énergétiques, allant de -70% à -80%. Cette différence remarquable entre les valeurs souligne l'importance

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

cruciale des matériaux dans l'efficacité énergétique globale du système. On observe que l'influence de la configuration géométrique de l'enveloppe devient particulièrement significative lorsque les matériaux utilisés possèdent des propriétés thermo-physiques peu performantes, telles que $ke=2$, $a=0.8$ et $fe=10$, alors qu'il est presque négligeable dans le cas des valeurs optimales. Cette observation met en évidence l'interaction complexe entre la morphologie de l'enveloppe et les propriétés thermiques de ces composants.

Pour déterminer exactement la participation de chaque indice (géométrie et caractéristiques thermo-physiques) à l'optimisation globale, il est nécessaire de poursuivre l'analyse en examinant les variations de l'optimisation en fonction de ces indices. Cette démarche permettra d'évaluer de manière approfondie la quantité et le taux d'optimisation réalisés par chaque aspect du système étudié, ouvrant ainsi la voie à des recommandations plus précises pour améliorer son efficacité énergétique.

7. Poursuite de l'optimisation et l'effet des indices (suite du Protocol)

Dans cette section, nous entreprenons d'explorer les variations de l'optimisation ainsi que celles des indices associés à la géométrie (L , H , l) et aux caractéristiques thermo-physiques (ke , a , Fe). Cette analyse se fait en examinant les fluctuations d'optimalité entre deux modèles distincts (tour, parallélépipède) par rapport à un modèle de référence (cube). Notre analyse comparative évalue les valeurs de G_p et G_t en relation horizontale avec la valeur critique de G_c , située à la 27ème position. Cette méthode permet de tracer l'évolution de l'optimisation géométrique depuis les conditions initiales ($ke= 0.8$; $a= 0.2$; $fe=15$) jusqu'aux paramètres finaux ($ke= 2$; $a= 0.8$; $fe=10$).

En parallèle, nous comparons les valeurs de G_{c01} et de G_{c26} verticalement par rapport à la valeur maximale la plus défavorable de G_c . Cette démarche nous aide à suivre l'évolution de l'optimalité en fonction des caractéristiques thermo-physiques, depuis le début jusqu'à la fin. Contrairement au cube, qui possède une seule arête pour le même volume et ne subit aucune optimisation géométrique, les modèles de tour et de parallélépipède offrent des possibilités d'ajustement géométrique significatives.

Cette analyse nous permettra d'évaluer quantitativement et qualitativement chaque indice dans l'optimalité (minimisation des gains) et de comprendre les règles et les relations qui influencent l'efficacité énergétique recherchée à travers la forme de l'enveloppe. Pour ce faire, nous calculons les deux indices d'optimisation, **OPT-géo-dim** et **OPT (ke , a , Fe)**, pour

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

les deux valeurs **01** et **26**, ainsi que pour les deux géométries, la tour et le parallélépipède, puis interprétons les résultats obtenus.

7.1. Effet de l'indice géométrie Début d'optimisation valeur 26

La comparaison de l'optimalité dans le sens horizontal, En déduisant les variations de géométrie, nous sommes en mesure de quantifier l'apport des changements de forme géométrique dans le processus d'optimisation énergétique globale. Cette approche nous offre l'occasion d'estimer l'effet de l'ajustement des dimensions optimales (L, H, l) sur l'efficacité énergétique, en se concentrant spécifiquement sur les caractéristiques thermo-physiques défavorables de la valeur26 ($k_e = 2$; $a = 0.8$; $f_e = 10$). Pour ce faire, nous comparons :

$$\text{OPT-géo-dim.} = \frac{G_{p26} - G_{c26}}{G_{c_{\max}}} \quad \text{et} \quad \frac{G_{T26} - G_{c26}}{G_{c_{\max}}}$$

Ce qui donnera l'optimisation dû à la géométrie pour les deux cas (tour et parallélépipède).

$$\text{OPT-géo-dim.} = \frac{46.01 - 64.29}{77.10} = \frac{-18.28}{77.10} = -0.23 \quad \text{et} \quad \frac{57.28 - 64.29}{77.10} = \frac{-7.01}{77.10} = -0.09$$

Alors :

Parallélépipède	tour
OPT-géo-dim = -18.28	OPT-géo-dim = -7.01
soit un taux = -23.7%	soit un taux = -9.09%

L'évaluation de la contribution des caractéristiques thermo-physiques (k_e , a , f_e) à l'optimisation énergétique se réalise par le biais d'une analyse de l'optimalité dans le sens vertical. Cette approche consiste à examiner la variation des paramètres thermo-physiques tout au long du processus d'optimisation, ce qui permet de comprendre leur impact sur les gains énergétiques. Alors, en comparant :

$$\text{OPT (ke, a, Fe)} = \frac{G_{c26} - G_{c_{\max}}}{G_{c_{\max}}}$$

$$\text{OPT (ke, a, Fe)} = \frac{64.29 - 77.10}{77.10} = \frac{-12.81}{77.10} = -0.166$$

Cube
OPT (ke, a, Fe)= -12.81
soit un taux = 16.61%

La résolution de ces équations de comparaison et de poursuite de l'optimalité est garantie grâce à la fonctionnalité intégrée de notre logiciel, disponible dans la rubrique 05 Début d'optimisation valeur 26 –indice géométrie- de l'interface utilisateur. Cette section offre un

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

ensemble d'outils et d'algorithmes spécialement conçus pour analyser et interpréter les données générées par le processus d'optimisation. Les résultats de cette analyse sont présentés de manière claire et accessible, à la fois sous forme numérique et graphique, comme illustré en détail dans la figure (6.6) Cette visualisation graphique offre une représentation visuelle des tendances et des relations entre les différents indices, tandis que les données numériques fournissent des informations précises pour une compréhension approfondie des résultats. En combinant ces deux approches, notre logiciel offre un moyen fiable d'évaluer et d'optimiser les performances énergétiques du système enveloppe des bâtiments.

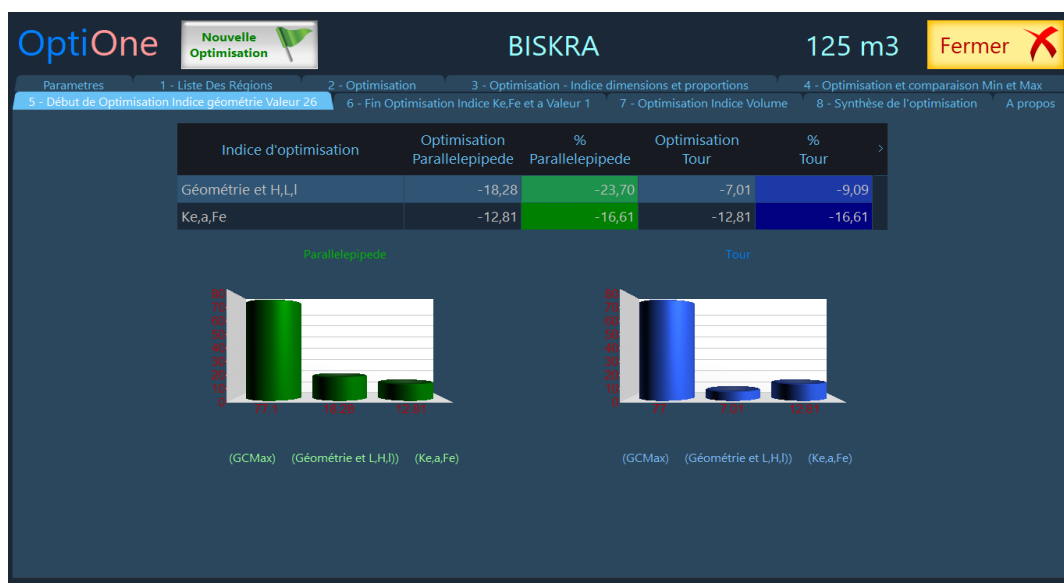


Figure 6.6 : interface effet de l'indice géométrie début de l'optimisation la valeur26

Source : (OPTiOne, 2024)

7.2. Effet de l'Indice (ke, a, Fe) Fin d'optimisation la valeur 1

La comparaison de l'optimalité dans le sens vertical, en suivant les variations des caractéristiques thermo-physiques (ke, a, Fe), représente une étape cruciale dans notre analyse. Cette approche nous permet d'évaluer de manière exacte l'impact des changements de ces caractéristiques sur l'efficacité énergétique du système- enveloppe-. En se concentrant sur les caractéristiques optimales de la valeur01 (ke= 0.8 ; a= 0.2; fe=15), nous pouvons estimer l'efficacité du modèle de base, le cube, pour différentes valeurs. Cette analyse comparative nous permet de déterminer avec précision l'effet des caractéristiques thermo-physiques sur les gains énergétiques. En examinant les données obtenues, nous sommes en mesure de quantifier l'optimisation réalisée grâce au choix judicieux de ces caractéristiques

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

optimales, et ainsi de mieux comprendre comment ces caractéristiques influent sur l'efficacité énergétique du système. Alors on peut écrire :

$$\text{OPT (ke, a, Fe)} = \frac{Gc1 - Gc_{\max}}{Gc_{\max}} = \frac{15.75 - 77.10}{77.10} = \frac{-61.35}{77.10} = -0.795$$

OPT (ke, a, Fe) = -61.34 soit -79.57 % pour le cube
--

L'évaluation de l'impact de la géométrie, avec ses dimensions, se concentre sur la comparaison horizontale des valeurs 01, représentant la meilleure optimalité obtenue grâce au choix judicieux des caractéristiques thermo-physiques. Cette analyse nous permet de quantifier l'apport spécifique de la géométrie dans l'amélioration des performances énergétiques, en utilisant des matériaux de construction de meilleure qualité thermique. En examinant ces données, nous pouvons déterminer de manière précise comment ces deux configurations géométriques influent sur les gains énergétiques.

$$\begin{aligned} \text{OPT-géo} &= \frac{Gp1 - Gc1}{Gc_{\max}} \quad \text{et} \quad \frac{GT1 - Gc1}{Gc_{\max}} \\ &= \frac{14.28 - 15.75}{77.10} = \frac{-1.47}{77.10} = -0.019 \quad \text{et} \quad = \frac{15.02 - 15.75}{77.10} = \frac{-0.73}{77.10} = -0.009 \end{aligned}$$

Soit :

OPT-géo (L, H, l) paral = -1.47 -1.90%	OPT-géo (L, H, l) tour = -0.73 -0.95%
---	--

Notre logiciel garantit la résolution des équations de comparaison et de recherche d'optimalité dans la rubrique 06, intitulée "Fin d'optimisation - Effet de l'Indice (ke, a, Fe)". Les résultats numériques et graphiques correspondants sont accessibles sur la figure (6.7) Référencée, offrant ainsi une visualisation graphique et numérique claire et précise des analyses effectuées.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

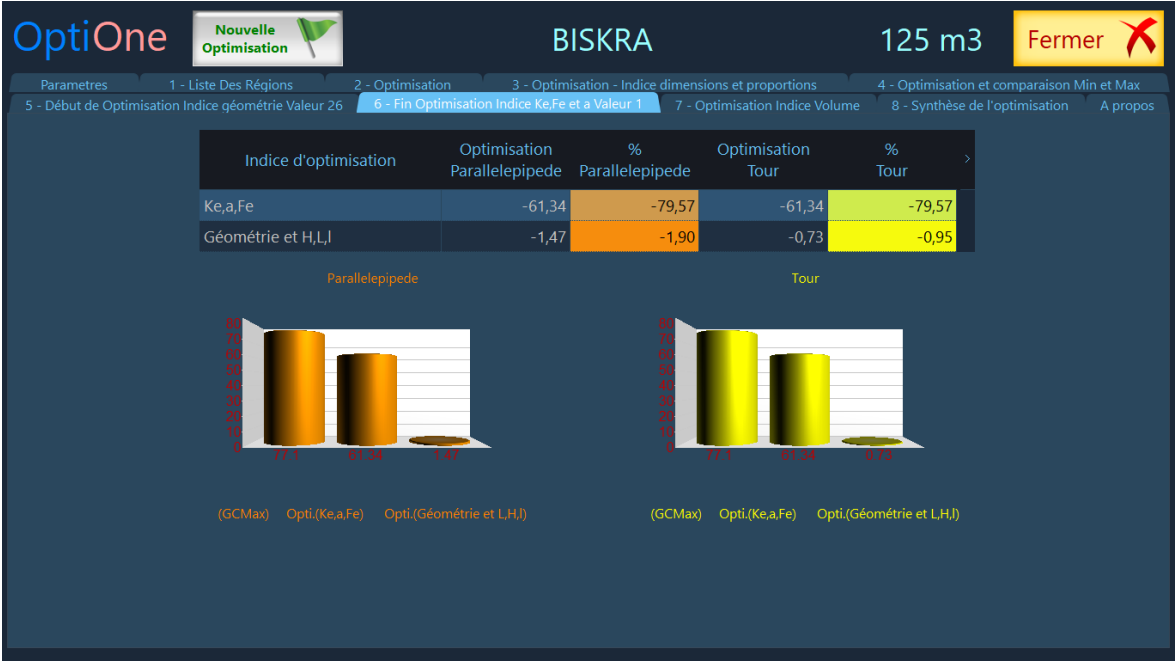


Figure 6.7 : Interface effet de l'indice géométrie fin de l'optimisation la valeur 26
Source : (OPTiOne, 2024)

7.3. Interprétation effet des indices géométrie et (K.a. fe) début et fin de l'optimisation

L'analyse des résultats de l'optimisation réalisée sur OPTone met en lumière des conclusions significatives. Au début de l'optimisation (valeur 26), lorsque l'enveloppe et l'épiderme du bâtiment sont construits avec des matériaux de qualité thermique défavorable ($k_e = 2$; $a = 0.8$; $f_e = 10$), on constate que le choix de la géométrie et des dimensions optimales joue un rôle crucial dans l'optimisation de l'efficacité énergétique. En effet, pour le parallélépipède, la minimisation des gains G atteint -18.28, ce qui représente une réduction de - 23%, tandis que pour la tour, elle atteint -7.01, soit une réduction de - 9%. La contribution moyenne des caractéristiques thermo-physiques (k_e , a , f_e) s'élève à -12.81, soit une réduction de - 16.6% pour les trois géométries, comme indiqué dans les tableaux et les graphiques au début de l'optimisation.

En revanche, à la fin de l'optimisation (valeur 01), lorsque l'enveloppe et l'épiderme du bâtiment sont construits avec des matériaux de qualité thermique optimale ($k_e = 0.8$; $a = 0.2$; $f_e = 15$), l'optimisation par la minimisation des gains est remarquable. Les caractéristiques thermo-physiques contribuent de manière significative avec une réduction impressionnante de -61.35, représentant ainsi un taux de -79.5%. En revanche, la contribution de la géométrie et des dimensions optimales est très légère voire négligeable, avec une réduction de -1.47 pour le parallélépipède, soit un taux de -1.9%, et de -0.73 pour la tour, soit un taux de -0.9%.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

dans le cadre de notre analyse, les résultats relatifs à ces dimensions et à leurs proportions sont également déterminés automatiquement par le logiciel, sans nécessiter une intervention spécifique pour chaque volume. Cela est réalisé grâce à la rubrique 3 - optimisation - indice dimensions et proportions (figure 6.9). Cette rubrique permet d'évaluer comment différentes configurations de dimensions et de proportions influentes sur l'efficacité de l'optimisation. Les résultats générés par cette rubrique fournissent des informations essentielles pour comprendre comment ajuster les dimensions et les proportions pour maximiser l'efficacité globale de l'enveloppe. Cependant, ces résultats seront analysés ultérieurement, une fois que les données relatives au volume auront été pleinement évaluées



Figure 6.9 : la rubrique 3 - optimisation - indice dimensions et proportions pour deux volumes

Source : (OPTOne, 2024)

À la fin du protocole, la rubrique **08- synthèse de l'optimisation par région**, prise en charge par le logiciel, fournit une synthèse complète de l'optimisation. Elle offre des résultats clairs et précis sur les taux d'optimisation de l'efficacité énergétique, en prenant en compte les indices de géométrie, de volume et de caractéristiques thermo physiques (K, a, fe). De

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

plus, elle détermine les dimensions et les proportions idéales, offrant ainsi une solution optimale (figure 6.10).



Figure 6.10 : interface - la rubrique 08- synthèse de l'optimisation par région

Source : (OPTiOne, 2024)

7.5. Interprétation de la poursuite de l'optimisation indice volume

À la fin de ce protocole d'optimisation visant l'application de la simulation sur les cinq volumes pour la même région de Biskra en vue de comprendre, d'étudier et d'estimer l'apport du volume dans l'amélioration de l'efficacité énergétique de la morphologie de l'enveloppe. Une synthèse exhaustive est réalisée grâce à la rubrique 08, prise en charge par le logiciel. Cette étape cruciale permet d'aliéner des résultats purs, nets et précis concernant les évolutions des taux d'optimisation de l'efficacité énergétique selon plusieurs critères.

Les dimensions optimales des 09 solutions dégagées par le logiciel OPT01 pour les cinq volumes montrent l'existence d'une relativité entre ces dimensions : alors de 125m³ à 1000m³ les dimensions L. H. I sont **doublé** et a 3325 sont **triplé** jusqu'à 15625 ou il devient **cinq fois** les dimensions du volume 125 m³ ; mais ; les rapports de proportions déterminer pour les deux géométries (tour IT = Lt et parallélépipède IP = 2 * Hp) sont répéter pour les cinq volumes. Cette répétition des rapports associés à la relativité des dimensions pour chaque volume confirme et certifier l'exactitude des solutions dégagées par le logiciel et la possibilité d'adapter et de généraliser ces résultats pour servir comme recommandation de conception intégré pour cette région. Optimisation indice dimensions-rubrique (Tab 6.3)

L'indice d'optimisation du a la géométrie et celui des caractéristiques thermo physiques (K.a ; fe) ne subissant aucun changement pour tous les volumes de 125 m³ a 15625 m³ et le

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

taux de participation de ces indices reste le même du début à la fin de l'optimisation- **Indices** de géométrie - 0.93% à - 23.7 1%. Indices Caractéristiques thermo physiques (K, a, fe) - 16.61% à -79.57% (figure 6.8).

La quantité des gains énergétique par unité de volume **G** des trois géométries est entrain de ce baisser en augmentant le volume selon les taux déjà déterminer pour chaque volume et pour les valeurs minimales et maximales du coefficient **G** sur la figure (6.6) – optimisation indice volume-rubrique 07. Ces taux se montrent important et variant de **-50 %** à **-80 %**.

La rubrique 08 a permet ainsi de dresser un tableau complet de l'optimisation, fournissant des informations détaillées sur chaque aspect du processus. Ces résultats sont présentés de manière claire et précise, offrant une compréhension approfondie des facteurs qui influent sur l'efficacité énergétique du système – l'enveloppe du bâtiment. Le logiciel permet aussi de consulter l'ensemble des étapes de simulation en cliquant sur le bouton "**édition**", offrant ainsi une vue exhaustive de toutes les étapes parcourues. De plus, il est possible d'imprimer ces résultats, suivant le modèle du cas d'étude Biskra pour un autre volume 3375m³. Associée à cette synthèse ; qui illustre visuellement les résultats obtenus, fournissant une représentation graphique des performances optimisées selon les différents critères analysés. Elle offre aux utilisateurs des informations précises et exploitables pour prendre des décisions instruites concernant la performance énergétique de l'enveloppe des constructions dans cette région spécifique.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

7.6. Application de la simulation pour le cas représentatif de la région de Biskra

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE : BISKRA (3375 m3)

Information Région:

Régions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
BISKRA	34.48 N	5.44E	81	22	39.2	934	761

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.76	5.25	5.01	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.94	5.58	5.58	24.13	8.36	16.73	14.7	15.43	14.79
0.80	7.00	0.20	5.14	6.01	5.97	26.20	8.03	16.05	13.8	17.64	13.83
0.80	15.00	0.55	5.32	6.41	6.29	28.08	7.75	15.50	13.1	19.62	13.12
0.80	15.00	0.80	5.66	7.24	6.87	31.77	7.29	14.58	12.0	23.40	12.01
0.80	10.00	0.55	5.70	7.33	6.93	32.13	7.25	14.49	11.9	23.76	11.92
0.80	7.00	0.55	6.11	8.50	7.60	36.99	6.75	13.51	10.8	28.60	10.86
0.80	10.00	0.80	6.14	8.57	7.64	37.27	6.73	13.46	10.8	28.88	10.81
0.80	7.00	0.80	6.65	10.28	8.44	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78
1.30	15.00	0.20	7.74	8.53	8.14	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.02	9.07	9.07	24.13	8.36	16.73	14.7	15.43	14.79
1.30	7.00	0.20	8.36	9.77	9.70	26.20	8.03	16.05	13.8	17.64	13.83
1.30	15.00	0.55	8.65	10.42	10.23	28.08	7.75	15.50	13.1	19.62	13.12
1.30	15.00	0.80	9.20	11.77	11.17	31.77	7.29	14.58	12.0	23.40	12.01
1.30	10.00	0.55	9.26	11.91	11.26	32.13	7.25	14.49	11.9	23.76	11.92
1.30	7.00	0.55	9.93	13.81	12.35	36.99	6.75	13.51	10.8	28.60	10.86
1.30	10.00	0.80	9.97	13.93	12.41	37.27	6.73	13.46	10.8	28.88	10.81
1.30	7.00	0.80	10.81	16.70	13.71	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78
2.00	15.00	0.20	11.90	13.13	12.52	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.34	13.96	13.95	24.13	8.36	16.73	14.7	15.43	14.79
2.00	7.00	0.20	12.86	15.02	14.92	26.20	8.03	16.05	13.8	17.64	13.83
2.00	15.00	0.55	13.31	16.03	15.74	28.08	7.75	15.50	13.1	19.62	13.12
2.00	15.00	0.80	14.16	18.11	17.19	31.77	7.29	14.58	12.0	23.40	12.01
2.00	10.00	0.55	14.24	18.32	17.32	32.13	7.25	14.49	11.9	23.76	11.92
2.00	7.00	0.55	15.28	21.25	19.00	36.99	6.75	13.51	10.8	28.60	10.86
2.00	10.00	0.80	15.34	21.43	19.09	37.27	6.73	13.46	10.8	28.88	10.81
2.00	7.00	0.80	16.63	25.70	21.09	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.45	8.67	17.34	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.13	8.36	16.73	14.79	15.43	14.79
7.00	0.20	26.20	8.03	16.05	13.83	17.64	13.83
15.00	0.55	28.08	7.75	15.50	13.12	19.62	13.12
15.00	0.80	31.77	7.29	14.58	12.01	23.40	12.01
10.00	0.55	32.13	7.25	14.49	11.92	23.76	11.92
7.00	0.55	36.99	6.75	13.51	10.86	28.60	10.86
10.00	0.80	37.27	6.73	13.46	10.81	28.88	10.81
7.00	0.80	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78

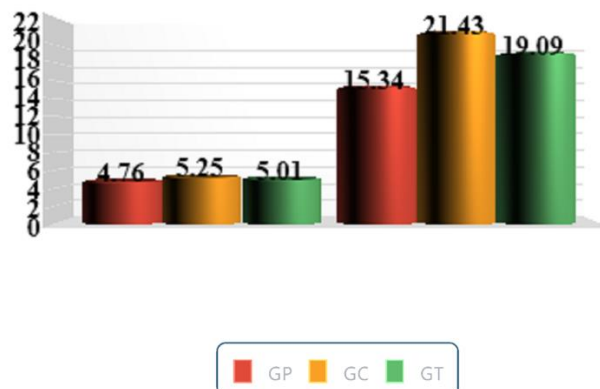
parallélépipède : $IP = 2 * Hp$ Proportions tour : $IT = Lt$

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L , H , l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.76	5.25	5.01	22.45	8.67	17.34	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	15.34	21.43	19.09	37.27	6.73	13.46	10.81	28.88	10.81
				25.70							



MIN

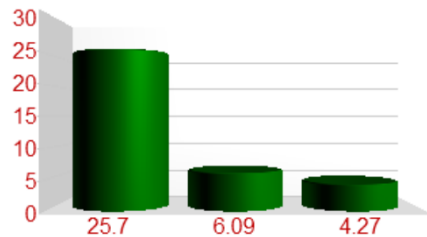
MAX

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

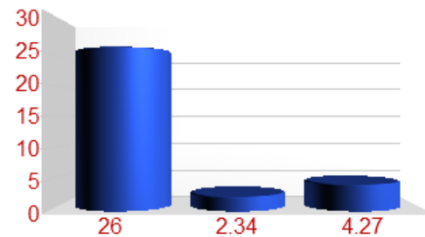
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallélépipède	% Parallélépipède	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.09	-23.70	-2.34	-9.09
Ke,a,Fe	-4.27	-16.61	-4.27	-16.61

Parallelepiped



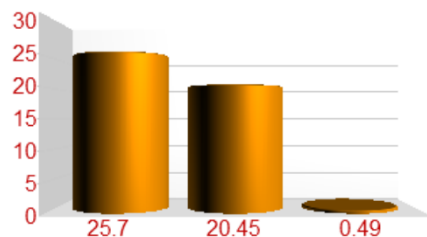
Tour



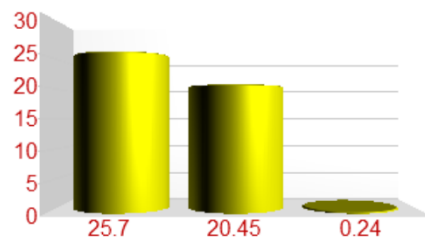
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallélépipède	% Parallélépipède	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-20.45	-79.57	-20.45	-79.57
Géométrie et H,L,l	-0.49	-1.90	-0.24	-0.95

Parallelepiped



Tour

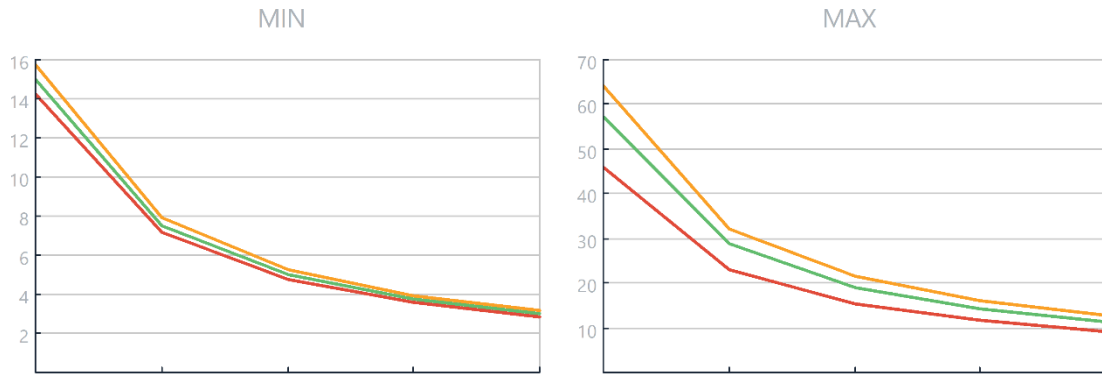


Région de BISKRA

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMIn 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	14.28	15.75	15.02	46.01	64.29	57.28	0.00	0.00
1000	7.14	7.88	7.51	23.01	32.14	28.64	-50.00	-50.00
3375	4.76	5.25	5.01	15.34	21.43	19.09	-66.67	-66.67
8000	3.57	3.94	3.75	11.50	16.07	14.32	-75.00	-75.00
15625	2.86	3.15	3.00	9.20	12.86	11.46	-80.00	-80.00

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisation on géométrie L,H,l Début	Optimisation on géométrie L,H,l Fin	Optimisation on Ke,a,Fe Début	Optimisation on Ke,a,Fe Fin	Optimisation on - Volume Début	Optimisation on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.90	-23.70	-16.61	-79.57	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.95	-9.09	-16.61	-79.57	-50.00	-80.00

8. Effet des fluctuations des données climatiques - Application de la Simulation pour toutes les régions

8.1. Objectif de la simulation sur toutes les régions

L'objectif de cette partie de l'étude consiste à appliquer la simulation par OPTI-one sur un volume moyen de 3375m³, englobant toutes les régions à climat chaud et aride en Algérie ; elle vise à identifier les variations des indices d'optimisation énergétique de la forme bâtie en relation avec les conditions climatiques locales, particulièrement la température extérieure et le rayonnement solaire. L'étude examine l'influence du climat sur le choix de la morphologie de l'enveloppe et ses indicateurs d'optimisation, dans le but de valider une approche de conception énergétique adaptable aux exigences thermiques spécifiques de chaque zone. Cela permettra d'aider les concepteurs à adapter la forme du bâtiment aux exigences spécifiques du site et des utilisateurs. De plus, nous cherchons à mettre en œuvre un processus d'évaluation de l'efficacité énergétique de la forme du bâtiment, contribuant ainsi directement à la durabilité de l'établissement humain et au développement d'actions conceptuelles en amont pour minimiser la consommation d'énergie électrique et préserver l'environnement. Tout cela sera réalisé grâce à l'utilisation du bouton – synthèse de l'optimisation par région - du logiciel OPTIone pour vérifier et analyser les

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

résultats de simulation dans les 19 régions étudiées et de façon numérique et graphique tel qu'illustré dans la figure 6.9.

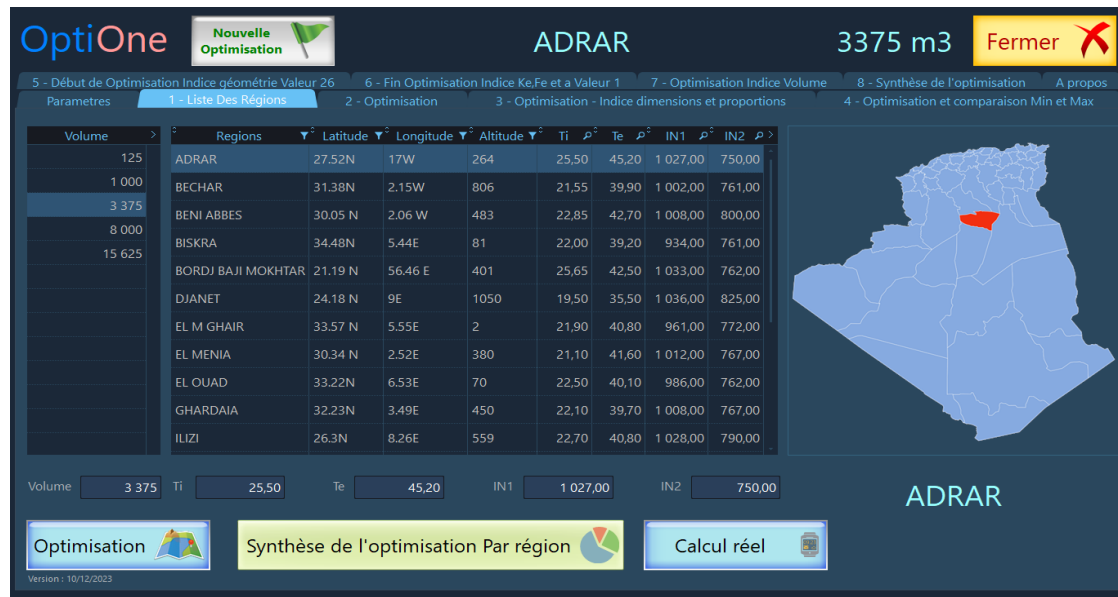


Figure 6.11 : Inteface l'utilisation du bouton – synthèse de l'optimisation par région - du logiciel OPTIone. Source : (OPTIone, 2024)

8.2. Application de la Simulation pour toutes les régions (19 cas) Sur OPTI 01

8.2.1. Application via la rubrique 08 synthèse d'optimisation

Il est impératif de mener l'opération de simulation de manière méthodique, en suivant le protocole établi précédemment pour Biskra. Cette simulation concerne un volume $V=3375$ et implique 19 simulations pour les régions chaudes et arides en Algérie. Chaque simulation doit se conformer aux huit rubriques d'optimisation numérotées de 01 à 08. Pour ce faire, une simulation représentative sera réalisée pour la région de Tindouf, tandis que les simulations des autres régions seront incluses en annexe B fournissant ainsi une vue d'ensemble complète.

Les résultats obtenus, en particulier ceux de la rubrique 08 "synthèse de l'optimisation" offrant la possibilité d'imprimer une fiche de synthèse de la simulation représentative pour chaque région – cas de TINDUF, montrant l'impact des divers paramètres sur l'optimisation énergétique, intègrent tous les paramètres clés : volume, forme, dimensions et caractéristiques thermiques des matériaux. Les résultats pour la région de Tindouf sont présentés dans la fiche synthétique; elle permet de lire ces indices d'optimisation morphologiques spécifiques à cette région par rapport à la grandeur métrique d'évaluation.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Il permet également une détermination précise des dimensions et de leurs proportions pour chaque géométrie et volume, réalisant ainsi le point d'optimalité recherché.

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE : TINDOUF (3375 m3)

1. Information Région

Régions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN	IN2
TINDOUF	27.4N	8.08W	402	24.4	42.8	10 28	767

2. Optimisation

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0,80	15,00	0,20	5,07	5,64	5,35	22,26	8,71	17,42	15,00	15,00	15,00
0,80	10,00	0,20	5,25	6,00	6,00	23,84	8,41	16,83	14,72	15,58	14,72
0,80	7,00	0,20	5,46	6,47	6,42	25,80	8,09	16,17	13,75	17,85	13,75
0,80	15,00	0,55	5,65	6,92	6,78	27,59	7,82	15,64	13,03	19,87	13,03
0,80	15,00	0,80	6,00	7,83	7,41	31,11	7,37	14,73	11,93	23,73	11,93
0,80	10,00	0,55	6,03	7,92	7,46	31,45	7,33	14,65	11,83	24,10	11,83
0,80	7,00	0,55	6,46	9,21	8,19	36,08	6,84	13,68	10,78	29,05	10,78
0,80	10,00	0,80	6,48	9,29	8,23	36,35	6,81	13,63	10,73	29,33	10,73
0,80	7,00	0,80	7,01	11,17	9,10	42,58	6,30	12,59	9,70	35,84	9,70
1,30	15,00	0,20	8,24	9,16	8,70	22,26	8,71	17,42	15,00	15,00	15,00
1,30	10,00	0,20	8,53	9,76	9,75	23,84	8,41	16,83	14,72	15,58	14,72
1,30	7,00	0,20	8,87	10,52	10,44	25,80	8,09	16,17	13,75	17,85	13,75
1,30	15,00	0,55	9,18	11,24	11,01	27,59	7,82	15,64	13,03	19,87	13,03
1,30	15,00	0,80	9,74	12,72	12,03	31,11	7,37	14,73	11,93	23,73	11,93
1,30	10,00	0,55	9,80	12,87	12,13	31,45	7,33	14,65	11,83	24,10	11,83
1,30	7,00	0,55	10,49	14,97	13,31	36,08	6,84	13,68	10,78	29,05	10,78
1,30	10,00	0,80	10,53	15,10	13,38	36,35	6,81	13,63	10,73	29,33	10,73
1,30	7,00	0,80	11,40	18,16	14,79	42,58	6,30	12,59	9,70	35,84	9,70
2,00	15,00	0,20	12,68	14,09	13,39	22,26	8,71	17,42	15,00	15,00	15,00
2,00	10,00	0,20	13,12	15,01	15,00	23,84	8,41	16,83	14,72	15,58	14,72
2,00	7,00	0,20	13,65	16,18	16,06	25,80	8,09	16,17	13,75	17,85	13,75
2,00	15,00	0,55	14,12	17,29	16,94	27,59	7,82	15,64	13,03	19,87	13,03

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

2,00	15,00	0,80	14,99	19,58	18,51	31,11	7,37	14,73	11,93	23,73	11,93
2,00	10,00	0,55	15,07	19,81	18,66	31,45	7,33	14,65	11,83	24,10	11,83
2,00	7,00	0,55	16,14	23,04	20,48	36,08	6,84	13,68	10,78	29,05	10,78
2,00	10,00	0,80	16,20	23,23	20,58	36,35	6,81	13,63	10,73	29,33	10,73
2,00	7,00	0,80	17,54	27,93	22,75	42,58	6,30	12,59	9,70	35,84	9,70

3. Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15,00	0,20	22,26	8,71	17,4	15,00	15,00	15,00
10,00	0,20	23,84	8,41	16,8	14,72	15,58	14,72
7,00	0,20	25,80	8,09	16,1	13,75	17,85	13,75
15,00	0,55	27,59	7,82	15,6	13,03	19,87	13,03
15,00	0,80	31,11	7,37	14,7	11,93	23,73	11,93
10,00	0,55	31,45	7,33	14,6	11,83	24,10	11,83
7,00	0,55	36,08	6,84	13,6	10,78	29,05	10,78
10,00	0,80	36,35	6,81	13,6	10,73	29,33	10,73
7,00	0,80	42,58	6,30	12,5	9,70	35,84	9,70

Proportions parallélépipède : $IP = 2 * Hp$ Proportions tour : $IT = Lt$

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L , H , l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

4. Optimisation et comparaison Min et Max :

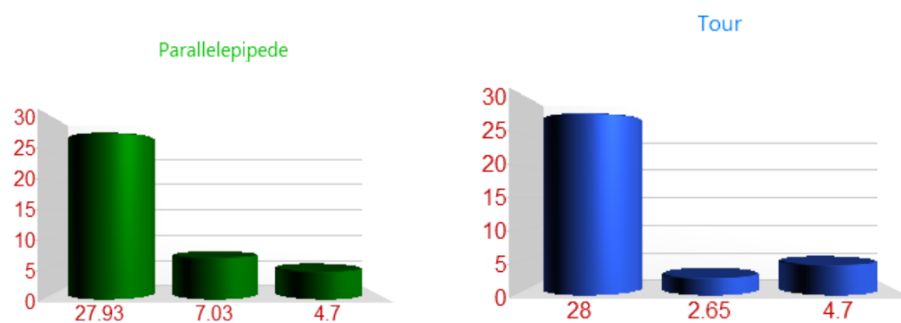
Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0,80	15,0	0,20	5,07	5,64	5,35	22,2	8,71	17,4	15,0	15,0	15,0
	0					6		2	0	0	0
2,00	10,0	0,80	16,2	23,23	20,5	36,3	6,81	13,6	10,7	29,3	10,7
	0		0		8	5		3	3	3	3
				27,93							

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments



5. Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallélépipède	% Parallélépipède	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7,03	-25,17	-2,65	-9,48
Ke,a,Fe	-4,70	-16,82	-4,70	-16,82



6. Fin d'optimisation Indice géométrie valeur 1 :

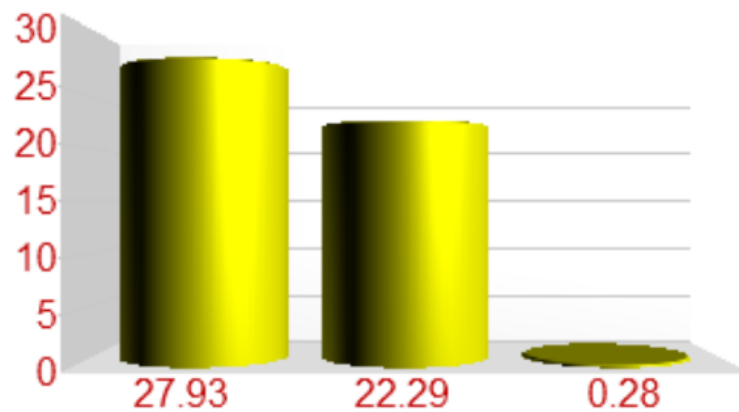
Indice d'optimisation	Optimisation Parallélépipède	% Parallélépipède	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22,29	-79,82	-22,29	-79,82
Géométrie et H,L,l	-0,57	-2,03	-0,28	-1,01

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Parallelepiped



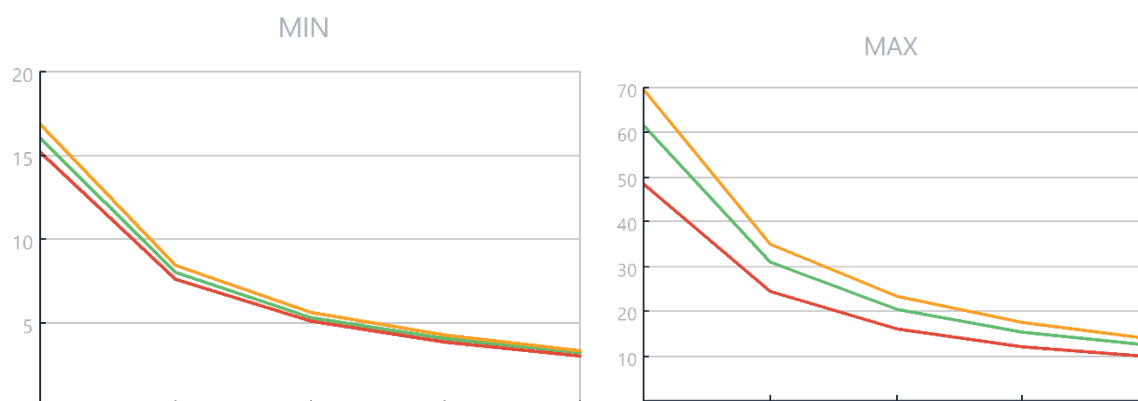
Tour



7.. Optimisation indice volume : Région de TINDOUF

Volum	GP Min	GCMIn	GT Min	GP Max	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15,21	16,91	16,06	48,61	69,70	61,75	0,00	0,00
1000	7,61	8,46	8,03	24,30	34,85	30,88	-50,00	-50,00
3375	5,07	5,64	5,35	16,20	23,23	20,58	-66,67	-66,67
8000	3,80	4,23	4,02	12,15	17,42	15,44	-75,00	-75,00
15625	3,04	3,38	3,21	9,72	13,94	12,35	-80,00	-80,00

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments



21. Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisation géométrie L,H,l Début	Optimisation géométrie L,H,l Fin	Optimisation Ke,a,Fe Début	Optimisation Ke,a,Fe Fin	Optimisation - Volume Début	Optimisation - Volume Fin
Parallèle	lp = 2 HP	-2.03	-25.17	-16.82	-79.82	-50.00	-80.00
Tour	lt = LT	-1.01	-9.48	-16.82	-79.82	-50.00	-80.00

8.2.2. Application via le bouton synthèse d'optimisation par région

Les résultats issus des 19 applications seront soumises à une analyse rigoureuse, dans le but de comparer les performances optimisées et d'évaluer l'incidence des variations climatiques sur cette optimisation. Cette évaluation se fera en exploitant les données obtenues via le bouton "**synthèse de l'optimisation par région**" disponible sur l'interface logiciel (figure 6.12). Cette démarche analytique comparative permettra de mettre en évidence les caractéristiques distinctes ainsi que les défis propres à chaque région, tout en identifiant les meilleures pratiques en matière d'optimisation.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments



Figure 6.12 : application de la simulation via le bouton "synthèse de l'optimisation par région"

Source : (OPTiOne, 2024)

Il est nécessaire de souligner l'importance de la fonction d'examen comparative des résultats, abordable dans la section "synthèse d'optimisation par région" du logiciel OPTiOne. Cette dernière vise principalement à généraliser les résultats obtenus et à formuler des recommandations spécifiques concernant la morphologie, tout en permettant la vérification des fluctuations possibles de l'optimalité. Cette fonction produit deux types de comparaisons : d'abord, un tableau analysant les proportions et taux d'optimisation liés aux indices géométriques et aux caractéristiques (K.a.fe). Ensuite, un second tableau compare les valeurs métriques G_p , G_t et G_c , résultant de l'optimisation de l'enveloppe, en présentant leurs maximums. Cette fonctionnalité comprend également cinq rubriques d'analyse et de comparaison graphique, qui incluent l'étude des fluctuations potentielles sur les grandeurs métriques de l'évaluation de l'efficacité énergétique, notamment G_{max} et G_{min} , ainsi que sur les taux de contribution à l'efficacité de chaque indice, à savoir la géométrie (Parallélépipède ou Tour) et les caractéristiques (k. a.fe). La galerie des figures séquentielles ci-après illustre de manière exhaustive ces résultats ; de même une synthèse d'optimisation par région est disponible en mode Edition en annexe C

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Tableau 6.4 : tableau comparatif 01 des proportions et des taux d'optimisation réalisés par les indices géométrie et caractéristiques (K.a. fe) par région

Source : (OPTIone, 2024)

OptiOne Synthèse de l'optimisation Par région (Volume = 3375 m3)									
Synthèse de l'optimisation Recapitulatif Graphes GMax Graphes GMin Graphes Opti-Ke Fe a Graphes Opti-Géom-Paral Graphes Opti-Géom-Tour									
Region	Forme	Proportion L, H, I	Optimisation géométrie L,H,I Début	Optimisation géométrie L,H,I Fin	Optimisation Ke,a,Fe Début	Optimisation Ke,a,Fe Fin	Optimisation - Volume Début	Optimisation - Volume Fin	
ADRAR	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,04	-24,53	-16,31	-79,21	-50,00	-80,00	
ADRAR	Tour	It = LT	-1,02	-8,54	-16,31	-79,21	-50,00	-80,00	
BECHAR	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,00	-24,65	-16,66	-79,62	-50,00	-80,00	
BECHAR	Tour	It = LT	-1,00	-9,16	-16,66	-79,62	-50,00	-80,00	
BENI ABBES	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,93	-23,18	-16,12	-78,98	-50,00	-80,00	
BENI ABBES	Tour	It = LT	-0,97	-8,20	-16,12	-78,98	-50,00	-80,00	
BISKRA	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,90	-23,70	-16,61	-79,57	-50,00	-80,00	
BISKRA	Tour	It = LT	-0,95	-9,09	-16,61	-79,57	-50,00	-80,00	
BORDJ BAJI MOK	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,06	-26,53	-17,51	-80,62	-50,00	-80,00	
BORDJ BAJI MOK	Tour	It = LT	-1,03	-10,80	-17,51	-80,62	-50,00	-80,00	
DJANET	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,96	-26,33	-17,90	-81,09	-50,00	-80,00	
DJANET	Tour	It = LT	-0,98	-11,62	-17,90	-81,09	-50,00	-80,00	
EL M GHAIR	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,92	-23,04	-16,13	-78,99	-50,00	-80,00	
EL M GHAIR	Tour	It = LT	-0,96	-8,21	-16,13	-78,99	-50,00	-80,00	
EL MENIA	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,99	-23,39	-15,90	-78,73	-50,00	-80,00	
EL MENIA	Tour	It = LT	-0,99	-7,83	-15,90	-78,73	-50,00	-80,00	
EL OUAD	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,98	-24,77	-16,85	-79,84	-50,00	-80,00	
EL OUAD	Tour	It = LT	-0,99	-9,52	-16,85	-79,84	-50,00	-80,00	
GHARDAIA	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,01	-25,25	-17,01	-80,03	-50,00	-80,00	
GHARDAIA	Tour	It = LT	-1,00	-9,82	-17,01	-80,03	-50,00	-80,00	
ILIZI	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,99	-25,02	-16,95	-79,96	-50,00	-80,00	
ILIZI	Tour	It = LT	-1,00	-9,71	-16,95	-79,96	-50,00	-80,00	
IN GUEZZAM	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,18	-28,67	-18,18	-81,41	-50,00	-80,00	
IN GUEZZAM	Tour	It = LT	-1,09	-12,20	-18,18	-81,41	-50,00	-80,00	
IN SALAH	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,06	-25,15	-16,64	-79,60	-50,00	-80,00	
IN SALAH	Tour	It = LT	-1,03	-9,14	-16,64	-79,60	-50,00	-80,00	
OUARGLA	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,99	-24,49	-16,62	-79,58	-50,00	-80,00	
OUARGLA	Tour	It = LT	-0,99	-9,10	-16,62	-79,58	-50,00	-80,00	
OULED DJALAL	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,97	-25,08	-17,10	-80,14	-50,00	-80,00	
OULED DJALAL	Tour	It = LT	-0,99	-10,00	-17,10	-80,14	-50,00	-80,00	
TAMANRASSET	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,17	-29,03	-18,43	-81,70	-50,00	-80,00	
TAMANRASSET	Tour	It = LT	-1,09	-12,75	-18,43	-81,70	-50,00	-80,00	
TIMIMOUNE	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,03	-27,18	-18,07	-81,28	-50,00	-80,00	
TIMIMOUNE	Tour	It = LT	-1,01	-11,97	-18,07	-81,28	-50,00	-80,00	
TINDOUF	Parallèle	Ip = 2 HP	-2,03	-25,17	-16,82	-79,82	-50,00	-80,00	
TINDOUF	Tour	It = LT	-1,01	-9,48	-16,82	-79,82	-50,00	-80,00	
TOUGGOURT	Parallèle	Ip = 2 HP	-1,97	-24,83	-16,94	-79,95	-50,00	-80,00	
TOUGGOURT	Tour	It = LT	-0,99	-9,69	-16,94	-79,95	-50,00	-80,00	

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Tableau 6.5 : tableau comparatif 02 des proportions et des taux d'optimisation réalisés par les indices géométrie et caractéristiques (K.a. fe) par région

Source : (OPTIone, 2024)

OptiOne Synthèse de l'optimisation Par région (Volume = 3375 m3)

Regions	GPMax	GCMMax	GTMax	GPMMin	GCMMin	GTMin	Opti_P_Debut	Opti_P_Fin	Opti_T_Debut	Opti_T_Fin	KeFea_Debut	KeFea_Fin
ADRAR	17,03	24,09	21,63	5,40	5,98	5,69	-2,04	-24,53	-1,02	-8,54	-16,31	-79,21
BECHAR	16,14	22,92	20,40	5,06	5,61	5,33	-2,00	-24,65	-1,00	-9,16	-16,66	-79,62
BENI ABBES	17,36	23,99	21,64	5,46	6,01	5,73	-1,93	-23,18	-0,97	-8,20	-16,12	-78,98
BISKRA	15,34	21,43	19,09	4,76	5,25	5,01	-1,90	-23,70	-0,95	-9,09	-16,61	-79,57
BORDJ BAJI MOKHTAR	15,10	22,25	19,34	4,67	5,23	4,95	-2,06	-26,53	-1,03	-10,80	-17,51	-80,62
DJANET	14,75	21,72	18,64	4,48	5,00	4,74	-1,96	-26,33	-0,98	-11,62	-17,90	-81,09
EL M GHAIR	16,57	22,85	20,61	5,20	5,72	5,46	-1,92	-23,04	-0,96	-8,21	-16,13	-78,99
EL MENIA	17,66	24,46	22,18	5,61	6,19	5,90	-1,99	-23,39	-0,99	-7,83	-15,90	-78,73
EL OUAD	15,62	22,25	19,70	4,86	5,39	5,13	-1,98	-24,77	-0,99	-9,52	-16,85	-79,84
GHARDAIA	15,64	22,49	19,82	4,87	5,41	5,14	-2,01	-25,25	-1,00	-9,82	-17,01	-80,03
ILIZI	16,09	23,03	20,34	5,01	5,56	5,28	-1,99	-25,02	-1,00	-9,71	-16,95	-79,96
IN GUEZZAM	13,40	20,62	17,55	4,14	4,69	4,41	-2,18	-28,67	-1,09	-12,20	-18,18	-81,41
IN SALAH	16,56	23,72	21,12	5,22	5,80	5,51	-2,06	-25,15	-1,03	-9,14	-16,64	-79,60
OUARGLA	16,11	22,81	20,32	5,04	5,59	5,32	-1,99	-24,49	-0,99	-9,10	-16,62	-79,58
OULED DJALAL	15,51	22,23	19,55	4,80	5,33	5,06	-1,97	-25,08	-0,99	-10,00	-17,10	-80,14
TAMANRASSET	13,71	21,29	17,96	4,21	4,77	4,49	-2,17	-29,03	-1,09	-12,75	-18,43	-81,70
TIMIMOUNE	14,04	21,02	17,94	4,28	4,80	4,54	-2,03	-27,18	-1,01	-11,97	-18,07	-81,28
TINDOUF	16,20	23,23	20,58	5,07	5,64	5,35	-2,03	-25,17	-1,01	-9,48	-16,82	-79,82
TOUGGOURT	16,05	22,89	20,22	4,98	5,53	5,25	-1,97	-24,83	-0,99	-9,69	-16,94	-79,95

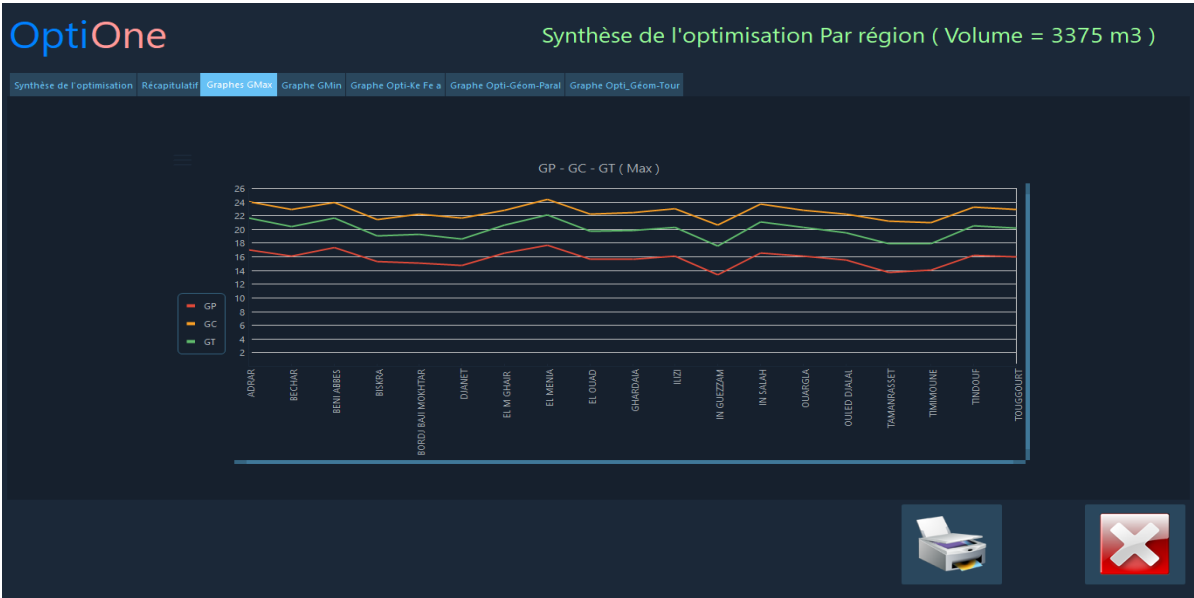


Figure 6.13 : graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur la capacité du système de l'enveloppe du bâtiment dans la minimisation des gains Gp.Gt.Gc dans leurs valeurs maximales de l'optimisation

Source : (OPTIone, 2024)

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

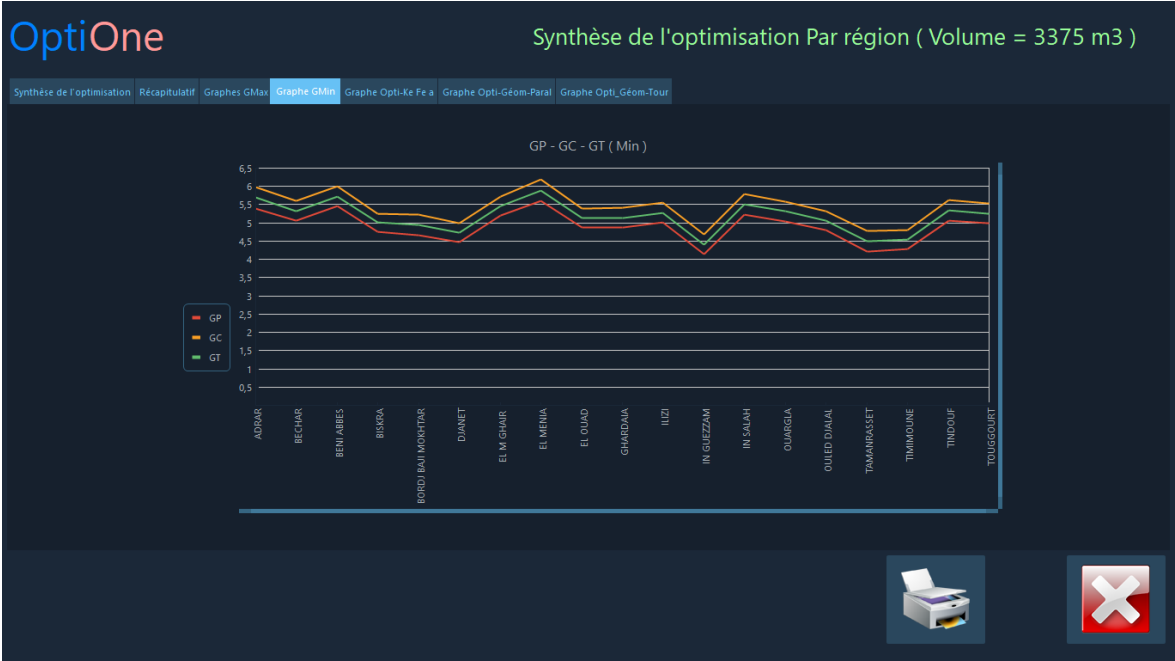


Figure 6.14 : graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur la capacité du système de l'enveloppe du bâtiment dans la minimisation des gains Gp.Gt.Gc dans leurs valeurs minimales de l'optimisation

Source : (OPTIone, 2024)

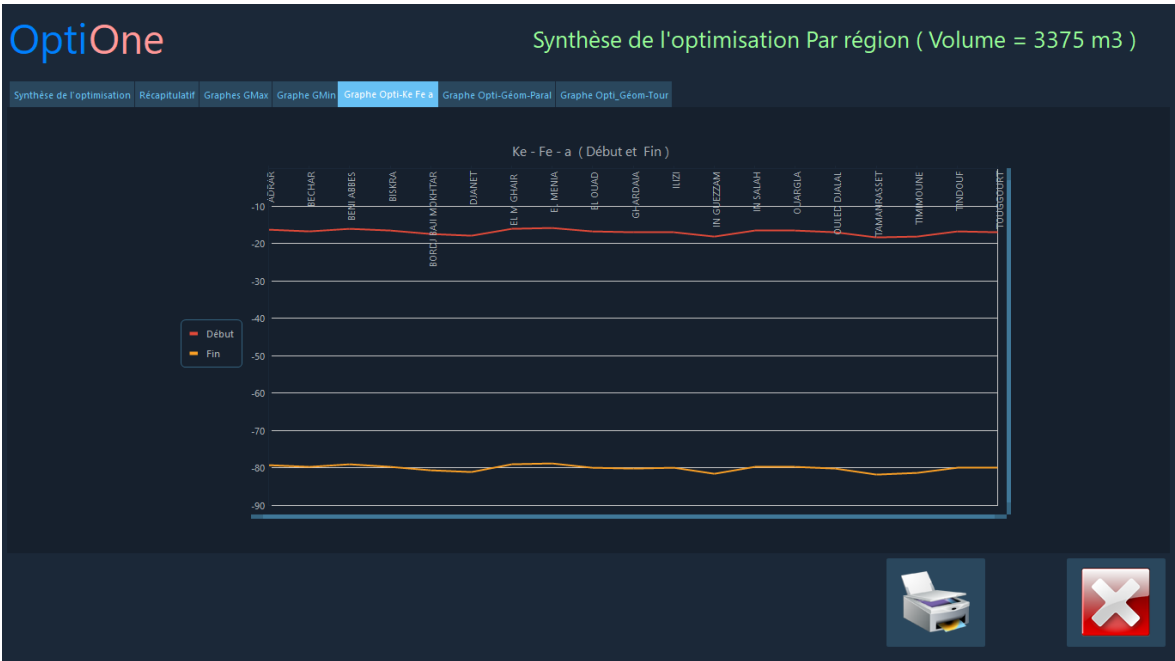
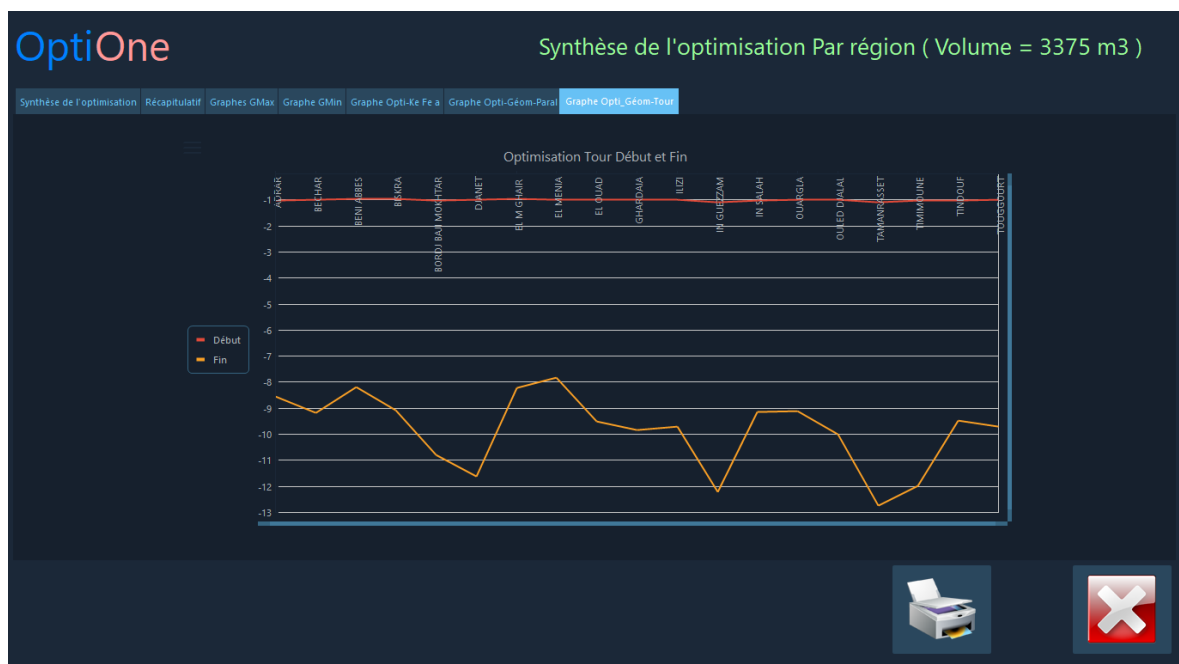
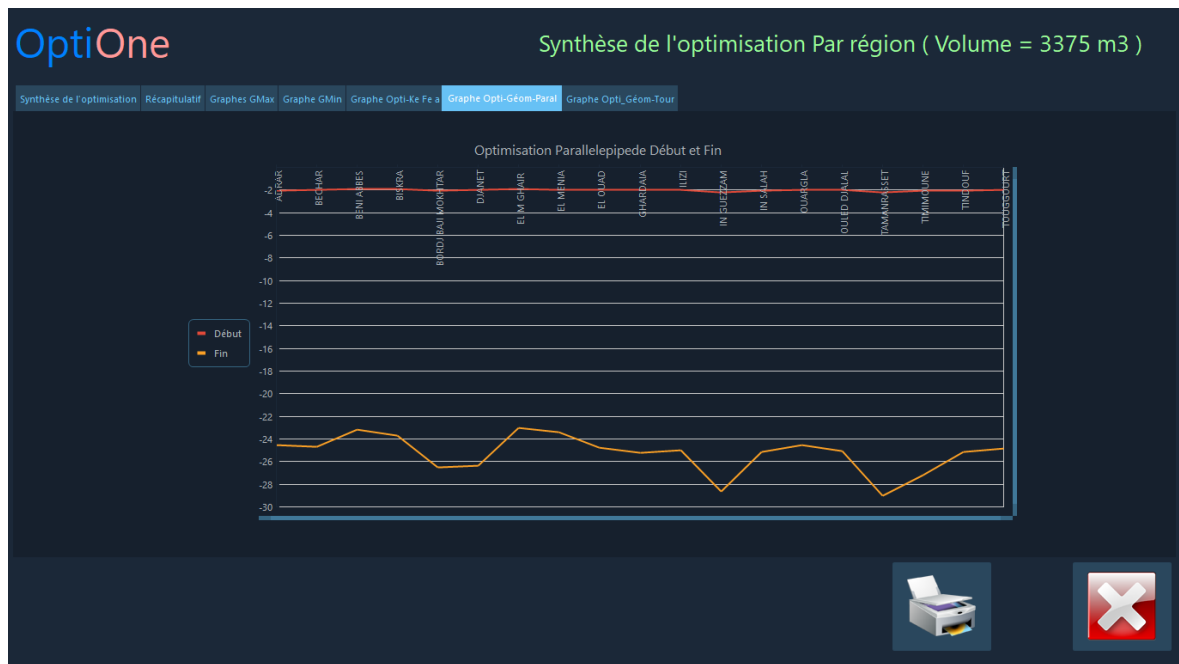


Figure 6.15: graphique montrant l'effet des changements des régions (les données climatiques locales) sur le taux de participation à l'optimisation de l'indice (K. a. fe)

Source : (OPTIone, 2024)

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments



9. Synthèse de la simulation pour toutes les régions

En conclusion de la simulation appliquée sur toutes les régions Algériennes à climat chaud et aride (L'édition des résultats de la synthèse d'optimisation pour toute les régions est disponible en annexe D) afin d'évaluer l'impact des données climatiques sur les conclusions de l'optimisation de l'enveloppe ainsi que le taux de la contribution de ces indices ; en outre la relation entre (t_i , t_e , I_1 et I_2) et (OPTI-geom, OPTI ke, a, fe et les Dimensions) on a conclu ce qui suit :

- Influence des données climatiques sur la détermination des Dimensions et leurs proportions.

A partir la comparaison des dimensions idéales dégagées par la simulation Sur OPTI01 on a déduit que les dimensions subissant des fluctuations d'une région à une autre de l'ordre de **+ - 1 m pour 12 m** expliqué par Les Légères variations des données climatiques (t_i , t_e , I). Comme on est arrivé à confirmer que les dimensions optimales des deux modèles (Tour et parallélépipède) sont déterminées Uniquement selon La valeur du Couple (a, Fe) facteur d'absorption de l'épiderme et la caractéristique convectif de l'air adjacent de l'enveloppe ; malgré ces fluctuations expliquer par variations les légères des données climatiques de Ces régions ; les résultats obtenus par le logiciel OPTI01 prouvent la préservation des mêmes proportions pour toutes les régions. Tel que

-La Tour / $L_T = I_T$ (Base carré).

- Le parallélépipède / $l_p = 2 H_p$.

Tableau 6.6 : Preservation des proportions quelque soit le volume.

Source : (OPTIone, 2024)

Dimensions	V= 125	V= 1000	V=3325	V= 8000	V= 15625
L. H. l	1. (L. H. l)	2. (L. H. l)	3. (L. H. l)	4. (L. H. l)	5. (L. H. l)

Le calcul des dimensions optimales est une commande facile offerte par "OPTone" et Les proportions déterminées par cette simulation confirmeront partiellement les proportions déterminées lors du deuxième chapitre mais de façon plus exacte et sure.

- Influence des données climatiques sur la grandeur métrique G –les maximales et les minimales.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

D'après L'interprétation des Graphes de Gmax et Gmin et si on observe chaque Graphe Séparément on constate des variations légère d'une région a une autre expliquée toujours par les variations des données climatiques de chaque région, par contre si on observe les deux graphe à la fois en remarque que les valeurs maximales s'éloignant en fonction de la géométrie (cube, tour, parallélépipède) de façon Significative à l'inverse des valeurs minimales qui se rapprochent quel que soit la géométrie à cause de l'utilisation des matériaux tenant des propriétés thermiques meilleurs (K, a). Ce qui Confirme que si on construit avec des matériaux de qualité thermique défavorable le choix d'une forme géométrique optimale peut minimiser les gains jusqu'à 30% d'environ ce qui est significative et peut conduire à une économie de Consommation avec un cout Zéros à l'inverse des matériaux de qualité thermique optimale qui peuvent minimiser les gains jusqu'à 80% d'environ certes ; mais ; avec un cout relativement important.

- Influence des données climatiques sur l'indice d'optimisation volume

D'après la lecture du tableau synthèse générale d'optimisation de toutes les régions-indice et taux de minimisation ; on remarque que le taux de participation de l'indice volume est identique pour toute les régions ce qui confirme que le changement de la situation géographique (long, Alt, lat.) ainsi que les variations des données climatiques (te, ti, I) d'une région a une autre, ne remet pas en cause Le taux de participations du volume dans L'optimisation de l'efficacité énergétique de la forme du bâtiment et l'intensification Volumétrique reste un moyen fort pour la minimisation des gains énergétiques par unité de volume. Qui débute de 50% Jusqu'à. 80% pour les cas étudiés.

- Influence des données climatiques sur l'indice d'optimisation géométrie

De par la lecture du tableau synthèse générale d'optimisation de toutes les régions indice et taux de participation, le tableau récapitulatif et Les deux graphe d'optimisation réalisé par la géométrie parallélépipède et de La Tour: on a conclu que de parallélépipède est plus efficace que le tour et sa participation est presque trois fois meilleure que La tour dans le cas des matériaux de qualité thermique défavorable allant de 8% ÷12% pour La tour est de 23% ÷29% pour la parallélépipède; comme elle est de deux fois Celle de la tour quand on utilise des matériaux de qualité thermique optimale malgré que le taux on lui-même est faible allant de 0.97% ÷1.07% pour ta tour est de 1.9% ÷2.17% pour le parallélépipède.

L'étude démontre que l'utilisation de matériaux aux propriétés thermiques optimales limite l'impact des variations climatiques régionales sur l'efficacité énergétique. Dans ce cas,

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

les fluctuations géométriques restent modérées. En revanche, avec des matériaux moins performants, les variations climatiques entraînent des écarts significatifs d'environ 2% dans l'optimisation énergétique. Trois exceptions se distinguent : Tamanrasset, Timimoune et In Geuzam, où les variations atteignent 3% à 5%, en raison de leur situation géographique particulière et de conditions climatiques plus modérées que les autres régions étudiées.

- Influence des données climatiques sur l'indice d'optimisation (K, a, fe) caractéristiques thermos physiques.

L'analyse des données graphiques et tabulaires concernant l'optimisation par le choix des propriétés thermo-physiques des matériaux de l'enveloppe révèle que les variations climatiques n'induisent que des fluctuations mineures, limitées à 2% dans les performances énergétiques.

Le programme OPTIone se distingue par sa capacité de calcul avancée et sa rapidité à résoudre des équations complexes. Il constitue un support précieux pour accompagner les concepteurs dans le choix des formes d'enveloppes les plus efficaces, facilitant ainsi les jugements capitaux dès les phases d'esquisse. Cette approche permet d'optimiser le confort thermique tout en minimisant la consommation énergétique. L'outil présente également un potentiel significatif pour la recherche scientifique, ouvrant la voie à de futurs développements qui seront détaillés comme suite.

- Quantifier en valeur et en taux la participation de chaque indice d'optimisation dans le processus d'optimisation par minimisation des gains énergétique.
- Évaluer avec précision L'efficacité énergétique de la forme des bâtiments en situation d'été par rapport aux caractéristiques thermos physiques des Composent constructif de l'enveloppe toute en mettant les indices en concurrence.
- Proposer un rond des solutions allant des meilleures au plus mauvaise qui sont combiné selon les caractéristiques morphologiques de l'enveloppe (géométrie, Dimensions, proportions et volume) d'une part et les caractéristiques thermos physiques de composants constructif de l'enveloppe et sont épiderme d'autre part.
- Confirmer par son application sur toutes les régions, La potentialité de fonder des recommandations de Construction économe en énergie ; adéquates pour la totalité de ces régions, voir même l'établissement d'une réglementation énergétique propre à ces régions à climat rude.

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

Enfin l'exactitude des résultats obtenus par OPTI01 ainsi que leurs confirmations sont garanties par ce qu'ils sont déjà établis sur La base d'un modèle mathématique et numérique d'une exactitude approuvable cadré par les lois de la mécanique ; la physique et de la thermodynamique.

Conclusion

Cette recherche approfondie sur la modélisation énergétique des formes architecturales en zones chaudes et arides d'Algérie confirme le rôle fondamental de l'enveloppe dans l'optimisation thermique des bâtiments. Les conclusions révèlent qu'une approche globale est nécessaire, combinant la géométrie, les caractéristiques des matériaux et les conditions climatiques locales.

L'utilisation du logiciel OPTIone s'est révélée déterminante dans cette recherche. Basé sur un modèle mathématique rigoureux intégrant les lois de la physique et de la thermodynamique, cet outil a permis une analyse précise et fiable des différents paramètres influençant l'efficacité énergétique des bâtiments. Sa capacité à traiter rapidement de multiples équations complexes en fait un instrument précieux tant pour la recherche que pour l'aide à la décision en phase d'esquisse.

L'étude a permis de quantifier la contribution de chaque indice d'optimisation :

- Géométrie et dimensions : Au début de l'optimisation, la forme géométrique joue un rôle prépondérant, pouvant réduire les gains énergétiques jusqu'à 29% pour le parallélépipède et 12% pour la tour. Cette influence diminue considérablement lorsque des matériaux à haute performance thermique sont utilisés.
- Caractéristiques thermos physiques des matériaux (k_e , a , f_e) : Ces paramètres deviennent dominants en fin d'optimisation, permettant une réduction des gains énergétiques allant jusqu'à 80%, soulignant l'importance cruciale du choix des matériaux dans la performance énergétique globale.
- Volume : L'étude confirme que l'intensification volumétrique est un moyen efficace pour réduire les gains énergétiques par unité de volume, avec une optimisation allant de 50% à 80% selon les cas étudiés.

L'impact des données climatiques sur les résultats de l'optimisation s'est révélé modéré. Bien que les fluctuations des données climatiques puissent influencer légèrement les dimensions optimales (**$\pm 1m$ pour $12m$**), la cohérence des proportions pour différentes

CHAPITRE VI : simulation et modélisation de l'efficacité énergétique des formes des bâtiments

régions similaires (**LT = IT pour la tour, lp = 2Hp pour le parallélépipède**) confirme la possibilité de généraliser les résultats. Cette constance permet de distinguer des recommandations de conceptions appropriées à l'ensemble des régions chaudes et arides.

Les résultats de cette étude offrent des perspectives concrètes pour la conception de bâtiments éco énergétiques :

- La forme parallélépipédique s'avère généralement plus efficace que la tour.
- L'importance de la géométrie est remarquable lorsque les matériaux de construction ont des performances thermiques faibles.
- Le choix de matériaux à haute performance thermique peut compenser significativement les effets d'une géométrie moins optimale.

Cette recherche ouvre la voie à l'élaboration de réglementations énergétiques spécifiques aux régions chaudes et arides. Elle démontre également le potentiel d'outils comme OPTIone pour accompagner la conception intelligemment dès les premiers actes d'esquisses, contribuant ainsi à la mise en pratiques de la réduction de l'énergie et la promotion des bâtiments durables.

En conclusion, cette étude souligne l'importance d'une approche méthodique combinée à l'utilisation d'outils avancés tels qu'OPTIone pour concevoir des bâtiments répondant aux normes les plus strictes en matière de durabilité et d'efficacité énergétique. Elle met en évidence le potentiel significatif d'optimisation énergétique réalisable par une conception judicieuse, ouvrant ainsi la voie à une construction plus responsable et à la création d'un avenir durable pour les générations à venir.

CHAPITRE VII : CONCLUSION GENERALE

Contexte et objectifs de la recherche

À l'aube du **XXIe siècle**, nous sommes confrontés à une crise environnementale sans précédent, caractérisée par l'épuisement accéléré des ressources naturelles, l'intensification alarmante de l'effet de serre et l'accélération du changement climatique. Ces phénomènes, particulièrement critiques en période estivale, sont au cœur des préoccupations de la communauté scientifique et des décideurs politiques à l'échelle mondiale. Dans ce contexte, le secteur du bâtiment, coupable d'une grande part de la consommation énergétique mondiale, se trouve au centre des enjeux énergétiques et environnementaux.

Cette consommation excessive s'explique en grande partie par une demande croissante de confort et le recours systématique à des solutions technologiques énergivores, au détriment des savoir-faire traditionnels de l'architecture climatique. Face à ces défis, notre recherche s'est concentrée sur l'optimisation de l'enveloppe des bâtiments comme levier principal pour améliorer l'efficacité énergétique dans les régions à climat chaud et aride, avec une attention particulière portée sur le sud algérien.

Cette recherche visait principalement à élaborer une méthodologie d'optimisation des enveloppes de bâtiments pour réduire les gains thermiques et la demande en climatisation dans les régions chaudes et arides du sud algérien. Notre étude s'est attachée spécifiquement à :

- Mesurer l'influence des caractéristiques morphologiques de l'enveloppe sur l'efficacité énergétique du bâti.
- Évaluer le rôle du volume dans l'optimisation de l'efficacité énergétique.
- Déterminer l'influence des propriétés thermo physiques des matériaux sur les gains de chaleur.
- Déterminer les proportions des formes les plus performantes pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments.
- Maitre en ouvre un outil d'aide à la conception pour optimiser la morphologie de l'enveloppe et ces propriétés dès l'esquisse du projet.

Méthodologie et approche

Notre recherche s'inscrit dans une approche épistémologique qui considère l'enveloppe du bâtiment non pas comme un simple élément passif, mais comme un système complexe et dynamique, capable d'interagir de manière intelligente avec son environnement. Cette perspective systémique nous a permis d'aborder l'interrogation de la performance énergétique des édifices dans ces régions de manière holistique, en intégrant les aspects morphologiques, thermo physiques et climatiques dans un modèle d'optimisation global. Notre démarche a combiné une approche théorique approfondie et une modélisation numérique innovante, se déployant en plusieurs étapes :

- Une étude bibliographique et documentaire exhaustive pour comprendre les concepts clés et identifier les problématiques énergétiques spécifiques aux régions chaudes et arides.
- Un diagnostic énergétique détaillé des bâtiments en situation estivale, examinant minutieusement les charges énergétiques pénétrant le bâtiment.
- Une analyse paramétrique avancée, basée sur les équations de la physique du bâtiment, utilisant le facteur de forme comme clé variable pour évaluer l'efficacité énergétique des différentes configurations.
- Une modélisation numérique avancée, réinterprétant la forme du bâtiment à travers ses dimensions (HLL) et développant un code de calcul sophistiqué (OPTI01) pour optimiser l'efficacité énergétique.
- Une application étendue de la méthodologie sur 19 régions à climat chaud et aride en Algérie, permettant de valider la robustesse de notre approche.

L'originalité de notre approche réside dans l'intégration de multiples paramètres dans un modèle d'optimisation unifié, assurant une analyse complète et détaillée de l'efficacité énergétique de l'enveloppe.

Synthèse des principaux résultats

Les résultats confirment que l'amélioration des performances énergétiques en climat chaud et aride passe par une double optimisation : celle de l'enveloppe du bâtiment et celle des propriétés de ces composants. Cette étude apporte plusieurs contributions importantes :

CHAPITRE VII : CONCLUSIONS GÉNÉRALES

- Impact de la morphologie de l'enveloppe : Nos simulations ont démontré de manière concluante que la géométrie, le volume et les dimensions de l'enveloppe du bâtiment influencent considérablement sa performance énergétique. L'optimisation de ces paramètres morphologiques peut atteindre une minimisation des gains de chaleur, allant de 1% à 29%, selon la configuration adoptée.
- Rôle crucial du volume : L'étude a mis en lumière l'importance capitale de l'intensification volumétrique dans la conception de bâtiments éco énergétiques. Nos analyses ont révélé qu'une augmentation judicieuse du volume du bâtiment peut minimiser les gains de chaleur par unité de volume de 50% à 80%.
- Les caractéristiques thermiques des matériaux composant l'enveloppe jouent un rôle primordial dans l'optimisation énergétique. Les trois indicateurs clés - le coefficient de transmission thermique (K), le facteur d'absorption (**a**) et le coefficient d'échange superficiel (**fe**) - peuvent, une fois optimisés, réduire significativement les gains thermiques dans une fourchette de 16% à 79%.
- L'étude détaillée a permis de déterminer les ratios dimensionnels les plus favorables pour concevoir des bâtiments maximisant leur efficacité énergétique. Pour les tours, un rapport de base carrée (**L = l**) s'est avéré optimal, tandis que pour les parallélépipèdes, un rapport de largeur égal à deux fois la hauteur (**l = 2H**) a démontré les meilleures performances.
- Développement d'un outil d'optimisation innovant : Un apport majeur de cette thèse est le développement du logiciel OPTIone, un outil de simulation et d'optimisation de pointe. Cet outil permet d'évaluer rapidement et précisément l'efficacité énergétique des différentes configurations d'enveloppes, offrant ainsi aux concepteurs un moyen puissant pour générer des solutions optimisées adaptées aux conditions climatiques spécifiques des régions étudiées.
- Généralisation des résultats : L'application de notre méthodologie à 19 régions à climat chaud et aride en Algérie a démontré de manière convaincante la robustesse et la de notre approche. Les résultats ont montré une cohérence remarquable dans les proportions optimales et les taux d'optimisation à travers les différentes régions, ouvrant ainsi la voie à l'élaboration de lignes directrices de conception généralisables pour ces climats particuliers.

CHAPITRE VII : CONCLUSIONS GENERALE

Nos résultats s'alignent globalement avec ceux d'autres études récentes dans le domaine, tout en apportant des précisions quantitatives importantes :

- L'étude de (Ourghi et al, 2021) a montré que la forme du bâtiment peut affecter la consommation d'énergie jusqu'à 40%, ce qui est cohérent avec notre fourchette de 1% à 29% pour l'impact de la morphologie.
- Les travaux de (Al-Anzi et al, 2019) sur l'impact du volume ont révélé des améliorations de l'efficacité énergétique allant jusqu'à 60%, ce qui est légèrement inférieur à notre fourchette de 50% à 80%, possiblement en raison de notre approche d'optimisation plus globale.
- Concernant l'impact des matériaux, notre fourchette de 16% à 79% d'amélioration est plus large que celle de 20% à 50% rapportée par Ascione et al (2017), soulignant l'importance d'une approche intégrée.

Recommandations

Sur la base de ces résultats convaincants, nous formulons les recommandations suivantes pour une conception architecturale éco énergétique dans les régions chaudes et arides :

- Intégration précoce de l'optimisation énergétique : Il est crucial d'intégrer les considérations d'efficacité énergétique dès les premières phases de conception architecturale. L'utilisation d'outils comme OPTIone peut grandement faciliter ce processus dès le début du projet.
- Adoption de formes compactes et optimisées : Pour les climats chauds et arides, nous recommandons vivement de privilégier les formes compactes avec des proportions optimisées ($L = l$ pour les Tours, $l = 2H$ pour les Parallélépipèdes).
- Le choix des matériaux de construction nécessite une attention particulière. Il est recommandé de privilégier des matériaux présentant des performances thermiques optimales, caractérisés par une conductivité thermique réduite et un fort pouvoir réfléchissant.
- Considération du volume : L'intensification volumétrique devrait être envisagée comme une stratégie efficace pour améliorer la performance énergétique. Toutefois, cette approche doit être mise en équilibre avec les contraintes urbaines et fonctionnelles spécifiques à chaque projet.

CHAPITRE VII : CONCLUSIONS GENERALE

- Adaptation aux spécificités régionales : Bien que les principes généraux soient transférables, il est crucial d'ajuster finement la conception aux conditions climatiques spécifiques de chaque région. Cette adaptation fine permettra d'optimiser d'avantage les performances énergétiques des bâtiments.
- Les surfaces particulièrement exposées au rayonnement solaire, notamment les façades Est-Ouest et la toiture, nécessitent une protection spécifique. En complément de l'optimisation géométrique, plusieurs solutions innovantes sont préconisées : systèmes de double peau, murs ventilés, toits parasols et végétalisation des toitures.

Limites ; Perspectives et développement

Cette recherche, bien que significative dans sa portée, présente certaines limites qui ouvrent la voie à de futures investigations prometteuses. Ces limites incluent :

- La concentration sur une orientation Est-Ouest des bâtiments
- L'utilisation de valeurs moyennes pour les caractéristiques thermiques des composants de l'enveloppe
- L'absence de prise en compte de l'environnement immédiat du bâtiment dans les simulations
- La validation limitée aux régions à climat chaud et aride du territoire algérien

Ces limitations offrent des opportunités d'expansion et d'approfondissement de la recherche. Les perspectives de développement qui en découlent sont multiples et variées :

1. L'extension et l'approfondissement de cette recherche ouvrent de nombreuses perspectives. Il serait pertinent d'étudier d'autres orientations et configurations urbaines pour obtenir une compréhension plus globale de l'efficacité énergétique des bâtiments. Le modèle OPTIone pourrait être enrichi par l'intégration de paramètres supplémentaires, tels que l'impact de l'environnement urbain et les systèmes énergétiques actifs, permettant ainsi une modélisation plus précise et complète. Le développement d'un guide énergétique spécifique aux régions à climat chaud et aride offrirait des recommandations pratiques et concrètes aux professionnels du bâtiment.
2. La transformation des pratiques de conception architecturale constitue un axe majeur d'évolution. L'intégration de l'efficacité énergétique dès l'esquisse deviendra convaincante. Une approche systémique de l'enveloppe du bâtiment, considérée

CHAPITRE VII : CONCLUSIONS GENERALE

comme un système dynamique, pourrait révolutionner la conception architecturale. L'adoption généralisée d'outils d'optimisation tels qu'OPTIone dans la démarche de conception architecturale permettrait d'atteindre une efficacité énergétique exceptionnelle. Le développement de méthodes combinant aspects morphologiques, thermiques et environnementaux ouvre la voie à une approche de conception globale et pérenne.

3. L'adaptation et l'application élargie de la méthodologie développée dans cette thèse offrent des perspectives prometteuses. Son application à d'autres régions présentant des défis climatiques similaires permettrait de valider sa robustesse et sa flexibilité. L'adaptation des principes et méthodologies à différents contextes géographiques et climatiques élargirait considérablement son champ d'application. Le développement de variantes de l'outil OPTIone pour divers types de climat rendrait cet outil encore plus polyvalent et utile pour les professionnels.
4. Cette étude ouvre des perspectives prometteuses : développement de matériaux innovants, optimisation des enveloppes par les nouvelles technologies, et intégration des énergies renouvelables pour transformer les bâtiments en producteurs d'énergie.
5. Le développement de systèmes d'enveloppes adaptatives, capables de s'ajuster aux conditions climatiques changeantes, représente une frontière passionnante de l'innovation architecturale.

Cette recherche contribue significativement aux objectifs globaux de durabilité. Elle participe à l'effort de réduction de l'empreinte carbone du secteur du bâtiment, un enjeu crucial face au changement climatique. En proposant des solutions pour un environnement bâti plus durable, elle œuvre pour les générations futures. L'alignement des pratiques architecturales avec les objectifs de développement durable qu'elle promeut ; pourrait avoir un impact considérable sur l'industrie de la construction. Enfin, en contribuant à la résilience des villes face au changement climatique, cette recherche s'inscrit dans une vision à long terme de l'urbanisme durable.

Au final, Cette recherche contribue à l'évolution des pratiques architecturales. Elle favorise la conception de bâtiments économes en énergie mieux adaptés aux enjeux environnementaux futurs. Elle invite les professionnels à repenser fondamentalement leur approche du bâtiment, en concevant l'enveloppe comme un système capable de répondre intelligemment aux défis énergétiques et climatiques de notre époque. Cette vision novatrice

CHAPITRE VII : CONCLUSIONS GENERALE

pose les jalons d'une nouvelle époque dans la conception architecturale, où l'efficacité énergétique n'est plus une considération secondaire, mais devient un moteur central d'innovation et de progrès.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- ADEME (2023). "Le confort d'été dans les bâtiments." Disponible sur: <https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/non+valide> [Consulté le 20 mars 2023].
- AIE (Agence internationale de l'énergie) (2020) Tracking Clean Energy Progress 2020, Paris : AIE. Disponible sur : <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2020> [Consulté le : 12/06/2023].
- Akbari, H et al. (2022). "Local climate change and urban heat island mitigation techniques – The state of the art." *Energy and Buildings* 207, p. 109951.
- Akbari, H. et al. (2001) cité dans URBAT : « *Approche méthodologique de la construction durable en milieu urbain* ».
- Akbari, H., Pomerantz, M. et Taha, H. (2001) 'Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas', *Solar Energy*, 70(3), pp. 295-310. Cité dans URBAT (2001) *Approche méthodologique de la construction durable en milieu urbain*. Rapport technique. Montpellier: URBAT-Laboratoire Architecture et Urbanisme.
- Al Sanea, S. A. et A. A. Al Zaid (2022). "The impact of building shape on the energy consumption in hot and arid climates." *Energy Engineering* 123(2), pp. 313-322.
- Al Sanea, S. A. et M. F. Zedan (2012). "The impact of building shape on energy consumption in hot climates." *Energy and Buildings* 53, pp. 179-187.
- Al-Ajmi, F., et al. (2020). "Building envelope optimization for energy efficiency in hot and arid climates." *Energy and Buildings* 225, p. 110320.
- Al-Homoud, M. S. (2023). "A review of passive solar strategies for cooling buildings in hot climates." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 172, p. 113162.
- Al-Obaidi, K. M., M. Ismail et al. (2023). "Frontières de la recherche architecturale." 13(1), p. 13.
- Al-Saadi, S. N., Al-Hajri, J., Shaikh, S. et Al-Obaidi, K. M. (2023) 'Energy efficiency optimization strategies for building envelopes in hot climate regions: A comprehensive review', *Energie et bâtiments*. 277(1), pp. 112588-112605.
- Alanzi, A., D. Seo et M. Krarti (2022). "A comprehensive review of building envelope design strategies for hot and dry climates." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 154, p. 111771.
- Albadra, M., A. Rahman et T. Nguyen (2021). "Electricity Consumption Trends in Relation to Air Conditioning Usage: A Case Study in Southern Algeria." *Energy Studies Quarterly* 32(4), pp. 210-225.
- Algarni, S. et D. Nutter (2018). "Impact du rayonnement solaire sur le confort thermique dans les régions chaudes et arides : une revue de la littérature." *Journal de climatologie appliquée* 12(3), pp. 45-60.
- Almulla Hwaish, A. N. (2016). "Impact of mosque form on thermal performance: A case study in Sharjah." *Energy and Buildings* 126, pp. 243-249.
- Almulla Hwaish, A. N. (2018). "Analyzing the role of the dome in heat exchange at the envelope of a mosque in hot climates: A case study in Baghdad, Iraq." *Energy and Buildings* 166, pp. 381-388.
- Alrashed, F., M. Asif et S. Burek (2023). "The role of vernacular architectural elements in modern building design for hot arid climates." *Building and Environment* 206, p. 108280.
- Amraoui, K., L. Sriti, E. K. Karradi et M. Ramdani (2020). "Application de l'architecture néo-vernaculaire bioclimatique contemporaine à un petit immeuble de bureaux : une étude de cas à Oujda, Maroc." *Études de cas sur les matériaux de construction*, p. e00321.

BIBLIOGRAPHIE

- André, P. et H. Jean-Marie (2007). "Optimisation de l'enveloppe des bâtiments en climat chaud et aride." *Énergies renouvelables et environnement* 10(2), pp. 45-60.
- Arantes, L., S. Marry, O. Baverel et D. Quenard (2016). "Optimisation morpho-énergétique des villes : Simulation de la performance énergétique de six archétypes urbains." *Revue Internationale de Géomatique* 26(4), pp. 551-574.
- Ascione, F., N. Bianco, C. De Stasio, G. M. Mauro et G. P. Vanoli (2017). "A novel methodology for assessing the energy performance of building envelopes in Mediterranean climates." *Energy and Buildings* 154, pp. 119-129.
- Ascione, F., N. Bianco, F. vlandschaft et M. Zinzi (2022). "The impact of building envelope design on cooling energy demand in Mediterranean climates." *Energy and Buildings* 261, p. 112041.
- Asdrubali, F., G. Baldinelli, F. D'Alessandro et F. Scrucca (2022). "Life cycle assessment of electricity production from renewable energies" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42, pp. 1113-1122.
- ASHRAE (2017) ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition). Atlanta: Société américaine des ingénieurs en chauffage, réfrigération et climatisation, Inc. ISBN: 978-1-939200-57-0.
- ASHRAE (2019) ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta: Société américaine des ingénieurs en chauffage, réfrigération et climatisation., Inc. ISBN: 978-1-947192-99-8.
- Attia, S. et A. Laouadi (2018). "*Bâtiments bioclimatiques en climat chaud et aride: Conception et simulation énergétique.*" Alger: Presses Universitaires d'Alger.
- Attia, S. et S. Carlucci (2015). "Impact de différents modèles de confort thermique sur des bâtiments zéro énergie en climat chaud." *Énergie et bâtiments* 102, pp. 117-128.
- Attia, S., M. Hamdy, W. O'Brien et S. Carlucci (2009). "Assessing the building energy performance of an office building in hot and humid climates using whole-building energy simulation." *Energy and Buildings* 41(8), pp. 845-852.
- Azzouz, M. et L. Lamrani (2023). "Impact of ventilation strategies on thermal comfort and energy consumption in hot and dry climates: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 173, p. 113214.
- Banque mondiale (2014). "MENA Development Report: Adapting to a Changing Climate." Washington, D.C.: Banque mondiale.
- Belkacem, Y. (2023) « *Simulations des impacts du Changement Climatique sur les écoulements superficiels dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-Ouest Algérien)* », Office National de la Météorologie.
- Bennadji, A., et al. (2020). "Optimization of building envelope shape for energy efficiency in hot and arid climates." *Energy and Buildings* 221, p. 110029.
- Berghout, B. (2019) 'Performance énergétique de la construction de l'habitat en zones aride et semi-aride : étude du comportement thermique de l'enveloppe dans la région de Biskra', Thèse de doctorat en génie de la construction. Montréal: École de technologie supérieure. 325 p. Disponible sur: <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/2431> [Consulté le 25/03/2023].
- Berghout, B., Forgues, D. et Monfet, D. (2014) 'Simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment bioclimatique : cas d'étude en climat chaud et aride', in *Proceedings of IBPSA France 2014 Conference*, Arras, France, 20-21 mai 2014. International Building Performance Simulation Association, pp. 1-8.
- Bloch Laine, J. M. (1979). "*L'architecture bioclimatique.*" Paris: Eyrolles.

BIBLIOGRAPHIE

Bodach, H., L. Smith et P. Jones (2022). "Impact of Neglecting Passive and Semi-Active Techniques in Recent Building Construction." *Sustainable Architecture Journal* 10(3), pp. 45-58.

Bouchair, A. (2019) 'Stratégies passives utilisées dans les bâtiments sahariens en pisé en Algérie pour atteindre le confort thermique : analyse des performances thermiques et structurelles', *Structural Studies*, 15(3), pp. 245-262.

Bouchair, A. et H. Ahriz (2022). "Défis de la conception de bâtiments durables en Algérie : entre intentions politiques et réalités sur le terrain." *Revue internationale d'architecture durable* 12(1), pp. 35-48.

Bougiatioti, F. et A. Michael (2023). "Optimization strategies for building envelopes in hot arid climates: A comprehensive review and quantitative analysis." *Energy and Buildings* 277, p. 112341.

Boukhelkhal, I. et F. Bourbia (2021). "Étude expérimentale sur le comportement thermique des textures de revêtement extérieur des bâtiments dans les climats chauds et arides." *Durabilité* 13(8), p. 4175.

Bourque, A. (2000) 'Les changements climatiques et leurs impacts : vulnérabilité et adaptation', VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 1(2), pp. 45-58. DOI: [numéro DOI à ajouter]. Disponible sur: <http://vertigo.revues.org/> [Consulté le 11 juin 2022].

Brown, D. (2019) *The Rise of the Supertall Skyscraper: Design, Technology and Sustainability*. London: Routledge. ISBN: 978-0-415-78932-4.

Brown, et al. (2024). "Défis en archEnergie et Bâtiments." 108(2), pp. 110-125.

Brown, G. Z. (1983) 'Solar radiation on inclined surfaces in the tropics: A parametric study of radiation models', *Solar Energy*, 31(2), pp. 159-165.

Brown, G. Z. (2001) *Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies [Soleil, vent et lumière : stratégies de conception architecturale]*, 2nd edn. New York: John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-34877-1.

Brown, M., Johnson, P. et Smith, K. (2024) 'Défis énergétiques dans l'architecture contemporaine : analyse multifactorielle', *Energy and Buildings*, 108(2), pp. 110-125.

Brun, A., C. Spitz, E. Wurtz et L. Mora (2009). "Comparison of different building energy simulation tools for the assessment of low energy buildings." *Energy and Buildings* 41(9), pp. 964-972.

Capderou, M. (1978) *Transferts thermiques dans le bâtiment : théorie et applications pratiques. Collection Technique du Bâtiment*. Paris: Éditions Eyrolles.

Capderou, M. (1979) *Bâtiments solaires : conception et réalisation - Guide pratique de l'architecture solaire*. Paris: Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

Capdérrou, M. (1985) *Atlas Solaire de l'Algérie : aspects énergétiques du rayonnement solaire au sol*, Tome 1-3. Alger: Office des Publications Universitaires.

Centre de Recherche en Énergie Renouvelable et en Efficacité Énergétique (CREEE) (2020). "Étude sur l'impact de la forme de l'enveloppe des bâtiments sur leur performance énergétique dans les climats chauds et arides."

Centre de Recherche en Énergie Renouvelable et en Efficacité Énergétique (CREEE) (2020) Étude sur l'impact de la forme de l'enveloppe des bâtiments sur leur performance énergétique dans les climats chauds et arides. *Rapport technique N° [1503]*. Alger: CREEE.

BIBLIOGRAPHIE

Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED) (2018) Étude sur la demande énergétique et les émissions de gaz à effet de serre dans les régions chaudes et arides. *Rapport de recherche N° [05614]*. Paris: CIRED-CNRS.

Chandel, S. S., V. Sharma et B. M. Marwah (2016). "Examen des caractéristiques économes en énergie de l'architecture vernaculaire pour inspirer les bâtiments durables contemporains." *Énergie et bâtiments* 130, pp. 109-120.

Chen, W. (2020). "Impact de la qualité de l'air sur le confort thermique dans les régions chaudes et arides : étude de cas dans le désert de Gobi." *Journal de recherche sur l'environnement et l'écologie* 25(2), pp. 70-85.

Chen, X., et al. (2020). "Impact des configurations architecturales sur la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation dans les climats chauds et arides." *Revue internationale de conception des bâtiments* 14(2), pp. 75-88.

Chen, Y., X. Wang, B. Jiang, et al. (2023). "Cooling effect of urban green spaces in a heat wave context: A case study of Chinese cities." *Landscape and Urban Planning* 214, p. 104140.

Cheung, C. K., R. J. Fuller et M. B. Luther (2021). "Bioclimatic design for cooling dominated buildings in hot and arid climates: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 141, p. 110811.

Cheung, C., R. J. Fuller et M. B. Luther (2020). "Climate-responsive building envelopes: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 126, p. 109804.

Chiarovski, R. P. (1988). "The use of solar envelopes for the control of overshadowing in urban areas." *Solar Energy* 41(6), pp. 503-512.

Chinazzo, G., J. Waq, P. Rastogi et M. Andersen (2015). "Évaluation des performances des coques de serre adaptatives au climat." In: *14e conférence de l'International Building Performance Simulation Association*. Hyderabad, Inde.

Choi, W. K., H. J. Kim, et al. (2007). "Analysis of building envelope morphology for enhancing energy performance." *Energy and Buildings* 39(7), pp. 823-836.

CIBSE (2021) Guide F - Building Energy Efficiency: *A Guide for Building Services Engineers and Energy Managers*. 6th edn. London: Chartered Institution of Building Services Engineers. ISBN: 978-1-912034-91-3. Disponible sur: <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q3Y00000J0w1YQAR> [Consulté le 24/02/2022].

Commission mondiale sur l'environnement et le développement des Nations unies (1987). *"Rapport Brundtland : Notre avenir à tous."* New York: Nations unies.

Construction21 (2021) 'Impact de la forme, taille et mitoyenneté sur l'efficacité énergétique' [image en ligne] Disponible sur : <https://www.construction21.org> [Consulté en 2021]

Construction21 (2021) 'Impact de la forme, taille et mitoyenneté sur l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels', Base de connaissances Construction21 [Image en ligne]. Disponible sur : <https://www.construction21.org/france/articles/h/impact-forme-taille-mitoyennete-efficacite-energetique.html> [Consulté le 15 décembre 2021].

CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) (2022) 'Les enveloppes de bâtiments performantes : guide technique et solutions innovantes', Documentation technique [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cstb.fr/fr/publications/guides-techniques/enveloppes-batiments-performantes-2022/> [Consulté le 25 mai 2022].

Cupta, V. (1986). "Performance énergétique des bâtiments en milieu urbain dense: application aux climats chauds et secs." *Thèse de doctorat. Université de Paris VI*.

BIBLIOGRAPHIE

Dai, J., J. Wang, B. Dewancker et W. Gao (2023). "The impact of envelope type and orientation on indoor thermal comfort of traditional rammed earth dwellings in Kashgar, China." *Building and Environment* 232, p. 109755.

Daniel, B. (1997) *The Envelope: A New Approach to Building Design* [L'enveloppe : une nouvelle approche de la conception des bâtiments]. *Architectural Science Series*. London: Routledge. ISBN: 978-0-415-23450-8.

Daoust, A., D. Forgues et D. Monfet (2017). "Building energy simulation tools for integrated design processes: A review." *Energy and Buildings* 151, pp. 314-328.

Deb, C., C. Deb, A. Ramachandraiah, M. Yunus et S. Mahapatra (2022). "A review of building energy simulation for green building design." *Sustainable Cities and Society* 84, p. 104055.

Del Ciello, R., Camporeale, C. et Daroda, L. (2020) Rapport national sur l'efficacité énergétique et le climat d'investissement dans les énergies renouvelables - Algérie. Bruxelles : *Projet meetMED/Union européenne*.

Del Ciello, R., Camporeale, C. et Daroda, L. (2020) Rapport national sur l'efficacité énergétique et le climat d'investissement dans les énergies renouvelables - Algérie [Country Report on Energy Efficiency and Renewable Energy Investment Climate - Algeria]. Technical Report · May 2020. Bruxelles: *Projet meetMED/Union européenne*. Disponible sur: <https://www.researchgate.net/publication/341900356> [Consulté le 02/07/2023].

Del, M. S. T. T., et al. (2022). "Effect of Traditional House Morphology on Thermal Comfort in Qom, Iran: Implications for Contemporary Design." *Journal of Building Engineering* 53, p. 102313.

Depecker, P., C. Menezo, J. Virgone et S. Lepers (2001). "Analyse de la relation entre forme des bâtiments et consommation énergétique." *Revue de l'énergie* 527, pp. 75-81.

Djaghrouri, D. (2021) 'L'investigation des performances thermiques des bâtiments en climat chaud et aride : Analyse des données de mesures in situ', *Thèse de doctorat en Architecture*. Biskra: Université Mohamed Khider de Biskra, Département d'Architecture.

Doya, M. (2010) 'Analyse de l'impact des propriétés radiatives de façades pour la performance énergétique des bâtiments : approche expérimentale et numérique', *Thèse de doctorat en Génie Civil*. Lyon: INSA de Lyon, Laboratoire des Sciences de l'Habitat. 245 p.

DRIAS (2023) 'Évolution du nombre de jours chauds par an au sud tunisien (1978-2012)' [image en ligne] Disponible sur : <http://www.drias-climat.fr> [Consulté en 2022]

DRIAS (Direction des Ressources Issues des Analyses Systématiques) (2023) 'Évolution du nombre de jours chauds par an au sud tunisien (1978-2012)' [Image en ligne]. In: Atlas climatique DRIAS. Disponible sur: <http://www.drias-climat.fr/atlas-climatique/evolution-jours-chauds> [Consulté le 15 décembre 2022].

Duffie, J. A. et Beckman, W. A. (2013) *Solar Engineering of Thermal Processes* [Ingénierie solaire des processus thermiques]. 4th edn. Hoboken: John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-470-87366-3.

Duforestel, T. et H. Bouia (2008). "Development of an energy simulation tool for building design and operation." *Energy and Buildings* 40(11), pp. 2072-2080.

Dutilleul, F. (2023). "Examen et analyse des charges énergétiques sur le bâtiment." In: *Conférence Internationale sur l'Efficacité Énergétique des Bâtiments*. Paris, France, 10-12 mai 2023.

BIBLIOGRAPHIE

Erdemir Kocagil, I. et G. Koçlar Oral (2015). "Analyzing the effect of building form and urban texture on energy consumption in traditional buildings: A case study in Diyarbakır, Turkey." *Energy and Buildings* 86, pp. 381-392.

Evans, M. (1979). "*Housing, climate and comfort*." London: Architectural Press.

Fathy, H., S. Attia et M. Hamdy (2024). "Reinventing traditional cooling strategies for contemporary architecture in hot arid climates." *Sustainable Cities and Society* 76, p. 103508.

Faure, X. (2007) « Enveloppe hybride pour bâtiment à haute performance énergétique », *Thèse de doctorat*, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.

Fernandes, L. C., E. L. Krüger et F. A. Rossi (2019). "A review of passive cooling strategies in buildings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 114, p. 109307.

Fernández-Sara, C. L., S. Gorgis et E. Martínez-Arce (2021). "Techniques d'efficacité énergétique dans les bâtiments : une revue bibliographique." *Énergie et Bâtiments* 240, p. 110866.

Fernandez, J., J. A. Orosa et A. C. Oliveira (2022). "Forme compacte, isolation thermique et orientation des bâtiments résidentiels dans les climats tempérés et chauds" : *une revue. Bâtiment et environnement* 207, p. 108422.

Foruzanmehr, A. et M. Vellinga (2021). "L'importance de l'enveloppe des bâtiments dans l'architecture bioclimatique." *Revue internationale d'architecture bioclimatique* 10(2), pp. 45-58.

Freewan, A. (2014). "Impact of building envelope design on energy performance in hot arid climates." *Thèse de doctorat. University of Jordan*.

Freewan, A. A. (2014). "Développer un concept bioclimatique pour les bâtiments en Palestine." *Journal asiatique des sciences appliquées* 7(8), pp. 714-723.

Garcia-Gil, E., et al. (2021). "Utilisation de formes passives pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments dans les climats chauds et arides." *Revue internationale de développement durable* 11(3), pp. 45-60.

Garcia, A., et al. (2020). "The role of towers in maximizing urban density: A case study of New York City." *Journal of Urban Planning and Development* 146(2), p. 04020005.

Garcia, M. (2019). "Évaluation de l'aridité dans les régions chaudes et arides : étude comparative des indices de Köppen." *Revue internationale de géographie* 10(3), pp. 45-60.

Garcia, P. E. (2021). "Solutions bioclimatiques pour réduire l'empreinte carbone des constructions dans les régions chaudes et arides." *Revue internationale de développement durable* 11(2), pp. 50-65.

Garde, F., L. Adelard, H. Boyer et C. Rat (2014). "Mise en œuvre et étude expérimentale des spécifications de conception passive utilisées dans les nouveaux logements sociaux dans des conditions climatiques tropicales." *Énergie et bâtiments* 82, pp. 598-628.

Gelil, I. A. (2021). "Sustainable building design for hot arid climates." *Energy and Buildings* 236, p. 110779.

GIEC (2023). "Rapport spécial sur les émissions de gaz à effet de serre liées aux systèmes de climatisation." *Genève: GIEC*.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2007). "Quatrième rapport d'évaluation: Changements climatiques 2007: *Rapport de synthèse*." *Genève: GIEC*.

Givoni, B. (1976) *L'Homme, le climat et l'architecture*, Londres : Applied Science Publishers.

Givoni, B. (1978) *L'homme, l'architecture et le climat*, Paris : Editions du Moniteur.

BIBLIOGRAPHIE

Guellai, F. (2021) « Comportement énergétique d'un capteur solaire », *Thèse de doctorat*, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie.

Hachem, C., A. Athienitis et P. Fazio (2011). "Enquête paramétrique des effets de forme géométrique sur le potentiel solaire des logements." *Énergie solaire* 85(9), pp. 1864-1877.

He, W., et al. (2021). "Building envelope configuration optimization for minimizing cooling energy consumption in hot and humid climates." *Energy and Buildings* 244, p. 111227.

Hegger, M. (2003). Construire selon les critères du développement durable : "Conception et construction des bâtiments écologiques et économes en énergie." Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romanes.

Hens, H. (2012) *Physique du bâtiment : chaleur, air et humidité dans les bâtiments*, Berlin : Ernst & Sohn. ISBN : 978-3433029657.

Hosseini, M. N., et al. (2020). "Vernacular heritage for energy-efficient design: A case study of houses in old Cairo." *Energy and Buildings* 229, p. 110622.

Huang, Y., M. Musy, G. Hégron, et al. (2012). "Impact of urban morphology on microclimate and building energy consumption: a case study for Wuhan, China." *Energy Procedia* 14, pp. 1253-1258.

IEA (International Energy Agency) (2020). "Tracking clean energy progress." Paris: IEA.

IKO Commercial (2019) 'Qu'est-ce que l'enveloppe du bâtiment ?', [En ligne] Disponible sur : [https://www.iko.com/comm/fr/blog/quest-ce-que-lenveloppe -du-batiment/](https://www.iko.com/comm/fr/blog/quest-ce-que-lenveloppe-du-batiment/) [Consulté le: jour mois 2022]

Incropera, FP, Dewitt, DP, Bergman, TL et Lavine, AS (2007) *Principes fondamentaux du transfert de chaleur et de masse*, 6e éd., Hoboken : John Wiley & Sons.

Institut de recherche en architecture durable (IRAD) (2015) *Guide de conception bioclimatique pour les régions chaudes et arides*, Marseille : Publications IRAD.

Ionescu, A., et al. (2022). "Développement durable dans la conception des bâtiments : concilier confort des occupants et préservation de l'environnement." *Revue internationale du développement durable* 12(1), pp. 30-45.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2018). "Special report on global warming of 1.5°C." Geneva: IPCC.

Isaac, M. et D. P. van Vuuren (2009). "Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change." *Energy Policy* 37(2), pp. 507-521.

Izard, J. L. et P. A. Bernard (1987). "Étude de la performance thermique de différents types de maisons individuelles sur trois sites climatiques." *Revue de l'énergie* 388, pp. 331-336.

Jiang, Y., T. Ming, E. Wang, Z. Liu et Y. Liu (2022). "A review of building envelope optimization for energy efficiency in hot climates." *Energy and Buildings* 261, p. 112041.

Johnson, AB, Smith, CD et Brown, EF (2023) « Impact du changement climatique sur la performance énergétique des bâtiments », *Nature Climate Change*, 13(4), pp. 340-355.

Johnson, J., et al. (2017). "Case study analysis of tall buildings in hot climates: Design strategies for occupant comfort." *Energy and Buildings* 154, pp. 102-114.

Jrade, A. et F. Jalaei (2020). "Intégrer la modélisation des informations du bâtiment avec la durabilité pour concevoir un projet de construction." *Energy and Buildings* 212, p. 109810.

BIBLIOGRAPHIE

- Kamal, M. A. (2021). "Bioclimatic design strategies for hot and dry climates: A comprehensive review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 144, p. 111037.
- Karush, W. (1939). « Minima des fonctions de plusieurs variables avec des inégalités comme contraintes latérales. » *Thèse de maîtrise*. Université de Chicago.
- Khan, M., et al. (2019). "Modélisation paramétrique pour la conception d'enveloppes de bâtiments optimisées sur le plan énergétique dans les climats chauds et arides." *Revue internationale de conception et de modélisation des bâtiments* 13(1), pp. 30-45.
- Khoury, G., J. Smith et R. Johnson (2023). "Impact of Increasing Demand for Comfort and Rising Temperatures on the Use of Air Conditioning: A Review." *Journal of Environmental Science* 45(2), pp. 210-225.
- Kim, B., D. Lee, M. Poux et E. Mutunga (2019). "Enveloppe du bâtiment pour un éclairage naturel et une efficacité énergétique adéquats pour un immeuble de bureaux urbain durable." *Énergie solaire* 188, pp. 477-495.
- Kim, J., T. Hong, J. Jeong, M. Lee, C. Ji et K. Jeong (2019). "A review of building shape optimization for energy efficiency." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 114, p. 109285.
- Kim, T., N. Jung, E. García-Nevado, Z. La Incognita et Ö. Göçer (2022). "Matériaux et composants pour les bâtiments économes en énergie" : *une revue*. *Matériaux* 15(2), p. 595.
- Knowles, R. L. (1993). "Enveloppe solaire dans les régions chaudes et arides : étude de cas." *Revue internationale d'architecture bioclimatique* 7(1), pp. 20-35.
- Knowles, R. L. (1994). "Solar envelope: a method for siting energy efficient buildings." *Solar Energy* 52(2), pp. 117-126.
- Koubaa Turki, L. et A. Ben Saci (2022). "A Generative Approach for Designing Urban Morphologies Combining Density and Solar Access: The Concept of Solar Envelope by Shade Exchange." *Sustainable Cities and Society* 77, p. 103150.
- Krarti, M. et M. Salem (2018). *"Solar energy engineering: Thermal and photovoltaic systems."* Cambridge: Academic Press.
- Krüger, E. L. et C. B. Sungur Sungur (2020). "Stratégies passives pour les bâtiments résidentiels économes en énergie dans le climat méditerranéen : applications dans deux études de cas." *Villes et société durables* 102191.
- Kuhn, HW, Tucker, AW (1951). « Programmation non linéaire ». *Actes du deuxième symposium de Berkeley sur les statistiques mathématiques et les probabilités*. Berkeley : University of California Press, pp.481-492.
- Lavorel, S. (2017) « Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, [volume 5(numéro101)], pp156/187.
- Lawrence, TM (1993) « Le rôle des outils d'aide à la conception dans la pratique architecturale », *Thèse de doctorat*, Université de Montréal, Canada.
- Liébard, A. et A. De Herde (2003). *"La conception architecturale bioclimatique."* Paris: Le Moniteur.
- Lo, C. P. et D. A. Quattrochi (2003). "Changements d'affectation et d'occupation des sols, phénomène d'îlot de chaleur urbain et implications sur la santé." *Ingénierie photogrammétrique et télédétection* 69(9), pp. 1053-1063.
- Long, Y. et J. He (2022). "Effect of envelope color on building energy performance in hot arid climates." *Energy and Buildings* 266, p. 112206.
- Lopez, M. (2022). "Impact des changements climatiques sur les régions chaudes et arides : Enjeux et solutions architecturales." *Revue internationale de développement durable* 12(2), pp. 45-60.

BIBLIOGRAPHIE

Makhloufi, A. W. et S. Louafi (2023). "Étude paramétrique pour l'optimisation de la forme et de la hauteur des bâtiments : une approche vers une consommation énergétique et carbone nulle dans les bâtiments." *Tehnički glasnik* 17(4), pp. 501-507.

Mansour, W. S. A. (2020). "Optimization of Building Envelope Thermal Performance using Biomimicry Approach: Case Study of Barrel Cactus." *Journal of Building Engineering* 32, p. 101615.

Mansouri, K. et S. Leila (2023). "Efficiency of Different Envelope Configurations on Thermal Performance: Case Study in Biskra, Algeria."

Mata, É., A. Sasic Kalagasidis et F. Johnsson (2021). "Modélisation énergétique du parc immobilier pour le soutien à la politique énergétique". *Énergie appliquée* 302, p. 117580.

Matzarakis, A., S. Muthers et E. Koch (2021). "Impact du rayonnement solaire sur les températures estivales extrêmes dans les régions chaudes et arides." *Journal of Climatic Studies* 27(3), pp. 112-125.

Maxicours (2024) 'Répartition mondiale des zones désertiques, arides et semi-arides selon l'indice d'aridité' [image en ligne] Disponible sur : <https://www.maxicours.com/se/cours/les-climats-chauds-et-arides/> [Consulté en 2024]

Météo Algérie (2022). "Données météorologiques pour l'année 2022." [En ligne] Disponible sur: <https://www.meteo.dz/> [Consulté le 24 février 2023].

Mirakhorli, M. et B. Dong (2021). "The impact of building orientation on energy performance in different climates." *Energy and Buildings* 242, p. 110934.

Mohamed, A. R., N. M. Ibrahim et M. N. A. Hawlader (2022). "Optimizing building energy efficiency using a multi-objective genetic algorithm for office buildings in Abu Dhabi." *Applied Energy* 320, p. 119222.

Mohamed, A., A. Hasan et K. Sirén (2014). "Passive cooling techniques for buildings in hot arid climates: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34, pp. 741-754.

Mohamed, H. F., H. Altan et A. Al-Habaibah (2020). "Impact de la modification des propriétés morphologiques d'une maison existante sur sa demande de refroidissement des locaux au Royaume-Uni." *Énergie renouvelable* 145, pp. 256-275.

Moslehi, G., M. Parsaei, M. Ashouri et M. Firouzi (2022). "Stratégies de conception bioclimatique dans les régions chaudes et arides ": *Villes et société durables* 76, p. 103497.

Nature Climate Change (2022). "Étude sur les émissions de CO2 provenant du secteur du bâtiment dans les climats chauds et arides." [En ligne] Disponible sur: <https://www.nature.com/nclimate/> [Consulté le 15 janvier 2022].

Nguyen, A. T., et al. (2021). "Effect of building shapes on energy performance for residential buildings in Hanoi, Vietnam." *Energy Reports* 7, pp. 8769-8778.

Novel, A. (2019) « Développement d'une méthode de méta modélisation », Thèse de doctorat, École Centrale Paris, France.

Olgyay, V. (1962) *Design avec le climat : approche bioclimatique du régionalisme architectural*, Princeton : Princeton University Press.

Organisation internationale de normalisation (2017) ISO 6946:2017 Composants et éléments de construction — Résistance thermique et transmission thermique — Méthodes de calcul, Genève : ISO. Disponible sur : <https://www.iso.org/standard/65708.html> [Consulté le : 12/06/2023].

Organisation internationale de normalisation. (2017). *ISO 6946:2017 Composants et éléments de construction — Résistance thermique et transmission thermique — Méthodes de calcul*. Genève : ISO.

Organisation Météorologique Mondiale (OMM) (2023) Rapport annuel sur le climat mondial, Genève : OMM.

BIBLIOGRAPHIE

Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2023). "Les défis sanitaires dans les régions à climat chaud et aride." *Genève: OMS*.

Ounifi, HA (2021) « Modélisation, analyse et prédiction de l'efficacité énergétique », *Mémoire de maîtrise*, École de technologie supérieure, Montréal, Canada.

Ourghi, R., A. Al-Anzi et M. Krarti (2021). "Potential of bioclimatic design strategies in vernacular architecture of hot and arid regions: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 141, p. 110842.

Pacheco-Torres, R., J. Ordóñez et G. Martínez (2022). "Bioclimatic design strategies for vernacular architecture in hot and arid climates: A systematic review." *Sustainable Cities and Society* 81, p. 103811.

Pan, W., M. T. Munir, N. H. A. Majid, S. M. N. S. Mat et M. N. M. Salleh (2021). "Efficacité énergétique des bâtiments basée sur le climat tropical : Une revue de l'étude de cas en Malaisie." *Alexandria Engineering Journal* 60(3), pp. 3267-3284.

PassivAct (2024) 'Les flux thermiques traversant le bâtiment en été' [image en ligne] Disponible sur : <https://passivact.fr/Concepts/files/FluxDeChaleur-Comprendre.html> [Consulté en 2023]

Pathirana, S., A. Rodrigo et R. Halwatura (2019). "Effect of building shape, orientation, window-wall ratio and room layout on energy consumption and thermal comfort of houses in tropical climates." *Sustainable Cities and Society* 47, p. 101465.

Peel, M. C., B. L. Finlayson et T. A. McMahon (2007). "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification." *Hydrology and Earth System Sciences* 11, pp. 1633-1644.

Peng, C., L. Wang et X. Zhang (2021). "DaylightViz: A web-based visualization tool to support integrated daylight design in the early design stage." *Solar Energy* 228, pp. 662-674.

Peng, J., et al. (2021). "Pratiques passives pour atténuer les effets du rayonnement solaire dans les régions chaudes et arides : une analyse des stratégies architecturales." *Revue internationale d'architecture écologique* 15(2), pp. 78-92.

Peng, J., X. Yang, X. Li et al. (2021). "Strategies for reducing cooling energy consumption in hot and arid climates: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 146, p. 111154.

Perera, A. T. D., S. Coccolo, J. L. Scartezzini et D. Mauree (2020). "Quantifier l'impact du climat urbain en étendant le modèle climatique de couche limite pour les villes en développement." *Climat urbain* 31, p. 100617.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) (2016) Rapport sur les émissions de CO₂ provenant des bâtiments, Nairobi : PNUE.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) (2023) Rapport sur l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre et ses implications pour le changement climatique, Nairobi : PNUE.

Ponsich, A. (2005) « Stratégies d'optimisation mixte en Génie des Procédés », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.

PVGIS (2023) Système d'information géographique photovoltaïque, Commission européenne, Centre commun de recherche, [En ligne] Disponible sur : https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [Consulté le : 12/06/ 2023].

Ragab, A. (2022). "Effect of Building Proportions and Orientations on Cooling Needs in Aswan, Egypt: A Simulation Study." *Sustainable Cities and Society* 77, p. 103123.

Rahmouni, S. (2020) « Impact des mesures d'efficacité énergétique sur les besoins énergétiques thermiques », Thèse de doctorat, Université Batna 2.

BIBLIOGRAPHIE

- Ratti, C., D. Raydan et K. Steemers (2003). "Urban form and climate: a review of past research." In: *International Seminar on Urban Form*, 10th, pp. 185-200.
- Ratti, C., D. Raydan et K. Steemers (2005). "Environnement de morphologies urbaines spécifiques par couplage de codes 3D microclimatiques et aérauliques." *Revue générale de thermique* 44(6), pp. 660-669.
- Ratti, C., et al. (2003). "Building form and environmental performance: archetypes for sustainable design." *Architectural Science Review* 46(2), pp. 97-111.
- Rebzani, M., et al. (1998). "*Transferts thermiques dans le bâtiment*." Paris: Editions du Moniteur.
- Ribault, C. (2017) « *Méthode d'optimisation multicritère pour l'aide à la conception des bâtiments* », Thèse de doctorat.
- Roberts, D., et al. (2018). "Building performance analysis." London: Routledge.
- Rodrigues, E., A. R. Amaral et A. R. Gaspar (2015). "A review of the use of building energy simulation tools for early design stages." *Energy and Buildings* 104, pp. 233-245.
- Rodriguez, J. (2018). "Stratégies bioclimatiques pour réduire la dépendance énergétique et l'empreinte carbone des constructions dans les régions chaudes et arides." *Revue internationale de développement durable* 10(3), pp. 60-75.
- Roulet, C. A. (2004). "*Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*." Lausanne: PPUR presses polytechniques.
- Ryu, S. H., D. Seo, J. Chu, H. Y. Kim et W. H. Hong (2019). "Établir un processus optimisé de conception de nouveaux bâtiments du point de vue de la performance énergétique et de l'évaluation de la performance du logement." *Durabilité* 11(2), p. 417.
- Salameh, M., A. Elkhazindar et B. Touqan (2023). "The effect of building height variations on thermal properties and comfort in residential development: A case study in the United Arab Emirates." *Sustainable Cities and Society* 95, p. 106448.
- Salvalai, G., M. Imperadori et G. Masera (2017). "Mesures de performances thermiques sur des systèmes de construction traditionnels dans un climat méditerranéen." *Journal de conservation architecturale* 23(3), pp. 144-160.
- Salvatierra-Sierra, V. et A. De Herde (2017). "The impact of building shape on energy demand for space heating and cooling in different climates." *Energy and Buildings* 150, pp. 409-423.
- Santamouris, M. (2001). "*Energy and Climate in the Urban Built Environment*." London: Routledge.
- Santamouris, M. (2015). "Building ventilation: The very low-energy cooling technique." *Building and Environment* 87, pp. 871-878.
- Santamouris, M. ed. (2015). "*Avancées du refroidissement passif*." London: Routledge.
- Shameri, M. H., N. M. Ibrahim, K. Sopian, H. Mohamad et S. H. Al-Suwaiy (2011). "Building envelope design for passive cooling strategies in hot and humid climates." *Energy and Buildings* 43(12), pp. 3466-3476.
- Shi, Z., J. A. Fonseca et A. Schlueter (2021). "A Parametric Approach to Investigate Solar Penetration and Urban Design: The Case of Singapore Vernacular Block Typologies." *Sustainable Cities and Society* 65, p. 102610.
- Siddiqi, A. A. (2001). "Influence de l'enveloppe sur l'irradiation solaire dans les climats chauds et arides : analyse comparative." *Journal de l'énergie solaire* 8(2), pp. 45-58.
- Siddiqi, A. A. (1986). "The form of energy efficient buildings in hot climates." *Energy and Buildings* 9(1), pp. 3-13.
- Siret, D. (2011). "Le modèle des enveloppes solaires de Ralph Knowles : de l'utopie urbaine à la ville durable." *Annales de la recherche urbaine* 109(1), pp. 103-113.
- Smith, J. (2020). "Climat et environnement des régions chaudes et arides : une analyse détaillée." *Journal de géographie environnementale* 15(2), pp. 78-92.

BIBLIOGRAPHIE

- Smith, J. et A. Jones (2020). "Adaptation architecturale aux variations thermiques dans les régions chaudes." *Journal d'Architecture Durable* 15(2), pp. 45-58.
- Smith, J., et al. (2022). "Variations quotidiennes de température dans les régions arides." *Journal of Climate* 35(8), pp. 2450-2465.
- Sodha, M. S. et A. Al (1986). "*Orientations optimales pour les bâtiments dans des climats composites.*" Oxford: Pergamon Press.
- Sodha, M. S., N. K. Bansal et A. Kumar (1986). "Thermal performance of passive solar buildings in hot and dry climates." *Energy and Buildings* 9(1), pp. 57-66.
- Soufiane, F., A. Atef, M. Mohamed et D. Salaheddine (2019). "Evaluation of thermal performance of different shapes and orientations of residential buildings in Tebessa, Algeria: A simulation approach." *Sustainable Cities and Society* 47, p. 101479.
- Stasinopoulos, T. N. (2019). "Impact of building morphology on indoor thermal performance in hot and dry climates: A case study for Jeddah and Port Said." *Energy and Buildings* 190, pp. 233-240.
- Tang, Z., et al. (2019). "Impact of building form on energy performance for office buildings in Abu Dhabi." *Sustainable Cities and Societies* 47, p. 101423.
- Tayeb, K. (2011) « *Forme architecturale & performances énergétiques* », Thèse de doctorat, Université de Biskra.
- Tibermachine, I. et N. Zemouri (2017). "Impact of residential building typology on heating and cooling energy consumption in a hot and arid climate." *Energy Procedia* 139, pp. 391-396.
- Traisnel, J. P., et al. (1997). "Comportement thermique des formes géométriques dans les climats chauds et arides : étude de cas." *Revue internationale de thermique du bâtiment* 5(3), pp. 102-115.
- UIA (Union Internationale des Architectes) (n.d.). "Étude sur les pratiques durables dans la conception et la construction des bâtiments." [En ligne] Disponible sur: <https://www.michigan.gov/leo/bureaus-agencies/uia> [Consulté le 12 janvier 2022].
- Vincent, J. L. (1987). "Contribution à l'étude de l'évaluation de la qualité thermique de la forme des bâtiments." *Thèse de doctorat. INSA de Lyon.*
- Wang, Y., B. Li et G. Augenbroe (2022). "Impact of building orientation on energy consumption in different climate zones of China." *Energy and Buildings* 258, p. 111933.
- Wang, Z., X. Luo, J. Wu, Q. Yang, P. Zhou et J. Huang (2022). "Influence de la morphologie de l'enveloppe du bâtiment sur la consommation énergétique et les émissions de carbone des immeubles de bureaux en Chine." *Bâtiment et environnement* 208, p. 108544.
- Wigginton, M. et J. Harris (2002). "The Use of Simulation Modelling in the Early Design Stages of an Office Building in Doha, Qatar." In: *Proceedings of the Building Simulation Conference*, 2002, pp. 117-124.
- Wines, J., M. Vaye et M. Turbin (1997). "*Architecture verte.*" Cologne: Taschen.
- Wines, J., M. Vaye et M. Turbin (1997). "*Perspectives on Environmental Architecture.*" New York: Rizzoli.
- World Bank (2014) 'MENA Development Report: Adapting to a Changing Climate in Arab Countries - A Case for Adaptation Governance and Leadership in Building Climate Resilience', Middle East and North Africa Development Report Series, *Report No. 90156*. Washington, D.C.: The World Bank Group. ISBN: 978-0-8213-9459-5.
- Zaki, A., et al. (2020). "Impact de l'utilisation généralisée des climatiseurs sur la consommation d'énergie et l'environnement dans les régions chaudes et arides : cas de l'Algérie." *Revue environnementale algérienne* 8(2), pp. 75-88.
- Zeng, W., et al. (2020). "The impact of building orientation on energy consumption in hot and humid climates." *Energy and Buildings* 226, p. 110332.

BIBLIOGRAPHIE

Zhang, A., R. Bokel, et al. (2017). "Influence of geometric parameters of school buildings on energy performance and thermal comfort in cold climates of China." *Energy and Buildings* 145, pp. 178-188.

Zhao, Q., J. Yang, Z. H. Wang et S. Gautam (2021). "Modélisation multi-échelle pour explorer le mécanisme des impacts de l'expansion urbaine sur l'effet d'îlot de chaleur urbain." *Villes et société durables* 67, p. 102714.

Zhao, X., et al. (2021). "Intégration des conditions climatiques locales dans la conception des bâtiments : état de l'art et défis." *Revue internationale de conception et de modélisation des bâtiments* 15(2), pp. 67-82.

Zou, Y., G. Zhang et G. Augenbroe (2021). "Impact of thermal mass on cooling energy demand in hot and humid climates: A case study of Cairo, Egypt." *Renewable Energy* 171, pp. 1128-1140. CopyRetryClaude does not have internet access. Links provided may not be accurate or up to date.

ANNEXES

ANNEXES

Annexes A: Algorithme d'optimisation

Lire : V, T_i, T_e, IN₁, IN₂,

(IN₁: intensité de la radiation solaire incidente sur le toit)

(IN₂ : intensité de la radiation solaire incidente sur la paroi EST ou OUEST)

Ke (Ke₁ , Ke₂ , Ke₃) , fe (fe₁ , fe₂ , fe₃) , a (a₁ , a₂ , a₃)

Les Valeurs :

V = 125...1000. 10.000....etc

T_i = température moyenne annuel (À savoir la region)

T_e = (À savoir la region)

IN₁ = (À savoir la region)

IN₂ = (À savoir la region)

Ke (0.9, 1.3 , 2)

Fe (1.5 , 3 , 5)

a (0.4, 0.7, 0.9)

Calcule Intermédiaire :

Calculer $\Delta T = T_i - T_e$

Calculer $C = \sqrt[3]{V}$

La Boucle De L'Algorithme :

Cas du cube :

Faire pour i = 1 , 3

Faire pour j= 1 , 3

Faire pour k = 1 , 3

Calculer $A_{ijk} = Ke_i \times \Delta T$

Calculer $B_{ijk} = \frac{Ke_i \times a_j \times IN_1}{fe_k}$

ANNEXES

$$\text{Calculer } D_{ijk} = \frac{Ke_i \times a_j \times IN_2}{fe_k}$$

$$\text{Calculer } GC_{ijk} = \frac{5 \times A_{ijk}}{c} + \frac{B_{ijk}}{c} \quad \text{valeur minimale dans le cas du cube}$$

Cas de la tour :

$$\text{Minimiser } f_1 = A_{ijk} \left(\frac{2}{x} + \frac{1}{y} + \frac{2 \times x \times y}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{y}$$

$$\text{Calculer } x_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{2 \times V \times A_{ijk}}{A_{ijk} + B_{ijk}}}$$

$$\text{Calculer } y_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{V \times (A_{ijk} + B_{ijk})^2}{4 \times A_{ijk}^2}} \quad \text{valeur minimale sans contraintes}$$

Vérification des contraintes :

$$\text{Si } x_{ijk} < y_{ijk}$$

$$\text{Si } V \leq y_{ijk} \times x_{ijk}^2$$

$$\text{Alors } \widehat{HT}_{ijk} = y_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = x_{ijk}$$

Si non

$$\text{Si } \frac{V}{x_{ijk} \times y_{ijk}} < y_{ijk}$$

$$\text{Alors } \widehat{HT}_{ijk} = y_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = \frac{V}{x_{ijk} \times y_{ijk}}$$

Si non

$$\text{Minimiser } f_2 = A_{ijk} \left(\frac{4}{t} + \frac{t^2}{V} \right) + \frac{B_{ijk} \times t^2}{V}$$

$$\text{Calculer } t_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{2 \times A_{ijk} \times V}{A_{ijk} + B_{ijk}}}$$

$$\widehat{LT}_{ijk} = t_{ijk} \text{ et } \widehat{HT}_{ijk} = \frac{V}{t_{ijk}^2}$$

Si non

$$\text{Alors } \widehat{HT}_{ijk} = y_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = \frac{V}{x_{ijk} \times y_{ijk}}$$

ANNEXES

$$\text{Si non Minimiser } f_2 = A_{ijk} \left(\frac{4}{t} + \frac{t^2}{V} \right) + \frac{B_{ijk} \times t^2}{V} \quad \text{tour : } \ell = L$$

$$\text{Calculer } t_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{2 \times A_{ijk} \times V}{A_{ijk} + B_{ijk}}}$$

$$\text{Calculer } z_{ijk} = \frac{V}{t_{ijk}^2}$$

$$\text{Si } t_{ijk} < z_{ijk}$$

$$\text{Si } V \leq z_{ijk} \times t_{ijk}^2$$

$$\text{Alors } \widehat{HT}_{ijk} = z_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = t_{ijk}$$

$$\text{Si non}$$

$$\widehat{HT}_{ijk} = z_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = \frac{V}{t_{ijk} \times z_{ijk}}$$

$$\text{Si non } x_{ijk} = \sqrt[3]{V}$$

$$\widehat{LT}_{ijk} = x_{ijk} \text{ et } \widehat{HT}_{ijk} = \frac{V}{x_{ijk}^2}$$

Niveau II – paroi EST :

$$\text{Minimiser } g_1 = A_{ijk} \left(\frac{2}{x} + \frac{1}{y} + \frac{2y \times x}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{x} \quad \text{valeur minimale sans contraintes}$$

$$\text{Calculer } x_{ijk}^{\circ} = \sqrt[3]{\frac{2 \times V \times A_{ijk}}{A_{ijk} + D_{ijk}}}$$

$$\text{Calculer } y_{ijk}^{\circ} = \sqrt[3]{\frac{V \times (A_{ijk} + D_{ijk})^2}{4 \times A_{ijk}^2}}$$

Vérification des contraintes :

$$\text{Si } x_{ijk}^{\circ} < y_{ijk}^{\circ}$$

$$\text{Si } V \leq y_{ijk}^{\circ} \times x_{ijk}^{\circ 2}$$

$$\text{Alors } \widehat{\widehat{HT}} = y_{ijk}^{\circ} \text{ et } \widehat{\widehat{LT}} = x_{ijk}^{\circ}$$

$$\text{Si non}$$

ANNEXES

$$\text{Si } \frac{V}{x_{ijk} \times y_{ijk}} < y_{ijk}$$

$$\text{Alors } \widehat{HT}_{ijk} = y_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = \frac{V}{x_{ijk} \times y_{ijk}}$$

Si non

$$\text{Minimiser } g_2 = A_{ijk} \left(\frac{4}{t} + \frac{t^2}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{t}$$

$$\text{Calculer } t_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{(4 \times A_{ijk} + D_{ijk})V}{2 \times A_{ijk}}}$$

$$\widehat{LT}_{ijk} = t_{ijk} \text{ et } \widehat{HT} = \frac{V}{t_{ijk}^2}$$

Si non

$$\text{Alors } \widehat{HT} = y_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = \frac{V}{x_{ijk} \times y_{ijk}}$$

$$\text{Si non Minimiser } g_2 = A_{ijk} \left(\frac{4}{t} + \frac{t^2}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{t}$$

$$\text{Calculer } t_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{(4 \times A_{ijk} + D_{ijk})V}{2 \times A_{ijk}}}$$

$$\text{Calculer } z_{ijk} = \frac{V}{t_{ijk}^2}$$

$$\text{Si } t_{ijk} < z_{ijk}$$

$$\text{Si } V \leq z_{ijk} \times t_{ijk}^2$$

$$\text{Alors } \widehat{HT} = z_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = t_{ijk}$$

$$\text{Si non Alors } \widehat{HT} = z_{ijk} \text{ et } \widehat{LT}_{ijk} = \frac{V}{t_{ijk} \times z_{ijk}}$$

$$\text{Si non } x_{ijk} = \sqrt[3]{V}$$

$$\widehat{LT}_{ijk} = \sqrt[3]{V} \text{ et } \widehat{HT} = \frac{V}{x_{ijk}^2}$$

Comparaison des résultats du niveau I et II :

ANNEXES

$$\text{Calculer } GT1_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LT}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HT}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HT}_{ijk} \times \widehat{LT}_{ijk}}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{\widehat{HT}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GT2_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LT}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HT}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HT}_{ijk} \times \widehat{LT}_{ijk}}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{\widehat{LT}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GT3_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LT}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HT}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HT}_{ijk} \times \widehat{LT}_{ijk}}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{\widehat{LT}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GT4_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LT}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HT}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HT}_{ijk} \times \widehat{LT}_{ijk}}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{\widehat{HT}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } MT12_{ijk} = \frac{GT1_{ijk} + GT2_{ijk}}{2}$$

$$\text{Calculer } MT34_{ijk} = \frac{GT3_{ijk} + GT4_{ijk}}{2}$$

$$\text{Si } MT34_{ijk} \leq MT12_{ijk}$$

$$\text{Alors } HT_{ijk} = \widehat{HT}_{ijk} \text{ et } LT_{ijk} = \widehat{LT}_{ijk} \text{ et } lT_{ijk} = \frac{V}{LT_{ijk} \times HT_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GT_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{LT_{ijk}} + \frac{1}{HT_{ijk}} + \frac{2 HT_{ijk} \times LT_{ijk}}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{LT_{ijk}}$$

$$\text{Si non } HT_{ijk} = \widehat{HT}_{ijk} \text{ et } LT_{ijk} = \widehat{LT}_{ijk} \text{ et } lT_{ijk} = \frac{V}{LT_{ijk} \times HT_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GT_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{LP_{ijk}} + \frac{1}{HP_{ijk}} + \frac{2 HP_{ijk} \times LP_{ijk}}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{HP_{ijk}}$$

Calcule des gains après optimisation et sous contraintes :

$$\text{Calculer } TPr1_{ijk} = \frac{LP_{ijk}}{HP_{ijk}} \text{ et } TPr2_{ijk} = \frac{LP_{ijk}}{LP_{ijk}} \text{ (les proportions).}$$

Cas du parallélépipède :

Niveau I - la Toiture :

$$\text{Minimiser } h_1 = A_{ijk} \times \left(\frac{2}{u} + \frac{1}{w} + \frac{2 \times u \times w}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{w}$$

$$\text{Calculer } u_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{(2 \times A_{ijk} + B_{ijk})^2 \times V}{2 \times A_{ijk}^2}}$$

$$\text{Calculer } w_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{A_{ijk} \times V}{2 \times (2 \times A_{ijk} + B_{ijk})}} \dots \text{valeur minimale sans contraintes}$$

ANNEXES

- vérification des contraintes :

Si $w_{ijk} < u_{ijk}$

Alors si $V \leq w_{ijk} \times u_{ijk}^2$

Alors $\widehat{HP}_{ijk} = w_{ijk}$ et $\widehat{LP}_{ijk} = u_{ijk}$

Si non

$$\widehat{HP}_{ijk} = w_{ijk} \text{ et } \widehat{LP}_{ijk} = \frac{V}{w_{ijk} \times u_{ijk}}$$

Si non Minimiser $h_2 = A_{ijk} \left(\frac{2 \times s^2}{V} + \frac{3}{s} \right) + \frac{B_{ijk}}{s}$

$$\text{Calculer } s_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{(3 \times A_{ijk} + B_{ijk}) \times V}{4 \times A_{ijk}}}$$

$$\text{Calculer } r_{ijk} = \frac{V}{s_{ijk}^2}$$

Si $s_{ijk} < r_{ijk}$

$$\widehat{HP}_{ijk} = s_{ijk} \text{ et } \widehat{LP}_{ijk} = r_{ijk}$$

Si non $w_{ijk} = \sqrt[3]{V}$

$$\widehat{HP}_{ijk} = w_{ijk} \text{ et } \widehat{LP}_{ijk} = \frac{V}{w_{ijk}^2}$$

Niveau II – paroi EST :

$$\text{Minimiser } P_1 = A_{ijk} \left(\frac{2}{u} + \frac{1}{w} + \frac{2H \times L}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{u}$$

$$\text{Calculer } u_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{(2 \times A_{ijk} + D_{ijk})^2 \times V}{2 \times A_{ijk}^2}}$$

$$\text{Calculer } w_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{A_{ijk} \times V}{2 \times (2 \times A_{ijk} + D_{ijk})}} \dots \dots \text{valeur minimale sans}$$

contraintes

Vérification des contraintes :

Si $w_{ijk} < u_{ijk}$

ANNEXES

Alors si $V \leq w_{ijk} \times u_{ijk}^2$

Alors $\widehat{HP}_{ijk} = w_{ijk}$ et $\widehat{LP}_{ijk} = u_{ijk}$

Si non

$$\widehat{HP}_{ijk} = w_{ijk} \text{ et } \widehat{LP}_{ijk} = \frac{V}{w_{ijk} \times u_{ijk}}$$

Si non Minimiser $P_2 = A_{ijk} \left(\frac{2 \times s^2}{V} + \frac{1}{s} \right) + \frac{B_{ijk}}{s}$

$$\text{Calculer } s_{ijk} = \sqrt[3]{\frac{(3 \times A_{ijk} + B_{ijk}) \times V}{4 \times A_{ijk}}}$$

$$\text{Calculer } r_{ijk} = \frac{V}{s_{ijk}^2}$$

Si $s_{ijk} < r_{ijk}$

$$\widehat{HP}_{ijk} = s_{ijk} \text{ et } \widehat{LP}_{ijk} = r_{ijk}$$

Si non $w_{ijk} = \sqrt[3]{V}$

$$\widehat{HP}_{ijk} = w_{ijk} \text{ et } \widehat{LP}_{ijk} = \frac{V}{w_{ijk}^2}$$

Comparaison des résultats du niveau I et II :

$$\text{Calculer } GP1_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LP}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HP}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HP}_{ijk} \times \widehat{LP}_{ijk}}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{\widehat{HP}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GP2_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LP}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HP}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HP}_{ijk} \times \widehat{LP}_{ijk}}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{\widehat{LP}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GP3_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LP}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HP}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HP}_{ijk} \times \widehat{LP}_{ijk}}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{\widehat{LP}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GP4_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{\widehat{LP}_{ijk}} + \frac{1}{\widehat{HP}_{ijk}} + \frac{2 \widehat{HP}_{ijk} \times \widehat{LP}_{ijk}}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{\widehat{HP}_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } MP12_{ijk} = \frac{GP1_{ijk} + GP2_{ijk}}{2}$$

$$\text{Calculer } MP34_{ijk} = \frac{GP3_{ijk} + GP4_{ijk}}{2}$$

Si $MP34_{ijk} \leq MP12_{ijk}$

ANNEXES

$$\text{Alors } HP_{ijk} = \widehat{HP}_{ijk} \text{ et } LP_{ijk} = \widehat{LP}_{ijk} \text{ et } lP_{ijk} = \frac{V}{LP_{ijk} \times HP_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GP_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{LP_{ijk}} + \frac{1}{HP_{ijk}} + \frac{2HP_{ijk} \times LP_{ijk}}{V} \right) + \frac{D_{ijk}}{LP_{ijk}}$$

$$\text{Si non } HP_{ijk} = \widehat{HP}_{ijk} \text{ et } LP_{ijk} = LP_{ijk} \text{ et } lP_{ijk} = \frac{V}{LP_{ijk} \times HP_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } GP_{ijk} = A_{ijk} \left(\frac{2}{LP_{ijk}} + \frac{1}{HP_{ijk}} + \frac{2HP_{ijk} \times LP_{ijk}}{V} \right) + \frac{B_{ijk}}{HP_{ijk}}$$

$$\text{Calculer } PPr1_{ijk} = \frac{LP_{ijk}}{HP_{ijk}} \text{ et } PPr2_{ijk} = \frac{LP_{ijk}}{lP_{ijk}}$$

Comparaison des modèles et classification :

$$\text{Si } GC_{ijk} \leq GP_{ijk}$$

Alors Si $GC_{ijk} \leq GT_{ijk}$ Ecrire Cube meilleur modèle

Si non Écrire Tour meilleur modèle

$$\text{Si } GP_{ijk} \leq GT_{ijk}$$

Ecrire Parallélépipède meilleur modèle

Si non écrire Tour meilleur modèle

ANNEXES

Annexes B : Programmation de l'algorithme -code source.

```
Disp (' Veuillez enter les valeurs pour V, Ti,Te,IN1,IN2');
```

```
% Lecture des valeurs
```

```
V=input('Entrer la valeur de V = ');
```

```
Ti=input('Entrer la valeur de Ti = ');
```

```
Te=input('Entrer la valeur de Te = ');
```

```
IN1=input('Entrer la valeur de IN1= ');
```

```
IN2=input('Entrer la valeur de IN2= ');
```

```
Ke=[0.9 1.3 2];
```

```
Fe=[1.5 3.0 5.0];
```

```
a=[0.4 0.7 0.9];
```

```
% initialisation
```

```
%GPijk=zeros(3,3,3);
```

```
%GTijk=zeros(3,3,3);
```

```
%GTijk=zeros(3,3,3);
```

```
% fin initialisation
```

```
DeltaT=Te-Ti;
```

```
C=V^(1/3);
```

```
for i=1:3
```

```
    for j=1:3
```

```
        for k=1:3
```

```
            Aijk(i,j,k)=Ke(i)*DeltaT;
```

```
            Bijk(i,j,k)= Ke(i)*a(j)*IN1/Fe(k);
```

```
            Dijk(i,j,k)= Ke(i)*a(j)*IN2/Fe(k);
```

```
            GCijk(i,j,k)=(5*Aijk(i,j,k) + Bijk(i,j,k))/C;
```

```
        end
```

```
    end
```

ANNEXES

```
end

% minimiser f1

temp1=2*V*Aijk;

temp2=Aijk+Bijk;

temp3=temp1./temp2;

Xijk=temp3.^(1/3);

temp4=(Aijk+Bijk);

temp4=temp4.^2;

temp4=V*temp4;

temp5=Aijk.^2;

temp5=4*temp5;

temp6=temp4./temp5;

Yijk=temp6.^(1/3);

% fin minimiser

for i=1:3

    for j=1:3

        for k=1:3

            if(Xijk(i,j,k)< Yijk(i,j,k))

                if(V<=Yijk(i,j,k)*Xijk(i,j,k)*Xijk(i,j,k))

                    HTCijk(i,j,k)=Yijk(i,j,k);

                    LTCijk(i,j,k)=Xijk(i,j,k);

                elseif (V/(Xijk(i,j,k)*Yijk(i,j,k)) < Yijk(i,j,k))

                    HTCijk(i,j,k)=Yijk(i,j,k);

                    LTCijk(i,j,k)=V/(Xijk(i,j,k)*Yijk(i,j,k));

                else

                    %minimiser f2

                    Tijk=Xijk;

                    LTCijk(i,j,k)=Tijk(i,j,k);

                end

            end

        end

    end

end
```


ANNEXES

```
HTCijk(i,j,k)=V/Xijk(i,j,k)*Xijk(i,j,k);

end

else

Tijk=Xijk;

Zijk=V./(Tijk.^2);

if(Tijk(i,j,k)<Zijk(i,j,k))

    if(V<=Zijk(i,j,k)*Tijk(i,j,k)*Tijk(i,j,k))

        HTCijk(i,j,k)=Zijk(i,j,k);

        LTCijk(i,j,k)=Tijk(i,j,k);

    else

        HTCijk(i,j,k)=Zijk(i,j,k);

        LTCijk(i,j,k)=V/(Tijk(i,j,k)*Zijk(i,j,k));

    end

else

Xijk(i,j,k)=V^(1/3);

LTCijk(i,j,k)=Xijk(i,j,k);

HTCijk(i,j,k)=V/Xijk(i,j,k)*Xijk(i,j,k);

end

end

end

end

% minimiser g1

temp1=2*Aijk+Dijk;

temp1=temp1.^2

temp1=temp1*V

temp2=Aijk.^2;

temp2=temp2*2;
```

ANNEXES

```
temp3=temp1./temp2;

XPijk=temp3.^(1/3);

temp4=Aijk*V;

temp5=(Aijk*2+Dijk)*2;

temp6=temp4./temp5;

YPijk=temp6.^(1/3);

% fin minimiser g1

for i=1:3

    for j=1:3

        for k=1:3

            if(XPijk(i,j,k)< YPijk(i,j,k))

                if(V<=YPijk(i,j,k)*XPijk(i,j,k)*XPijk(i,j,k))

                    HTCCijk(i,j,k)=YPijk(i,j,k);

                    LTCCijk(i,j,k)=XPijk(i,j,k);

                elseif (V/(XPijk(i,j,k)*YPijk(i,j,k)) < YPijk(i,j,k))

                    HTCCijk(i,j,k)=YPijk(i,j,k);

                    LTCCijk(i,j,k)=V/(XPijk(i,j,k)*YPijk(i,j,k));

                else

                    %minimiser g2

                    temp1=(4*Aijk+Dijk)*V;

                    temp2=2*Aijk;

                    temp3=temp1./temp2;

                    TPijk=temp3.^(1/3);

                    LTCCijk(i,j,k)=TPijk(i,j,k);

                    HTCCijk(i,j,k)=V/TPijk(i,j,k)*TPijk(i,j,k);

                end

            end

        end

    end

end
```

```

else

    temp1=(4*Aijk+Dijk)*V;

    temp2=2*Aijk;

    temp3=temp1./temp2;

    TPijk=temp3.^(1/3);

    ZPijk=V./(TPijk.^2);

    if(TPijk(i,j,k)<ZPijk(i,j,k))

        if(V<=ZPijk(i,j,k)*TPijk(i,j,k)*TPijk(i,j,k))

            HTCCijk(i,j,k)=ZPijk(i,j,k);

            LTCijk(i,j,k)=TPijk(i,j,k);

        else

            HTCCijk(i,j,k)=ZPijk(i,j,k);

            LTCCijk(i,j,k)=V/(TPijk(i,j,k)*ZPijk(i,j,k));

        end

    end

    else

        Xijk(i,j,k)=V^(1/3);

        LTCCijk(i,j,k)=Xijk(i,j,k);

        HTCCijk(i,j,k)=V/Xijk(i,j,k)*Xijk(i,j,k);

    end

end

end

end

end

end

% calcul de GT1ijk & GT2ijk

temp1=2*HTCijk.*LTCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GT1ijk=Aijk.*((2./LTCijk)+(1./HTCijk)+temp3)+Bijk./LTCijk;

```

ANNEXES

```
temp1=2*HTCijk.*LTCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GT2ijk=Aijk.*((2./LTCijk)+(1./HTCijk)+temp3)+Dijk./LTCijk;

temp1=2*HTCCijk.*LTCCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GT3ijk=Aijk.*((2./LTCCijk)+(1./HTCCijk)+temp3)+Dijk./LTCCijk;

temp1=2*HTCCijk.*LTCCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GT4ijk=Aijk.*((2./LTCCijk)+(1./HTCCijk)+temp3)+Bijk./HTCCijk;

MT12ijk=(GT1ijk+GT2ijk.*2);

MT34ijk=(GT3ijk.*2+GT4ijk);

for i=1:3

    for j=1:3

        for k=1:3

            if(MT12ijk(i,j,k)<=MT34ijk(i,j,k))

                HTijk(i,j,k)=HTCCijk(i,j,k);

                LTijk(i,j,k)=LTCCijk(i,j,k);

                lTijk(i,j,k)=V/(HTijk(i,j,k)*LTijk(i,j,k));

                GTijk(i,j,k)=Aijk(i,j,k)*(2/LTijk(i,j,k) + 1/HTijk(i,j,k) +
2*HTijk(i,j,k)*LTijk(i,j,k)/V)+Dijk(i,j,k)/LTijk(i,j,k)

            else

                HTijk(i,j,k)=HTCijk(i,j,k);

                LTijk(i,j,k)=LTCijk(i,j,k);

                lTijk(i,j,k)=V/(HTijk(i,j,k)*LTijk(i,j,k));
```

ANNEXES

```
GTijk(i,j,k)=Aijk(i,j,k)*(2/LTijk(i,j,k) + 1/HTijk(i,j,k) +  
2*HTijk(i,j,k)*LTijk(i,j,k)/V)+Bijk(i,j,k)/HTijk(i,j,k)
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
% minimiser h1
```

```
temp1=2*Aijk+Bijk;
```

```
temp1=temp1.^2;
```

```
temp1=temp1*V;
```

```
temp2=Aijk.^2;
```

```
temp2=temp2*2;
```

```
temp3=temp1./temp2;
```

```
Uijk=temp3.^(1/3);
```

```
temp4=V*Aijk;
```

```
temp5=2*(Aijk*2+Bijk);
```

```
temp6=temp4./temp5;
```

```
Wijk=temp6.^(1/3);
```

```
% fin minimiser h1
```

```
for i=1:3
```

```
for j=1:3
```

```
for k=1:3
```

```
if(Wijk(i,j,k)< Uijk(i,j,k))
```

```
if(V<=Wijk(i,j,k)*Uijk(i,j,k)*Uijk(i,j,k))
```

```
HPCijk(i,j,k)=Wijk(i,j,k);
```

```
LPCijk(i,j,k)=Uijk(i,j,k);
```

```
else
```

ANNEXES

```
        HPCijk(i,j,k)=Wijk(i,j,k);

        LPCijk(i,j,k)=V/Wijk(i,j,k)*Uijk(i,j,k);

    end

else

    %minimiser h2

    temp1=(3*Aijk+Bijk)*V;

    temp2=4*Aijk;

    temp3=temp1./temp2;

    Sijk=temp3.^(1/3);

    Rijk=V./(Sijk.^2);

    if(Sijk(i,j,k)<Rijk(i,j,k))

        HPCijk(i,j,k)=Sijk(i,j,k);

        LPCijk(i,j,k)=Rijk(i,j,k);

    else

        Wijk(i,j,k)=V^(1/3);

        HPCijk(i,j,k)=Wijk(i,j,k);

        LPCijk(i,j,k)=V/Wijk(i,j,k)*Wijk(i,j,k);

    end

end

end

end

end

% minimiser p1

temp1=2*Aijk+Dijk;

temp1=temp1.^2;

temp1=temp1*V;

temp2=Aijk.^2;
```

ANNEXES

```
temp2=temp2*2;

temp3=temp1./temp2;

UPijk=temp3.^(1/3);

temp4=V*Aijk;

temp5=2*(Aijk*2+Dijk);

temp6=temp4./temp5;

WPijk=temp6.^(1/3);

% fin minimiser p1

for i=1:3

    for j=1:3

        for k=1:3

            if(WPijk(i,j,k)< UPijk(i,j,k))

                if(V<=WPijk(i,j,k)*UPijk(i,j,k)*UPijk(i,j,k))

                    HPCCijk(i,j,k)=WPijk(i,j,k);

                    LPCCijk(i,j,k)=UPijk(i,j,k);

                else

                    HPCCijk(i,j,k)=WPijk(i,j,k);

                    LPCCijk(i,j,k)=V/WPijk(i,j,k)*UPijk(i,j,k);

                end

            else

                %minimiser P2

                temp1=3*Aijk*V;

                temp2=2*(2*Aijk+Dijk);

                temp3=temp1./temp2;

                SPijk=temp3.^(1/3);

                RPijk=V./(SPijk.^2);

                if(SPijk(i,j,k)<RPijk(i,j,k))

                    HPCCijk(i,j,k)=SPijk(i,j,k);
```

ANNEXES

```
LPCCijk(i,j,k)=RPijk(i,j,k);

else

    WPijk(i,j,k)=V^(1/3);

    HPCCijk(i,j,k)=WPijk(i,j,k);

    LPCCijk(i,j,k)=V/WPijk(i,j,k)*WPijk(i,j,k);

end

end

end

end

end

end

% calcul de GP1ijk & GP2ijk

temp1=2*HPCijk.*LPCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GP1ijk=Aijk.*((2./LPCijk)+(1./HPCijk)+temp3)+Bijk./LPCijk;

temp1=2*HPCijk.*LPCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GP2ijk=Aijk.*((2./LPCijk)+(1./HPCijk)+temp3)+Dijk./LPCijk;

temp1=2*HPCCijk.*LPCCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GP3ijk=Aijk.*((2./LPCCijk)+(1./HPCCijk)+temp3)+Dijk./LPCCijk;

temp1=2*HPCCijk.*LPCCijk;

temp2=temp1./V;

temp3=temp1./temp2;

GP4ijk=Aijk.*((2./LPCCijk)+(1./HPCCijk)+temp3)+Bijk./HPCCijk;

MP12ijk=(GP1ijk+GP2ijk.*2);
```


ANNEXES

```

MP34ijk=(GP3ijk.*2+GP4ijk);

for i=1:3

    for j=1:3

        for k=1:3

            if(MP12ijk(i,j,k)<=MP34ijk(i,j,k))

                HPijk(i,j,k)=HPCCijk(i,j,k);

                LPijk(i,j,k)=LPCCijk(i,j,k);

                lPijk(i,j,k)=V/(HPijk(i,j,k)*LPijk(i,j,k));

                GPijk(i,j,k)=Aijk(i,j,k)*(2/LPijk(i,j,k) + 1/HPijk(i,j,k) +
2*HPijk(i,j,k)*LPijk(i,j,k)/V)+Dijk(i,j,k)/LPijk(i,j,k);

                else                %%%%%%%%%%%

                HPijk(i,j,k)=HPCijk(i,j,k);

                LPijk(i,j,k)=LPCijk(i,j,k);

                lPijk(i,j,k)=V/(HPijk(i,j,k)*LPijk(i,j,k));

                GPijk(i,j,k)=Aijk(i,j,k)*(2/LPijk(i,j,k) + 1/HPijk(i,j,k) +
2*HPijk(i,j,k)*LPijk(i,j,k)/V)+Bijk(i,j,k)/HPijk(i,j,k);

            end

        end

    end

end

PPr1ijk=LPijk./HPijk;

PPr2ijk=LPijk./lPijk;

for i=1:3

    for j=1:3

        for k=1:3

            str=[' Ke= ' num2str(Ke(i)) ' Fe= ' num2str(Fe(j)) ' a= ' num2str(a(k))];

            disp(str);

            if(GCijk(i,j,k)<=GPijk(i,j,k)& GCijk(i,j,k)<=GTijk(i,j,k))

```

ANNEXES

```
% if(GCijk(i,j,k)<=GTijk(i,j,k))

str1=['GC = ' num2str(GCijk(i,j,k)) 'GP = ' num2str(GPijk(i,j,k)) 'GT= '
num2str(GTijk(i,j,k)) ];

disp('Cube meilleur modele');

disp(str1);

end

if(GPijk(i,j,k)<=GTijk(i,j,k)& GPijk(i,j,k)<=GCijk(i,j,k))

disp('Parallélépipède meilleur modele');

str1=['GP = ' num2str(GPijk(i,j,k)) 'GC = ' num2str(GCijk(i,j,k)) 'GT= '
num2str(GTijk(i,j,k)) ' LPijk = ' num2str(LPijk(i,j,k)) ' HPijk = ' num2str(HPijk(i,j,k)) ' lPijk = '
num2str(lPijk(i,j,k))];

disp(str1);

end

if(GTijk(i,j,k)<=GPijk(i,j,k)& GTijk(i,j,k)<=GCijk(i,j,k))

disp('Tour meilleur modele');

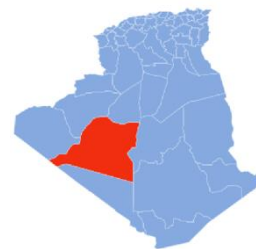
str1=['GT = ' num2str(GTijk(i,j,k)) 'GP = ' num2str(GPijk(i,j,k)) 'GC = '
num2str(GCijk(i,j,k)) ' LTijk = ' num2str(LTijk(i,j,k)) ' HTijk = ' num2str(HTijk(i,j,k)) ' lTijk = '
num2str(lTijk(i,j,k))];

disp(str1);
```

ANNEXES

Annexes C : application de la simulation par regions (19 simulation)

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :ADRAR(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
ADRAR	27.52 N	17W	264	25.5	45.2	1027	750

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.40	5.98	5.69	21.97	8.76	17.53	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.57	6.35	6.35	23.43	8.49	16.97	14.8	15.21	14.89
0.80	7.00	0.20	5.78	6.82	6.78	25.25	8.18	16.35	13.9	17.36	13.94
0.80	15.00	0.55	5.97	7.26	7.14	26.90	7.92	15.84	13.2	19.27	13.24
0.80	15.00	0.80	6.32	8.17	7.79	30.15	7.48	14.96	12.1	22.93	12.13
0.80	10.00	0.55	6.35	8.27	7.85	30.47	7.44	14.88	12.0	23.28	12.04
0.80	7.00	0.55	6.79	9.56	8.61	34.77	6.97	13.93	10.9	27.98	10.98
0.80	10.00	0.80	6.81	9.64	8.65	35.02	6.94	13.88	10.9	28.26	10.93
0.80	7.00	0.80	7.35	11.51	9.55	40.83	6.43	12.86	9.90	34.44	9.90
1.30	15.00	0.20	8.77	9.72	9.25	21.97	8.76	17.53	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	9.05	10.32	10.32	23.43	8.49	16.97	14.8	15.21	14.89
1.30	7.00	0.20	9.40	11.08	11.02	25.25	8.18	16.35	13.9	17.36	13.94
1.30	15.00	0.55	9.70	11.80	11.61	26.90	7.92	15.84	13.2	19.27	13.24
1.30	15.00	0.80	10.27	13.28	12.67	30.15	7.48	14.96	12.1	22.93	12.13
1.30	10.00	0.55	10.32	13.43	12.76	30.47	7.44	14.88	12.0	23.28	12.04
1.30	7.00	0.55	11.03	15.53	13.99	34.77	6.97	13.93	10.9	27.98	10.98
1.30	10.00	0.80	11.07	15.66	14.06	35.02	6.94	13.88	10.9	28.26	10.93
1.30	7.00	0.80	11.95	18.71	15.52	40.83	6.43	12.86	9.90	34.44	9.90
2.00	15.00	0.20	13.49	14.96	14.22	21.97	8.76	17.53	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	13.93	15.87	15.87	23.43	8.49	16.97	14.8	15.21	14.89
2.00	7.00	0.20	14.46	17.05	16.95	25.25	8.18	16.35	13.9	17.36	13.94
2.00	15.00	0.55	14.92	18.15	17.86	26.90	7.92	15.84	13.2	19.27	13.24
2.00	15.00	0.80	15.80	20.44	19.49	30.15	7.48	14.96	12.1	22.93	12.13
2.00	10.00	0.55	15.88	20.66	19.63	30.47	7.44	14.88	12.0	23.28	12.04
2.00	7.00	0.55	16.97	23.89	21.53	34.77	6.97	13.93	10.9	27.98	10.98
2.00	10.00	0.80	17.03	24.09	21.63	35.02	6.94	13.88	10.9	28.26	10.93
2.00	7.00	0.80	18.39	28.78	23.88	40.83	6.43	12.86	9.90	34.44	9.90

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	21.97	8.76	17.53	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	23.43	8.49	16.97	14.89	15.21	14.89
7.00	0.20	25.25	8.18	16.35	13.94	17.36	13.94
15.00	0.55	26.90	7.92	15.84	13.24	19.27	13.24
15.00	0.80	30.15	7.48	14.96	12.13	22.93	12.13
10.00	0.55	30.47	7.44	14.88	12.04	23.28	12.04
7.00	0.55	34.77	6.97	13.93	10.98	27.98	10.98
10.00	0.80	35.02	6.94	13.88	10.93	28.26	10.93
7.00	0.80	40.83	6.43	12.86	9.90	34.44	9.90

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

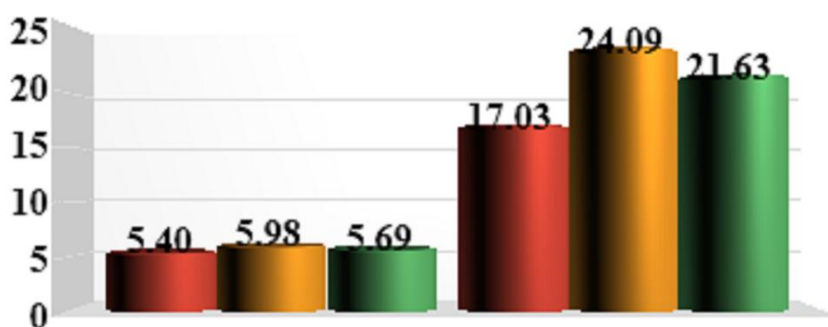
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.40	5.98	5.69	21.97	8.76	17.53	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	17.03	24.09	21.63	35.02	6.94	13.88	10.93	28.26	10.93
				28.78							



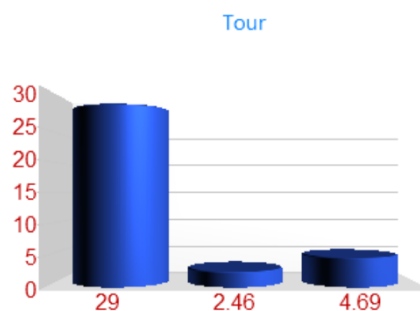
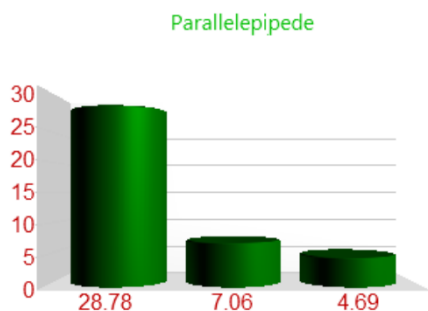
MIN

MAX

ANNEXES

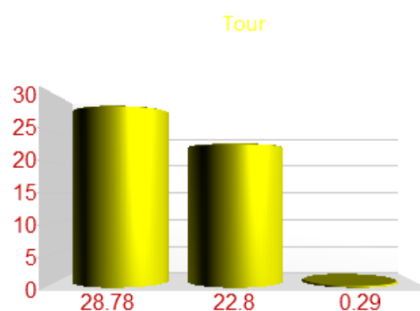
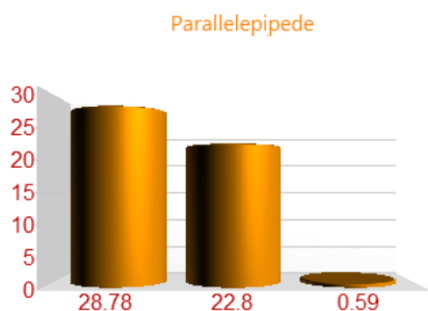
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7.06	-24.53	-2.46	-8.54
Ke,a,Fe	-4.69	-16.31	-4.69	-16.31



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22.80	-79.21	-22.80	-79.21
Géométrie et H,L,l	-0.59	-2.04	-0.29	-1.02

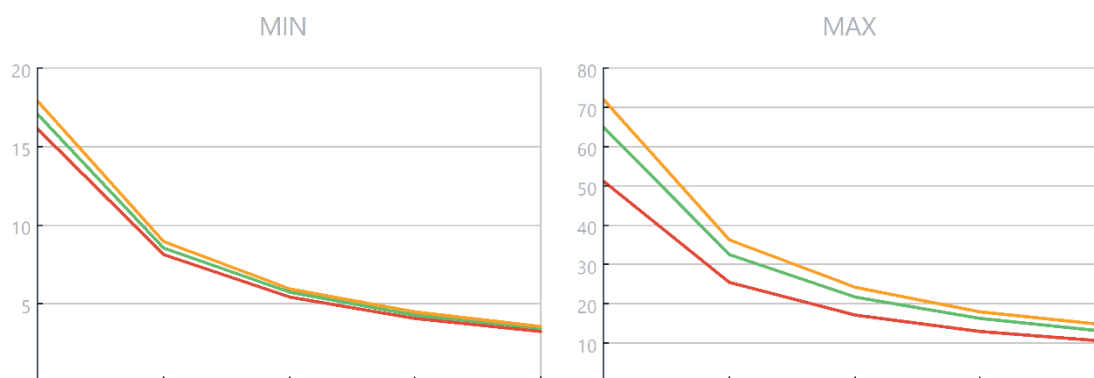


ANNEXES

Région de ADRAR

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	16.19	17.95	17.07	51.09	72.26	64.89	0.00	0.00
1000	8.09	8.98	8.53	25.54	36.13	32.45	-50.00	-50.00
3375	5.40	5.98	5.69	17.03	24.09	21.63	-66.67	-66.67
8000	4.05	4.49	4.27	12.77	18.07	16.22	-75.00	-75.00
15625	3.24	3.59	3.41	10.22	14.45	12.98	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.04	-24.53	-16.31	-79.21	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.02	-8.54	-16.31	-79.21	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :BECHAR(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
BECHAR	31.38 N	2.15 W	806	21.55	39.9	1002	761

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.06	5.61	5.33	22.24	8.71	17.42	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.23	5.96	5.96	23.82	8.42	16.83	14.7	15.46	14.78
0.80	7.00	0.20	5.44	6.42	6.38	25.77	8.09	16.18	13.8	17.68	13.81
0.80	15.00	0.55	5.63	6.85	6.72	27.55	7.83	15.65	13.1	19.67	13.10
0.80	15.00	0.80	5.97	7.74	7.34	31.05	7.37	14.74	11.9	23.46	11.99
0.80	10.00	0.55	6.01	7.83	7.40	31.39	7.33	14.66	11.9	23.82	11.90
0.80	7.00	0.55	6.43	9.09	8.12	36.00	6.85	13.69	10.8	28.69	10.85
0.80	10.00	0.80	6.46	9.17	8.16	36.27	6.82	13.64	10.7	28.97	10.79
0.80	7.00	0.80	6.99	11.00	9.02	42.48	6.30	12.61	9.77	35.37	9.77
1.30	15.00	0.20	8.22	9.11	8.66	22.24	8.71	17.42	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.50	9.69	9.69	23.82	8.42	16.83	14.7	15.46	14.78
1.30	7.00	0.20	8.84	10.43	10.36	25.77	8.09	16.18	13.8	17.68	13.81
1.30	15.00	0.55	9.14	11.14	10.93	27.55	7.83	15.65	13.1	19.67	13.10
1.30	15.00	0.80	9.71	12.58	11.93	31.05	7.37	14.74	11.9	23.46	11.99
1.30	10.00	0.55	9.76	12.73	12.03	31.39	7.33	14.66	11.9	23.82	11.90
1.30	7.00	0.55	10.45	14.77	13.20	36.00	6.85	13.69	10.8	28.69	10.85
1.30	10.00	0.80	10.49	14.90	13.26	36.27	6.82	13.64	10.7	28.97	10.79
1.30	7.00	0.80	11.35	17.88	14.65	42.48	6.30	12.61	9.77	35.37	9.77
2.00	15.00	0.20	12.64	14.01	13.33	22.24	8.71	17.42	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	13.08	14.91	14.90	23.82	8.42	16.83	14.7	15.46	14.78
2.00	7.00	0.20	13.61	16.05	15.94	25.77	8.09	16.18	13.8	17.68	13.81
2.00	15.00	0.55	14.07	17.13	16.81	27.55	7.83	15.65	13.1	19.67	13.10
2.00	15.00	0.80	14.93	19.36	18.36	31.05	7.37	14.74	11.9	23.46	11.99
2.00	10.00	0.55	15.02	19.58	18.50	31.39	7.33	14.66	11.9	23.82	11.90
2.00	7.00	0.55	16.08	22.73	20.30	36.00	6.85	13.69	10.8	28.69	10.85
2.00	10.00	0.80	16.14	22.92	20.40	36.27	6.82	13.64	10.7	28.97	10.79
2.00	7.00	0.80	17.47	27.50	22.54	42.48	6.30	12.61	9.77	35.37	9.77

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.24	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	23.82	8.42	16.83	14.78	15.46	14.78
7.00	0.20	25.77	8.09	16.18	13.81	17.68	13.81
15.00	0.55	27.55	7.83	15.65	13.10	19.67	13.10
15.00	0.80	31.05	7.37	14.74	11.99	23.46	11.99
10.00	0.55	31.39	7.33	14.66	11.90	23.82	11.90
7.00	0.55	36.00	6.85	13.69	10.85	28.69	10.85
10.00	0.80	36.27	6.82	13.64	10.79	28.97	10.79
7.00	0.80	42.48	6.30	12.61	9.77	35.37	9.77

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

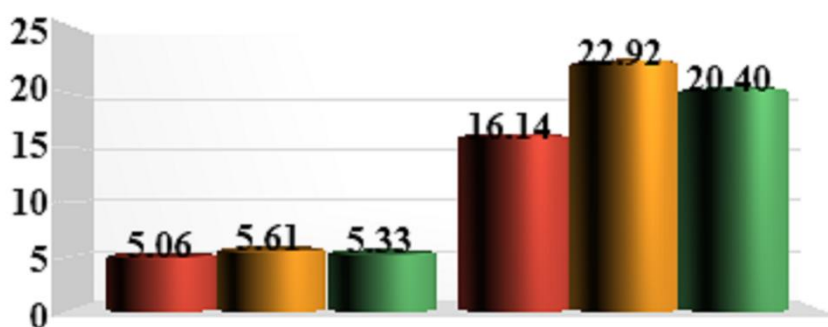
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.06	5.61	5.33	22.24	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	16.14	22.92	20.40	36.27	6.82	13.64	10.79	28.97	10.79
				27.50							



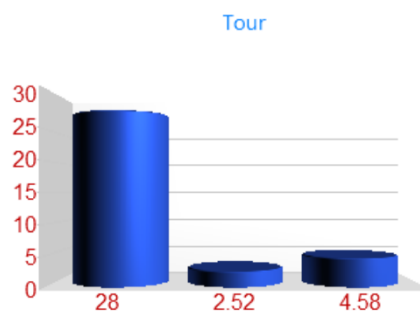
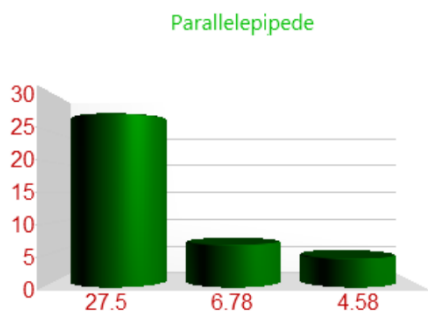
MIN

MAX

ANNEXES

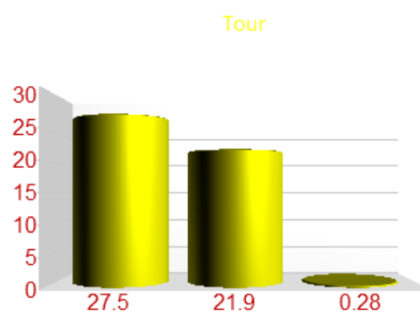
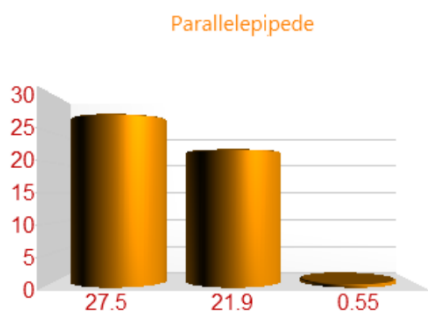
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.78	-24.65	-2.52	-9.16
Ke,a,Fe	-4.58	-16.66	-4.58	-16.66



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.90	-79.62	-21.90	-79.62
Géométrie et H,L,l	-0.55	-2.00	-0.28	-1.00

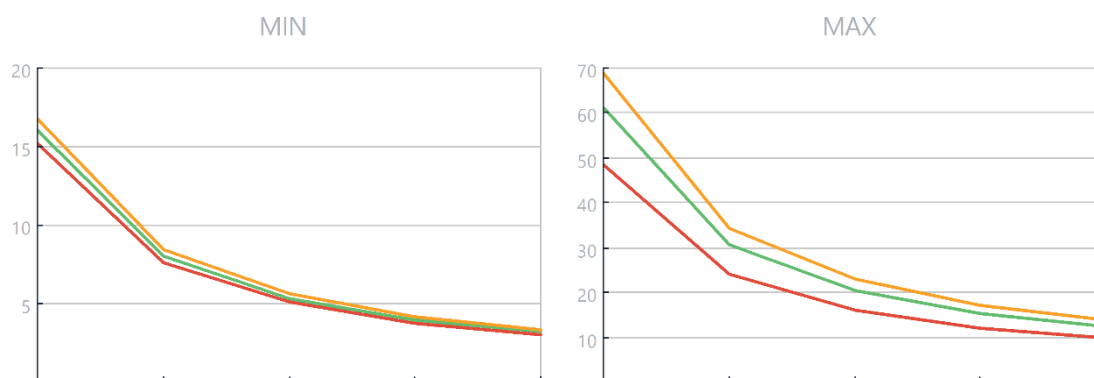


ANNEXES

Région de BECHAR

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15.17	16.82	15.99	48.42	68.76	61.20	0.00	0.00
1000	7.58	8.41	8.00	24.21	34.38	30.60	-50.00	-50.00
3375	5.06	5.61	5.33	16.14	22.92	20.40	-66.67	-66.67
8000	3.79	4.20	4.00	12.11	17.19	15.30	-75.00	-75.00
15625	3.03	3.36	3.20	9.68	13.75	12.24	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.00	-24.65	-16.66	-79.62	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.00	-9.16	-16.66	-79.62	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :BENI ABBES(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
BENI ABBES	30.05 N	2.06 W	483	22.85	42.7	1008	800

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.46	6.01	5.73	22.15	8.73	17.46	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.64	6.37	6.37	23.69	8.44	16.88	14.9	15.08	14.96
0.80	7.00	0.20	5.87	6.83	6.80	25.59	8.12	16.24	14.0	17.18	14.02
0.80	15.00	0.55	6.06	7.26	7.16	27.33	7.86	15.72	13.3	19.05	13.31
0.80	15.00	0.80	6.43	8.16	7.80	30.74	7.41	14.82	12.2	22.64	12.21
0.80	10.00	0.55	6.46	8.25	7.86	31.07	7.37	14.74	12.1	22.98	12.12
0.80	7.00	0.55	6.92	9.52	8.62	35.58	6.89	13.77	11.0	27.59	11.06
0.80	10.00	0.80	6.94	9.59	8.66	35.84	6.86	13.72	11.0	27.86	11.01
0.80	7.00	0.80	7.51	11.44	9.55	41.92	6.35	12.69	9.97	33.93	9.97
1.30	15.00	0.20	8.87	9.77	9.32	22.15	8.73	17.46	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	9.17	10.35	10.35	23.69	8.44	16.88	14.9	15.08	14.96
1.30	7.00	0.20	9.53	11.10	11.05	25.59	8.12	16.24	14.0	17.18	14.02
1.30	15.00	0.55	9.85	11.80	11.63	27.33	7.86	15.72	13.3	19.05	13.31
1.30	15.00	0.80	10.45	13.26	12.68	30.74	7.41	14.82	12.2	22.64	12.21
1.30	10.00	0.55	10.51	13.41	12.78	31.07	7.37	14.74	12.1	22.98	12.12
1.30	7.00	0.55	11.24	15.47	14.00	35.58	6.89	13.77	11.0	27.59	11.06
1.30	10.00	0.80	11.28	15.59	14.07	35.84	6.86	13.72	11.0	27.86	11.01
1.30	7.00	0.80	12.20	18.59	15.52	41.92	6.35	12.69	9.97	33.93	9.97
2.00	15.00	0.20	13.64	15.03	14.33	22.15	8.73	17.46	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	14.11	15.92	15.92	23.69	8.44	16.88	14.9	15.08	14.96
2.00	7.00	0.20	14.67	17.07	16.99	25.59	8.12	16.24	14.0	17.18	14.02
2.00	15.00	0.55	15.16	18.16	17.89	27.33	7.86	15.72	13.3	19.05	13.31
2.00	15.00	0.80	16.08	20.40	19.51	30.74	7.41	14.82	12.2	22.64	12.21
2.00	10.00	0.55	16.16	20.63	19.66	31.07	7.37	14.74	12.1	22.98	12.12
2.00	7.00	0.55	17.29	23.79	21.54	35.58	6.89	13.77	11.0	27.59	11.06
2.00	10.00	0.80	17.36	23.99	21.64	35.84	6.86	13.72	11.0	27.86	11.01
2.00	7.00	0.80	18.77	28.59	23.88	41.92	6.35	12.69	9.97	33.93	9.97

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.15	8.73	17.46	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	23.69	8.44	16.88	14.96	15.08	14.96
7.00	0.20	25.59	8.12	16.24	14.02	17.18	14.02
15.00	0.55	27.33	7.86	15.72	13.31	19.05	13.31
15.00	0.80	30.74	7.41	14.82	12.21	22.64	12.21
10.00	0.55	31.07	7.37	14.74	12.12	22.98	12.12
7.00	0.55	35.58	6.89	13.77	11.06	27.59	11.06
10.00	0.80	35.84	6.86	13.72	11.01	27.86	11.01
7.00	0.80	41.92	6.35	12.69	9.97	33.93	9.97

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

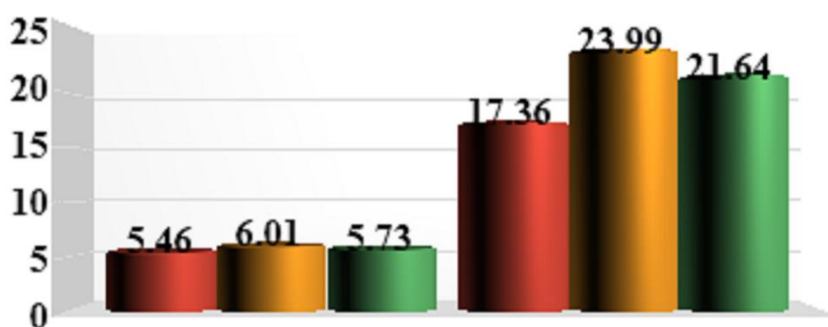
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.46	6.01	5.73	22.15	8.73	17.46	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	17.36	23.99	21.64	35.84	6.86	13.72	11.01	27.86	11.01
				28.59							



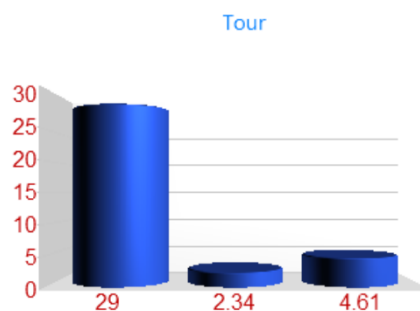
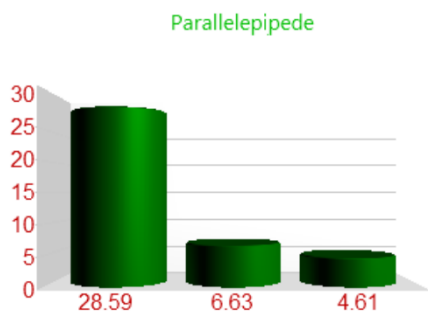
MIN

MAX

ANNEXES

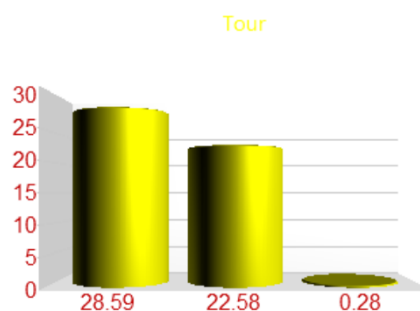
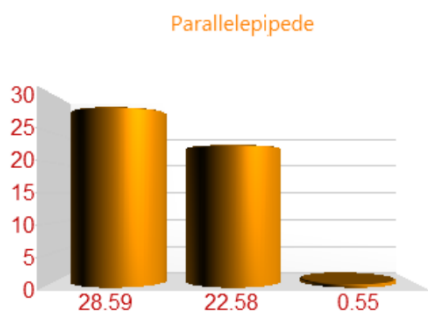
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.63	-23.18	-2.34	-8.20
Ke,a,Fe	-4.61	-16.12	-4.61	-16.12



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22.58	-78.98	-22.58	-78.98
Géométrie et H,L,l	-0.55	-1.93	-0.28	-0.97

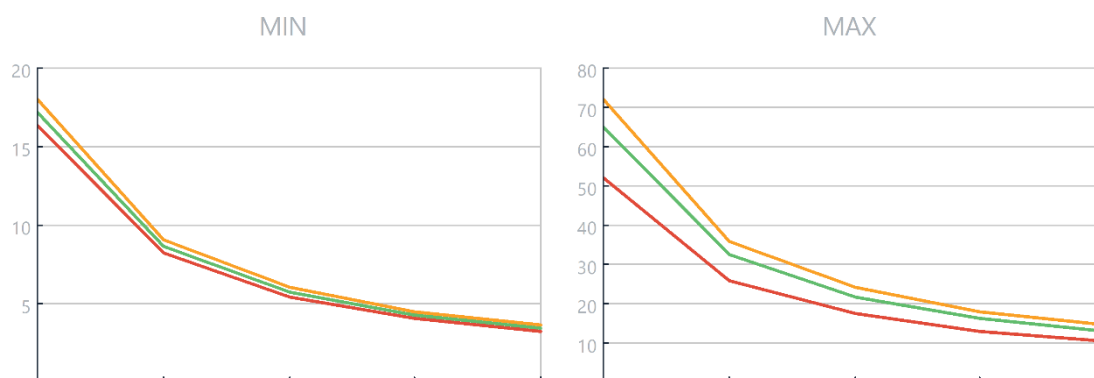


ANNEXES

Région de BENI ABBES

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	16.37	18.03	17.20	52.07	71.96	64.93	0.00	0.00
1000	8.19	9.02	8.60	26.04	35.98	32.46	-50.00	-50.00
3375	5.46	6.01	5.73	17.36	23.99	21.64	-66.67	-66.67
8000	4.09	4.51	4.30	13.02	17.99	16.23	-75.00	-75.00
15625	3.27	3.61	3.44	10.41	14.39	12.99	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.93	-23.18	-16.12	-78.98	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.97	-8.20	-16.12	-78.98	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :BISKRA(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
BISKRA	34.48 N	5.44E	81	22	39.2	934	761

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.76	5.25	5.01	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.94	5.58	5.58	24.13	8.36	16.73	14.7	15.43	14.79
0.80	7.00	0.20	5.14	6.01	5.97	26.20	8.03	16.05	13.8	17.64	13.83
0.80	15.00	0.55	5.32	6.41	6.29	28.08	7.75	15.50	13.1	19.62	13.12
0.80	15.00	0.80	5.66	7.24	6.87	31.77	7.29	14.58	12.0	23.40	12.01
0.80	10.00	0.55	5.70	7.33	6.93	32.13	7.25	14.49	11.9	23.76	11.92
0.80	7.00	0.55	6.11	8.50	7.60	36.99	6.75	13.51	10.8	28.60	10.86
0.80	10.00	0.80	6.14	8.57	7.64	37.27	6.73	13.46	10.8	28.88	10.81
0.80	7.00	0.80	6.65	10.28	8.44	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78
1.30	15.00	0.20	7.74	8.53	8.14	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.02	9.07	9.07	24.13	8.36	16.73	14.7	15.43	14.79
1.30	7.00	0.20	8.36	9.77	9.70	26.20	8.03	16.05	13.8	17.64	13.83
1.30	15.00	0.55	8.65	10.42	10.23	28.08	7.75	15.50	13.1	19.62	13.12
1.30	15.00	0.80	9.20	11.77	11.17	31.77	7.29	14.58	12.0	23.40	12.01
1.30	10.00	0.55	9.26	11.91	11.26	32.13	7.25	14.49	11.9	23.76	11.92
1.30	7.00	0.55	9.93	13.81	12.35	36.99	6.75	13.51	10.8	28.60	10.86
1.30	10.00	0.80	9.97	13.93	12.41	37.27	6.73	13.46	10.8	28.88	10.81
1.30	7.00	0.80	10.81	16.70	13.71	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78
2.00	15.00	0.20	11.90	13.13	12.52	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.34	13.96	13.95	24.13	8.36	16.73	14.7	15.43	14.79
2.00	7.00	0.20	12.86	15.02	14.92	26.20	8.03	16.05	13.8	17.64	13.83
2.00	15.00	0.55	13.31	16.03	15.74	28.08	7.75	15.50	13.1	19.62	13.12
2.00	15.00	0.80	14.16	18.11	17.19	31.77	7.29	14.58	12.0	23.40	12.01
2.00	10.00	0.55	14.24	18.32	17.32	32.13	7.25	14.49	11.9	23.76	11.92
2.00	7.00	0.55	15.28	21.25	19.00	36.99	6.75	13.51	10.8	28.60	10.86
2.00	10.00	0.80	15.34	21.43	19.09	37.27	6.73	13.46	10.8	28.88	10.81
2.00	7.00	0.80	16.63	25.70	21.09	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.45	8.67	17.34	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.13	8.36	16.73	14.79	15.43	14.79
7.00	0.20	26.20	8.03	16.05	13.83	17.64	13.83
15.00	0.55	28.08	7.75	15.50	13.12	19.62	13.12
15.00	0.80	31.77	7.29	14.58	12.01	23.40	12.01
10.00	0.55	32.13	7.25	14.49	11.92	23.76	11.92
7.00	0.55	36.99	6.75	13.51	10.86	28.60	10.86
10.00	0.80	37.27	6.73	13.46	10.81	28.88	10.81
7.00	0.80	43.80	6.21	12.41	9.78	35.25	9.78

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

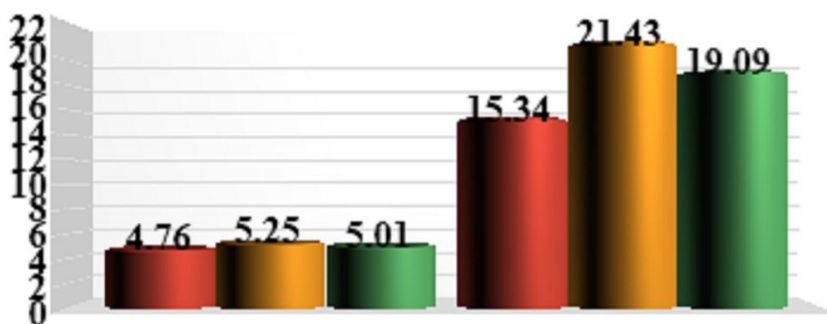
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L , H , l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.76	5.25	5.01	22.45	8.67	17.34	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	15.34	21.43	19.09	37.27	6.73	13.46	10.81	28.88	10.81
				25.70							



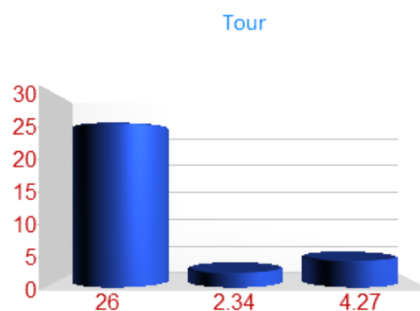
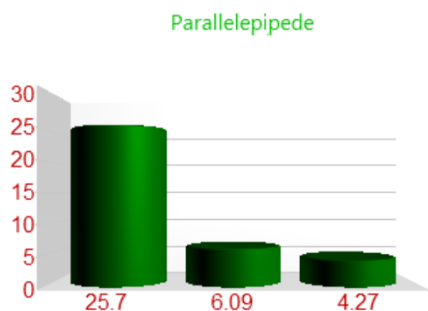
MIN

MAX

ANNEXES

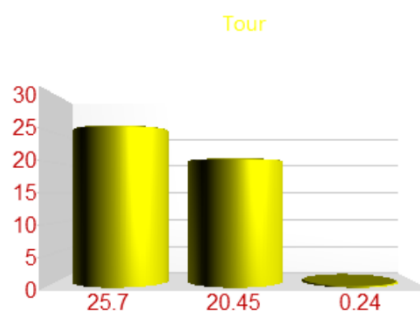
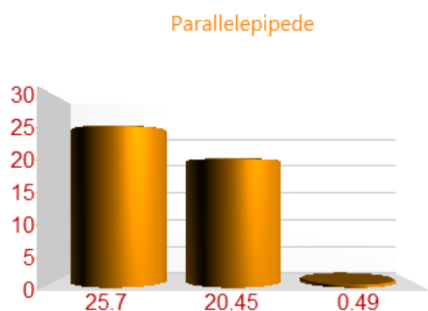
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.09	-23.70	-2.34	-9.09
Ke,a,Fe	-4.27	-16.61	-4.27	-16.61



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-20.45	-79.57	-20.45	-79.57
Géométrie et H,L,l	-0.49	-1.90	-0.24	-0.95

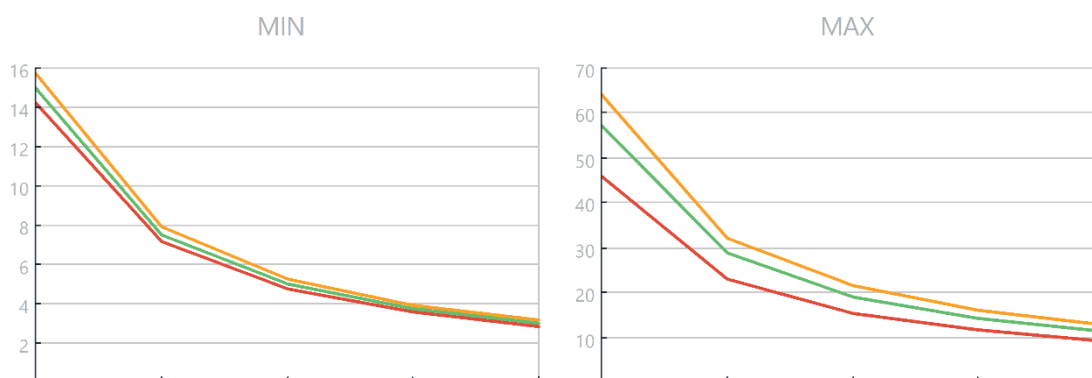


ANNEXES

Région de BISKRA

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	14.28	15.75	15.02	46.01	64.29	57.28	0.00	0.00
1000	7.14	7.88	7.51	23.01	32.14	28.64	-50.00	-50.00
3375	4.76	5.25	5.01	15.34	21.43	19.09	-66.67	-66.67
8000	3.57	3.94	3.75	11.50	16.07	14.32	-75.00	-75.00
15625	2.86	3.15	3.00	9.20	12.86	11.46	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.90	-23.70	-16.61	-79.57	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.95	-9.09	-16.61	-79.57	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :BORDJ BAJI MOKHTAR(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
BORDJ BAJI MOKHTAR	21.19 N	56.46 E	401	25.65	42.5	1033	762

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.67	5.23	4.95	22.53	8.65	17.31	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.85	5.60	5.59	24.24	8.34	16.69	14.4	16.11	14.47
0.80	7.00	0.20	5.05	6.07	6.00	26.35	8.00	16.01	13.4	18.55	13.49
0.80	15.00	0.55	5.23	6.51	6.34	28.27	7.73	15.45	12.7	20.72	12.76
0.80	15.00	0.80	5.57	7.43	6.94	32.03	7.26	14.52	11.6	24.87	11.65
0.80	10.00	0.55	5.60	7.52	7.00	32.39	7.22	14.44	11.5	25.26	11.56
0.80	7.00	0.55	6.02	8.82	7.70	37.33	6.72	13.45	10.5	30.56	10.51
0.80	10.00	0.80	6.04	8.90	7.74	37.62	6.70	13.39	10.4	30.87	10.46
0.80	7.00	0.80	6.55	10.79	8.56	44.26	6.17	12.35	9.45	37.82	9.45
1.30	15.00	0.20	7.59	8.50	8.04	22.53	8.65	17.31	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	7.88	9.09	9.08	24.24	8.34	16.69	14.4	16.11	14.47
1.30	7.00	0.20	8.21	9.86	9.75	26.35	8.00	16.01	13.4	18.55	13.49
1.30	15.00	0.55	8.50	10.58	10.30	28.27	7.73	15.45	12.7	20.72	12.76
1.30	15.00	0.80	9.05	12.08	11.28	32.03	7.26	14.52	11.6	24.87	11.65
1.30	10.00	0.55	9.10	12.23	11.37	32.39	7.22	14.44	11.5	25.26	11.56
1.30	7.00	0.55	9.77	14.34	12.51	37.33	6.72	13.45	10.5	30.56	10.51
1.30	10.00	0.80	9.81	14.46	12.57	37.62	6.70	13.39	10.4	30.87	10.46
1.30	7.00	0.80	10.64	17.53	13.91	44.26	6.17	12.35	9.45	37.82	9.45
2.00	15.00	0.20	11.68	13.07	12.38	22.53	8.65	17.31	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.12	13.99	13.97	24.24	8.34	16.69	14.4	16.11	14.47
2.00	7.00	0.20	12.63	15.17	14.99	26.35	8.00	16.01	13.4	18.55	13.49
2.00	15.00	0.55	13.08	16.28	15.84	28.27	7.73	15.45	12.7	20.72	12.76
2.00	15.00	0.80	13.93	18.58	17.36	32.03	7.26	14.52	11.6	24.87	11.65
2.00	10.00	0.55	14.01	18.81	17.49	32.39	7.22	14.44	11.5	25.26	11.56
2.00	7.00	0.55	15.04	22.06	19.24	37.33	6.72	13.45	10.5	30.56	10.51
2.00	10.00	0.80	15.10	22.25	19.34	37.62	6.70	13.39	10.4	30.87	10.46
2.00	7.00	0.80	16.37	26.97	21.40	44.26	6.17	12.35	9.45	37.82	9.45

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.53	8.65	17.31	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.24	8.34	16.69	14.47	16.11	14.47
7.00	0.20	26.35	8.00	16.01	13.49	18.55	13.49
15.00	0.55	28.27	7.73	15.45	12.76	20.72	12.76
15.00	0.80	32.03	7.26	14.52	11.65	24.87	11.65
10.00	0.55	32.39	7.22	14.44	11.56	25.26	11.56
7.00	0.55	37.33	6.72	13.45	10.51	30.56	10.51
10.00	0.80	37.62	6.70	13.39	10.46	30.87	10.46
7.00	0.80	44.26	6.17	12.35	9.45	37.82	9.45

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

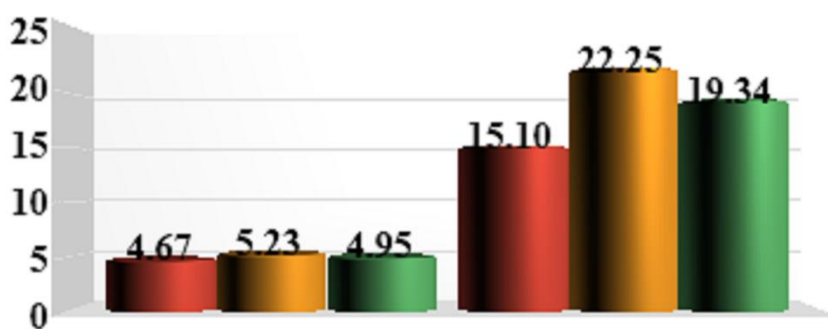
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.67	5.23	4.95	22.53	8.65	17.31	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	15.10	22.25	19.34	37.62	6.70	13.39	10.46	30.87	10.46
				26.97							



MIN

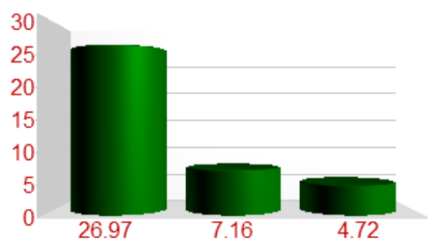
MAX

ANNEXES

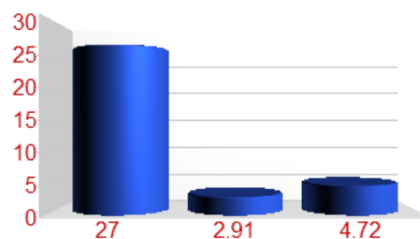
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7.16	-26.53	-2.91	-10.80
Ke,a,Fe	-4.72	-17.51	-4.72	-17.51

Parallelepiped



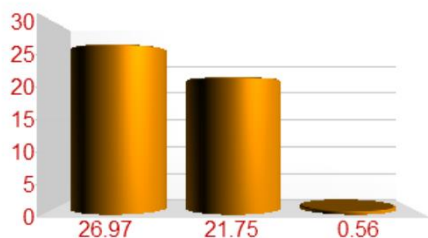
Tour



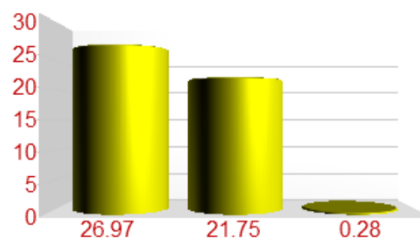
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.75	-80.62	-21.75	-80.62
Géométrie et H,L,l	-0.56	-2.06	-0.28	-1.03

Parallelepiped



Tour

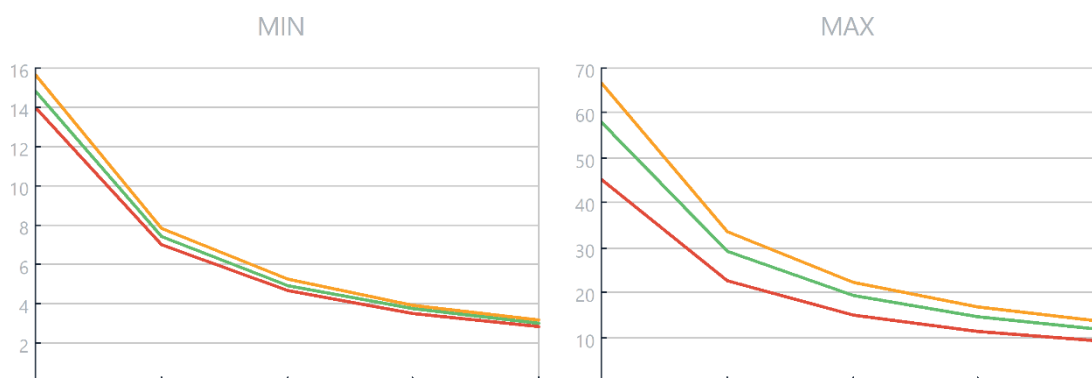


ANNEXES

Région de BORDJ BAJI MOKHTAR

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	14.02	15.68	14.85	45.29	66.76	58.01	0.00	0.00
1000	7.01	7.84	7.43	22.64	33.38	29.01	-50.00	-50.00
3375	4.67	5.23	4.95	15.10	22.25	19.34	-66.67	-66.67
8000	3.50	3.92	3.71	11.32	16.69	14.50	-75.00	-75.00
15625	2.80	3.14	2.97	9.06	13.35	11.60	-80.00	-80.00

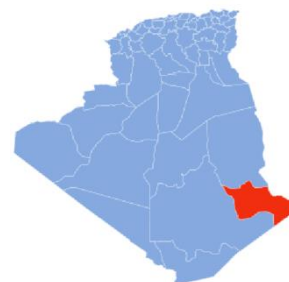


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.06	-26.53	-17.51	-80.62	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.03	-10.80	-17.51	-80.62	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :DJANET(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
DJANET	24.18 N	9E	1050	19.5	35.5	1036	825

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.48	5.00	4.74	23.01	8.56	17.13	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.67	5.37	5.36	24.94	8.23	16.45	14.3	16.44	14.33
0.80	7.00	0.20	4.88	5.85	5.76	27.30	7.86	15.72	13.3	18.99	13.33
0.80	15.00	0.55	5.07	6.29	6.10	29.45	7.57	15.14	12.6	21.26	12.60
0.80	15.00	0.80	5.42	7.21	6.69	33.64	7.08	14.16	11.4	25.58	11.49
0.80	10.00	0.55	5.45	7.31	6.74	34.05	7.04	14.08	11.4	25.99	11.40
0.80	7.00	0.55	5.88	8.61	7.42	39.54	6.53	13.07	10.3	31.50	10.35
0.80	10.00	0.80	5.90	8.69	7.46	39.86	6.51	13.01	10.3	31.82	10.30
0.80	7.00	0.80	6.42	10.58	8.26	47.20	5.98	11.96	9.30	39.05	9.30
1.30	15.00	0.20	7.29	8.13	7.71	23.01	8.56	17.13	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	7.59	8.73	8.71	24.94	8.23	16.45	14.3	16.44	14.33
1.30	7.00	0.20	7.94	9.50	9.36	27.30	7.86	15.72	13.3	18.99	13.33
1.30	15.00	0.55	8.24	10.23	9.90	29.45	7.57	15.14	12.6	21.26	12.60
1.30	15.00	0.80	8.81	11.72	10.86	33.64	7.08	14.16	11.4	25.58	11.49
1.30	10.00	0.55	8.86	11.87	10.95	34.05	7.04	14.08	11.4	25.99	11.40
1.30	7.00	0.55	9.55	13.99	12.06	39.54	6.53	13.07	10.3	31.50	10.35
1.30	10.00	0.80	9.59	14.12	12.12	39.86	6.51	13.01	10.3	31.82	10.30
1.30	7.00	0.80	10.44	17.19	13.42	47.20	5.98	11.96	9.30	39.05	9.30
2.00	15.00	0.20	11.21	12.51	11.86	23.01	8.56	17.13	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	11.67	13.43	13.40	24.94	8.23	16.45	14.3	16.44	14.33
2.00	7.00	0.20	12.21	14.61	14.40	27.30	7.86	15.72	13.3	18.99	13.33
2.00	15.00	0.55	12.68	15.73	15.24	29.45	7.57	15.14	12.6	21.26	12.60
2.00	15.00	0.80	13.55	18.03	16.71	33.64	7.08	14.16	11.4	25.58	11.49
2.00	10.00	0.55	13.64	18.26	16.85	34.05	7.04	14.08	11.4	25.99	11.40
2.00	7.00	0.55	14.69	21.52	18.55	39.54	6.53	13.07	10.3	31.50	10.35
2.00	10.00	0.80	14.75	21.72	18.64	39.86	6.51	13.01	10.3	31.82	10.30
2.00	7.00	0.80	16.05	26.45	20.65	47.20	5.98	11.96	9.30	39.05	9.30

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	23.01	8.56	17.13	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.94	8.23	16.45	14.33	16.44	14.33
7.00	0.20	27.30	7.86	15.72	13.33	18.99	13.33
15.00	0.55	29.45	7.57	15.14	12.60	21.26	12.60
15.00	0.80	33.64	7.08	14.16	11.49	25.58	11.49
10.00	0.55	34.05	7.04	14.08	11.40	25.99	11.40
7.00	0.55	39.54	6.53	13.07	10.35	31.50	10.35
10.00	0.80	39.86	6.51	13.01	10.30	31.82	10.30
7.00	0.80	47.20	5.98	11.96	9.30	39.05	9.30

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

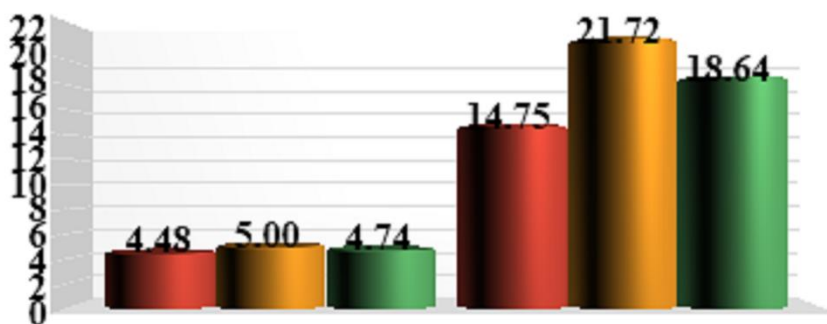
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.48	5.00	4.74	23.01	8.56	17.13	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	14.75	21.72	18.64	39.86	6.51	13.01	10.30	31.82	10.30
				26.45							



MIN

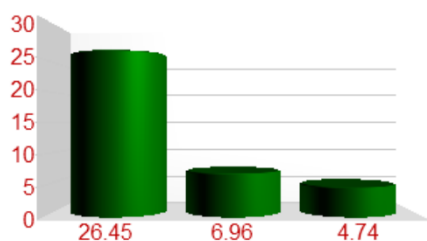
MAX

ANNEXES

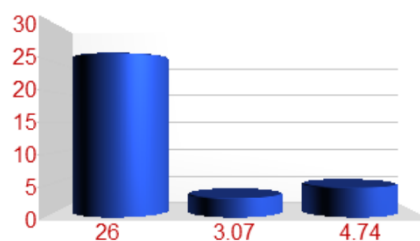
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.96	-26.33	-3.07	-11.62
Ke,a,Fe	-4.74	-17.90	-4.74	-17.90

Parallelepiped



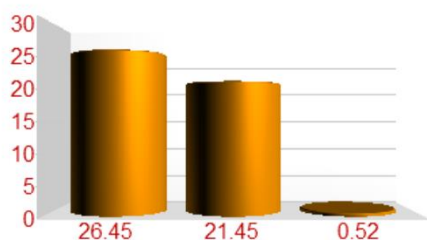
Tour



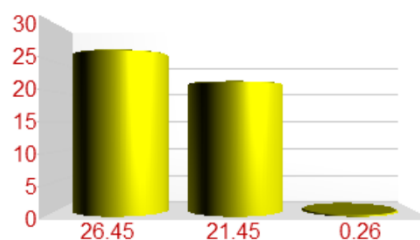
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.45	-81.09	-21.45	-81.09
Géométrie et H,L,l	-0.52	-1.96	-0.26	-0.98

Parallelepiped



Tour

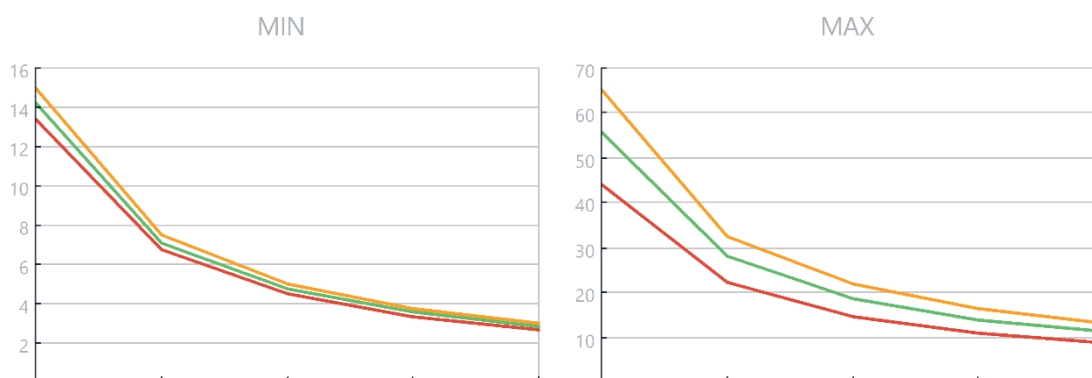


ANNEXES

Région de DJANET

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	13.45	15.01	14.23	44.26	65.15	55.93	0.00	0.00
1000	6.73	7.51	7.12	22.13	32.58	27.97	-50.00	-50.00
3375	4.48	5.00	4.74	14.75	21.72	18.64	-66.67	-66.67
8000	3.36	3.75	3.56	11.07	16.29	13.98	-75.00	-75.00
15625	2.69	3.00	2.85	8.85	13.03	11.19	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.96	-26.33	-17.90	-81.09	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.98	-11.62	-17.90	-81.09	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :EL M GHAIR (3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
EL M GHAIR	33.57 N	5.55E	2	21.9	40.8	961	772

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.20	5.72	5.46	22.19	8.72	17.44	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.38	6.07	6.07	23.75	8.43	16.86	14.9	15.08	14.96
0.80	7.00	0.20	5.60	6.50	6.47	25.68	8.11	16.21	14.0	17.19	14.01
0.80	15.00	0.55	5.78	6.92	6.82	27.43	7.84	15.69	13.3	19.06	13.31
0.80	15.00	0.80	6.14	7.77	7.43	30.89	7.39	14.78	12.2	22.65	12.21
0.80	10.00	0.55	6.17	7.86	7.49	31.22	7.35	14.70	12.1	23.00	12.11
0.80	7.00	0.55	6.60	9.07	8.21	35.78	6.87	13.74	11.0	27.61	11.06
0.80	10.00	0.80	6.63	9.14	8.25	36.04	6.84	13.68	11.0	27.88	11.00
0.80	7.00	0.80	7.17	10.90	9.10	42.18	6.33	12.65	9.97	33.95	9.97
1.30	15.00	0.20	8.45	9.30	8.88	22.19	8.72	17.44	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.74	9.86	9.86	23.75	8.43	16.86	14.9	15.08	14.96
1.30	7.00	0.20	9.09	10.57	10.52	25.68	8.11	16.21	14.0	17.19	14.01
1.30	15.00	0.55	9.40	11.24	11.08	27.43	7.84	15.69	13.3	19.06	13.31
1.30	15.00	0.80	9.97	12.63	12.08	30.89	7.39	14.78	12.2	22.65	12.21
1.30	10.00	0.55	10.03	12.77	12.17	31.22	7.35	14.70	12.1	23.00	12.11
1.30	7.00	0.55	10.73	14.73	13.33	35.78	6.87	13.74	11.0	27.61	11.06
1.30	10.00	0.80	10.77	14.85	13.40	36.04	6.84	13.68	11.0	27.88	11.00
1.30	7.00	0.80	11.65	17.71	14.79	42.18	6.33	12.65	9.97	33.95	9.97
2.00	15.00	0.20	13.00	14.31	13.66	22.19	8.72	17.44	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	13.45	15.16	15.16	23.75	8.43	16.86	14.9	15.08	14.96
2.00	7.00	0.20	13.99	16.26	16.18	25.68	8.11	16.21	14.0	17.19	14.01
2.00	15.00	0.55	14.46	17.30	17.04	27.43	7.84	15.69	13.3	19.06	13.31
2.00	15.00	0.80	15.34	19.43	18.58	30.89	7.39	14.78	12.2	22.65	12.21
2.00	10.00	0.55	15.42	19.65	18.72	31.22	7.35	14.70	12.1	23.00	12.11
2.00	7.00	0.55	16.51	22.67	20.51	35.78	6.87	13.74	11.0	27.61	11.06
2.00	10.00	0.80	16.57	22.85	20.61	36.04	6.84	13.68	11.0	27.88	11.00
2.00	7.00	0.80	17.93	27.24	22.75	42.18	6.33	12.65	9.97	33.95	9.97

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.19	8.72	17.44	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	23.75	8.43	16.86	14.96	15.08	14.96
7.00	0.20	25.68	8.11	16.21	14.01	17.19	14.01
15.00	0.55	27.43	7.84	15.69	13.31	19.06	13.31
15.00	0.80	30.89	7.39	14.78	12.21	22.65	12.21
10.00	0.55	31.22	7.35	14.70	12.11	23.00	12.11
7.00	0.55	35.78	6.87	13.74	11.06	27.61	11.06
10.00	0.80	36.04	6.84	13.68	11.00	27.88	11.00
7.00	0.80	42.18	6.33	12.65	9.97	33.95	9.97

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

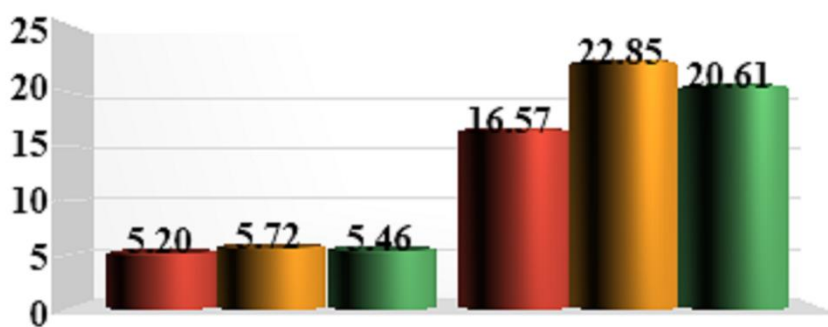
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.20	5.72	5.46	22.19	8.72	17.44	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	16.57	22.85	20.61	36.04	6.84	13.68	11.00	27.88	11.00
				27.24							



MIN

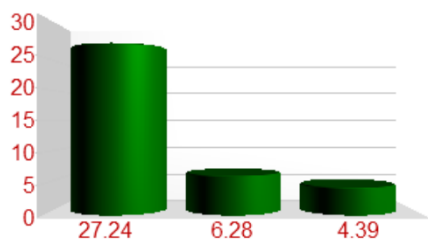
MAX

ANNEXES

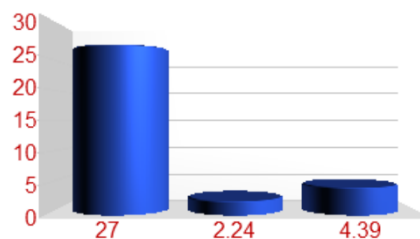
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.28	-23.04	-2.24	-8.21
Ke,a,Fe	-4.39	-16.13	-4.39	-16.13

Parallelepiped



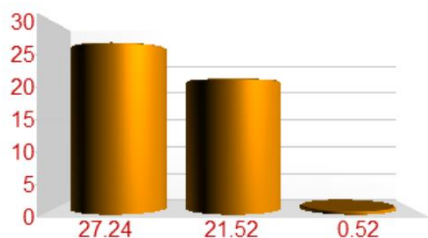
Tour



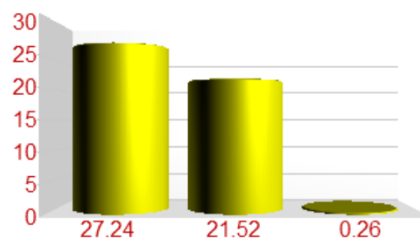
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.52	-78.99	-21.52	-78.99
Géométrie et H,L,l	-0.52	-1.92	-0.26	-0.96

Parallelepiped



Tour

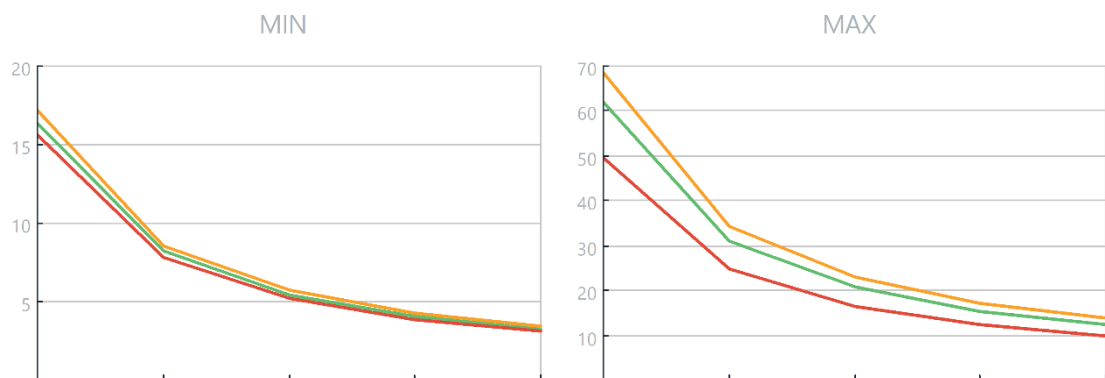


ANNEXES

Région de EL M GHAIK

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15.60	17.17	16.39	49.72	68.55	61.84	0.00	0.00
1000	7.80	8.59	8.19	24.86	34.28	30.92	-50.00	-50.00
3375	5.20	5.72	5.46	16.57	22.85	20.61	-66.67	-66.67
8000	3.90	4.29	4.10	12.43	17.14	15.46	-75.00	-75.00
15625	3.12	3.43	3.28	9.94	13.71	12.37	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.92	-23.04	-16.13	-78.99	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.96	-8.21	-16.13	-78.99	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :EL MENIA(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
EL MENIA	30.34 N	2.52E	380	21.1	41.6	1012	767

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.61	6.19	5.90	21.92	8.77	17.55	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.79	6.55	6.17	23.36	8.50	17.00	15.0	15.00	15.00
0.80	7.00	0.20	6.01	7.01	6.98	25.14	8.19	16.38	14.1	16.99	14.10
0.80	15.00	0.55	6.20	7.45	7.35	26.77	7.94	15.88	13.3	18.82	13.39
0.80	15.00	0.80	6.56	8.35	8.00	29.98	7.50	15.01	12.2	22.33	12.29
0.80	10.00	0.55	6.59	8.44	8.06	30.29	7.46	14.93	12.2	22.67	12.20
0.80	7.00	0.55	7.04	9.71	8.83	34.53	6.99	13.98	11.1	27.18	11.14
0.80	10.00	0.80	7.06	9.78	8.87	34.78	6.97	13.93	11.0	27.44	11.09
0.80	7.00	0.80	7.62	11.64	9.79	40.51	6.45	12.91	10.0	33.39	10.05
1.30	15.00	0.20	9.11	10.05	9.58	21.92	8.77	17.55	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	9.41	10.64	10.02	23.36	8.50	17.00	15.0	15.00	15.00
1.30	7.00	0.20	9.76	11.39	11.34	25.14	8.19	16.38	14.1	16.99	14.10
1.30	15.00	0.55	10.07	12.10	11.94	26.77	7.94	15.88	13.3	18.82	13.39
1.30	15.00	0.80	10.66	13.56	13.01	29.98	7.50	15.01	12.2	22.33	12.29
1.30	10.00	0.55	10.71	13.71	13.10	30.29	7.46	14.93	12.2	22.67	12.20
1.30	7.00	0.55	11.44	15.77	14.35	34.53	6.99	13.98	11.1	27.18	11.14
1.30	10.00	0.80	11.48	15.90	14.42	34.78	6.97	13.93	11.0	27.44	11.09
1.30	7.00	0.80	12.39	18.91	15.90	40.51	6.45	12.91	10.0	33.39	10.05
2.00	15.00	0.20	14.02	15.47	14.74	21.92	8.77	17.55	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	14.47	16.37	15.42	23.36	8.50	17.00	15.0	15.00	15.00
2.00	7.00	0.20	15.01	17.52	17.45	25.14	8.19	16.38	14.1	16.99	14.10
2.00	15.00	0.55	15.49	18.61	18.37	26.77	7.94	15.88	13.3	18.82	13.39
2.00	15.00	0.80	16.39	20.86	20.01	29.98	7.50	15.01	12.2	22.33	12.29
2.00	10.00	0.55	16.48	21.09	20.16	30.29	7.46	14.93	12.2	22.67	12.20
2.00	7.00	0.55	17.60	24.27	22.08	34.53	6.99	13.98	11.1	27.18	11.14
2.00	10.00	0.80	17.66	24.46	22.18	34.78	6.97	13.93	11.0	27.44	11.09
2.00	7.00	0.80	19.06	29.09	24.47	40.51	6.45	12.91	10.0	33.39	10.05

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	21.92	8.77	17.55	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	23.36	8.50	17.00	15.00	15.00	15.00
7.00	0.20	25.14	8.19	16.38	14.10	16.99	14.10
15.00	0.55	26.77	7.94	15.88	13.39	18.82	13.39
15.00	0.80	29.98	7.50	15.01	12.29	22.33	12.29
10.00	0.55	30.29	7.46	14.93	12.20	22.67	12.20
7.00	0.55	34.53	6.99	13.98	11.14	27.18	11.14
10.00	0.80	34.78	6.97	13.93	11.09	27.44	11.09
7.00	0.80	40.51	6.45	12.91	10.05	33.39	10.05

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

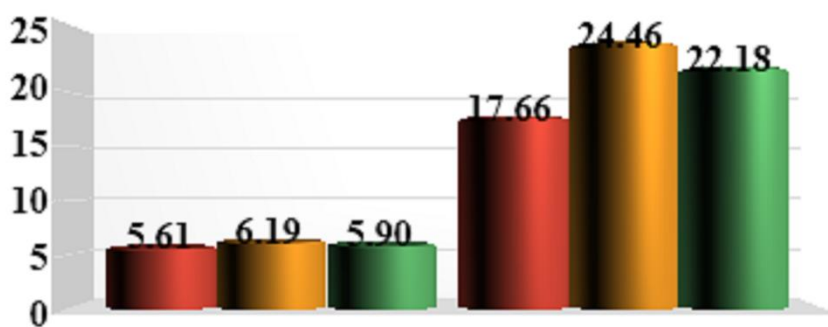
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.61	6.19	5.90	21.92	8.77	17.55	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	17.66	24.46	22.18	34.78	6.97	13.93	11.09	27.44	11.09
				29.09							



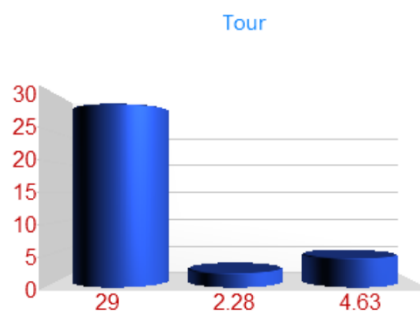
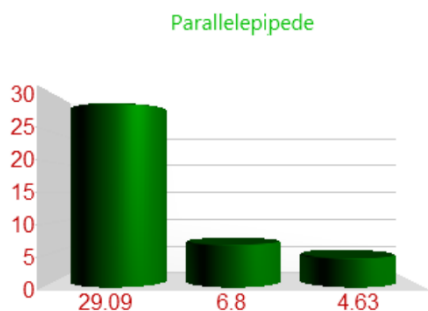
MIN

MAX

ANNEXES

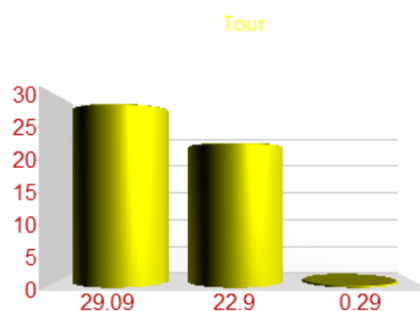
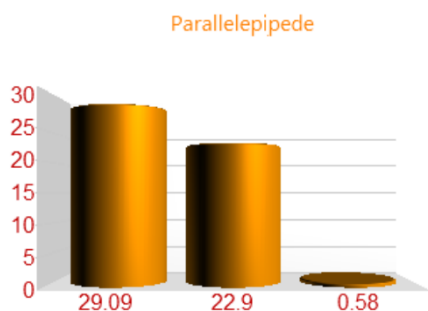
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.80	-23.39	-2.28	-7.83
Ke,a,Fe	-4.63	-15.90	-4.63	-15.90



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22.90	-78.73	-22.90	-78.73
Géométrie et H,L,l	-0.58	-1.99	-0.29	-0.99

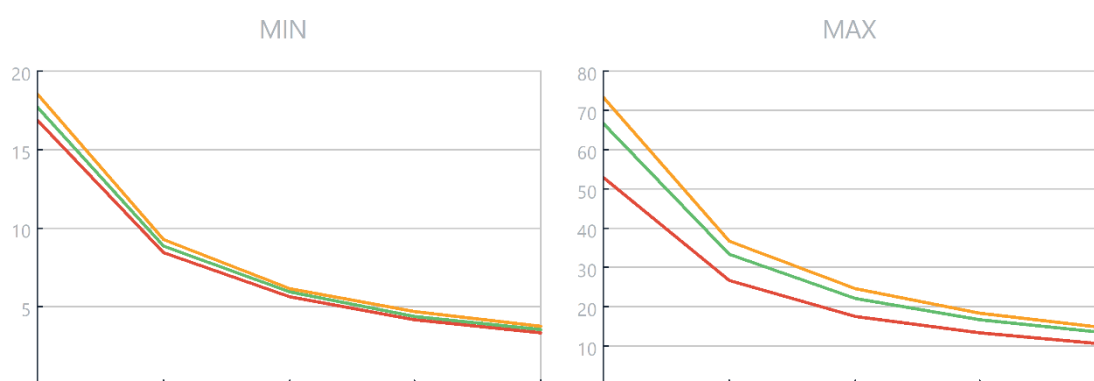


ANNEXES

Région de EL MENIA

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	16.82	18.56	17.69	52.97	73.38	66.55	0.00	0.00
1000	8.41	9.28	8.85	26.49	36.69	33.27	-50.00	-50.00
3375	5.61	6.19	5.90	17.66	24.46	22.18	-66.67	-66.67
8000	4.21	4.64	4.42	13.24	18.35	16.64	-75.00	-75.00
15625	3.36	3.71	3.54	10.59	14.68	13.31	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.99	-23.39	-15.90	-78.73	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.99	-7.83	-15.90	-78.73	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :EL OUAD(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
EL OUAD	33.22 N	6.53E	70	22.5	40.1	986	762

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.86	5.39	5.13	22.38	8.68	17.37	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.04	5.75	5.74	24.02	8.38	16.76	14.7	15.60	14.71
0.80	7.00	0.20	5.25	6.20	6.15	26.05	8.05	16.10	13.7	17.87	13.74
0.80	15.00	0.55	5.43	6.62	6.49	27.90	7.78	15.55	13.0	19.89	13.03
0.80	15.00	0.80	5.77	7.50	7.09	31.53	7.32	14.63	11.9	23.76	11.92
0.80	10.00	0.55	5.81	7.59	7.14	31.88	7.28	14.55	11.8	24.13	11.83
0.80	7.00	0.55	6.23	8.83	7.84	36.65	6.79	13.57	10.7	29.09	10.77
0.80	10.00	0.80	6.25	8.90	7.88	36.93	6.76	13.52	10.7	29.38	10.72
0.80	7.00	0.80	6.77	10.70	8.71	43.35	6.24	12.48	9.70	35.89	9.70
1.30	15.00	0.20	7.90	8.77	8.34	22.38	8.68	17.37	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.19	9.34	9.33	24.02	8.38	16.76	14.7	15.60	14.71
1.30	7.00	0.20	8.53	10.07	9.99	26.05	8.05	16.10	13.7	17.87	13.74
1.30	15.00	0.55	8.83	10.76	10.54	27.90	7.78	15.55	13.0	19.89	13.03
1.30	15.00	0.80	9.38	12.18	11.52	31.53	7.32	14.63	11.9	23.76	11.92
1.30	10.00	0.55	9.43	12.33	11.61	31.88	7.28	14.55	11.8	24.13	11.83
1.30	7.00	0.55	10.12	14.34	12.75	36.65	6.79	13.57	10.7	29.09	10.77
1.30	10.00	0.80	10.15	14.46	12.81	36.93	6.76	13.52	10.7	29.38	10.72
1.30	7.00	0.80	11.00	17.39	14.16	43.35	6.24	12.48	9.70	35.89	9.70
2.00	15.00	0.20	12.16	13.49	12.82	22.38	8.68	17.37	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.60	14.36	14.36	24.02	8.38	16.76	14.7	15.60	14.71
2.00	7.00	0.20	13.12	15.49	15.37	26.05	8.05	16.10	13.7	17.87	13.74
2.00	15.00	0.55	13.58	16.55	16.21	27.90	7.78	15.55	13.0	19.89	13.03
2.00	15.00	0.80	14.43	18.74	17.72	31.53	7.32	14.63	11.9	23.76	11.92
2.00	10.00	0.55	14.51	18.96	17.86	31.88	7.28	14.55	11.8	24.13	11.83
2.00	7.00	0.55	15.56	22.06	19.61	36.65	6.79	13.57	10.7	29.09	10.77
2.00	10.00	0.80	15.62	22.25	19.70	36.93	6.76	13.52	10.7	29.38	10.72
2.00	7.00	0.80	16.93	26.76	21.78	43.35	6.24	12.48	9.70	35.89	9.70

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.38	8.68	17.37	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.02	8.38	16.76	14.71	15.60	14.71
7.00	0.20	26.05	8.05	16.10	13.74	17.87	13.74
15.00	0.55	27.90	7.78	15.55	13.03	19.89	13.03
15.00	0.80	31.53	7.32	14.63	11.92	23.76	11.92
10.00	0.55	31.88	7.28	14.55	11.83	24.13	11.83
7.00	0.55	36.65	6.79	13.57	10.77	29.09	10.77
10.00	0.80	36.93	6.76	13.52	10.72	29.38	10.72
7.00	0.80	43.35	6.24	12.48	9.70	35.89	9.70

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

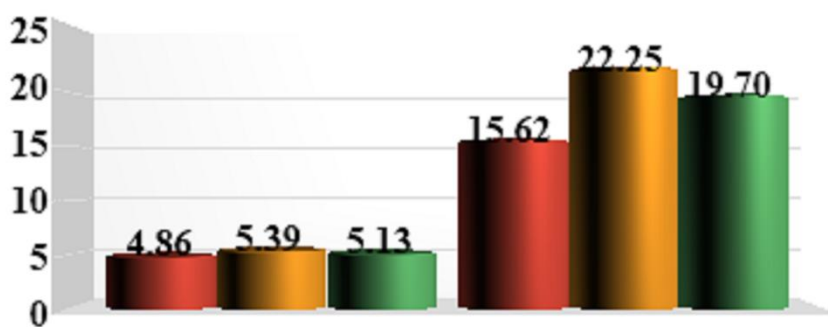
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.86	5.39	5.13	22.38	8.68	17.37	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	15.62	22.25	19.70	36.93	6.76	13.52	10.72	29.38	10.72
				26.76							



MIN

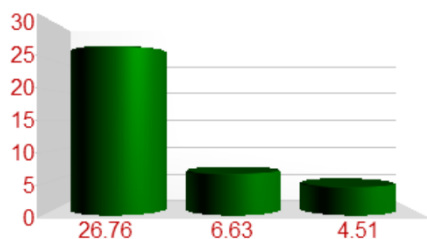
MAX

ANNEXES

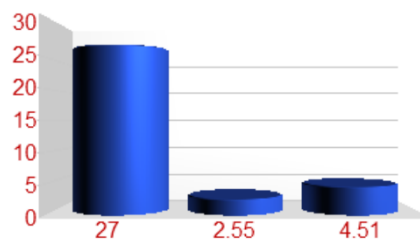
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.63	-24.77	-2.55	-9.52
Ke,a,Fe	-4.51	-16.85	-4.51	-16.85

Parallelepiped



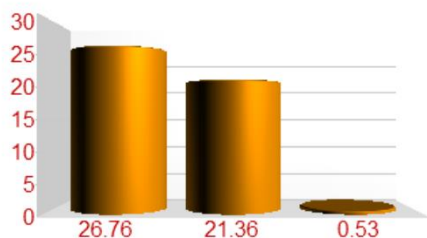
Tour



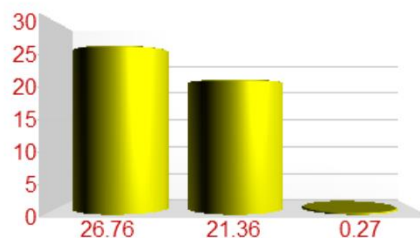
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.36	-79.84	-21.36	-79.84
Géométrie et H,L,l	-0.53	-1.98	-0.27	-0.99

Parallelepiped



Tour

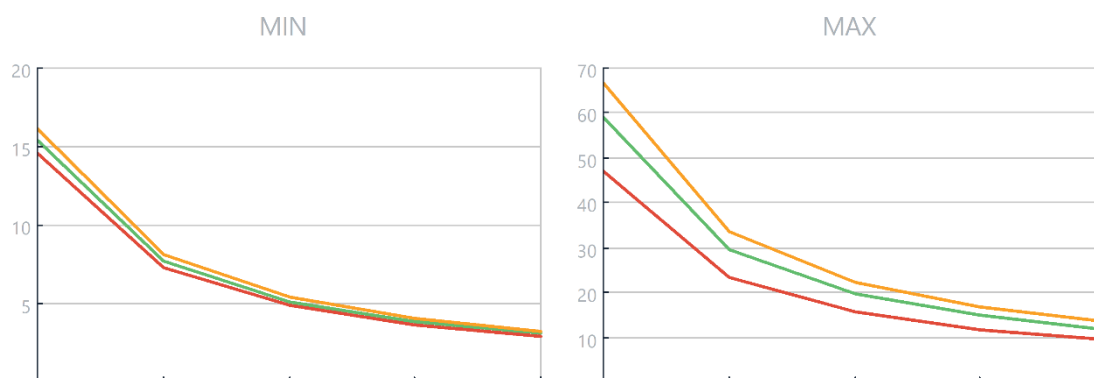


ANNEXES

Région de EL OUAD

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	14.59	16.18	15.39	46.87	66.75	59.11	0.00	0.00
1000	7.30	8.09	7.69	23.43	33.38	29.56	-50.00	-50.00
3375	4.86	5.39	5.13	15.62	22.25	19.70	-66.67	-66.67
8000	3.65	4.05	3.85	11.72	16.69	14.78	-75.00	-75.00
15625	2.92	3.24	3.08	9.37	13.35	11.82	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.98	-24.77	-16.85	-79.84	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.99	-9.52	-16.85	-79.84	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :GHARDAIA(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
GHARDAIA	32.23 N	3.49E	450	22.1	39.7	1008	767

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.87	5.41	5.14	22.40	8.68	17.36	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.04	5.77	5.77	24.05	8.38	16.75	14.6	15.72	14.65
0.80	7.00	0.20	5.25	6.23	6.18	26.10	8.04	16.08	13.6	18.03	13.68
0.80	15.00	0.55	5.44	6.66	6.52	27.95	7.77	15.54	12.9	20.09	12.96
0.80	15.00	0.80	5.78	7.56	7.13	31.60	7.31	14.62	11.8	24.03	11.85
0.80	10.00	0.55	5.81	7.65	7.18	31.95	7.27	14.53	11.7	24.40	11.76
0.80	7.00	0.55	6.23	8.92	7.89	36.75	6.78	13.55	10.7	29.44	10.71
0.80	10.00	0.80	6.26	8.99	7.93	37.03	6.75	13.50	10.6	29.73	10.65
0.80	7.00	0.80	6.78	10.84	8.77	43.49	6.23	12.46	9.64	36.35	9.64
1.30	15.00	0.20	7.91	8.79	8.35	22.40	8.68	17.36	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.19	9.37	9.37	24.05	8.38	16.75	14.6	15.72	14.65
1.30	7.00	0.20	8.54	10.12	10.03	26.10	8.04	16.08	13.6	18.03	13.68
1.30	15.00	0.55	8.83	10.83	10.59	27.95	7.77	15.54	12.9	20.09	12.96
1.30	15.00	0.80	9.39	12.29	11.58	31.60	7.31	14.62	11.8	24.03	11.85
1.30	10.00	0.55	9.45	12.43	11.67	31.95	7.27	14.53	11.7	24.40	11.76
1.30	7.00	0.55	10.13	14.49	12.82	36.75	6.78	13.55	10.7	29.44	10.71
1.30	10.00	0.80	10.17	14.62	12.89	37.03	6.75	13.50	10.6	29.73	10.65
1.30	7.00	0.80	11.02	17.61	14.25	43.49	6.23	12.46	9.64	36.35	9.64
2.00	15.00	0.20	12.17	13.53	12.85	22.40	8.68	17.36	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.61	14.42	14.41	24.05	8.38	16.75	14.6	15.72	14.65
2.00	7.00	0.20	13.13	15.57	15.44	26.10	8.04	16.08	13.6	18.03	13.68
2.00	15.00	0.55	13.59	16.66	16.29	27.95	7.77	15.54	12.9	20.09	12.96
2.00	15.00	0.80	14.45	18.90	17.82	31.60	7.31	14.62	11.8	24.03	11.85
2.00	10.00	0.55	14.53	19.13	17.96	31.95	7.27	14.53	11.7	24.40	11.76
2.00	7.00	0.55	15.58	22.29	19.73	36.75	6.78	13.55	10.7	29.44	10.71
2.00	10.00	0.80	15.64	22.49	19.82	37.03	6.75	13.50	10.6	29.73	10.65
2.00	7.00	0.80	16.95	27.09	21.92	43.49	6.23	12.46	9.64	36.35	9.64

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.40	8.68	17.36	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.05	8.38	16.75	14.65	15.72	14.65
7.00	0.20	26.10	8.04	16.08	13.68	18.03	13.68
15.00	0.55	27.95	7.77	15.54	12.96	20.09	12.96
15.00	0.80	31.60	7.31	14.62	11.85	24.03	11.85
10.00	0.55	31.95	7.27	14.53	11.76	24.40	11.76
7.00	0.55	36.75	6.78	13.55	10.71	29.44	10.71
10.00	0.80	37.03	6.75	13.50	10.65	29.73	10.65
7.00	0.80	43.49	6.23	12.46	9.64	36.35	9.64

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

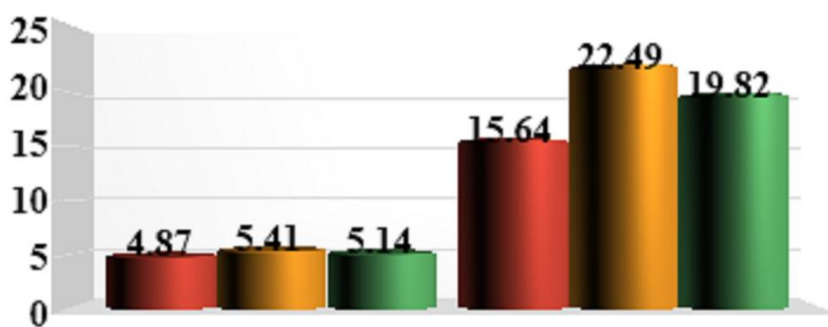
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.87	5.41	5.14	22.40	8.68	17.36	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	15.64	22.49	19.82	37.03	6.75	13.50	10.65	29.73	10.65
				27.09							



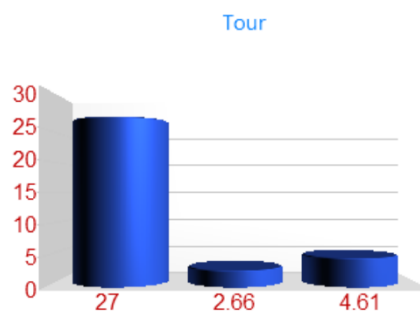
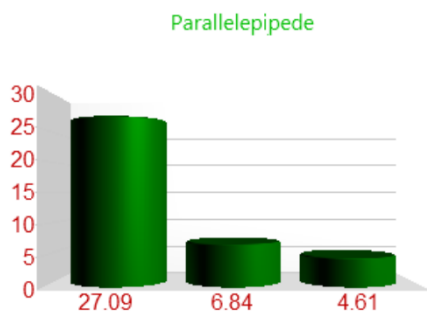
MIN

MAX

ANNEXES

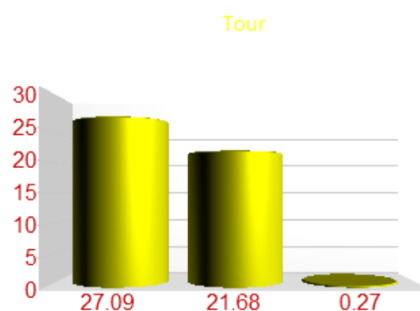
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.84	-25.25	-2.66	-9.82
Ke,a,Fe	-4.61	-17.01	-4.61	-17.01



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.68	-80.03	-21.68	-80.03
Géométrie et H,L,l	-0.54	-2.01	-0.27	-1.00

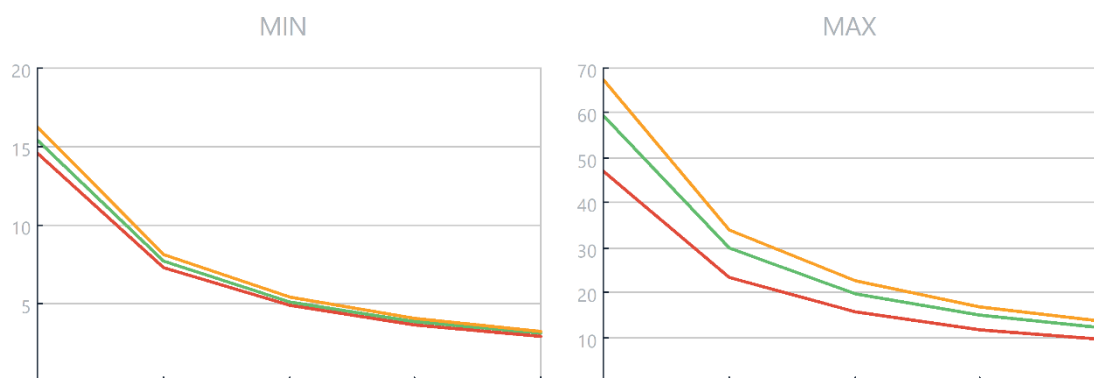


ANNEXES

Région de GHARDAIA

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	14.60	16.23	15.42	46.93	67.46	59.47	0.00	0.00
1000	7.30	8.12	7.71	23.47	33.73	29.74	-50.00	-50.00
3375	4.87	5.41	5.14	15.64	22.49	19.82	-66.67	-66.67
8000	3.65	4.06	3.85	11.73	16.86	14.87	-75.00	-75.00
15625	2.92	3.25	3.08	9.39	13.49	11.89	-80.00	-80.00

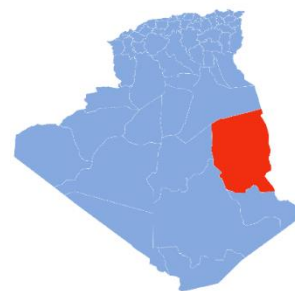


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.01	-25.25	-17.01	-80.03	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.00	-9.82	-17.01	-80.03	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :ILIZI(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
ILIZI	26.3N	8.26E	559	22.7	40.8	1028	790

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.01	5.56	5.28	22.41	8.68	17.36	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.19	5.92	5.92	24.06	8.37	16.75	14.6	15.67	14.67
0.80	7.00	0.20	5.40	6.39	6.34	26.11	8.04	16.08	13.7	17.97	13.70
0.80	15.00	0.55	5.59	6.84	6.69	27.97	7.77	15.54	12.9	20.01	12.99
0.80	15.00	0.80	5.95	7.75	7.32	31.62	7.31	14.61	11.8	23.93	11.88
0.80	10.00	0.55	5.98	7.84	7.37	31.97	7.27	14.53	11.7	24.30	11.79
0.80	7.00	0.55	6.41	9.13	8.10	36.78	6.77	13.55	10.7	29.31	10.73
0.80	10.00	0.80	6.44	9.21	8.14	37.06	6.75	13.50	10.6	29.60	10.68
0.80	7.00	0.80	6.98	11.09	8.99	43.52	6.23	12.45	9.66	36.18	9.66
1.30	15.00	0.20	8.13	9.03	8.58	22.41	8.68	17.36	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.43	9.63	9.62	24.06	8.37	16.75	14.6	15.67	14.67
1.30	7.00	0.20	8.78	10.39	10.30	26.11	8.04	16.08	13.7	17.97	13.70
1.30	15.00	0.55	9.09	11.11	10.87	27.97	7.77	15.54	12.9	20.01	12.99
1.30	15.00	0.80	9.66	12.59	11.89	31.62	7.31	14.61	11.8	23.93	11.88
1.30	10.00	0.55	9.72	12.74	11.98	31.97	7.27	14.53	11.7	24.30	11.79
1.30	7.00	0.55	10.42	14.84	13.16	36.78	6.77	13.55	10.7	29.31	10.73
1.30	10.00	0.80	10.46	14.97	13.22	37.06	6.75	13.50	10.6	29.60	10.68
1.30	7.00	0.80	11.34	18.03	14.62	43.52	6.23	12.45	9.66	36.18	9.66
2.00	15.00	0.20	12.51	13.89	13.20	22.41	8.68	17.36	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.97	14.81	14.80	24.06	8.37	16.75	14.6	15.67	14.67
2.00	7.00	0.20	13.51	15.98	15.85	26.11	8.04	16.08	13.7	17.97	13.70
2.00	15.00	0.55	13.98	17.09	16.73	27.97	7.77	15.54	12.9	20.01	12.99
2.00	15.00	0.80	14.87	19.38	18.29	31.62	7.31	14.61	11.8	23.93	11.88
2.00	10.00	0.55	14.95	19.61	18.43	31.97	7.27	14.53	11.7	24.30	11.79
2.00	7.00	0.55	16.03	22.84	20.24	36.78	6.77	13.55	10.7	29.31	10.73
2.00	10.00	0.80	16.09	23.03	20.34	37.06	6.75	13.50	10.6	29.60	10.68
2.00	7.00	0.80	17.44	27.73	22.49	43.52	6.23	12.45	9.66	36.18	9.66

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.41	8.68	17.36	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.06	8.37	16.75	14.67	15.67	14.67
7.00	0.20	26.11	8.04	16.08	13.70	17.97	13.70
15.00	0.55	27.97	7.77	15.54	12.99	20.01	12.99
15.00	0.80	31.62	7.31	14.61	11.88	23.93	11.88
10.00	0.55	31.97	7.27	14.53	11.79	24.30	11.79
7.00	0.55	36.78	6.77	13.55	10.73	29.31	10.73
10.00	0.80	37.06	6.75	13.50	10.68	29.60	10.68
7.00	0.80	43.52	6.23	12.45	9.66	36.18	9.66

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

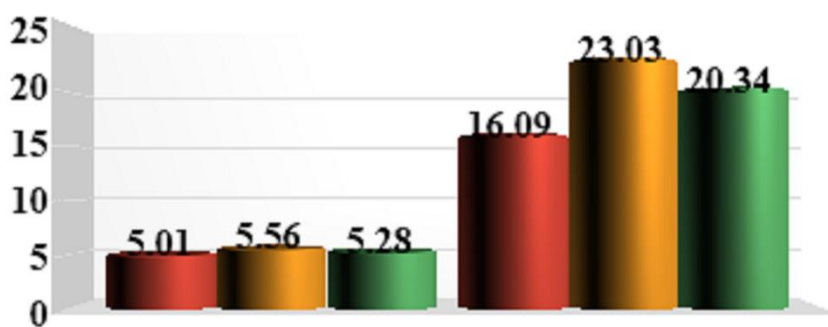
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.01	5.56	5.28	22.41	8.68	17.36	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	16.09	23.03	20.34	37.06	6.75	13.50	10.68	29.60	10.68
				27.73							



MIN

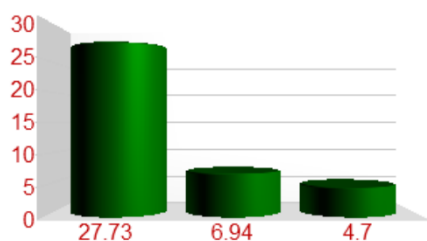
MAX

ANNEXES

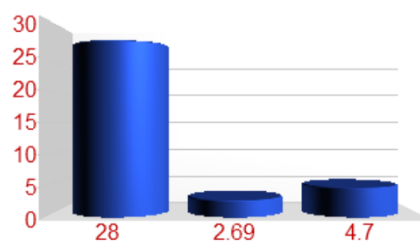
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.94	-25.02	-2.69	-9.71
Ke,a,Fe	-4.70	-16.95	-4.70	-16.95

Parallelepiped



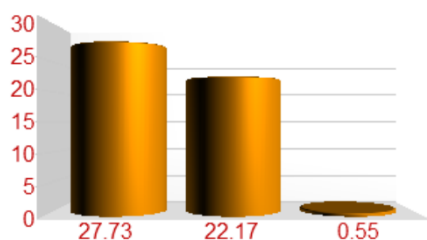
Tour



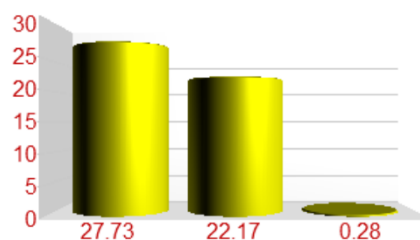
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22.17	-79.96	-22.17	-79.96
Géométrie et H,L,l	-0.55	-1.99	-0.28	-1.00

Parallelepiped



Tour

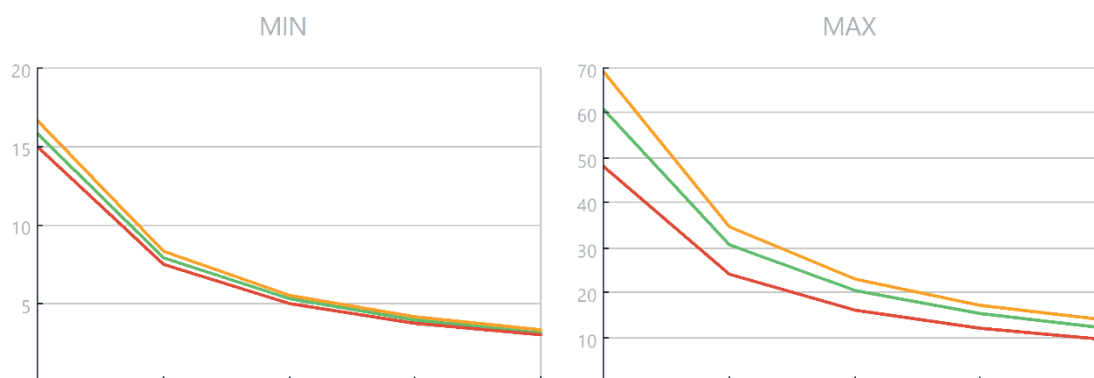


ANNEXES

Région de ILIZI

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15.02	16.67	15.84	48.28	69.10	61.02	0.00	0.00
1000	7.51	8.34	7.92	24.14	34.55	30.51	-50.00	-50.00
3375	5.01	5.56	5.28	16.09	23.03	20.34	-66.67	-66.67
8000	3.75	4.17	3.96	12.07	17.27	15.26	-75.00	-75.00
15625	3.00	3.33	3.17	9.66	13.82	12.20	-80.00	-80.00

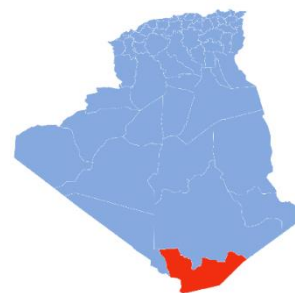


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.99	-25.02	-16.95	-79.96	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.00	-9.71	-16.95	-79.96	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :IN GUEZZAM(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
IN GUEZZAM	19.34 N	5.46E	400	20.4	35.3	1002	685

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.14	4.69	4.41	22.59	8.64	17.29	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.29	5.04	5.03	24.32	8.33	16.66	14.2	16.68	14.23
0.80	7.00	0.20	4.48	5.50	5.41	26.46	7.99	15.97	13.2	19.31	13.22
0.80	15.00	0.55	4.64	5.93	5.73	28.41	7.71	15.41	12.4	21.64	12.49
0.80	15.00	0.80	4.94	6.82	6.29	32.22	7.24	14.47	11.3	26.09	11.37
0.80	10.00	0.55	4.97	6.91	6.34	32.59	7.20	14.39	11.2	26.51	11.28
0.80	7.00	0.55	5.34	8.17	6.98	37.60	6.70	13.40	10.2	32.18	10.24
0.80	10.00	0.80	5.36	8.25	7.02	37.89	6.67	13.35	10.1	32.50	10.19
0.80	7.00	0.80	5.81	10.08	7.78	44.61	6.15	12.30	9.19	39.93	9.19
1.30	15.00	0.20	6.72	7.61	7.17	22.59	8.64	17.29	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	6.98	8.19	8.17	24.32	8.33	16.66	14.2	16.68	14.23
1.30	7.00	0.20	7.28	8.94	8.79	26.46	7.99	15.97	13.2	19.31	13.22
1.30	15.00	0.55	7.54	9.64	9.31	28.41	7.71	15.41	12.4	21.64	12.49
1.30	15.00	0.80	8.03	11.09	10.22	32.22	7.24	14.47	11.3	26.09	11.37
1.30	10.00	0.55	8.08	11.23	10.30	32.59	7.20	14.39	11.2	26.51	11.28
1.30	7.00	0.55	8.67	13.28	11.35	37.60	6.70	13.40	10.2	32.18	10.24
1.30	10.00	0.80	8.71	13.40	11.41	37.89	6.67	13.35	10.1	32.50	10.19
1.30	7.00	0.80	9.45	16.38	12.64	44.61	6.15	12.30	9.19	39.93	9.19
2.00	15.00	0.20	10.34	11.71	11.03	22.59	8.64	17.29	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	10.73	12.61	12.57	24.32	8.33	16.66	14.2	16.68	14.23
2.00	7.00	0.20	11.19	13.75	13.52	26.46	7.99	15.97	13.2	19.31	13.22
2.00	15.00	0.55	11.60	14.83	14.32	28.41	7.71	15.41	12.4	21.64	12.49
2.00	15.00	0.80	12.35	17.06	15.72	32.22	7.24	14.47	11.3	26.09	11.37
2.00	10.00	0.55	12.42	17.28	15.85	32.59	7.20	14.39	11.2	26.51	11.28
2.00	7.00	0.55	13.34	20.43	17.46	37.60	6.70	13.40	10.2	32.18	10.24
2.00	10.00	0.80	13.40	20.62	17.55	37.89	6.67	13.35	10.1	32.50	10.19
2.00	7.00	0.80	14.54	25.20	19.45	44.61	6.15	12.30	9.19	39.93	9.19

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.59	8.64	17.29	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.32	8.33	16.66	14.23	16.68	14.23
7.00	0.20	26.46	7.99	15.97	13.22	19.31	13.22
15.00	0.55	28.41	7.71	15.41	12.49	21.64	12.49
15.00	0.80	32.22	7.24	14.47	11.37	26.09	11.37
10.00	0.55	32.59	7.20	14.39	11.28	26.51	11.28
7.00	0.55	37.60	6.70	13.40	10.24	32.18	10.24
10.00	0.80	37.89	6.67	13.35	10.19	32.50	10.19
7.00	0.80	44.61	6.15	12.30	9.19	39.93	9.19

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

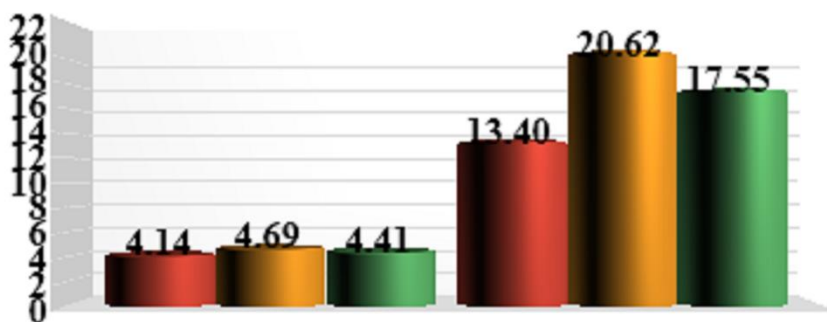
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.14	4.69	4.41	22.59	8.64	17.29	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	13.40	20.62	17.55	37.89	6.67	13.35	10.19	32.50	10.19
				25.20							



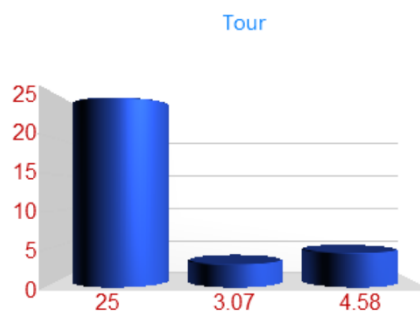
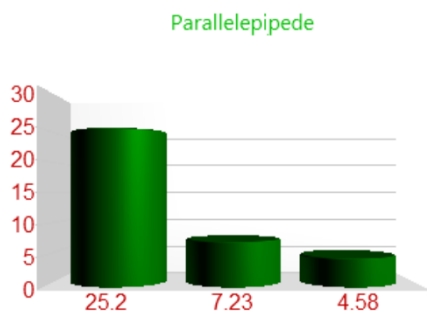
MIN

MAX

ANNEXES

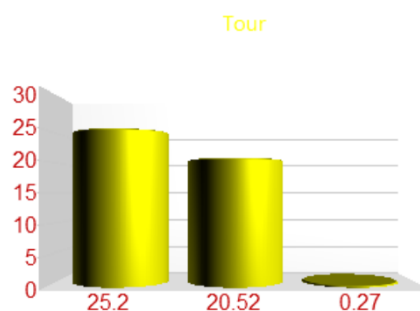
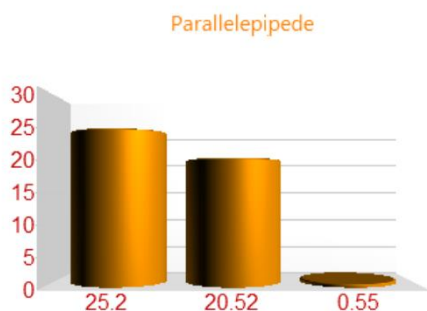
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7.23	-28.67	-3.07	-12.20
Ke,a,Fe	-4.58	-18.18	-4.58	-18.18



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-20.52	-81.41	-20.52	-81.41
Géométrie et H,L,l	-0.55	-2.18	-0.27	-1.09

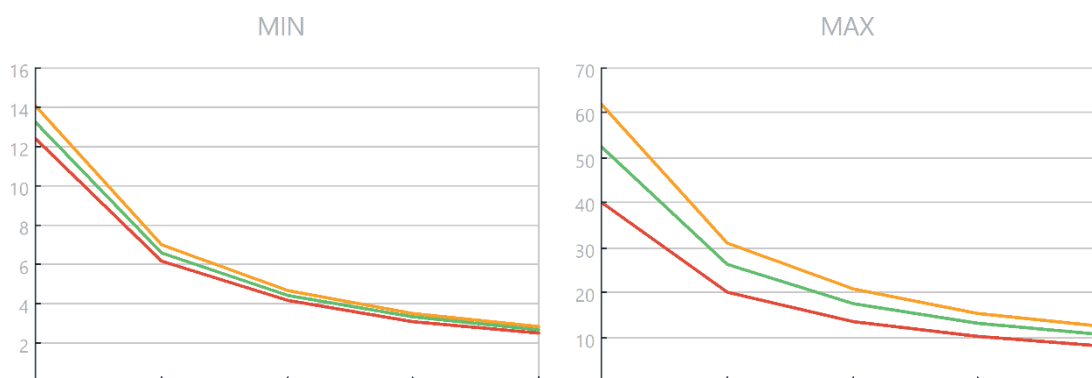


ANNEXES

Région de IN GUEZZAM

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	12.41	14.06	13.23	40.19	61.86	52.64	0.00	0.00
1000	6.21	7.03	6.62	20.09	30.93	26.32	-50.00	-50.00
3375	4.14	4.69	4.41	13.40	20.62	17.55	-66.67	-66.67
8000	3.10	3.51	3.31	10.05	15.47	13.16	-75.00	-75.00
15625	2.48	2.81	2.65	8.04	12.37	10.53	-80.00	-80.00

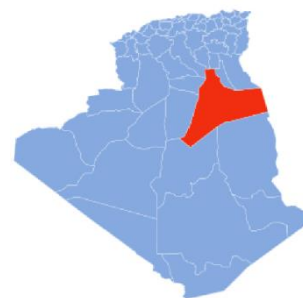


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.18	-28.67	-18.18	-81.41	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.09	-12.20	-18.18	-81.41	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :OUARGLA(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
OUARGLA	31.57 N	5.24E	141	23.4	41.7	995	762

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.04	5.59	5.32	22.25	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.22	5.94	5.94	23.84	8.41	16.83	14.79	15.43	14.79
0.80	7.00	0.20	5.43	6.40	6.35	25.80	8.09	16.18	13.83	17.65	13.83
0.80	15.00	0.55	5.62	6.83	6.70	27.58	7.82	15.64	13.11	19.63	13.11
0.80	15.00	0.80	5.96	7.71	7.32	31.09	7.37	14.73	12.01	23.41	12.01
0.80	10.00	0.55	5.99	7.80	7.37	31.43	7.33	14.65	11.92	23.77	11.92
0.80	7.00	0.55	6.42	9.05	8.09	36.06	6.84	13.68	10.86	28.62	10.86
0.80	10.00	0.80	6.44	9.13	8.13	36.33	6.82	13.63	10.81	28.90	10.81
0.80	7.00	0.80	6.97	10.94	8.98	42.56	6.30	12.59	9.78	35.28	9.78
1.30	15.00	0.20	8.20	9.08	8.64	22.25	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.48	9.65	9.65	23.84	8.41	16.83	14.79	15.43	14.79
1.30	7.00	0.20	8.82	10.39	10.32	25.80	8.09	16.18	13.83	17.65	13.83
1.30	15.00	0.55	9.12	11.09	10.89	27.58	7.82	15.64	13.11	19.63	13.11
1.30	15.00	0.80	9.69	12.53	11.89	31.09	7.37	14.73	12.01	23.41	12.01
1.30	10.00	0.55	9.74	12.67	11.98	31.43	7.33	14.65	11.92	23.77	11.92
1.30	7.00	0.55	10.43	14.71	13.15	36.06	6.84	13.68	10.86	28.62	10.86
1.30	10.00	0.80	10.47	14.83	13.21	36.33	6.82	13.63	10.81	28.90	10.81
1.30	7.00	0.80	11.33	17.79	14.59	42.56	6.30	12.59	9.78	35.28	9.78
2.00	15.00	0.20	12.61	13.97	13.29	22.25	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	13.05	14.85	14.85	23.84	8.41	16.83	14.79	15.43	14.79
2.00	7.00	0.20	13.58	15.99	15.88	25.80	8.09	16.18	13.83	17.65	13.83
2.00	15.00	0.55	14.04	17.06	16.75	27.58	7.82	15.64	13.11	19.63	13.11
2.00	15.00	0.80	14.90	19.28	18.29	31.09	7.37	14.73	12.01	23.41	12.01
2.00	10.00	0.55	14.99	19.50	18.43	31.43	7.33	14.65	11.92	23.77	11.92
2.00	7.00	0.55	16.05	22.62	20.22	36.06	6.84	13.68	10.86	28.62	10.86
2.00	10.00	0.80	16.11	22.81	20.32	36.33	6.82	13.63	10.81	28.90	10.81
2.00	7.00	0.80	17.44	27.36	22.45	42.56	6.30	12.59	9.78	35.28	9.78

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.25	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	23.84	8.41	16.83	14.79	15.43	14.79
7.00	0.20	25.80	8.09	16.18	13.83	17.65	13.83
15.00	0.55	27.58	7.82	15.64	13.11	19.63	13.11
15.00	0.80	31.09	7.37	14.73	12.01	23.41	12.01
10.00	0.55	31.43	7.33	14.65	11.92	23.77	11.92
7.00	0.55	36.06	6.84	13.68	10.86	28.62	10.86
10.00	0.80	36.33	6.82	13.63	10.81	28.90	10.81
7.00	0.80	42.56	6.30	12.59	9.78	35.28	9.78

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

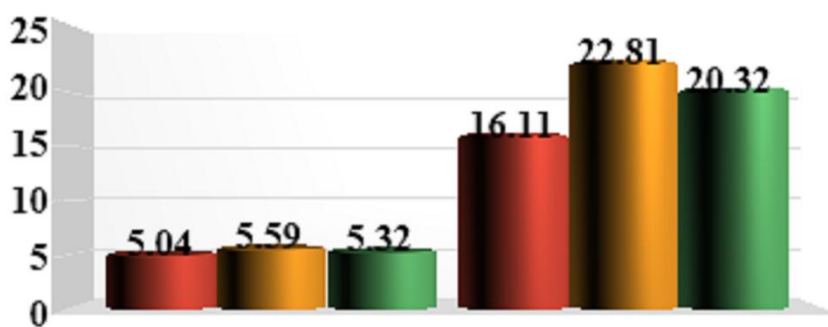
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.04	5.59	5.32	22.25	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	16.11	22.81	20.32	36.33	6.82	13.63	10.81	28.90	10.81
				27.36							



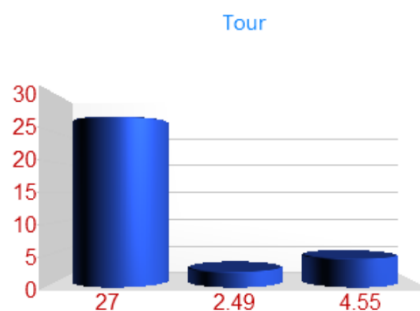
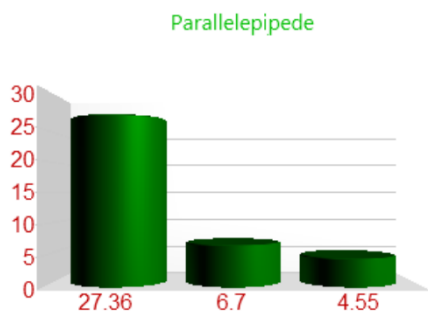
MIN

MAX

ANNEXES

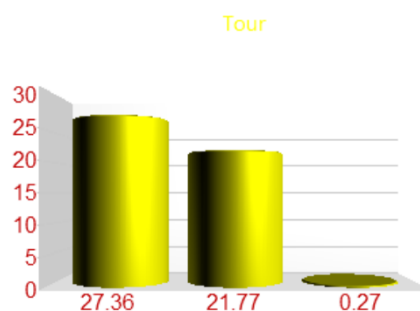
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.70	-24.49	-2.49	-9.10
Ke,a,Fe	-4.55	-16.62	-4.55	-16.62



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.77	-79.58	-21.77	-79.58
Géométrie et H,L,l	-0.54	-1.99	-0.27	-0.99

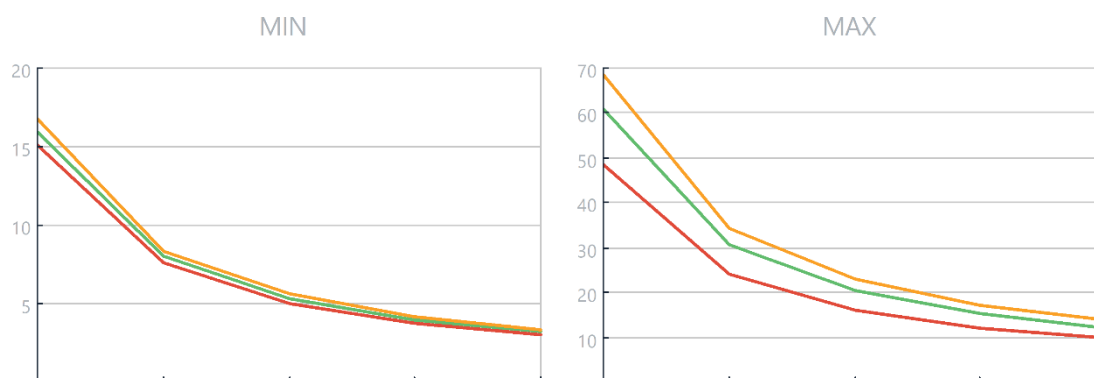


ANNEXES

Région de OUARGLA

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15.13	16.76	15.95	48.33	68.44	60.97	0.00	0.00
1000	7.57	8.38	7.97	24.17	34.22	30.48	-50.00	-50.00
3375	5.04	5.59	5.32	16.11	22.81	20.32	-66.67	-66.67
8000	3.78	4.19	3.99	12.08	17.11	15.24	-75.00	-75.00
15625	3.03	3.35	3.19	9.67	13.69	12.19	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.99	-24.49	-16.62	-79.58	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.99	-9.10	-16.62	-79.58	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :OULED DJALAL(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
OULED DJALAL	34.25 N	5.03E	196	22.5	39.8	1003	784

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.80	5.33	5.06	22.54	8.65	17.31	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.98	5.68	5.68	24.25	8.34	16.69	14.6	15.79	14.62
0.80	7.00	0.20	5.19	6.14	6.09	26.36	8.00	16.00	13.6	18.12	13.65
0.80	15.00	0.55	5.38	6.57	6.42	28.28	7.72	15.45	12.9	20.20	12.93
0.80	15.00	0.80	5.72	7.47	7.03	32.05	7.26	14.51	11.8	24.18	11.82
0.80	10.00	0.55	5.75	7.56	7.08	32.41	7.22	14.43	11.7	24.55	11.72
0.80	7.00	0.55	6.18	8.82	7.78	37.37	6.72	13.44	10.6	29.64	10.67
0.80	10.00	0.80	6.20	8.89	7.82	37.66	6.69	13.39	10.6	29.93	10.62
0.80	7.00	0.80	6.73	10.73	8.65	44.31	6.17	12.34	9.60	36.61	9.60
1.30	15.00	0.20	7.80	8.66	8.23	22.54	8.65	17.31	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.09	9.24	9.23	24.25	8.34	16.69	14.6	15.79	14.62
1.30	7.00	0.20	8.43	9.98	9.89	26.36	8.00	16.00	13.6	18.12	13.65
1.30	15.00	0.55	8.73	10.68	10.44	28.28	7.72	15.45	12.9	20.20	12.93
1.30	15.00	0.80	9.30	12.13	11.42	32.05	7.26	14.51	11.8	24.18	11.82
1.30	10.00	0.55	9.35	12.28	11.51	32.41	7.22	14.43	11.7	24.55	11.72
1.30	7.00	0.55	10.04	14.33	12.65	37.37	6.72	13.44	10.6	29.64	10.67
1.30	10.00	0.80	10.08	14.45	12.71	37.66	6.69	13.39	10.6	29.93	10.62
1.30	7.00	0.80	10.93	17.43	14.05	44.31	6.17	12.34	9.60	36.61	9.60
2.00	15.00	0.20	12.00	13.32	12.66	22.54	8.65	17.31	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.44	14.21	14.20	24.25	8.34	16.69	14.6	15.79	14.62
2.00	7.00	0.20	12.97	15.35	15.21	26.36	8.00	16.00	13.6	18.12	13.65
2.00	15.00	0.55	13.44	16.44	16.06	28.28	7.72	15.45	12.9	20.20	12.93
2.00	15.00	0.80	14.31	18.67	17.57	32.05	7.26	14.51	11.8	24.18	11.82
2.00	10.00	0.55	14.39	18.89	17.71	32.41	7.22	14.43	11.7	24.55	11.72
2.00	7.00	0.55	15.45	22.04	19.45	37.37	6.72	13.44	10.6	29.64	10.67
2.00	10.00	0.80	15.51	22.23	19.55	37.66	6.69	13.39	10.6	29.93	10.62
2.00	7.00	0.80	16.82	26.82	21.62	44.31	6.17	12.34	9.60	36.61	9.60

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.54	8.65	17.31	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.25	8.34	16.69	14.62	15.79	14.62
7.00	0.20	26.36	8.00	16.00	13.65	18.12	13.65
15.00	0.55	28.28	7.72	15.45	12.93	20.20	12.93
15.00	0.80	32.05	7.26	14.51	11.82	24.18	11.82
10.00	0.55	32.41	7.22	14.43	11.72	24.55	11.72
7.00	0.55	37.37	6.72	13.44	10.67	29.64	10.67
10.00	0.80	37.66	6.69	13.39	10.62	29.93	10.62
7.00	0.80	44.31	6.17	12.34	9.60	36.61	9.60

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

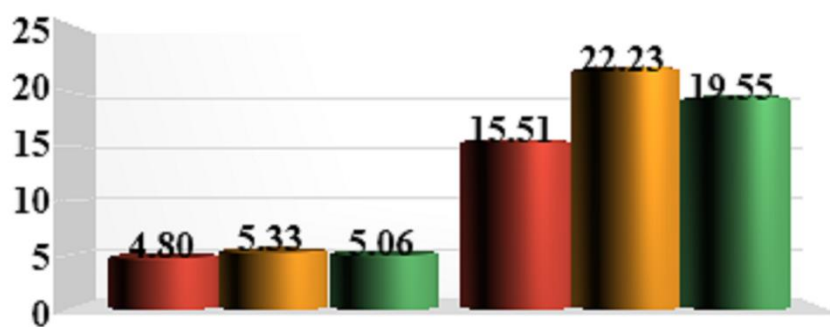
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.80	5.33	5.06	22.54	8.65	17.31	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	15.51	22.23	19.55	37.66	6.69	13.39	10.62	29.93	10.62
				26.82							



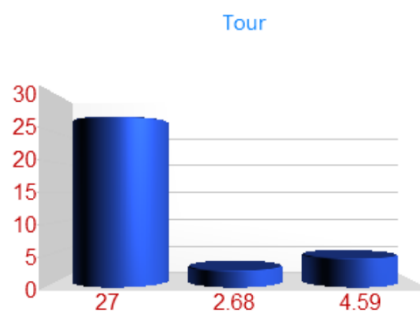
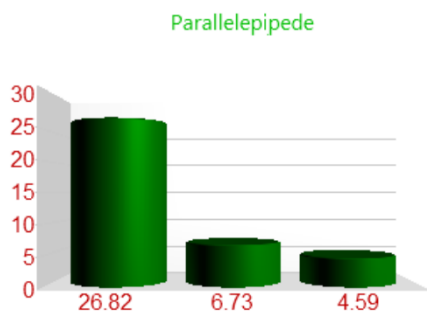
MIN

MAX

ANNEXES

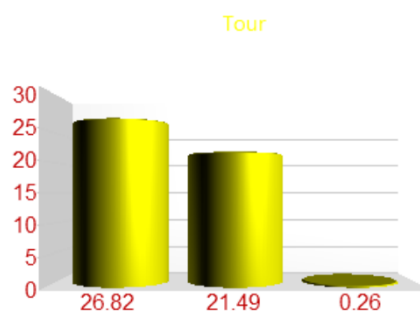
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.73	-25.08	-2.68	-10.00
Ke,a,Fe	-4.59	-17.10	-4.59	-17.10



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.49	-80.14	-21.49	-80.14
Géométrie et H,L,l	-0.53	-1.97	-0.26	-0.99

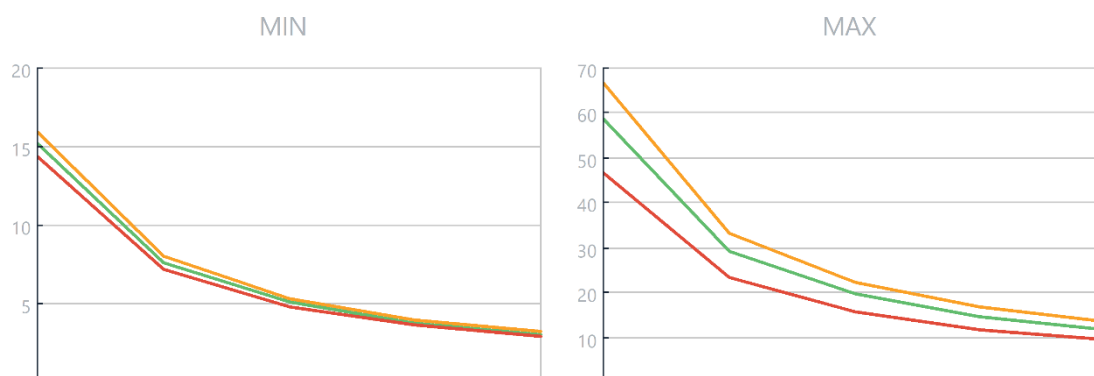


ANNEXES

Région de OULED DJALAL

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	14.39	15.98	15.19	46.52	66.70	58.65	0.00	0.00
1000	7.20	7.99	7.59	23.26	33.35	29.33	-50.00	-50.00
3375	4.80	5.33	5.06	15.51	22.23	19.55	-66.67	-66.67
8000	3.60	3.99	3.80	11.63	16.67	14.66	-75.00	-75.00
15625	2.88	3.20	3.04	9.30	13.34	11.73	-80.00	-80.00

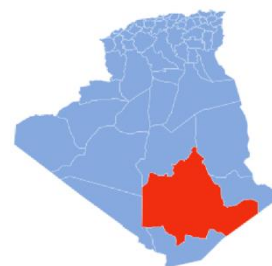


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.97	-25.08	-17.10	-80.14	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.99	-10.00	-17.10	-80.14	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :TAMANRASSET(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
TAMANRASSET	22.47 N	5.31E 8	137	20.2	35.3	1052	727

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.21	4.77	4.49	22.75	8.61	17.22	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.37	5.15	5.13	24.56	8.29	16.58	14.1	16.91	14.13
0.80	7.00	0.20	4.57	5.63	5.53	26.79	7.94	15.87	13.1	19.61	13.12
0.80	15.00	0.55	4.74	6.08	5.85	28.81	7.65	15.31	12.3	22.01	12.38
0.80	15.00	0.80	5.05	7.02	6.43	32.78	7.18	14.35	11.2	26.57	11.27
0.80	10.00	0.55	5.08	7.11	6.48	33.16	7.13	14.27	11.1	27.01	11.18
0.80	7.00	0.55	5.46	8.44	7.15	38.36	6.63	13.27	10.1	32.82	10.14
0.80	10.00	0.80	5.49	8.52	7.18	38.66	6.61	13.21	10.0	33.16	10.09
0.80	7.00	0.80	5.96	10.44	7.97	45.63	6.08	12.16	9.10	40.77	9.10
1.30	15.00	0.20	6.84	7.76	7.30	22.75	8.61	17.22	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	7.10	8.37	8.34	24.56	8.29	16.58	14.1	16.91	14.13
1.30	7.00	0.20	7.42	9.15	8.98	26.79	7.94	15.87	13.1	19.61	13.12
1.30	15.00	0.55	7.70	9.89	9.51	28.81	7.65	15.31	12.3	22.01	12.38
1.30	15.00	0.80	8.21	11.41	10.45	32.78	7.18	14.35	11.2	26.57	11.27
1.30	10.00	0.55	8.25	11.56	10.54	33.16	7.13	14.27	11.1	27.01	11.18
1.30	7.00	0.55	8.88	13.71	11.62	38.36	6.63	13.27	10.1	32.82	10.14
1.30	10.00	0.80	8.91	13.84	11.67	38.66	6.61	13.21	10.0	33.16	10.09
1.30	7.00	0.80	9.68	16.96	12.95	45.63	6.08	12.16	9.10	40.77	9.10
2.00	15.00	0.20	10.52	11.94	11.23	22.75	8.61	17.22	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	10.93	12.87	12.83	24.56	8.29	16.58	14.1	16.91	14.13
2.00	7.00	0.20	11.42	14.07	13.81	26.79	7.94	15.87	13.1	19.61	13.12
2.00	15.00	0.55	11.84	15.21	14.63	28.81	7.65	15.31	12.3	22.01	12.38
2.00	15.00	0.80	12.63	17.55	16.08	32.78	7.18	14.35	11.2	26.57	11.27
2.00	10.00	0.55	12.70	17.78	16.21	33.16	7.13	14.27	11.1	27.01	11.18
2.00	7.00	0.55	13.66	21.09	17.87	38.36	6.63	13.27	10.1	32.82	10.14
2.00	10.00	0.80	13.71	21.29	17.96	38.66	6.61	13.21	10.0	33.16	10.09
2.00	7.00	0.80	14.90	26.10	19.92	45.63	6.08	12.16	9.10	40.77	9.10

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.75	8.61	17.22	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.56	8.29	16.58	14.13	16.91	14.13
7.00	0.20	26.79	7.94	15.87	13.12	19.61	13.12
15.00	0.55	28.81	7.65	15.31	12.38	22.01	12.38
15.00	0.80	32.78	7.18	14.35	11.27	26.57	11.27
10.00	0.55	33.16	7.13	14.27	11.18	27.01	11.18
7.00	0.55	38.36	6.63	13.27	10.14	32.82	10.14
10.00	0.80	38.66	6.61	13.21	10.09	33.16	10.09
7.00	0.80	45.63	6.08	12.16	9.10	40.77	9.10

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

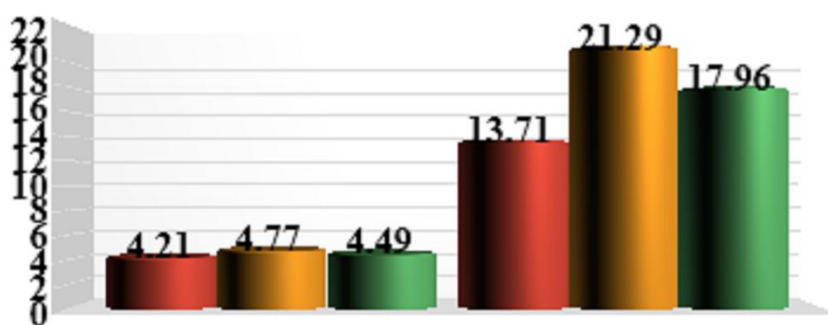
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.21	4.77	4.49	22.75	8.61	17.22	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	13.71	21.29	17.96	38.66	6.61	13.21	10.09	33.16	10.09
				26.10							



MIN

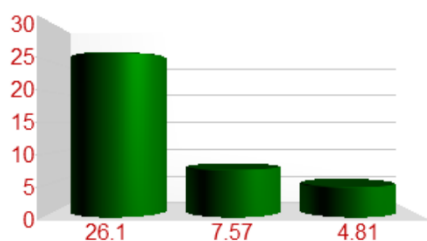
MAX

ANNEXES

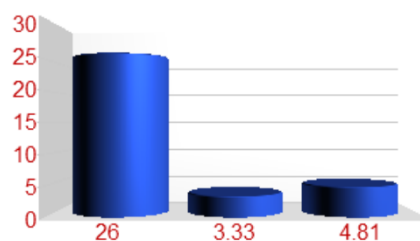
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7.57	-29.03	-3.33	-12.75
Ke,a,Fe	-4.81	-18.43	-4.81	-18.43

Parallelepiped



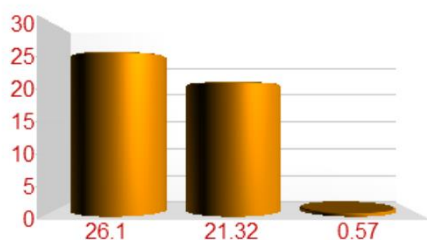
Tour



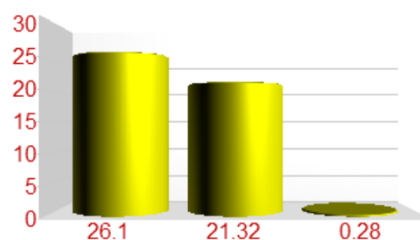
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-21.32	-81.70	-21.32	-81.70
Géométrie et H,L,l	-0.57	-2.17	-0.28	-1.09

Parallelepiped



Tour

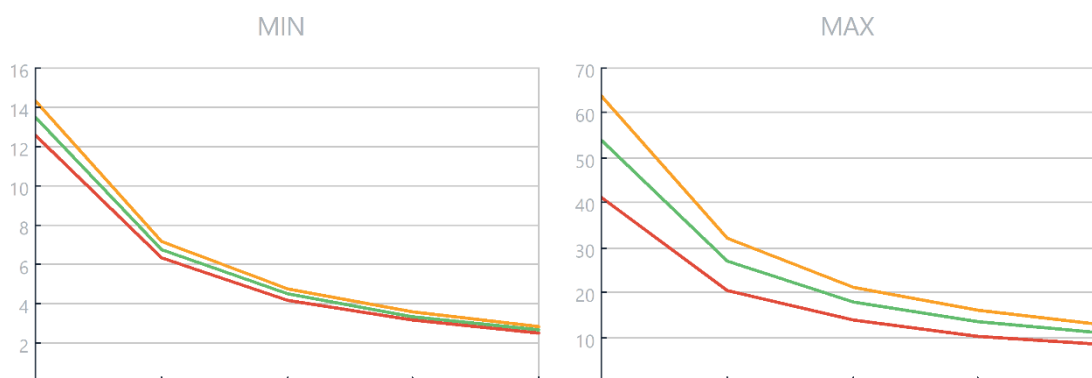


ANNEXES

Région de TAMANRASSET

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	12.62	14.32	13.47	41.14	63.86	53.88	0.00	0.00
1000	6.31	7.16	6.74	20.57	31.93	26.94	-50.00	-50.00
3375	4.21	4.77	4.49	13.71	21.29	17.96	-66.67	-66.67
8000	3.16	3.58	3.37	10.28	15.97	13.47	-75.00	-75.00
15625	2.52	2.86	2.69	8.23	12.77	10.78	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.17	-29.03	-18.43	-81.70	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.09	-12.75	-18.43	-81.70	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :TIMIMOUNE(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
TIMIMOUNE	29.15N	0.15E	288	25.4	40.7	1014	773

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.28	4.80	4.54	22.93	8.58	17.16	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	4.45	5.16	5.15	24.82	8.25	16.49	14.2	16.59	14.26
0.80	7.00	0.20	4.66	5.63	5.54	27.15	7.88	15.77	13.2	19.19	13.26
0.80	15.00	0.55	4.84	6.06	5.86	29.26	7.59	15.19	12.5	21.49	12.53
0.80	15.00	0.80	5.16	6.96	6.43	33.38	7.11	14.22	11.4	25.89	11.42
0.80	10.00	0.55	5.20	7.05	6.48	33.78	7.07	14.14	11.3	26.31	11.33
0.80	7.00	0.55	5.60	8.33	7.14	39.18	6.56	13.13	10.2	31.92	10.28
0.80	10.00	0.80	5.62	8.41	7.18	39.49	6.54	13.07	10.2	32.24	10.23
0.80	7.00	0.80	6.11	10.26	7.95	46.72	6.01	12.02	9.23	39.59	9.23
1.30	15.00	0.20	6.96	7.80	7.38	22.93	8.58	17.16	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	7.24	8.39	8.37	24.82	8.25	16.49	14.2	16.59	14.26
1.30	7.00	0.20	7.57	9.14	9.00	27.15	7.88	15.77	13.2	19.19	13.26
1.30	15.00	0.55	7.86	9.85	9.52	29.26	7.59	15.19	12.5	21.49	12.53
1.30	15.00	0.80	8.39	11.32	10.45	33.38	7.11	14.22	11.4	25.89	11.42
1.30	10.00	0.55	8.44	11.46	10.54	33.78	7.07	14.14	11.3	26.31	11.33
1.30	7.00	0.55	9.09	13.53	11.61	39.18	6.56	13.13	10.2	31.92	10.28
1.30	10.00	0.80	9.13	13.66	11.66	39.49	6.54	13.07	10.2	32.24	10.23
1.30	7.00	0.80	9.93	16.67	12.92	46.72	6.01	12.02	9.23	39.59	9.23
2.00	15.00	0.20	10.70	12.00	11.35	22.93	8.58	17.16	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	11.13	12.90	12.87	24.82	8.25	16.49	14.2	16.59	14.26
2.00	7.00	0.20	11.64	14.06	13.84	27.15	7.88	15.77	13.2	19.19	13.26
2.00	15.00	0.55	12.09	15.16	14.65	29.26	7.59	15.19	12.5	21.49	12.53
2.00	15.00	0.80	12.91	17.41	16.08	33.38	7.11	14.22	11.4	25.89	11.42
2.00	10.00	0.55	12.99	17.64	16.21	33.78	7.07	14.14	11.3	26.31	11.33
2.00	7.00	0.55	13.99	20.82	17.85	39.18	6.56	13.13	10.2	31.92	10.28
2.00	10.00	0.80	14.04	21.02	17.94	39.49	6.54	13.07	10.2	32.24	10.23
2.00	7.00	0.80	15.27	25.65	19.88	46.72	6.01	12.02	9.23	39.59	9.23

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.93	8.58	17.16	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.82	8.25	16.49	14.26	16.59	14.26
7.00	0.20	27.15	7.88	15.77	13.26	19.19	13.26
15.00	0.55	29.26	7.59	15.19	12.53	21.49	12.53
15.00	0.80	33.38	7.11	14.22	11.42	25.89	11.42
10.00	0.55	33.78	7.07	14.14	11.33	26.31	11.33
7.00	0.55	39.18	6.56	13.13	10.28	31.92	10.28
10.00	0.80	39.49	6.54	13.07	10.23	32.24	10.23
7.00	0.80	46.72	6.01	12.02	9.23	39.59	9.23

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

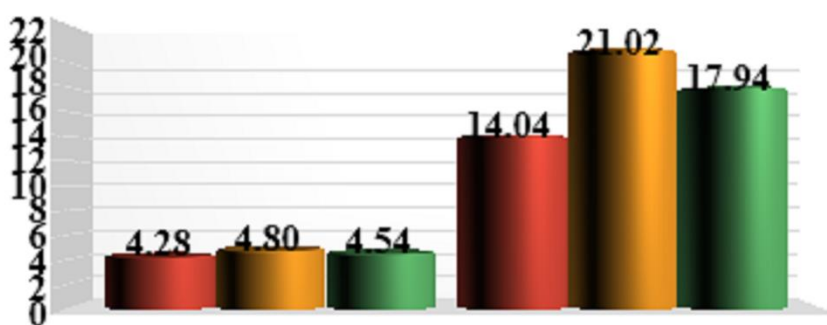
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.28	4.80	4.54	22.93	8.58	17.16	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	14.04	21.02	17.94	39.49	6.54	13.07	10.23	32.24	10.23
				25.65							



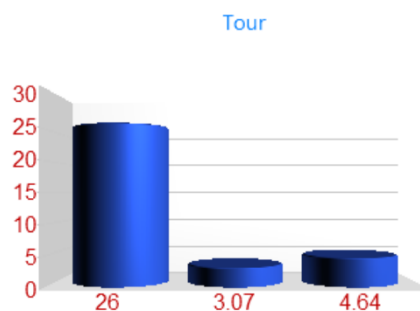
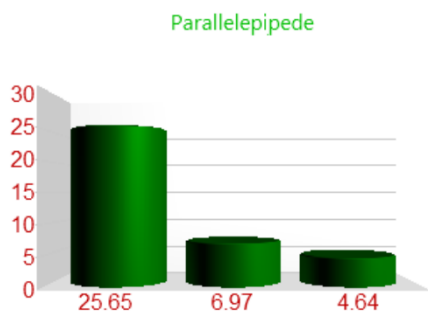
MIN

MAX

ANNEXES

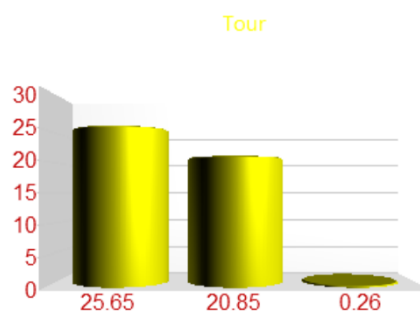
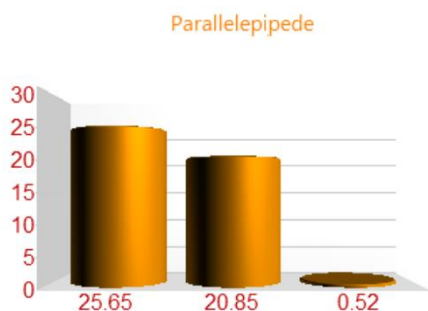
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.97	-27.18	-3.07	-11.97
Ke,a,Fe	-4.64	-18.07	-4.64	-18.07



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-20.85	-81.28	-20.85	-81.28
Géométrie et H,L,l	-0.52	-2.03	-0.26	-1.01

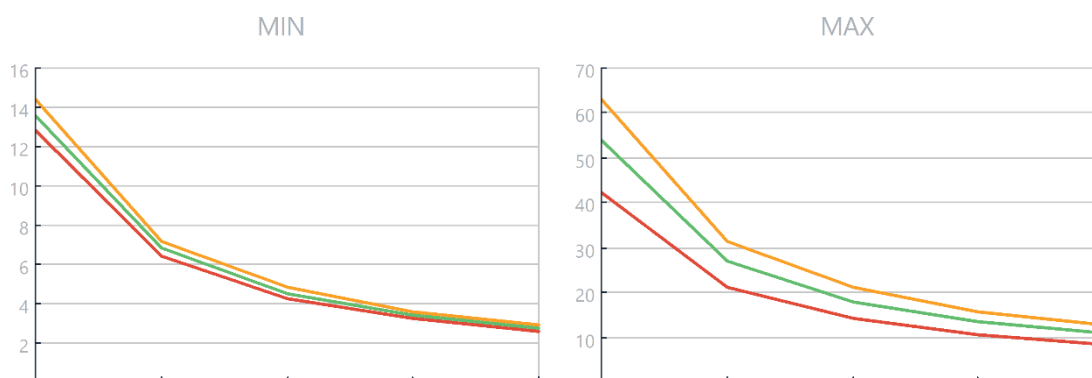


ANNEXES

Région de TIMIMOUNE

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	12.84	14.40	13.62	42.13	63.05	53.83	0.00	0.00
1000	6.42	7.20	6.81	21.07	31.52	26.92	-50.00	-50.00
3375	4.28	4.80	4.54	14.04	21.02	17.94	-66.67	-66.67
8000	3.21	3.60	3.41	10.53	15.76	13.46	-75.00	-75.00
15625	2.57	2.88	2.72	8.43	12.61	10.77	-80.00	-80.00

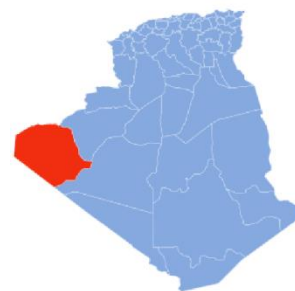


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.03	-27.18	-18.07	-81.28	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.01	-11.97	-18.07	-81.28	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :TINDOUF(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
TINDOUF	27.4N	8.08W	402	24.4	42.8	1028	767

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	5.07	5.64	5.35	22.26	8.71	17.42	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.25	6.00	6.00	23.84	8.41	16.83	14.7	15.58	14.72
0.80	7.00	0.20	5.46	6.47	6.42	25.80	8.09	16.17	13.7	17.85	13.75
0.80	15.00	0.55	5.65	6.92	6.78	27.59	7.82	15.64	13.0	19.87	13.03
0.80	15.00	0.80	6.00	7.83	7.41	31.11	7.37	14.73	11.9	23.73	11.93
0.80	10.00	0.55	6.03	7.92	7.46	31.45	7.33	14.65	11.8	24.10	11.83
0.80	7.00	0.55	6.46	9.21	8.19	36.08	6.84	13.68	10.7	29.05	10.78
0.80	10.00	0.80	6.48	9.29	8.23	36.35	6.81	13.63	10.7	29.33	10.73
0.80	7.00	0.80	7.01	11.17	9.10	42.58	6.30	12.59	9.70	35.84	9.70
1.30	15.00	0.20	8.24	9.16	8.70	22.26	8.71	17.42	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.53	9.76	9.75	23.84	8.41	16.83	14.7	15.58	14.72
1.30	7.00	0.20	8.87	10.52	10.44	25.80	8.09	16.17	13.7	17.85	13.75
1.30	15.00	0.55	9.18	11.24	11.01	27.59	7.82	15.64	13.0	19.87	13.03
1.30	15.00	0.80	9.74	12.72	12.03	31.11	7.37	14.73	11.9	23.73	11.93
1.30	10.00	0.55	9.80	12.87	12.13	31.45	7.33	14.65	11.8	24.10	11.83
1.30	7.00	0.55	10.49	14.97	13.31	36.08	6.84	13.68	10.7	29.05	10.78
1.30	10.00	0.80	10.53	15.10	13.38	36.35	6.81	13.63	10.7	29.33	10.73
1.30	7.00	0.80	11.40	18.16	14.79	42.58	6.30	12.59	9.70	35.84	9.70
2.00	15.00	0.20	12.68	14.09	13.39	22.26	8.71	17.42	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	13.12	15.01	15.00	23.84	8.41	16.83	14.7	15.58	14.72
2.00	7.00	0.20	13.65	16.18	16.06	25.80	8.09	16.17	13.7	17.85	13.75
2.00	15.00	0.55	14.12	17.29	16.94	27.59	7.82	15.64	13.0	19.87	13.03
2.00	15.00	0.80	14.99	19.58	18.51	31.11	7.37	14.73	11.9	23.73	11.93
2.00	10.00	0.55	15.07	19.81	18.66	31.45	7.33	14.65	11.8	24.10	11.83
2.00	7.00	0.55	16.14	23.04	20.48	36.08	6.84	13.68	10.7	29.05	10.78
2.00	10.00	0.80	16.20	23.23	20.58	36.35	6.81	13.63	10.7	29.33	10.73
2.00	7.00	0.80	17.54	27.93	22.75	42.58	6.30	12.59	9.70	35.84	9.70

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.26	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	23.84	8.41	16.83	14.72	15.58	14.72
7.00	0.20	25.80	8.09	16.17	13.75	17.85	13.75
15.00	0.55	27.59	7.82	15.64	13.03	19.87	13.03
15.00	0.80	31.11	7.37	14.73	11.93	23.73	11.93
10.00	0.55	31.45	7.33	14.65	11.83	24.10	11.83
7.00	0.55	36.08	6.84	13.68	10.78	29.05	10.78
10.00	0.80	36.35	6.81	13.63	10.73	29.33	10.73
7.00	0.80	42.58	6.30	12.59	9.70	35.84	9.70

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

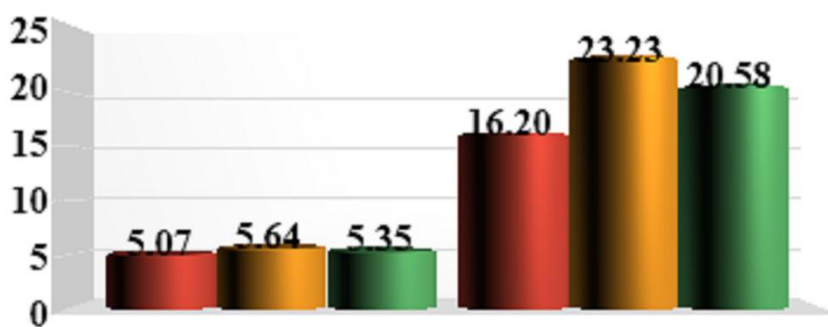
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	5.07	5.64	5.35	22.26	8.71	17.42	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	16.20	23.23	20.58	36.35	6.81	13.63	10.73	29.33	10.73
				27.93							



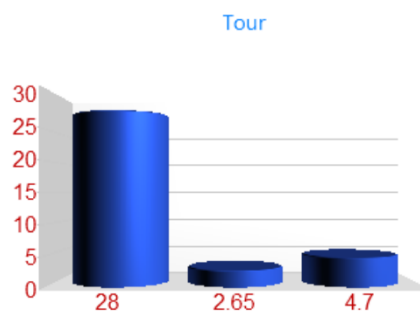
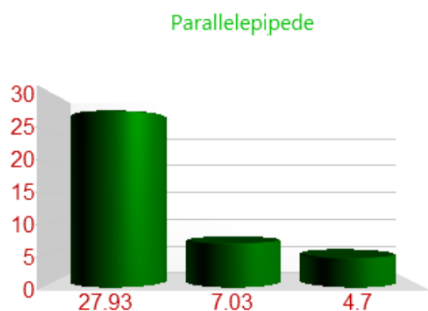
MIN

MAX

ANNEXES

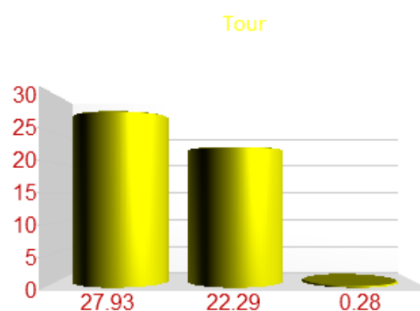
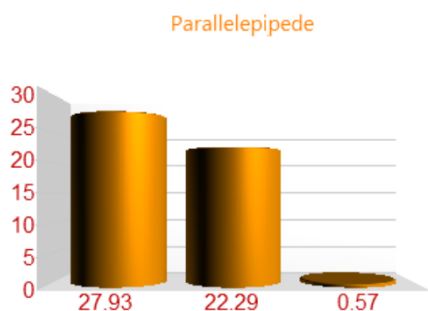
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7.03	-25.17	-2.65	-9.48
Ke,a,Fe	-4.70	-16.82	-4.70	-16.82



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22.29	-79.82	-22.29	-79.82
Géométrie et H,L,l	-0.57	-2.03	-0.28	-1.01

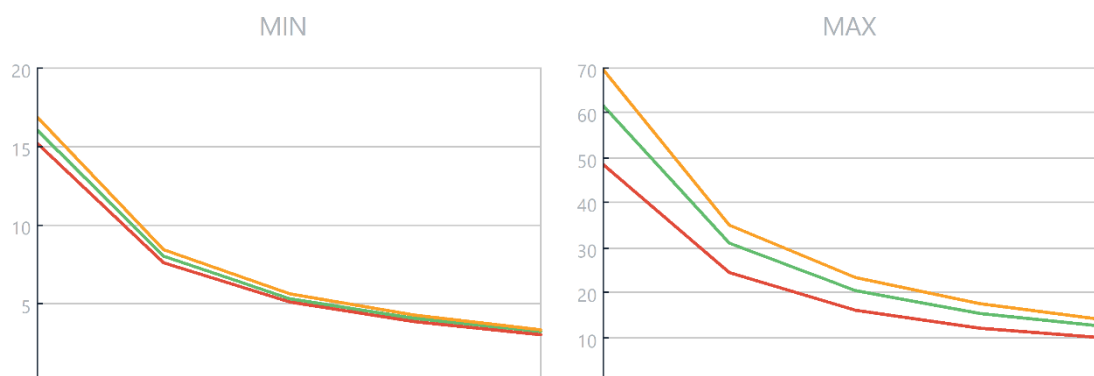


ANNEXES

Région de TINDOUF

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15.21	16.91	16.06	48.61	69.70	61.75	0.00	0.00
1000	7.61	8.46	8.03	24.30	34.85	30.88	-50.00	-50.00
3375	5.07	5.64	5.35	16.20	23.23	20.58	-66.67	-66.67
8000	3.80	4.23	4.02	12.15	17.42	15.44	-75.00	-75.00
15625	3.04	3.38	3.21	9.72	13.94	12.35	-80.00	-80.00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2.03	-25.17	-16.82	-79.82	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-1.01	-9.48	-16.82	-79.82	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :TOUGGOURT(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
TOUGGOURT	39.06 N	6.04E	65	22.9	40.9	1021	796

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0.80	15.00	0.20	4.98	5.53	5.25	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
0.80	10.00	0.20	5.17	5.89	5.89	24.12	8.36	16.73	14.6	15.66	14.68
0.80	7.00	0.20	5.38	6.36	6.30	26.19	8.03	16.05	13.7	17.96	13.71
0.80	15.00	0.55	5.57	6.80	6.65	28.08	7.75	15.51	12.9	20.00	12.99
0.80	15.00	0.80	5.93	7.70	7.27	31.77	7.29	14.58	11.8	23.91	11.88
0.80	10.00	0.55	5.96	7.79	7.33	32.12	7.25	14.50	11.7	24.28	11.79
0.80	7.00	0.55	6.40	9.08	8.05	36.98	6.76	13.51	10.7	29.29	10.73
0.80	10.00	0.80	6.42	9.16	8.09	37.27	6.73	13.46	10.6	29.58	10.68
0.80	7.00	0.80	6.96	11.02	8.94	43.79	6.21	12.42	9.66	36.15	9.66
1.30	15.00	0.20	8.10	8.98	8.54	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
1.30	10.00	0.20	8.39	9.57	9.57	24.12	8.36	16.73	14.6	15.66	14.68
1.30	7.00	0.20	8.75	10.33	10.24	26.19	8.03	16.05	13.7	17.96	13.71
1.30	15.00	0.55	9.05	11.04	10.81	28.08	7.75	15.51	12.9	20.00	12.99
1.30	15.00	0.80	9.63	12.52	11.82	31.77	7.29	14.58	11.8	23.91	11.88
1.30	10.00	0.55	9.69	12.67	11.91	32.12	7.25	14.50	11.7	24.28	11.79
1.30	7.00	0.55	10.39	14.75	13.08	36.98	6.76	13.51	10.7	29.29	10.73
1.30	10.00	0.80	10.43	14.88	13.14	37.27	6.73	13.46	10.6	29.58	10.68
1.30	7.00	0.80	11.31	17.91	14.53	43.79	6.21	12.42	9.66	36.15	9.66
2.00	15.00	0.20	12.46	13.82	13.14	22.45	8.67	17.34	15.0	15.00	15.00
2.00	10.00	0.20	12.91	14.72	14.72	24.12	8.36	16.73	14.6	15.66	14.68
2.00	7.00	0.20	13.46	15.89	15.76	26.19	8.03	16.05	13.7	17.96	13.71
2.00	15.00	0.55	13.93	16.99	16.63	28.08	7.75	15.51	12.9	20.00	12.99
2.00	15.00	0.80	14.82	19.26	18.18	31.77	7.29	14.58	11.8	23.91	11.88
2.00	10.00	0.55	14.90	19.49	18.32	32.12	7.25	14.50	11.7	24.28	11.79
2.00	7.00	0.55	15.99	22.70	20.12	36.98	6.76	13.51	10.7	29.29	10.73
2.00	10.00	0.80	16.05	22.89	20.22	37.27	6.73	13.46	10.6	29.58	10.68
2.00	7.00	0.80	17.40	27.56	22.35	43.79	6.21	12.42	9.66	36.15	9.66

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15.00	0.20	22.45	8.67	17.34	15.00	15.00	15.00
10.00	0.20	24.12	8.36	16.73	14.68	15.66	14.68
7.00	0.20	26.19	8.03	16.05	13.71	17.96	13.71
15.00	0.55	28.08	7.75	15.51	12.99	20.00	12.99
15.00	0.80	31.77	7.29	14.58	11.88	23.91	11.88
10.00	0.55	32.12	7.25	14.50	11.79	24.28	11.79
7.00	0.55	36.98	6.76	13.51	10.73	29.29	10.73
10.00	0.80	37.27	6.73	13.46	10.68	29.58	10.68
7.00	0.80	43.79	6.21	12.42	9.66	36.15	9.66

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

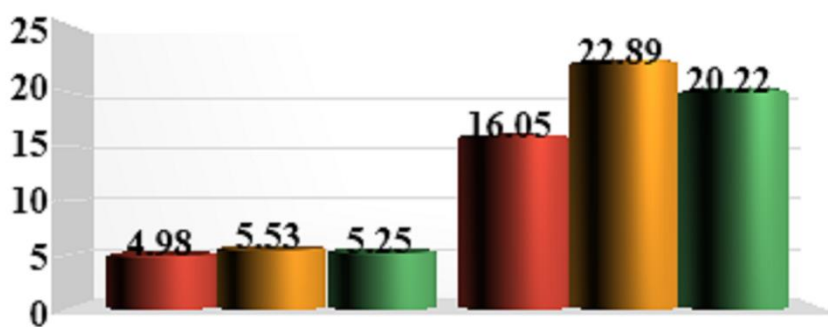
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L, H, l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0.80	15.00	0.20	4.98	5.53	5.25	22.45	8.67	17.34	15.00	15.00	15.00
2.00	10.00	0.80	16.05	22.89	20.22	37.27	6.73	13.46	10.68	29.58	10.68
				27.56							



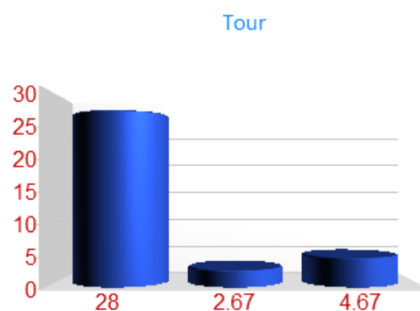
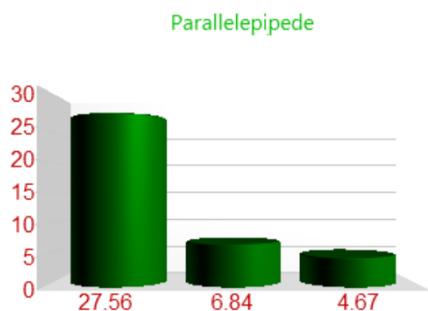
MIN

MAX

ANNEXES

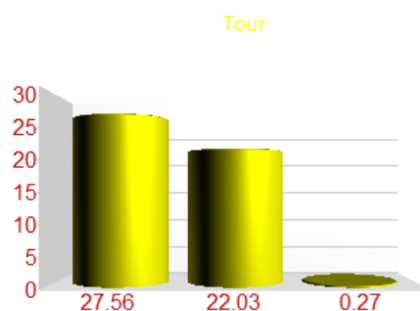
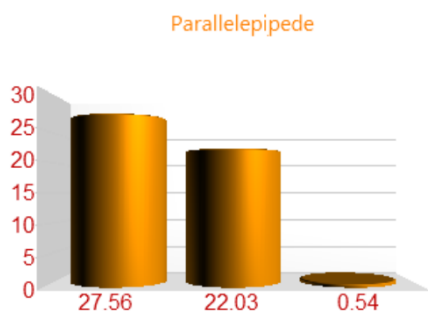
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-6.84	-24.83	-2.67	-9.69
Ke,a,Fe	-4.67	-16.94	-4.67	-16.94



Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22.03	-79.95	-22.03	-79.95
Géométrie et H,L,l	-0.54	-1.97	-0.27	-0.99

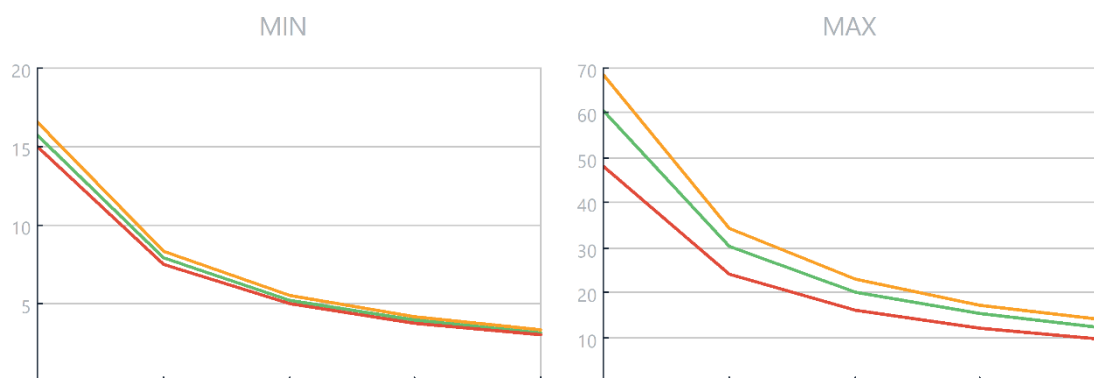


ANNEXES

Région de TOUGGOURT

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	14.95	16.58	15.76	48.15	68.67	60.66	0.00	0.00
1000	7.47	8.29	7.88	24.07	34.34	30.33	-50.00	-50.00
3375	4.98	5.53	5.25	16.05	22.89	20.22	-66.67	-66.67
8000	3.74	4.14	3.94	12.04	17.17	15.17	-75.00	-75.00
15625	2.99	3.32	3.15	9.63	13.73	12.13	-80.00	-80.00

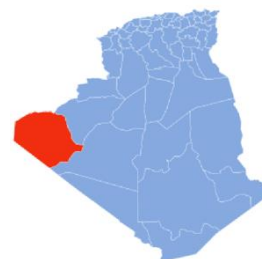


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-1.97	-24.83	-16.94	-79.95	-50.00	-80.00
Tour	lt =	-0.99	-9.69	-16.94	-79.95	-50.00	-80.00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :TINDOUF(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
TINDOUF	27.4N	8.08W	402	24.4	42.8	1028	767

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lP1	LT	HT	IT1
0,80	15,00	0,20	5,07	5,64	5,35	22,26	8,71	17,42	15,0	15,00	15,00
0,80	10,00	0,20	5,25	6,00	6,00	23,84	8,41	16,83	14,7	15,58	14,72
0,80	7,00	0,20	5,46	6,47	6,42	25,80	8,09	16,17	13,7	17,85	13,75
0,80	15,00	0,55	5,65	6,92	6,78	27,59	7,82	15,64	13,0	19,87	13,03
0,80	15,00	0,80	6,00	7,83	7,41	31,11	7,37	14,73	11,9	23,73	11,93
0,80	10,00	0,55	6,03	7,92	7,46	31,45	7,33	14,65	11,8	24,10	11,83
0,80	7,00	0,55	6,46	9,21	8,19	36,08	6,84	13,68	10,7	29,05	10,78
0,80	10,00	0,80	6,48	9,29	8,23	36,35	6,81	13,63	10,7	29,33	10,73
0,80	7,00	0,80	7,01	11,17	9,10	42,58	6,30	12,59	9,70	35,84	9,70
1,30	15,00	0,20	8,24	9,16	8,70	22,26	8,71	17,42	15,0	15,00	15,00
1,30	10,00	0,20	8,53	9,76	9,75	23,84	8,41	16,83	14,7	15,58	14,72
1,30	7,00	0,20	8,87	10,52	10,44	25,80	8,09	16,17	13,7	17,85	13,75
1,30	15,00	0,55	9,18	11,24	11,01	27,59	7,82	15,64	13,0	19,87	13,03
1,30	15,00	0,80	9,74	12,72	12,03	31,11	7,37	14,73	11,9	23,73	11,93
1,30	10,00	0,55	9,80	12,87	12,13	31,45	7,33	14,65	11,8	24,10	11,83
1,30	7,00	0,55	10,49	14,97	13,31	36,08	6,84	13,68	10,7	29,05	10,78
1,30	10,00	0,80	10,53	15,10	13,38	36,35	6,81	13,63	10,7	29,33	10,73
1,30	7,00	0,80	11,40	18,16	14,79	42,58	6,30	12,59	9,70	35,84	9,70
2,00	15,00	0,20	12,68	14,09	13,39	22,26	8,71	17,42	15,0	15,00	15,00
2,00	10,00	0,20	13,12	15,01	15,00	23,84	8,41	16,83	14,7	15,58	14,72
2,00	7,00	0,20	13,65	16,18	16,06	25,80	8,09	16,17	13,7	17,85	13,75
2,00	15,00	0,55	14,12	17,29	16,94	27,59	7,82	15,64	13,0	19,87	13,03
2,00	15,00	0,80	14,99	19,58	18,51	31,11	7,37	14,73	11,9	23,73	11,93
2,00	10,00	0,55	15,07	19,81	18,66	31,45	7,33	14,65	11,8	24,10	11,83
2,00	7,00	0,55	16,14	23,04	20,48	36,08	6,84	13,68	10,7	29,05	10,78
2,00	10,00	0,80	16,20	23,23	20,58	36,35	6,81	13,63	10,7	29,33	10,73
2,00	7,00	0,80	17,54	27,93	22,75	42,58	6,30	12,59	9,70	35,84	9,70

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15,00	0,20	22,26	8,71	17,42	15,00	15,00	15,00
10,00	0,20	23,84	8,41	16,83	14,72	15,58	14,72
7,00	0,20	25,80	8,09	16,17	13,75	17,85	13,75
15,00	0,55	27,59	7,82	15,64	13,03	19,87	13,03
15,00	0,80	31,11	7,37	14,73	11,93	23,73	11,93
10,00	0,55	31,45	7,33	14,65	11,83	24,10	11,83
7,00	0,55	36,08	6,84	13,68	10,78	29,05	10,78
10,00	0,80	36,35	6,81	13,63	10,73	29,33	10,73
7,00	0,80	42,58	6,30	12,59	9,70	35,84	9,70

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

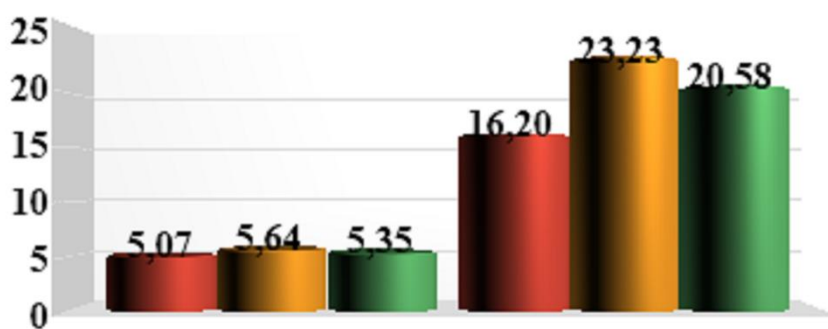
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L , H , l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0,80	15,00	0,20	5,07	5,64	5,35	22,26	8,71	17,42	15,00	15,00	15,00
2,00	10,00	0,80	16,20	23,23	20,58	36,35	6,81	13,63	10,73	29,33	10,73
				27,93							



MIN

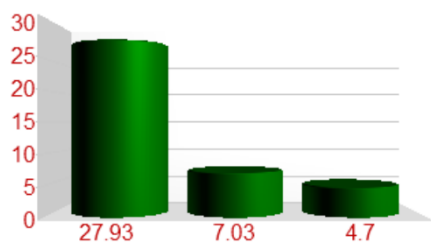
MAX

ANNEXES

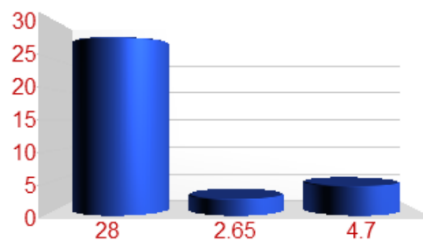
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7,03	-25,17	-2,65	-9,48
Ke,a,Fe	-4,70	-16,82	-4,70	-16,82

Parallelepipede



Tour



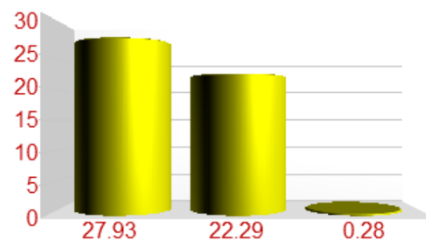
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepipede	% Parallelepipede	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22,29	-79,82	-22,29	-79,82
Géométrie et H,L,l	-0,57	-2,03	-0,28	-1,01

Parallelepipede



Tour

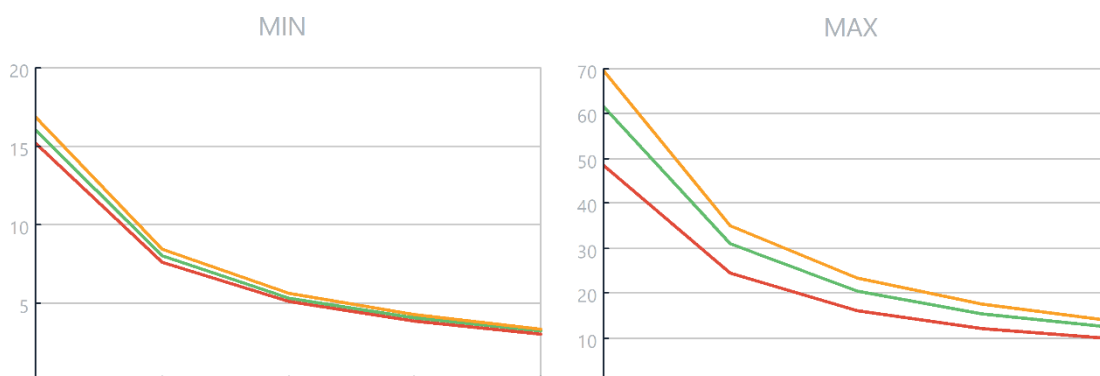


ANNEXES

Région de TINDOUF

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min 1	GCMin 1	GT Min 1	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15,21	16,91	16,06	48,61	69,70	61,75	0,00	0,00
1000	7,61	8,46	8,03	24,30	34,85	30,88	-50,00	-50,00
3375	5,07	5,64	5,35	16,20	23,23	20,58	-66,67	-66,67
8000	3,80	4,23	4,02	12,15	17,42	15,44	-75,00	-75,00
15625	3,04	3,38	3,21	9,72	13,94	12,35	-80,00	-80,00

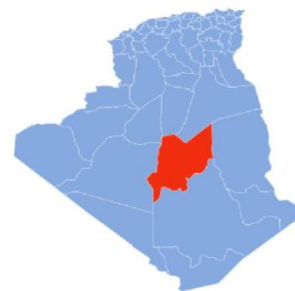


Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2,03	-25,17	-16,82	-79,82	-50,00	-80,00
Tour	lt =	-1,01	-9,48	-16,82	-79,82	-50,00	-80,00

ANNEXES

APPLICATION DE LA SIMULATION CAS DE :IN SALAH(3375 m3)



Information Région:

Regions	Latitude	Longitude	Altitude	Ti	Te	IN1	IN2
IN SALAH	27.15	2.31E	293	25.6	44.6	1036	754

Optimisation :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	IP1	LT	HT	IT1
0,80	15,00	0,20	5,22	5,80	5,51	22,10	8,74	17,48	15,0	15,00	15,00
0,80	10,00	0,20	5,39	6,17	6,17	23,62	8,45	16,91	14,7	15,45	14,78
0,80	7,00	0,20	5,60	6,65	6,60	25,50	8,14	16,27	13,8	17,67	13,82
0,80	15,00	0,55	5,79	7,09	6,96	27,21	7,88	15,75	13,1	19,65	13,10
0,80	15,00	0,80	6,14	8,01	7,60	30,58	7,43	14,86	12,0	23,44	12,00
0,80	10,00	0,55	6,17	8,11	7,66	30,91	7,39	14,78	11,9	23,81	11,91
0,80	7,00	0,55	6,60	9,41	8,41	35,36	6,91	13,82	10,8	28,67	10,85
0,80	10,00	0,80	6,62	9,49	8,45	35,62	6,88	13,77	10,8	28,95	10,80
0,80	7,00	0,80	7,16	11,38	9,33	41,62	6,37	12,74	9,77	35,34	9,77
1,30	15,00	0,20	8,48	9,43	8,96	22,10	8,74	17,48	15,0	15,00	15,00
1,30	10,00	0,20	8,77	10,03	10,03	23,62	8,45	16,91	14,7	15,45	14,78
1,30	7,00	0,20	9,11	10,80	10,72	25,50	8,14	16,27	13,8	17,67	13,82
1,30	15,00	0,55	9,41	11,53	11,31	27,21	7,88	15,75	13,1	19,65	13,10
1,30	15,00	0,80	9,97	13,02	12,35	30,58	7,43	14,86	12,0	23,44	12,00
1,30	10,00	0,55	10,03	13,17	12,45	30,91	7,39	14,78	11,9	23,81	11,91
1,30	7,00	0,55	10,73	15,29	13,66	35,36	6,91	13,82	10,8	28,67	10,85
1,30	10,00	0,80	10,77	15,42	13,73	35,62	6,88	13,77	10,8	28,95	10,80
1,30	7,00	0,80	11,64	18,49	15,16	41,62	6,37	12,74	9,77	35,34	9,77
2,00	15,00	0,20	13,05	14,51	13,78	22,10	8,74	17,48	15,0	15,00	15,00
2,00	10,00	0,20	13,49	15,43	15,43	23,62	8,45	16,91	14,7	15,45	14,78
2,00	7,00	0,20	14,01	16,61	16,50	25,50	8,14	16,27	13,8	17,67	13,82
2,00	15,00	0,55	14,48	17,73	17,40	27,21	7,88	15,75	13,1	19,65	13,10
2,00	15,00	0,80	15,35	20,03	19,00	30,58	7,43	14,86	12,0	23,44	12,00
2,00	10,00	0,55	15,43	20,26	19,15	30,91	7,39	14,78	11,9	23,81	11,91
2,00	7,00	0,55	16,50	23,52	21,01	35,36	6,91	13,82	10,8	28,67	10,85
2,00	10,00	0,80	16,56	23,72	21,12	35,62	6,88	13,77	10,8	28,95	10,80
2,00	7,00	0,80	17,90	28,45	23,33	41,62	6,37	12,74	9,77	35,34	9,77

ANNEXES

Optimisation - Indice dimensions et proportions

Fe	a	LP	HP	IP	LT	HT	IT1
15,00	0,20	22,10	8,74	17,48	15,00	15,00	15,00
10,00	0,20	23,62	8,45	16,91	14,78	15,45	14,78
7,00	0,20	25,50	8,14	16,27	13,82	17,67	13,82
15,00	0,55	27,21	7,88	15,75	13,10	19,65	13,10
15,00	0,80	30,58	7,43	14,86	12,00	23,44	12,00
10,00	0,55	30,91	7,39	14,78	11,91	23,81	11,91
7,00	0,55	35,36	6,91	13,82	10,85	28,67	10,85
10,00	0,80	35,62	6,88	13,77	10,80	28,95	10,80
7,00	0,80	41,62	6,37	12,74	9,77	35,34	9,77

parallélépipède : $IP = 2 * Hp$
Lt

Proportions

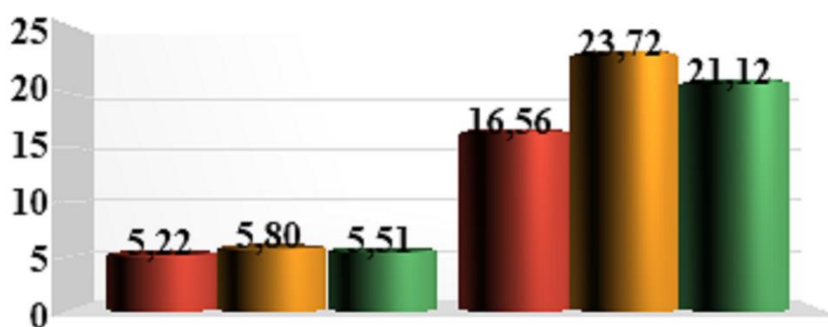
Proportions tour : IT =

Dimensions pour divers volumes :

Volume	125	1000	3325	8000	15625
(L , H , l)	* 1	* 2	* 3	* 4	* 5

Optimisation et comparaison Min et Max :

Ke	Fe	a	GP	GC	GT	LP	HP	lp	LT	HT	lt
0,80	15,00	0,20	5,22	5,80	5,51	22,10	8,74	17,48	15,00	15,00	15,00
2,00	10,00	0,80	16,56	23,72	21,12	35,62	6,88	13,77	10,80	28,95	10,80
				28,45							



MIN

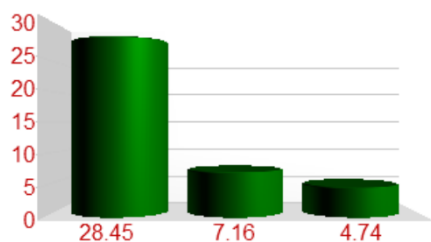
MAX

ANNEXES

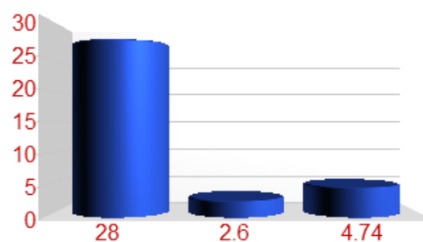
Début d'optimisation indice géométrie valeur 26 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Géométrie et H,L,l	-7,16	-25,15	-2,60	-9,14
Ke,a,Fe	-4,74	-16,64	-4,74	-16,64

Parallelepiped



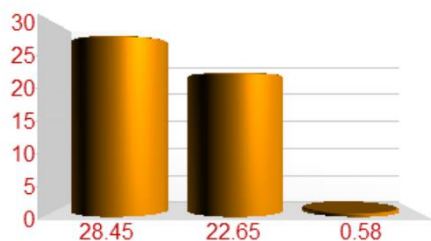
Tour



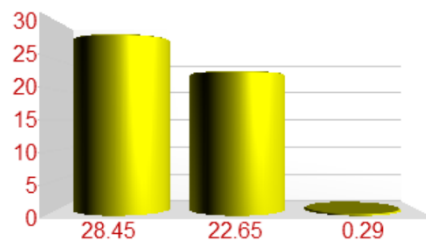
Fin d'optimisation Indice Ke,Fe et a valeur 1 :

Indice d'optimisation	Optimisation Parallelepiped	% Parallelepiped	Optimisation Tour	% Tour
Ke,a,Fe	-22,65	-79,60	-22,65	-79,60
Géométrie et H,L,l	-0,58	-2,06	-0,29	-1,03

Parallelepiped



Tour

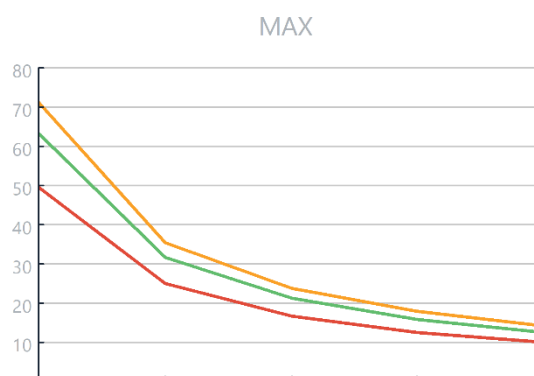
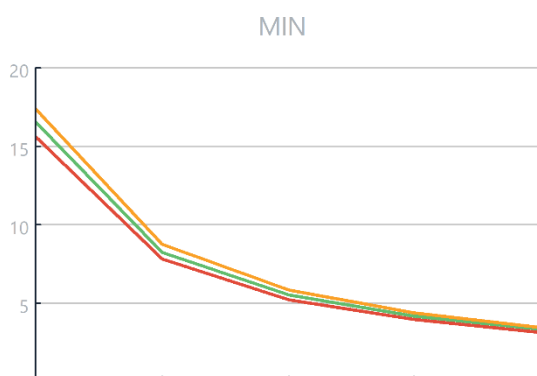


ANNEXES

Région de IN SALAH

Optimisation indice volume :

Volum e	GP Min l	GCMin 1	GT Min l	GP Max 26	GC Max 26	GT Max 26	Opt-V Min(%)	Opt-V Max(%)
125	15,66	17,41	16,53	49,69	71,15	63,35	0,00	0,00
1000	7,83	8,71	8,27	24,84	35,58	31,67	-50,00	-50,00
3375	5,22	5,80	5,51	16,56	23,72	21,12	-66,67	-66,67
8000	3,91	4,35	4,13	12,42	17,79	15,84	-75,00	-75,00
15625	3,13	3,48	3,31	9,94	14,23	12,67	-80,00	-80,00



Synthèse d'optimisation :

Forme	Proportion L , H , l	Optimisati on géométrie L,H,l Début	Optimisati on géométrie L,H,l Fin	Optimisati on Ke,a,Fe Début	Optimisatio n Ke,a,Fe Fin	Optimisati on - Volume Début	Optimisati on - Volume Fin
Parall	lp =	-2,06	-25,15	-16,64	-79,60	-50,00	-80,00
Tour	lt =	-1,03	-9,14	-16,64	-79,60	-50,00	-80,00

ANNEXES

Annexes D : Synthèse de Simulation et la poursuite de l'optimisation pour les 19 cas

Region	Forme	Proportion L , H , l	Optimisation gÈomÈtrie L,H,l	Optimisation gÈomÈtrie L,H,l	Optimisation n Ke,a,Fe	Optimisation n Ke,a,Fe	Optimisation - Volume	Optimisation - Volume
ADRAR	ParallÈl	lp = 2	-2,04	-24,53	-16,31	-79,21	-50,00	-80,00
ADRAR	Tour	lt = LT	-1,02	-8,54	-16,31	-79,21	-50,00	-80,00
BECHAR	ParallÈl	lp = 2	-2,00	-24,65	-16,66	-79,62	-50,00	-80,00
BECHAR	Tour	lt = LT	-1,00	-9,16	-16,66	-79,62	-50,00	-80,00
BENI ABBES	ParallÈl	lp = 2	-1,93	-23,18	-16,12	-78,98	-50,00	-80,00
BENI ABBES	Tour	lt = LT	-0,97	-8,20	-16,12	-78,98	-50,00	-80,00
BISKRA	ParallÈl	lp = 2	-1,90	-23,70	-16,61	-79,57	-50,00	-80,00
BISKRA	Tour	lt = LT	-0,95	-9,09	-16,61	-79,57	-50,00	-80,00
BORDJ BAJI MOKHTAR	ParallÈl	lp = 2	-2,06	-26,53	-17,51	-80,62	-50,00	-80,00
BORDJ BAJI MOKHTAR	Tour	lt = LT	-1,03	-10,80	-17,51	-80,62	-50,00	-80,00
DJANET	ParallÈl	lp = 2	-1,96	-26,33	-17,90	-81,09	-50,00	-80,00
DJANET	Tour	lt = LT	-0,98	-11,62	-17,90	-81,09	-50,00	-80,00
EL M GHAIR	ParallÈl	lp = 2	-1,92	-23,04	-16,13	-78,99	-50,00	-80,00
EL M GHAIR	Tour	lt = LT	-0,96	-8,21	-16,13	-78,99	-50,00	-80,00
EL MENIA	ParallÈl	lp = 2	-1,99	-23,39	-15,90	-78,73	-50,00	-80,00
EL MENIA	Tour	lt = LT	-0,99	-7,83	-15,90	-78,73	-50,00	-80,00
EL OUAD	ParallÈl	lp = 2	-1,98	-24,77	-16,85	-79,84	-50,00	-80,00
EL OUAD	Tour	lt = LT	-0,99	-9,52	-16,85	-79,84	-50,00	-80,00
GHARDAIA	ParallÈl	lp = 2	-2,01	-25,25	-17,01	-80,03	-50,00	-80,00
GHARDAIA	Tour	lt = LT	-1,00	-9,82	-17,01	-80,03	-50,00	-80,00
ILIZI	ParallÈl	lp = 2	-1,99	-25,02	-16,95	-79,96	-50,00	-80,00

ANNEXES

Region	Forme	Proportion L , H , l	Optimisation gÈomÈtrie L,H,l	Optimisation gÈomÈtrie L,H,l	Optimisation n Ke,a,Fe	Optimisation n Ke,a,Fe	Optimisation Volume	Optimisation Volume
ILIZI	Tour	lt = LT	-1,00	-9,71	-16,95	-79,96	-50,00	-80,00
IN GUEZZAM	ParallÈl	lp = 2	-2,18	-28,67	-18,18	-81,41	-50,00	-80,00
IN GUEZZAM	Tour	lt = LT	-1,09	-12,20	-18,18	-81,41	-50,00	-80,00
IN SALAH	ParallÈl	lp = 2	-2,06	-25,15	-16,64	-79,60	-50,00	-80,00
IN SALAH	Tour	lt = LT	-1,03	-9,14	-16,64	-79,60	-50,00	-80,00
OUARGLA	ParallÈl	lp = 2	-1,99	-24,49	-16,62	-79,58	-50,00	-80,00
OUARGLA	Tour	lt = LT	-0,99	-9,10	-16,62	-79,58	-50,00	-80,00
OULED DJALAL	ParallÈl	lp = 2	-1,97	-25,08	-17,10	-80,14	-50,00	-80,00
OULED DJALAL	Tour	lt = LT	-0,99	-10,00	-17,10	-80,14	-50,00	-80,00
TAMANRASSET	ParallÈl	lp = 2	-2,17	-29,03	-18,43	-81,70	-50,00	-80,00
TAMANRASSET	Tour	lt = LT	-1,09	-12,75	-18,43	-81,70	-50,00	-80,00
TIMIMOUNE	ParallÈl	lp = 2	-2,03	-27,18	-18,07	-81,28	-50,00	-80,00
TIMIMOUNE	Tour	lt = LT	-1,01	-11,97	-18,07	-81,28	-50,00	-80,00
TINDOUF	ParallÈl	lp = 2	-2,03	-25,17	-16,82	-79,82	-50,00	-80,00
TINDOUF	Tour	lt = LT	-1,01	-9,48	-16,82	-79,82	-50,00	-80,00
TOUGGOURT	ParallÈl	lp = 2	-1,97	-24,83	-16,94	-79,95	-50,00	-80,00
TOUGGOURT	Tour	lt = LT	-0,99	-9,69	-16,94	-79,95	-50,00	-80,00

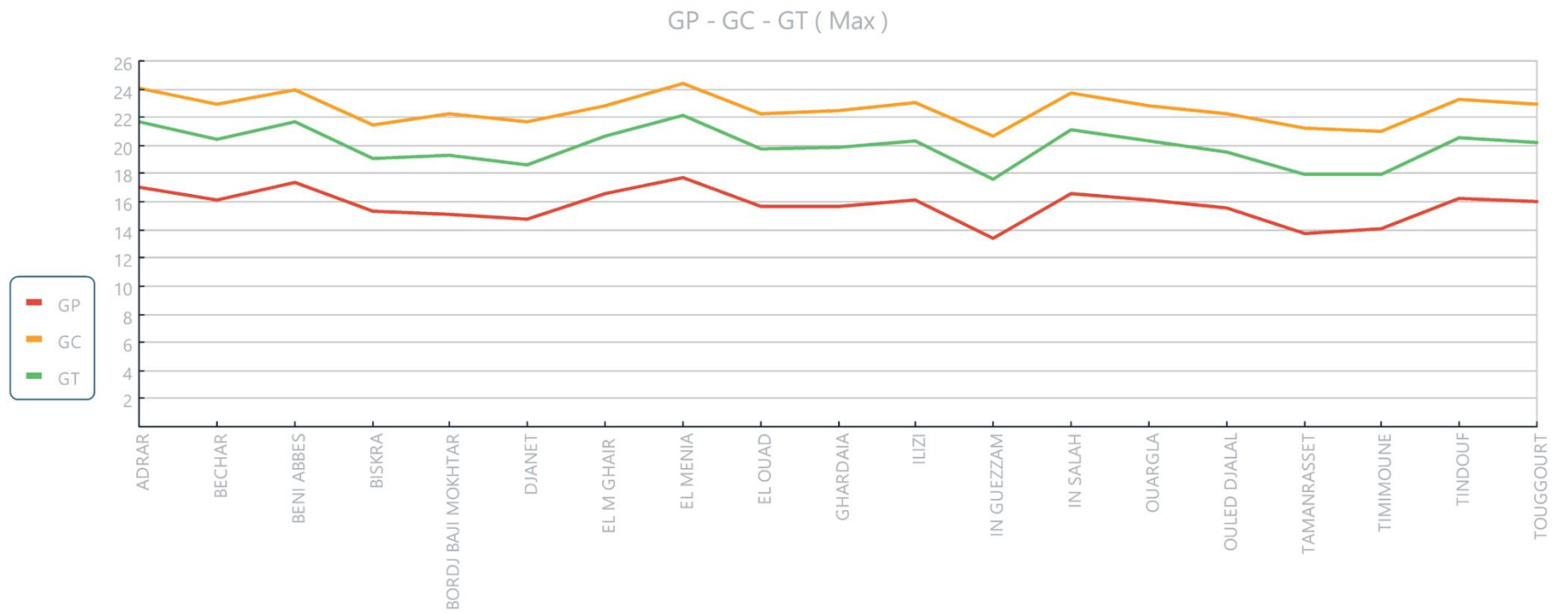
ANNEXES

Tableau Récapitulatif :

Regions	Ti	Te	IN1	IN2	GMax			GMin			Opti-G�om-		Opti-G�om-		Opti Ke Fe	
					GPM	GCM	GTM	GPM	GCM	GTMi	Déb	Fin	Déb	Fin	Déb	Fin
ADRAR	25,	45,	1�0	750,	17,0	24,0	21,6	5,40	5,98	5,69	-	-	-	-8,54	-	-
BECHAR	21,	39,	1�0	761,	16,1	22,9	20,4	5,06	5,61	5,33	-	-	-	-9,16	-	-
BENI ABBES	22,	42,	1�0	800,	17,3	23,9	21,6	5,46	6,01	5,73	-	-	-	-8,20	-	-
BISKRA	22,	39,	934	761,	15,3	21,4	19,0	4,76	5,25	5,01	-	-	-	-9,09	-	-
BORDJ BAJI MOKHTAR	25,	42,	1�0	762,	15,1	22,2	19,3	4,67	5,23	4,95	-	-	-	-	-	-
DJANET	19,	35,	1�0	825,	14,7	21,7	18,6	4,48	5,00	4,74	-	-	-	-	-	-
EL M GHAIR	21,	40,	961	772,	16,5	22,8	20,6	5,20	5,72	5,46	-	-	-	-8,21	-	-
EL MENIA	21,	41,	1�0	767,	17,6	24,4	22,1	5,61	6,19	5,90	-	-	-	-7,83	-	-
EL OUAD	22,	40,	986	762,	15,6	22,2	19,7	4,86	5,39	5,13	-	-	-	-9,52	-	-
GHARDAIA	22,	39,	1�0	767,	15,6	22,4	19,8	4,87	5,41	5,14	-	-	-	-9,82	-	-
ILIZI	22,	40,	1�0	790,	16,0	23,0	20,3	5,01	5,56	5,28	-	-	-	-9,71	-	-
IN GUEZZAM	20,	35,	1�0	685,	13,4	20,6	17,5	4,14	4,69	4,41	-	-	-	-	-	-
IN SALAH	25,	44,	1�0	754,	16,5	23,7	21,1	5,22	5,80	5,51	-	-	-	-9,14	-	-
OUARGLA	23,	41,	995	762,	16,1	22,8	20,3	5,04	5,59	5,32	-	-	-	-9,10	-	-
OULED DJALAL	22,	39,	1�0	784,	15,5	22,2	19,5	4,80	5,33	5,06	-	-	-	-	-	-
TAMANRASSET	20,	35,	1�0	727,	13,7	21,2	17,9	4,21	4,77	4,49	-	-	-	-	-	-
TIMIMOUNE	25,	40,	1�0	773,	14,0	21,0	17,9	4,28	4,80	4,54	-	-	-	-	-	-
TINDOUF	24,	42,	1�0	767,	16,2	23,2	20,5	5,07	5,64	5,35	-	-	-	-9,48	-	-
TOUGGOURT	22,	40,	1�0	796,	16,0	22,8	20,2	4,98	5,53	5,25	-	-	-	-9,69	-	-

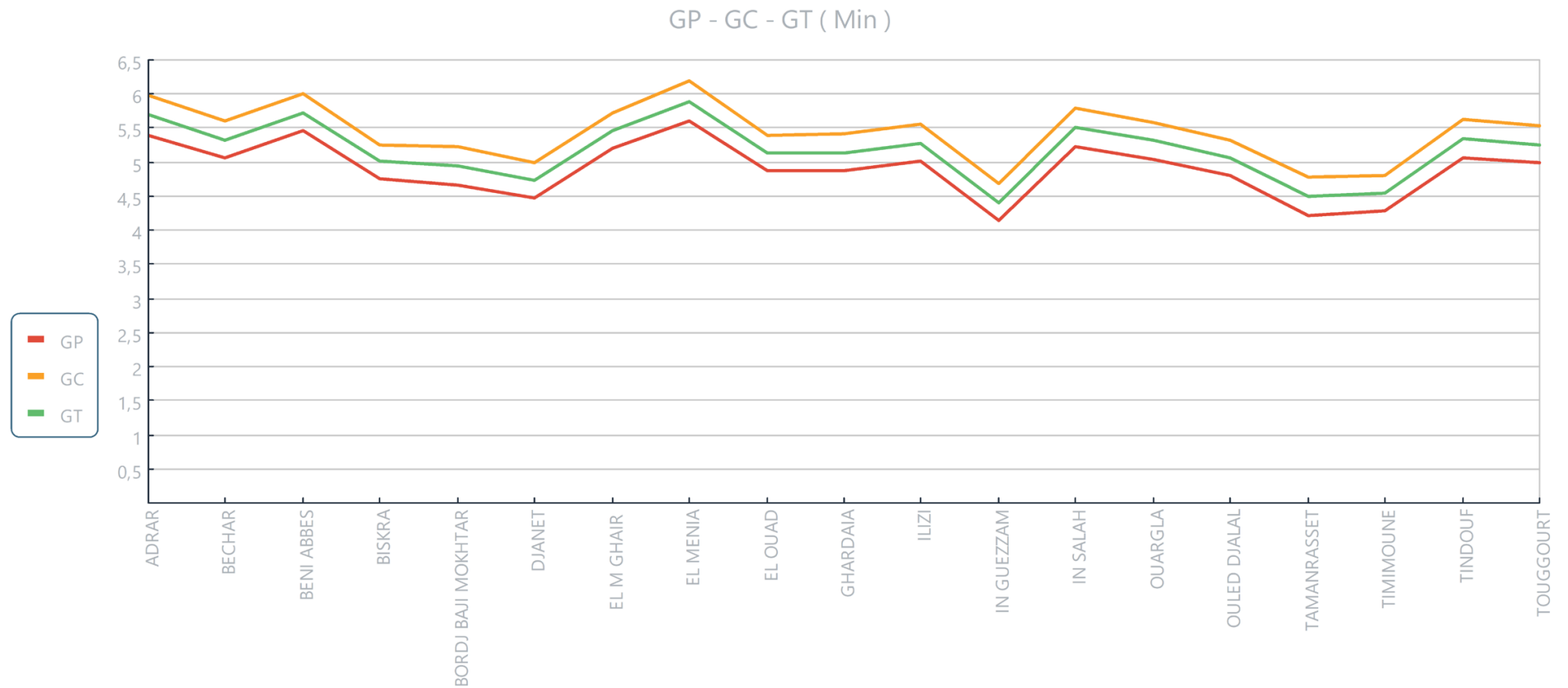
ANNEXES

Graphe GMax :



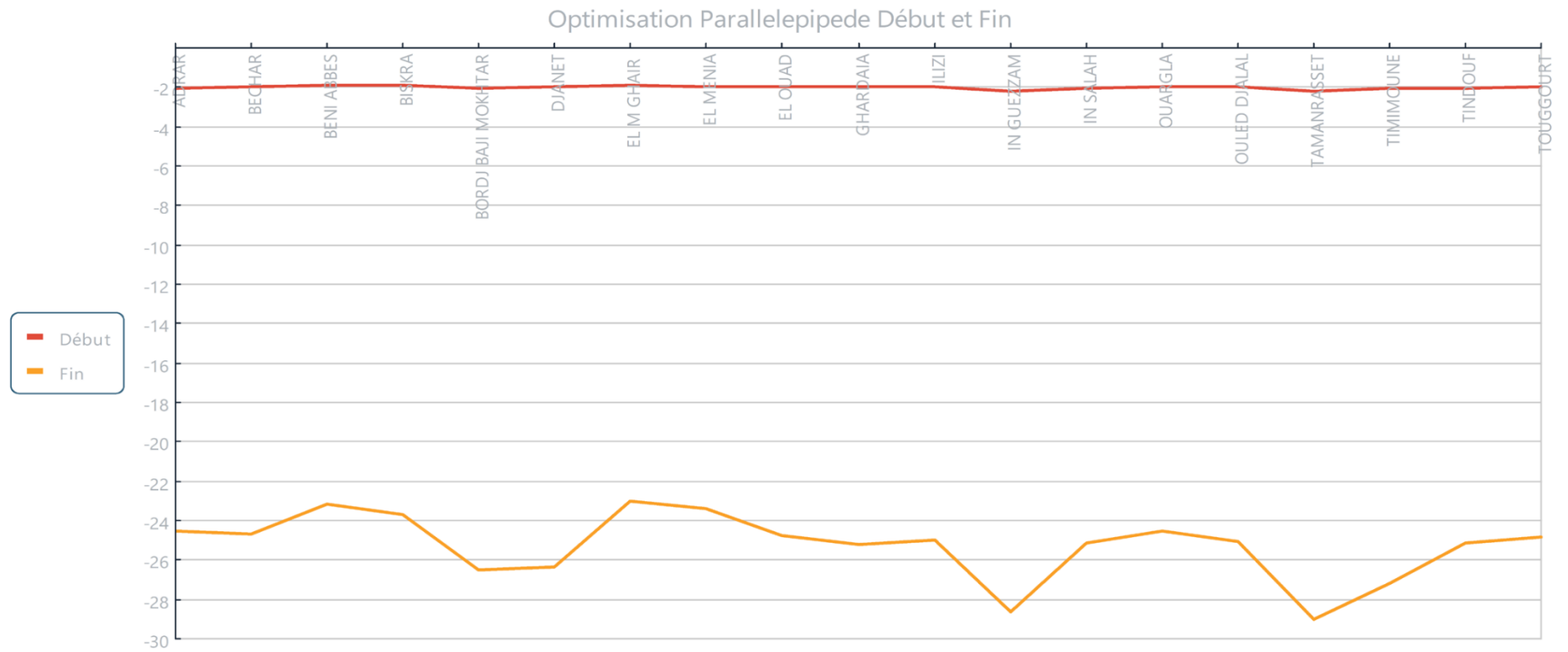
ANNEXES

Graphe GMin



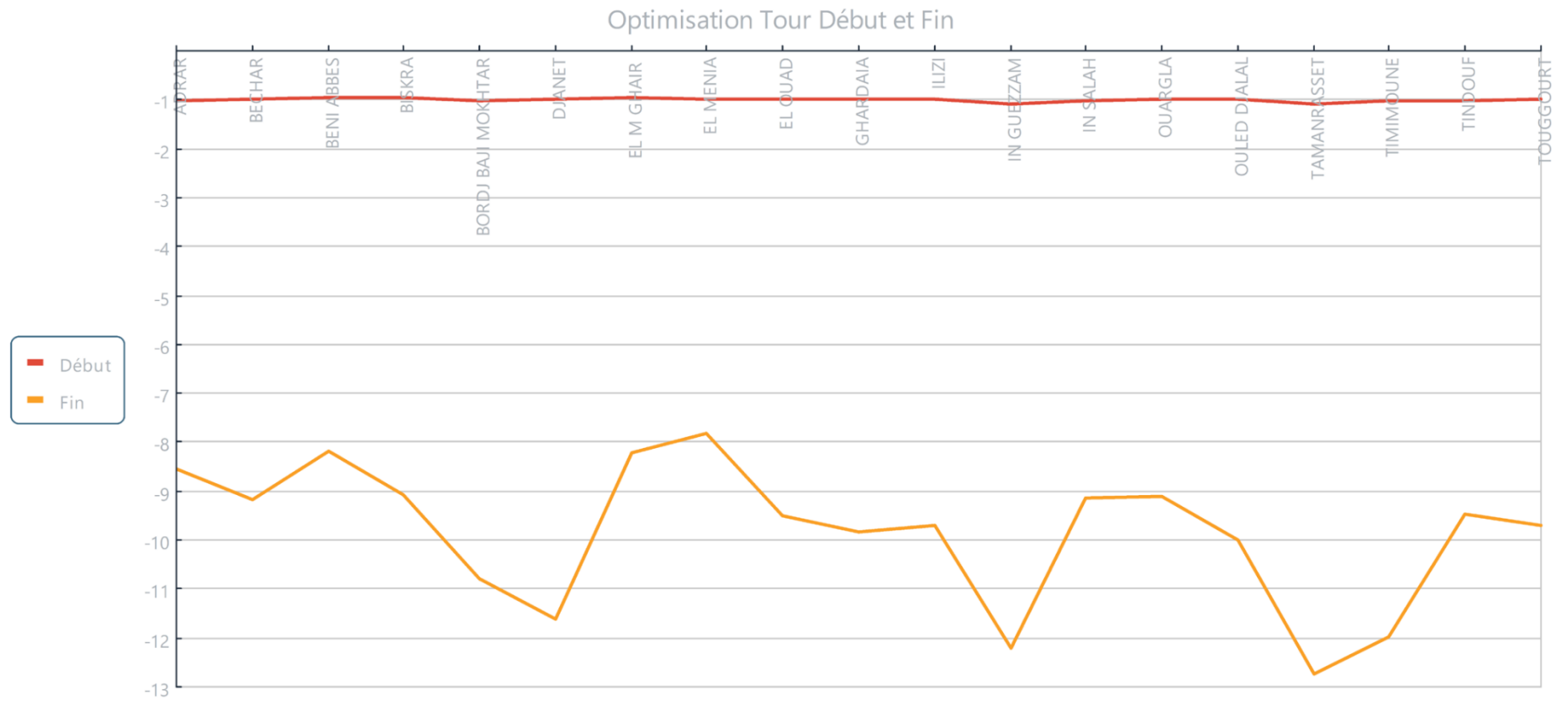
ANNEXES

Grphe Opti-GÈom-Paral :



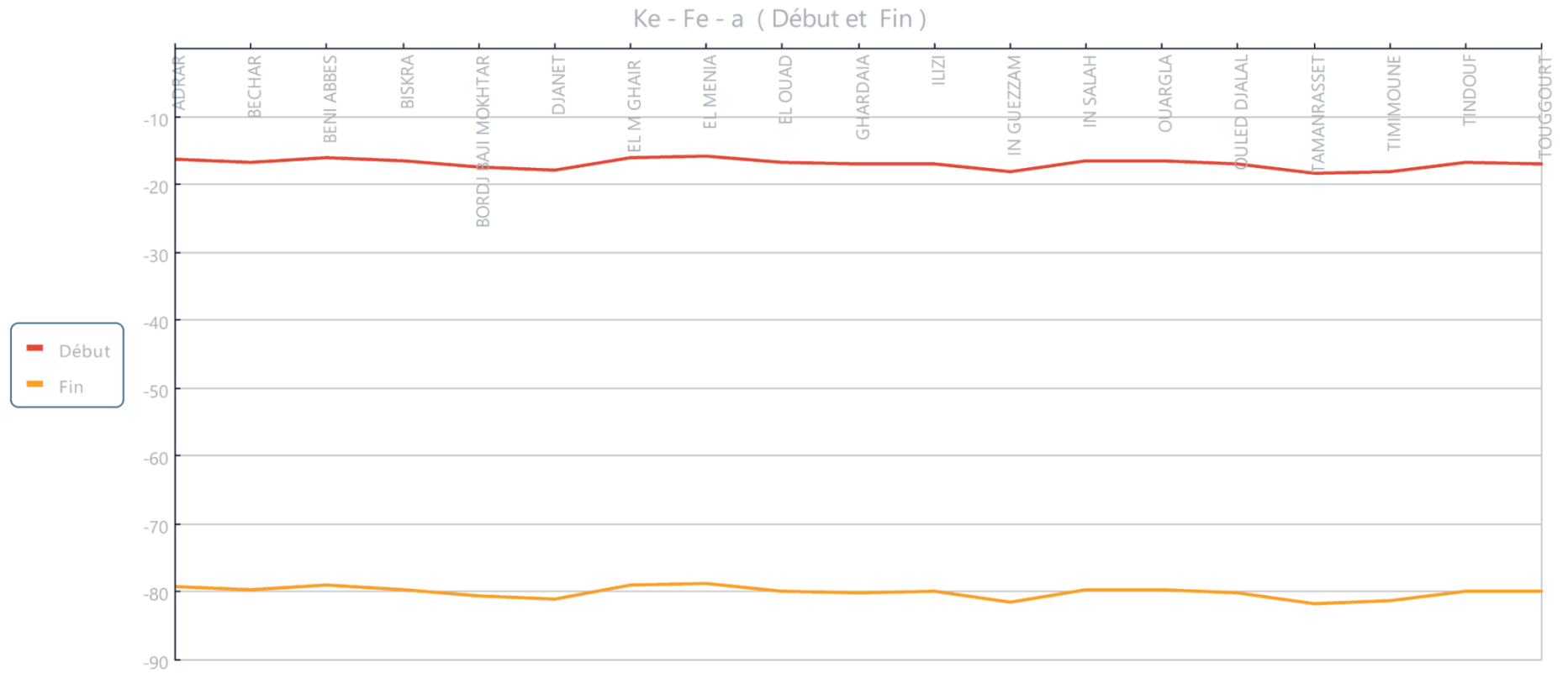
ANNEXES

Graphe Opti-GÈom-Tour :



ANNEXES

Graphe Opti-Ke-Fe-a



Impact of Form on the Energy Performance of Buildings: A Contribution to Sustainable Buildings in Hot and Dry Climates

ZEROUAL Daoud^{1,2}, BOURBIA Fatiha^{2,3}, FEZZAI Soufiane⁴, AHRIZ Atef⁴, BELARBI Lakhdaire⁵

¹Doctorate Candidate, department of architecture, university of Constantine 3, Algeria.

²Laboratory ABE, Architecture Bioclimatique & Environnement, university of Constantine 3, Algeria.

³Professor, department of architecture, university of Constantine 3, Algeria.

^{4,5}Associate Professor, department of architecture, university of Tébessa, Algeria.

Received: December 01, 2022

Accepted: December 27, 2022

Published: December 29, 2022

Abstract

The question of the influence of human activities on climate has preoccupied scientists for over a century; the scarcity of fossil energy; climate change, and the greenhouse effect are normal consequences of an imbalanced environment. The construction sector is one of the principal actors involved in the increased anticipated impacts. Because it represents approximately 30% to 40% of global energy consumption, it is imperative to participate in the development of innovative actions in the field of energy efficiency and reducing environmental impact. From this perspective, we think about the production of sustainable buildings (high energy), while ensuring maximum comfort to the user. The objective of this work is the minimization of energy consumption by the study of the relationship between the morphological characteristics of the form of buildings and the climatic parameters, to improve energy performance. Without resorting to technological solutions, very advanced and very costly and contribute to the sustainable development of buildings in the regions hot and dry.

The high outside air temperature and intense solar radiation are the two main sources of discomfort, the numerical simulation is based on the study of the form factor influence (C_f = surface of the envelope /habitable volume) on the coefficient of heat gain G (heat gain coefficient of the habitable volume), we have tested the interaction between the volume, geometry, the proportions of a hand and the two parameters above on the others. Software -called- OPTI-01 developed with mat lab gave satisfactory results for all the simulations.

The results of this research have identified a significant improvement in the optimization of energy performance by varying parameters, such as volume -50% to -90%, geometry-20%to -40%, and the optimal proportions of the building as parallelepiped: $L = 8 H$ & $L = 4 l$ Tower: $L = l$ & $H = 5 L$. Finally, this study focuses on work the promotion of research in the field of energy efficiency.

Key words: hot and dry climate, form factor, energy efficiency of building. Sustainable development

ANNEXES

Nomenclature

G	Heat gain coefficient of the habitable volume
Q	Quantity of heat gains in entering the building (w)
Qc	Quantity of heat gain transmitted by conduction (w)
Qs	Quantity of heat gain transmitted by radiation (w)
I	Intensity of solar radiation (w/m ²)
O	Radiation factor
Sv	Surface of the glass envelope (m ²)
Sn	Opaque surfaces of the walls of the envelope (m ²)
KE	Coefficient of heat transmission through the envelope (w/m ² . °C)
a	Absorption factor of the external surfaces of the envelope
fe	Exchange coefficient of external surfaces (w/m ² . °C)
V	Habitable volume
(m ³) Cf	Form factor
Δt	The difference between external and internal temperature (°C)
T _{sa}	The temperature in the sun (°C)
L	Length (ml)
l	Width (ml)
H	High (ml)

INTRODUCTION

Several forums that have been held on the environment and the future of our planet show that our climate is in crisis and it will be more acute if we do not take the necessary preventive measures. The impacts of rising temperatures, less rainfall, and the intensity of extreme events may increase the pressures associated with human activities on the existing natural environment, particularly in urban areas (Özvan and Aslantaş 2022, Imd 2022). That could have serious consequences - in the 21st century on the climate and environment in general (Morales 2022). Many options should be identified and implemented to minimize these effects as much as possible. Energy is at the heart of these actions; on the first hand, it's the main sector issuer of greenhouse gases, on the other hand, consumption of energy (electricity in particular) with very strong growth in hot regions could be exacerbated by the additional demand needed to mitigate the effects of climate change (cooling of buildings) (Mahfuza and Eshkoraev 2022, Yun et al. 2018). However, the current situation and the expected in the coming years are characterized by rapid rates of change. This factor makes the magnitude the most important of the anticipated impacts of relatively rapid changes, which do not allow acclimatization and gradual adaptation of ecosystems and societies. In addition, we notice new weather events which have never been recorded (Yun et al. 2018).

Since 1970, the world has experienced a warming of about 2°C (UNEP 2009). This warming is also evident in regions with warm dry climates, even if it is more difficult to quantify because of the lack of a complete observation network. Thus, these regions are called "hot spots of climate change". Climate change affect these areas more than other regions of the world in the 21st century (IPCC 2007). So, the development and improvement of energy efficiency to curb rising consumption and the growth of CFC emissions is now a requirement rather than a choice.

ANNEXES

The region, case of study, has potential in renewable energy among the world's most important through sunshine, wind to multiple sites, or significant geothermal resources. In addition, we believe the potential for progress in energy efficiency. To exploit this potential, we must adopt a Sustainable Development Strategy that proposes guidelines, actions, and targets for the rational use of energy to improve energy efficiency. Despite its options, the control of energy is underutilized.

The construction and residential/tertiary sectors are key to the action as they consume about 40% of the final energy. It is imperative to participate in the development of innovative actions in the field of economic energy and reduce environmental impacts. This initiative is an awareness related to the fact that fossil fuels are exhaustible and polluting (de Chalendar 2016). In this perspective, we think about producing a framework of good quality buildings while providing maximum comfort to users of the buildings in regions with a hot arid climate.

Measures to Reduce Climate Change (Responsibility of the Building)

be materialized (UNEP 2009), but no significant change in this sector is possible. So, we must strengthen the regulatory standards and the necessary measures. On this point, the priority is a regulation that would consider the principal source of energy saving "the building". For us, the challenge is to strengthen standards and propose measures for improvement. Among them, priority should be given to the overall shape of the buildings.

The energy consumed in buildings is less perceived as a possible source of economy, as the consumption of buildings now represents about half of the energy consumed (Santamouris and Vasilakopoulou 2021). It seems logical to bring in the building energy notable efforts.

Our objective look at the role of building in climate change. Starting from the following questioning: What are the forms of buildings appropriate to the climatic and environmental conditions in hot dry climates? In addition to what extent the design of the building envelope allows it to limit the waste of resources and pollutant emissions.

The Building Sector as a Key Player

The building sector is now positioned as a key player in solving the environmental problems we face. This evolution is linked to a recent realization that this sector may be the only one that offers sufficiently strong possibilities for progress to meet our ambitions to reduce greenhouse gas emissions. Indeed, we can see that the paths to progress in the building sector can be much better identified now than in the past. This is because the improvement of the energy performance of the buildings can be programmed over several years and this evolution reinforces each time the value of the well-being of the occupants of the buildings.

High-Energy Performance Building

Before addressing the technical aspect of low-energy buildings, it should be noted that a building is not built to save energy, but to accommodate users, or to fulfill a particular function. What is important above all is that the principal mission is well performed by the building under interesting ecological conditions. If it fulfills all the energy-saving requirements but does not function properly, it would be a failure. A high-energy performance building is a good quality building and, in addition, it has controlled its environmental cost as possible (Alwetaishi 2022). It is the two together that we must see, and not one or the other. That's why we might need an evaluation system that recognizes and quantifies energy performance so that we can answer the question: how do you make an environmentally beneficial building, how do you design it, and how do you organize yourself to achieve it?

Actions to Improving the Energy Performance of Buildings

When a new building is designed, and if the Land-Use Plan allows it, the first element to look for is the shape of the building. Similarly, for questions of summer comfort, it is necessary to protect oneself from the heat input of the sun. One of the revolutions of the building will certainly be in the building envelope or the concept of the "thermal envelope".

ANNEXES

The Impact of the Form on the Climate

The forms have a major impact on the environment because they change the ground, the biosphere, and the weather (the microclimate). The scale of impact is dependent on the degree of change in geometric characteristics of the land surface or morphological characteristics of the buildings (Agirbas 2020, Rahmani and Al-Sallal 2019). These parameters can be used in evaluating the energy and environmental quality of the built environment, in addition to assessing the impacts of building on the climate.

Evaluation of the Impact of Shape-Form- on the Climate

Designers should be aware of their forms' impact on the building's energy consumption. This objective can be achieved through a simulation (numerical modeling) that allows estimating the variation of energy consumption depending on the variation of the envelope of the buildings. Then, for the construction of this system, we must inquire about the qualitative morphological parameters of the form to reformulate and analyze their influence on the energy and environmental quality.

The proposed hypothesis is based on the principle of minimizing energy consumption by reducing the rate of thermal needs. For this purpose, we propose an indicator that translates in numerical terms the variations of the energetic performance according to the quality of the envelope, at the same time it will allow us to evaluate the influence of the choice of the envelope on the climatic environment.

Our choice is carried on the form factor, it allows us to translate into figures the interaction between the form of the buildings and the climatic variations as it can apply to the particular and general cases.

Indicators have for the main vocation to simplify the complex situations with the stakeholders of the built environment by an evaluation at different scales, we will try to experiment with the influence of the building envelope on the interior space (comfort and energy saving) (Košir, Gostiša, and Kristl 2018) and on the exterior space (preservation of the environment and minimization of the emissions of Greenhouse gases) (Kumar and Raheja 2016)

METHOD AND MATERIALS

Analysis of the Energy Performance

Our objective, through this part, is the study of the influence of form on the energy performance of buildings in hot and arid areas, by seeking an interaction between the energy performance of the form and the need for air heating in our study. So, it is necessary to simulate the effects of shape on the amount of energy gains by modeling the value of the coefficient of form in the three variables (the size, volume and geometry), which will be compared and combined to lead to ways that better meet the thermal needs of the regions.

Literature Review

The question of the energy performance of the form has been the subject of several studies which we have tried to review, mainly (Lim and Kim 2018, Manz et al. 2018, Lee et al. 2016, Ling, Ahmad, and Ossen 2007, Ratti, Raydan, and Steemers 2003, Bahrami 2008). Whether the methods used in graphics and digital simulation share the same characteristics, they simplify the modeling of the form using factors or coefficients, which interpret the form and the morphological characteristics in numerical representative expressions. So, these methods simplify the actual conditions on certain assumptions, using parameters to fixed values and other assumptions that improve the simulation model.

ANNEXES

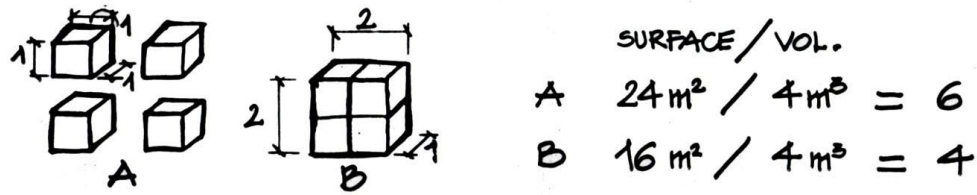


Figure. Densification of volume compactness and minimization of exposed surfaces. David Wright, 1979

The research should not be limited to finding the solution to our question by examining the energy performance by scientific solutions (mathematical or physical), based on needs assessment based on mathematical equations and physical help modeling form factor.

Specifically, the numerical models are based on the laws of physics, thermodynamics, and mechanics. The combined resolution of these equations allows us to follow the evolution of the main characteristic variables of the shape. The numerical resolution speed depends on the method of solving the multiple mathematical equations, but also on the calculation performance of the computers. Each of these variables is thus quantified and monitored by Software - OPTI-01 developed with mat lab to extinguish the objectives of the study.

Description of Simulation Models

The accuracy of solutions depends on the choice of the physical model (form factor), their physical description, the choice of performances, as well as initial conditions (climatic and thermal) without forgetting the choice of representative forms that will make the simulation (fig1).

Table 1. Physical data for the simulation models.

Type	Envelope Area	Volume	Proportions	Form Factor
Cube	$S_{E0} = 5 a^2$	$V_0 = a^3$	/	$Cf_0' = 5/a$
Parallelepiped	$S_{E1} = 2LH + 2*IH + LH$	$V_1 = L I H$	$L = 3/2 * l$ $H = 3/4 * l$	$Cf_1' = 14/3l$
Tower	$S_{E2} = 2*LH + 20*IH + LH$	$V_2 = L I H$	$L = 3/2 * l$ $H = 9/4 * l$	$Cf_2' = 34/9l$
Dom	$S_{E3} = 2*\pi R^2$	$V_3 = 2/3 * \pi R^3$	/	$Cf_3' = 3/R$

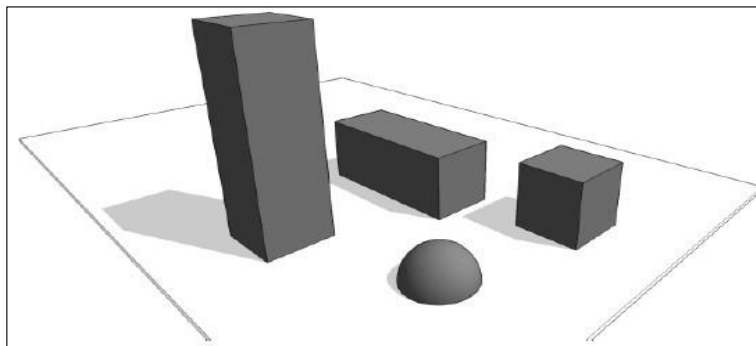


Figure 1. Representative forms that will make the simulation

ANNEXES

Simulation Conditions, Climatic and Thermos-Physical

The simulation is theoretically for an altitude 30° during July 21, the calculation of gains is done in a steady state. The thermos- characteristics and climate data are fixed in advance for basic conditions as:

KE = External wall conductance(1.3 w/m².°C).

a = Envelope absorption coefficient(0.7).

fe = Exchange coefficient of external surfaces(3 w/m².°C).

ti = Indoor temperature(25 °C).

te = Base outdoor temperature (40 °C).

I1 = Intensity of radiation incident on S1 (East) = 516 w /m².

I2 = Intensity of radiation incident on S2 (roof) = 776 w/m².

I3 = Intensity of radiation incident on S3 (West) = 516 w/m².

I4 = Intensity of radiation incident on S4 (South) = 94 w/m².

I5 = Intensity of radiation incident onS5 (North) = 50 w/m².

Outline of the Simulation Model

$$Q = Q_c + Q_s = \sum K_n S_n \Delta t + \sum S_v I O \dots \dots \dots (1)$$

To obtain the number of inputs provided by the habitable volume “gain coefficient G” dividing the two sides of the equation with “V” the volume under consideration

This expression $G = \frac{\sum S_n}{V} KE \Delta t$ shows that to minimize heat gain, it should be:designed forms such as the report $\frac{Se}{V}$ refers to the form factor is especially low as possible.

The Variables of the Simulation

The Geometry and Volume

In determining the value of volume “V” should look for the geometric shape that has minimal form factor $C_f = \frac{Se}{V}$ for minimal gains in the volume set on the geometry to study the influence of the value of volume “V” on the thermal performance of the form

$$G = C_f KE \Delta t.$$

The Dimensions

In determining the geometry, we will try to define each form of the dimensions of the wall surfaces of East, West, and the roof according to the three levels of simulation by studying changes in the form factor part-Cf1, CF2, CF3 cfn, is that we should provide a good grasp of the orientation of the form.

$$G = C_f K_E \Delta t + C_{fn} \frac{aI}{fe} \dots \dots \dots (2)$$

RESULTS AND DISCUSSION

Study of Volume Influence on the Form Factor Using Four Geometries

The study showed that regardless of the geometry. The relation between the volume and the form factor is inversely proportional to a minimum form factor it is necessary to enlarge the habitable volume.

ANNEXES

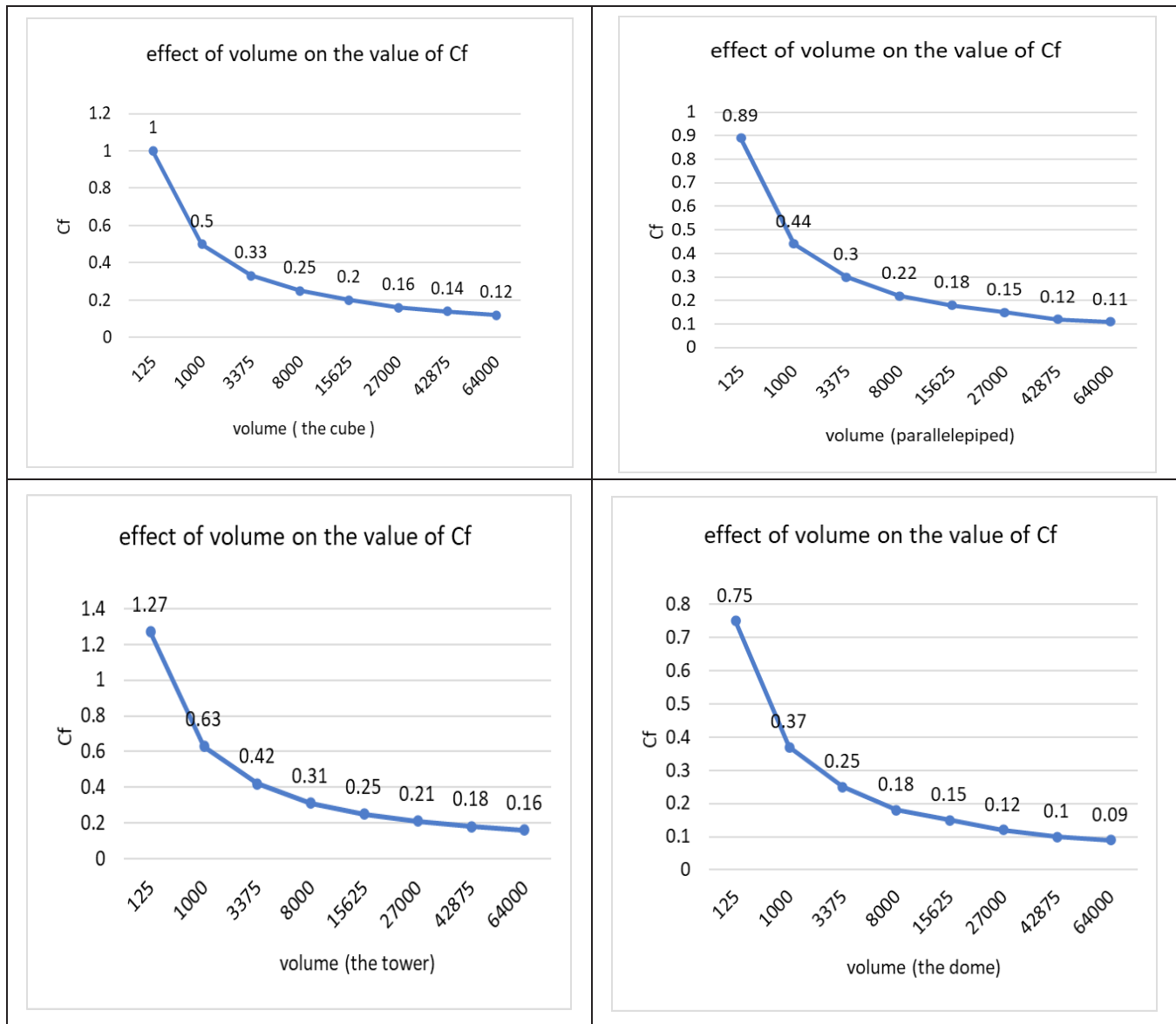


Figure 2. Study of the volume influence on the form factor using four geometries

Study of Geometry Influence on the Form Factor Using Various Volumes

The study showed that regardless of volume. The relationship between geometry and the form factor is proportional. For a minimum form factor, it is necessary to have less exposed surfaces such that 1 -dome 2-parallelepiped 3-cube 4-tower.

ANNEXES

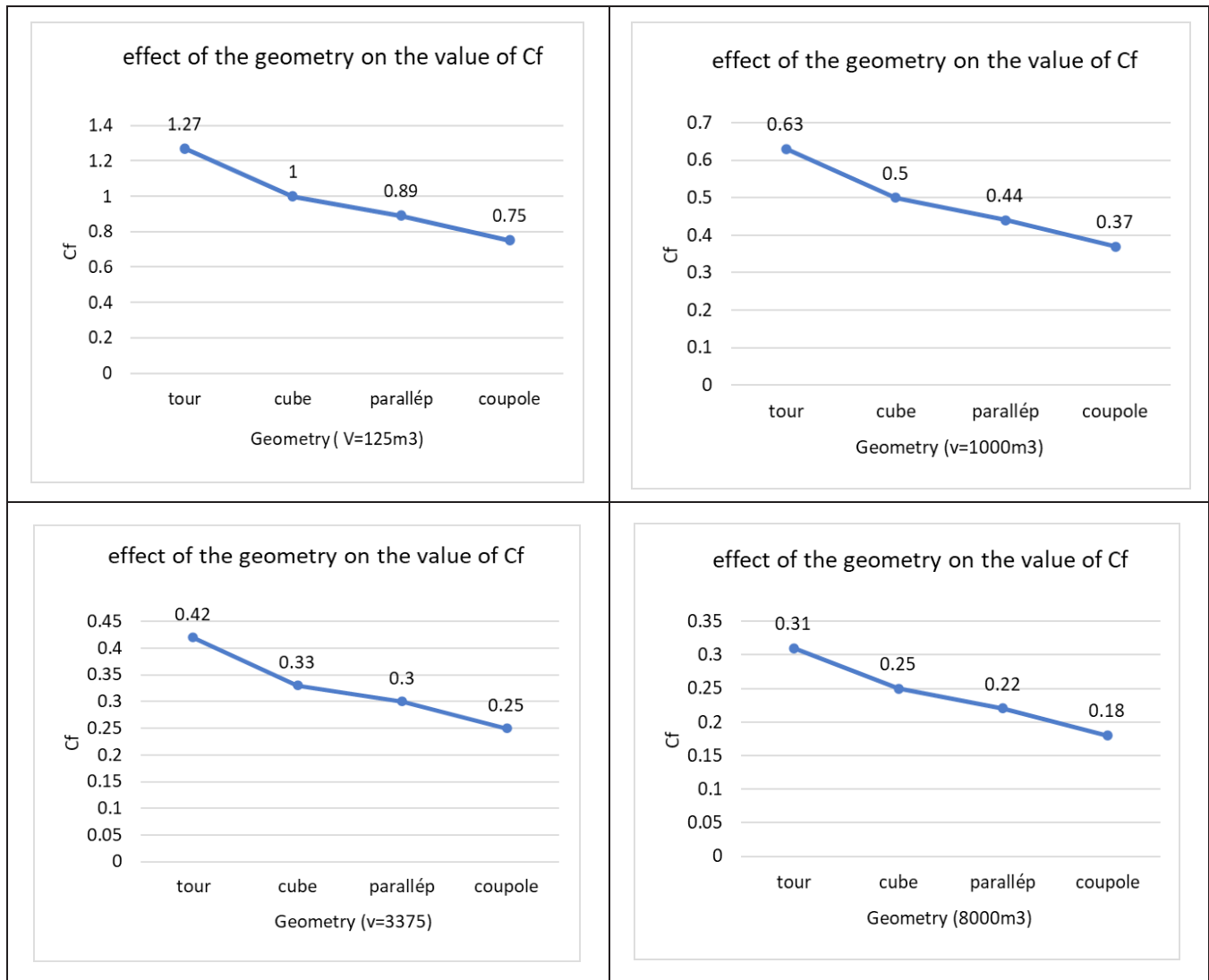


Figure 3. Study of geometry influence on the form factor using various volumes

Study of Form Factor –Volume- Influence on the Gain Factor G Using Various Volumes for the Four Geometries

The graphs illustrate the proportionality of the variation of the heat gains factor G in relation to the changes of the form factor C_f for the four geometries. As he shows that the optimization of energy efficiency according to the choice of volumes varies from -50% to -90%

ANNEXES

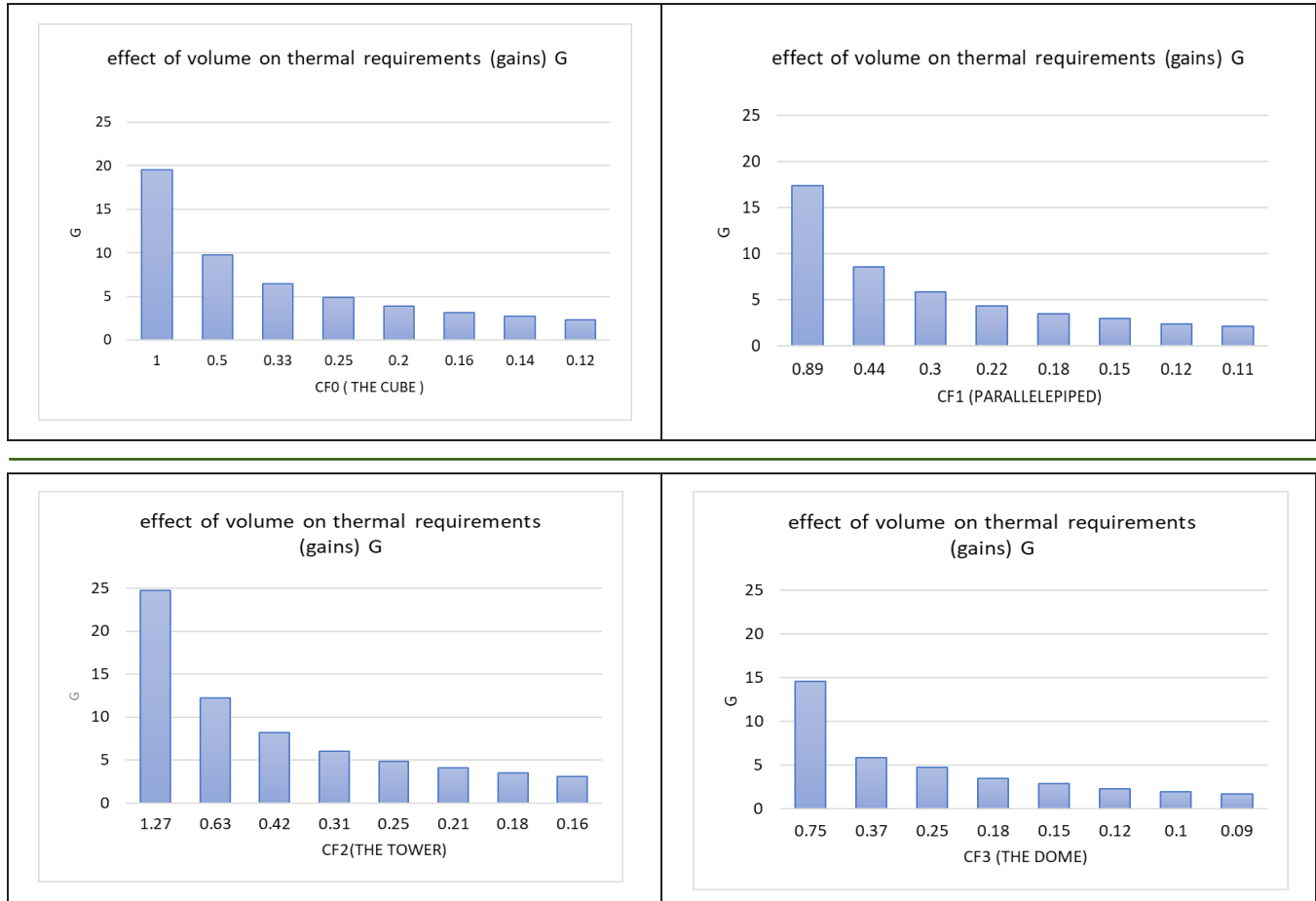
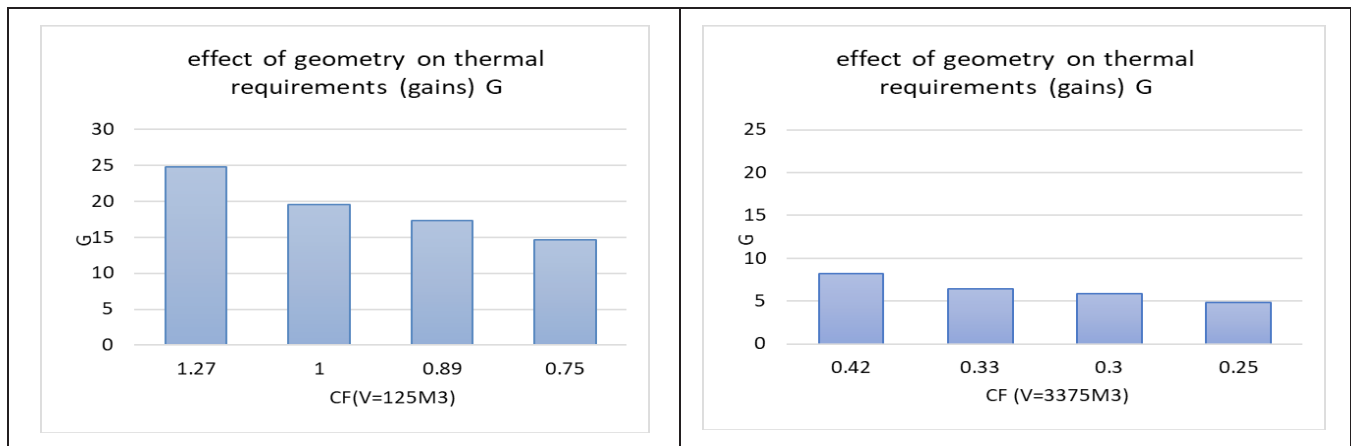


Figure 4. Study of form factor –volume- influence on the gain factor G using the four geometries

Study of Form Factor–Geometry- Influence on the Gain Factor “ G ” Using four Geometries- Tower-Cub-

Parallelepiped-Domes for the Constant Volumes

The graphs illustrate the proportionality of the variation of the heat gains factor G in relation to the changes of the form factor Cf . for various volumes. As he shows that the optimization of energy efficiency according to the choice of geometry varies from -20% to -40%



ANNEXES

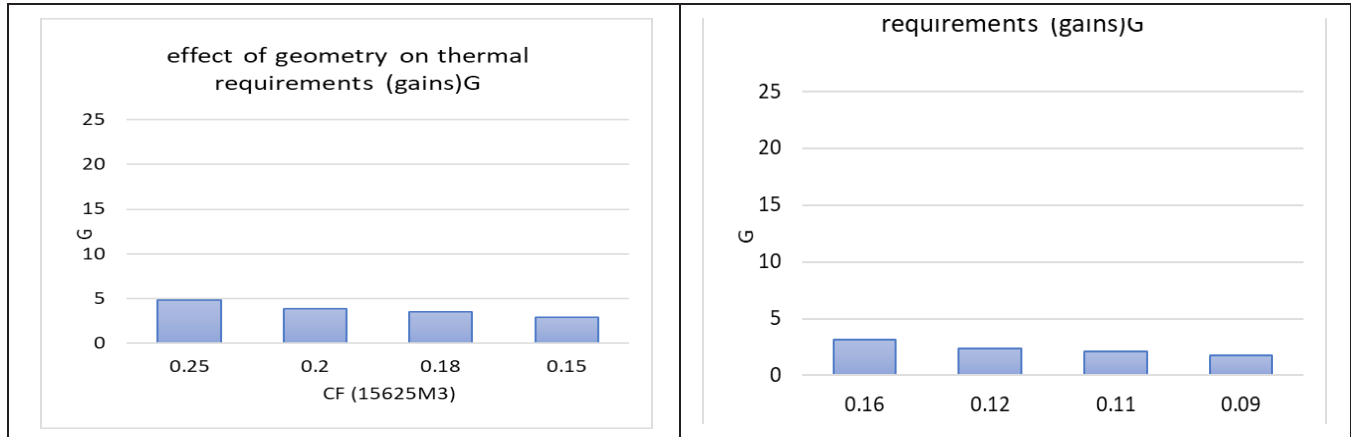


Figure 5. Study of form factor –geometry- influence on the gain factor “G” using various volumes

Interpretation of Results

The amount of heat gain “G” is relatively proportional to variations in the shape factor “Cf. This relationship can be expressed in two situations:

1 / - If you set the volume V, the factor “G” is proportional to the geometry as classified by successive calculating “Cfmin

(dome, parallelepiped, cube, tower). With -20% to -40% optimization of energy efficiency.

2 / - If we fix the geometry, the factor “G” is inversely proportional to variations in the volume “V”, which means that for a “Gmin” must have “Cfmin by increasing the volume” V “.With -50% to -90% optimization of energy efficiency.

Study of the Influence of the Extra Temperature (TSA)

It is expected, through this part, to study the influence of the extra temperature on the quantity of heat gains. In addition, the influence of solar radiation on the definition of the proportions between the sizes of the form allow for a constant volume geometry with minimal heat gains.

Then the factor of heat gains “G” should be written as:

$$G = C_f \Delta t K_E + \frac{aI_n}{fe} C_{fn} \dots\dots\dots(1)$$

Minimizing gains that heat in the building by determining the proportions of forms performance is by a definition of the optimal value of the function **G** according to the values of **L (l), l (w), and H (height)**. It was $G = \frac{a}{L} + \frac{b}{lH} + \frac{d}{lH}$

The identification of variables (w, l, h) for the minimum value of G towards the minimum is a purely mathematical problem which is the optimization of a non-linear three variables under the following constraints:

The identification of variables (**w, l, h**) for the minimum value of G tend

- **V = l. L.H**, Volume constant.
- **H ≤ L or H ≥ L** Constraint of geometry (parallelepiped or tower).
- **0 ≤ l ≤ L** Constraint of good guidance. Or of **0** is a constant greater than one following.

KE = External wall conductance (0.9 - 1.3 - 2 w/m²°C).

a = Envelope absorption coefficient (0.4 - 0.7 - 0.9).

fe = Exchange coefficient of external surfaces (1.5 - 3 - 5 w/m²°C).

This part of the study made by an algorithm interpreted with a computer program under Matlab.

ANNEXES

OPTI 01 has reached satisfactory results, such as.

Final Results

According to the study and the actual audit results, it was concluded that the parallelepiped form is always better than the tower, with a constant volume.

To ensure optimal thermal performance of the form, the proportions are:

- The parallelepiped: $L = 8H$ et $L = 4l$

- The tower: $L = l$ et $H = 5L$

The latter, widespread expectations of research and can be adapted by developers as reasons for land use, and functional organization of the formal aspect to adapt the level of 01 (parallelepiped) or Level 02 (the tower), provided that these proportions are used with measures of protection.

This case also has the advantage of having a horizontal surface (roof) very small, but areas east and west must be protected from heat gains due to horizontal sunlight in the morning or evening.

CONCLUSION

During thermal analysis, we can draw some conclusions that can be summarized in three points. What can be said is that the thermal performance of a building depends largely on the choice of form climatic conditions and place needs for heating. The study, comparison, and correlation between the geometric aspect, the volume, and proportions of the shape with the amount of heat gains on the latter should do this one.

First, and according to the variations of the coefficient of heat gains compared to the geometry, it was found that the dome is the most powerful geometry because it offers the most space with the below surface.

Parallelepiped shape is better than the tower and the cube because it has a surface footprint very important. This allows protection of a large area from its heat transfer and for the same reason that the cube is better than the tower. The choice of geometry can minimize **35%** of consumption of energy.

Secondly, the analysis of the influence of volume on the need of minimizing heat gain shows that the increased volume may minimize the gains of up to **90%**, so that collective housing is thermally more advantageous than individual housing, and the tour has been more successful than other examples studied through morphological analysis.

Thirdly, the study of the influence of the extra gains due to the exposure of the surfaces of the envelope the solar radiation has helped us to determine the better proportions of the parallelepiped and the tower.

According to an east-west as follows:

1/ the parallelepiped: $L = 8H$ & $L = 4l$

2/Tower: $L = l$ & $H = 5L$.

For normal use of these results (proportion, volume, geometry), which presents the morphology of the building. Some recommendations and measures will be essential to ensure the smooth operation of our future heat buildings, once made. Ultimately, this work allows the optimization of the energy performance of buildings about the form indicator - thermal envelope - by the development of a digital simulation tool based on an algorithm programmed under Matlab.

REFERENCES

1. Agirbas, Asli. 2020. *Building Energy Performance of Complex Forms: Test simulation of minimal surface-based form optimization*.
2. Alwetaishi, Mamdooh. 2022. "Energy performance in residential buildings: Evaluation of the potential of building design

ANNEXES

- and environmental parameter.” *Ain Shams Engineering Journal* 13 (4):101708. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101708>.
3. Bahrami, Soheila. 2008. “Energy efficient buildings in warm climates of the Middle East.”
 4. de Chalendar, P. 2016. *Notre combat pour le climat*: Le Passeur.
 5. IEA. 2021. “World Energy Balances: Overview, IEA, Paris. Available from: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>.”
 6. Imd, Mausam. 2022. “Analysis of the temporal trend of rainfall, temperature and extreme events over Jharkhand.” 73:795-808. doi: 10.54302/mausam.v73i4.3520.
 7. IPCC. 2007. “The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the United Nations body for assessing the science related to climate change.”
 8. Košir, Mitja, Tamara Gostiša, and Živa Kristl. 2018. “Influence of architectural building envelope characteristics on energy performance in Central European climatic conditions.” *Journal of Building Engineering* 15:278-288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.11.023>.
 9. Kumar, Gireendra, and Gaurav Raheja. 2016. “Design Determinants of Building Envelope for Sustainable Built Environment: A Review.” *International Journal of Built Environment and Sustainability* 3. doi: 10.11113/jibes.v3.n2.127.
 10. Lee, Young Tae, Soo Ii Boo, H Chang Lim, and Kunio Misutani. 2016. “Pressure distribution on rectangular buildings with changes in aspect ratio and wind direction.” *Wind and Structures* 23 (5):465-483.
 11. Lim, Hong Soo, and Gon Kim. 2018. “Analysis of energy performance on envelope ratio exposed to the outdoor.” *Advances in Civil Engineering* 2018.
 12. Ling, Chia Sok, Mohd Hamdan Ahmad, and Dilshan Remaz Ossen. 2007. “The effect of geometric shape and building orientation on minimising solar insolation on high-rise buildings in a hot humid climate.” *Journal of Construction in Developing Countries* 12 (1):27-38.
 13. Mahfuza, Choriyeve, and Samariddin Eshkoraev. 2022. “THE INTERACTION OF ENERGY WITH CLIMATE CHANGE.” *Theoretical & Applied Science* 108:60-63. doi: 10.15863/TAS.2022.04.108.12.
-
14. Manz, Heinrich, Daniel Micallef, Simon Paul Borg, and Vincent Buhagiar. 2018. “A parametric building energy simulation case study on the potential and limitations of passive design in the Mediterranean climate of Malta.”
 15. Morales, Juan. 2022. “Extreme Events.” In *Coastal Geology*, 145-159.
 16. Özvan, Hande, and Pinar Aslantaş. 2022. “CLIMATE CHANGE FROM THE LANDSCAPE ARCHITECTURE PERSPECTIVE.” In, 251-270.
 17. Rahmani, Meriem, and Khaled Al-Sallal. 2019. *Impact of Building Form on Energy Performance in New School Models*.
 18. Ratti, Carlo, Dana Raydan, and Koen Steemers. 2003. “Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate.” *Energy and buildings* 35 (1):49-59.
 19. Santamouris, M., and K. Vasilakopoulou. 2021. “Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation.” *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 1:100002. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>.
 20. UNEP. 2009. Buildings and Climate Change, Summary for Decision Makers. edited by Sustainable United nations: UNEP Copenhagen Climate Centre (UNEP-CCC).
 21. Yun, Sun-Jin, John Byrne, Lucy Baker, Patrick Bond, Götz Kaufmann, Hans-Jochen Luhmann, P. Lund, Joan Martinez-Alier, and Fuqiang Yang. 2018. “Energy and Climate Change.” In, 205-223.

ANNEXES

Citation: ZEROUAL Daoud, BOURBIA Fatiha et al. Impact of Form on the Energy Performance of Buildings: A Contribution to Sustainable Buildings in Hot and Dry Climates. Int J Innov Stud Sociol Humanities. 2022;7(12): 205-215. DOI: <https://doi.org/10.20431/2456-4931.071220>.

Copyright: © 2022 The Author(s). This open access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 license



Nom et Prénom : Daoud ZEROUAL

Titre : IMPACT DE LA FORME DE L'ENVELOPPE SUR LA
PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS - Cas Des
Climats Chauds Et Arides

Thèse en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences en
Architecture Bioclimatique et environnement

Résumé

Cette thèse examine en profondeur l'impact de la forme des enveloppes des bâtiments sur leur efficacité énergétique dans les régions chaudes et arides, en particulier en Algérie. Elle s'inscrit dans le cadre du développement durable et de la lutte contre le changement climatique, des enjeux devenus centraux pour la construction durable dans les régions à climat difficile. L'objectif principal de cette recherche est d'optimiser la conception des enveloppes des bâtiments afin de minimiser les gains de chaleur excessifs dus aux fortes températures extérieures et à l'intensité de la radiation solaire, ce qui permet de réduire les besoins en climatisation et, par conséquent, la consommation d'énergie, tout en assurant le confort thermique des occupants et en maintenant un environnement intérieur agréable.

La méthodologie de recherche combine à la fois une approche théorique et une approche pratique. La composante théorique comprend une analyse détaillée de la littérature existante sur la conception bioclimatique et les différentes stratégies d'efficacité énergétique appliquées aux bâtiments dans des zones chaudes et arides. Cette analyse inclut les solutions passives et actives visant à diminuer la dépendance aux systèmes de refroidissement. L'approche pratique, quant à elle, se concentre sur le développement d'un modèle mathématique et numérique innovant, conçu pour évaluer l'impact des caractéristiques morphologiques de l'enveloppe du bâtiment, notamment la géométrie, le volume et les dimensions, sur les gains de chaleur. Ce modèle est ensuite implémenté dans un outil de simulation paramétrique nommé OPTI-ONE, qui a été spécialement développé pour les besoins spécifiques de cette étude.

L'outil OPTI-ONE a permis de simuler plusieurs configurations d'enveloppes dans un total de 19 régions chaudes et arides en Algérie, représentant différentes conditions climatiques locales. Les résultats obtenus montrent que la forme de l'enveloppe peut réduire les gains de chaleur entre 1% et 29% selon les configurations. L'augmentation du volume d'une enveloppe peut diminuer les besoins en climatisation de 50% à 80%, et l'optimisation des caractéristiques thermophysiques, telles que l'isolation et l'épaisseur des matériaux, contribue à une amélioration de 16% à 79% dans certaines conditions. Par ailleurs, l'étude identifie des proportions optimales pour les formes d'enveloppes parallélépipédiques et les tours, qui se révèlent constantes, peu importe la région étudiée.

Cette recherche contribue de manière significative à l'avancement des connaissances sur l'optimisation énergétique des bâtiments dans des climats chauds et arides. Elle fournit des recommandations concrètes pour la conception d'enveloppes de bâtiment efficaces et démontre le potentiel de réduire la consommation d'énergie tout en assurant un environnement intérieur confortable. L'outil OPTI-ONE offre aux professionnels de la construction et aux architectes un moyen pratique d'intégrer les considérations énergétiques dès les premières phases de conception architecturale, favorisant ainsi des bâtiments plus durables.

Les résultats de cette recherche proposent des solutions pratiques pour réduire la consommation énergétique des bâtiments tout en améliorant le confort thermique des occupants. Ils ouvrent également la voie à de futures recherches axées sur l'optimisation énergétique à l'échelle urbaine et sur l'intégration de ces principes d'efficacité dans les réglementations de construction, visant une meilleure durabilité à long terme.

Mots-clés : développement durable, architecture bioclimatique, efficacité énergétique, régions chaudes et arides, besoins en climatisation, enveloppe des bâtiments, optimisation énergétique.

Directeur de thèse : Dr. Boukhelkhal Islam -Université Constantine 3

Année Universitaire : 2024-2025

