

# Pour une architecture bioclimatique: Diagnostic des bâtiments résidentiels collectifs du Grand Tunis-Tunisie

Nour El Houda Jouini<sup>#1</sup>, Safa Achour-Younsi<sup>#2</sup>, Fakher Kharrat<sup>#3</sup>

<sup>#</sup>Equipe de recherche PAE3C, Laboratoire de recherche LARpa,,Ecole Nationale d'Architecture et d'Urbanisme ENAU, Université de Carthage

Rue El Qods, Sidi Bou Said, Tunis, Tunisie

<sup>1</sup>[nourelhoudajouini@gmail.com](mailto:nourelhoudajouini@gmail.com)

<sup>2</sup>[safa.achouryounsi@enau.ucar.tn](mailto:safa.achouryounsi@enau.ucar.tn)

<sup>3</sup>[fakherkharrat.enau@gmail.com](mailto:fakherkharrat.enau@gmail.com)

**Résumé**— Aujourd'hui l'humanité fait face à un fléau de taille, la grande menace du 21<sup>ème</sup> siècle, qui n'est autre que le réchauffement climatique. Afin de contenir le seuil de réchauffement, les Etats membres des Nations Unis se sont engagés à recourir à des stratégies d'atténuation et d'adaptation et ce dans tous les secteurs. Le cadre bâti est au cœur du problème vu que le secteur est le plus grand consommateur en terme d'énergie finale avec près de 40% des consommations dans le monde. Afin de repenser notre manière de construire, il est primordial de proposer un urbanisme durable mais aussi une architecture bioclimatique.

En effet, les chocs des années 70 ont enclenché une réflexion à l'échelle mondiale sur la dépendance de l'humanité aux énergies fossiles et à la possibilité effrayante de l'épuisement des ressources. Ce fut la naissance de l'architecture dite 'solaire' qui puise dans l'énergie infinie et renouvelable du soleil. La notion d'architecture solaire s'est par la suite développer en une architecture bioclimatique. Le principe est simple : Exploiter le site pour assurer le confort et préserver les ressources.

Des procédés passifs de chauffage et de réfrigération sont donc mis en œuvre, les matériaux locaux sont recommandés et le respect du site est indispensable.

Cet article fait partie d'un travail de recherche ayant pour objectif l'évaluation environnementale de l'habitat collectif actuel dans la région du Grand Tunis en vue de guider les stratégies d'atténuation et d'adaptation futures. Vu l'emboîtement des échelles spatiales, le travail de recherche traite le volet architectural mais aussi l'urbanisme. Nous présentons dans cet article uniquement les indicateurs architecturaux.

Pour aboutir au diagnostic environnemental des bâtiments collectifs objets de l'étude, nous avons eu recours à un croisement des données des cinq outils d'évaluation environnementale dans le monde (LEED, HQE, BDM, ECOPASS et ECOBAT). Ces cinq outils recommandent une architecture bioclimatique suivant plusieurs indicateurs qui visent l'efficacité énergétique et la gestion des ressources. Nous avons donc choisi les indicateurs les plus récurrents à savoir la forme et l'orientation du bâtiment et son impact sur les gains solaires moyens, la taille et l'orientation des ouvertures, la qualité thermique de l'enveloppe et les matériaux de construction, la gestion de l'énergie et le recours aux énergies renouvelables, la durée de vie du bâtiment et la gestion des ressources en eau.

**Mots clefs**— changement climatique, stratégies d'atténuation et d'adaptation, développement durable, architecture bioclimatique, efficacité énergétique, gains solaires, qualité de l'enveloppe, matériaux

## I. INTRODUCTION

Selon le dictionnaire Larousse, la bioclimatologie est la « Branche de la biologie qui étudie les échanges de masse et d'énergie entre les êtres vivants et leur environnement climatique ». Par conséquence l'adjectif bioclimatique est relatif à « l'influence du climat sur les organismes vivants ». Une architecture bioclimatique est donc une architecture qui tire profit du site (du climat, des matériaux locaux, du savoir-faire local, etc.) pour assurer le confort thermique dans le bâtiment tout en préservant les ressources naturelles et la biodiversité. C'est tout simplement une architecture qui réconcilie l'Homme avec son climat et son écosystème.

De nos jours, et face aux défis de changement climatique, le recours à une architecture bioclimatique est devenu indispensable dans toutes les stratégies d'adaptation. Afin de guider ses stratégies, un diagnostic en amont de l'architecture « actuelle » s'avère utile pour décerner le potentiel mais surtout les lacunes.

Pour cette étude, nous avons choisi de travailler sur l'habitat collectif du Grand Tunis, capitale de la Tunisie et métropole en pleine expansion. Nous présentons le travail effectué pour analyser et comparer les bâtiments résidentiels collectifs de la cité Omrane –El Ghazela –Ariana, un quartier résidentiel collectif de haut standing en R+4.

Le climat de la région est méditerranéen chaud, semi-aride, d'où le fort risque de surchauffe surtout en période estivale.

## II. METHODOLOGIE

Notre méthode d'analyse se base sur le croisement des données des cinq outils d'évaluation environnementale dans le monde à savoir :

- Deux outils d'évaluation 'universels' à savoir LEED et HQE
- Deux outils d'évaluation spécifiques à un climat et une région donnée à savoir BDM et ECOPASS

- L'outil d'évaluation local en cours d'élaboration ECOBAT

Tous ses référentiels préconisent une architecture bioclimatique. Le tableau croisé a permis de choisir les indicateurs les plus récurrents, soit recommandé par au moins trois référentiels sur les cinq objets de cette étude.

Il est à noter que le bâtiment ne peut être traité d'une manière isolée et que l'emboîtement des échelles urbaine-architectural est important. En effet, la morphologie urbaine influence les gains solaires reçu par l'enveloppe. Dans cet article nous ne présentant que le volet architectural. Nous regroupons les indicateurs relatifs à une architecture bioclimatique suivant quatre objectifs énumérés si dessous.

TABLE I  
 OBJECTIFS ET INDICATEURS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

N°	Objectif bioclimatique	Indicateur
1	<b>Optimiser la forme du bâtiment, le taux de baies vitrées et la ventilation afin d'optimiser les gains solaires</b>	
	1.1. Optimiser les gains solaires reçus par l'enveloppe	Insolation cumulative moyenne (I) KWh/m <sup>2</sup> /an
	1.2. Réduire les déperditions thermiques en augmentant la compacité du bâtiment	Coefficient de forme (Cf) m <sup>-1</sup>
	1.3. Optimiser la taille et l'orientation des ouvertures vitrées	Taux global et taux relatif des baies vitrées (TRBV) %
	1.4. Privilégier la ventilation naturelle	Oui/ Non
2	<b>Optimiser la qualité thermique de l'enveloppe</b>	Faible/ Moyen/ Elevé
3	<b>Utiliser des matériaux de construction à indice environnemental élevé</b>	Faible/ Moyen/ Elevé
4	<b>Réduire l'usage des énergies fossile</b>	
	4.1. Privilégier les typologies des systèmes de chauffage, de climatisation et d'eau chaude sanitaire renouvelables	Fossile/ Electrique/ Renouvelable
	4.2. Réduire la fréquence d'usage des moyens actif de chauffage et de climatisation	Moyenne d'usage (Mu) h/an
	4.3. Intégrer une source d'énergie renouvelable	Oui/ Non
	4.4. Intégrer des équipements de contrôle de la consommation énergétique	Oui/ Non

Il est important de mentionner que, dans le but d'alléger le contenu de cet article, nous avons préféré que le cinquième objectif relatif à la résistance du bâtiment aux conditions climatiques et la maintenance ainsi que le sixième objectif relatif à la gestion de l'eau ne seront pas présentés. Ces objectifs sont toutefois indispensables dans la réflexion autour d'un bâtiment bioclimatique.

### III. DIAGNOSTIC ET RESULTATS

Pour les besoins de l'étude, une modélisation 3D du quartier Omrane a été réalisée avec Revit Architecture. Cette modélisation a permis de calculer les différents indicateurs.

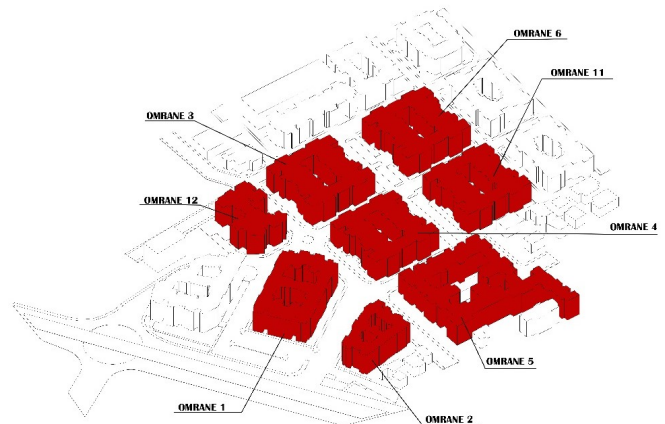


Fig. 1 Une modélisation 3D du quartier Omrane et les bâtiments résidentiels collectifs objets de l'étude

#### A. Optimiser la forme du bâtiment, le taux de baies vitrées et la ventilation afin d'optimiser les gains solaires

##### 1) Optimiser les gains solaires reçus par l'enveloppe

Pour atteindre une efficacité énergétique, il faut avant tout étudier les apports solaires que l'enveloppe reçoit afin d'optimiser ses gains pour qu'ils correspondent aux besoins spécifiques en été ou en hiver. Plusieurs données, comme l'orientation du bâtiment, sa forme ou encore la morphologie urbaine des bâtiments avoisinant, sont à prendre en considération. Ces données ont un impact considérable sur les performances thermiques et énergétiques d'un bâtiment. Afin d'évaluer ses gains solaires et leurs variations, une simulation de l'insolation cumulative moyenne a été réalisée avec le plugin Insight 360° de Revit Architecture et ce pour les solstices et équinoxes ainsi que pour l'insolation cumulative moyenne annuelle.

TABLE III  
 SIMULATIONS DE L'INSOLATION CUMULATIVE MOYENNE DES DIFFERENTS BATIMENTS DE LA CITE OMRANE

Résidence	Insolation cumulative moyenne (Kwh/m <sup>2</sup> )				
	21-03	21-06	21-09	21-12	An
Omrane 1	1,45	2.14	1,49	0,58	472,00
Omrane 2	1,48	2.14	1,51	0,61	476,00
Omrane 3	1,68	2.50	1,72	0,64	544,00
Omrane 4	1,68	2.49	1,72	0,64	541,00
Omrane 5	1,56	2.27	1,60	0,61	499,00
Omrane 6	1,68	2.49	1,72	0,64	542,00
Omrane 11	1,69	2.50	1,73	0,67	546,00
Omrane 12	1,67	2.39	1,72	0,67	534,00
<b>Moyenne</b>	1,61	2.37	1,65	0,63	519,25

Les résultats ont montré que l'insolation cumulative moyenne pendant le solstice d'été est de l'ordre de 2.37Kwh/m<sup>2</sup> alors qu'elle ne dépasse pas 0.67Kwh/m<sup>2</sup> pour le solstice d'hiver. L'insolation cumulative moyenne annuelle est de l'ordre de 519Kwh/m<sup>2</sup>/an. Nous remarquons également une différence considérable entre les bâtiments suivant leurs orientations, leurs formes la forme et le nombre de patio etc.

2) Réduire les déperditions thermiques en augmentant la compacité du bâtiment

Le coefficient de forme est un indicateur de la forme du bâtiment qui permet de qualifier les volumes construits en indiquant leur degré d'exposition aux conditions climatiques ambiantes et ce dans le but d'éviter les déperditions et les ponts thermiques. Le coefficient de forme Cf est le rapport entre la surface de l'enveloppe de déperdition Senv sur le volume habitable Vhab.

$$Cf = S_{env} / V_{hab} \quad m^{-1}$$

L'agence nationale de maîtrise de l'énergie recommande un coefficient de forme inférieur à 0.7 m<sup>-1</sup>. Les résultats montrent que tous les bâtiments présentes des coefficients de forme faible entre 0.24m<sup>-1</sup> et 0.33m<sup>-1</sup>. Les bâtiments sont donc compact.

TABLE IIIII

COEFFICIENT DE FORME DES DIFFERENTS BATIMENTS DE LA CITE OMRANE

Résidence	Coefficient de forme
Omrane 1	0.27
Omrane 2	0.33
Omrane 3	0.24
Omrane 4	0.24
Omrane 5	0.27
Omrane 6	0.24
Omrane 11	0.24
Omrane 12	0.28

3) Optimiser la taille et l'orientation des ouvertures vitrées

Selon la taille, l'orientation et la disposition des surfaces vitrées, les gains solaires peuvent varier et par conséquent l'apport solaire et le confort peut être modifié. Le taux global des baies vitrées TGBV des espaces chauffés et/ou refroidis d'un bâtiment est défini par le rapport entre la surface totale de leurs baies vitrées Sbv par rapport à la surface totale brute de l'ensemble de leurs murs extérieurs Smurs.

$$TGBV = S_{bv} / S_{murs} \quad \%$$

Le taux relatif de baies vitrées TRBV pour une orientation donnée est obtenu en remplaçant la quantité dans le numérateur de l'équation ci-dessus par la somme des baies vitrées des parois relatives uniquement à l'orientation considérée. La réglementation thermique tunisienne définit 4 catégories suivant le taux global et relatif de baies vitrées : faible, moyen, élevé et très élevé. Pour les bâtiments résidentiels collectifs de la cité Omrane objet de cette étude, et suite à une lecture plein vide des façades, les résultats montrent que le taux de baies vitrées et moyen pour sept bâtiments sur huit. Cependant, le taux relatif de baies vitrées montre que l'orientation n'a pas été prise en considération.

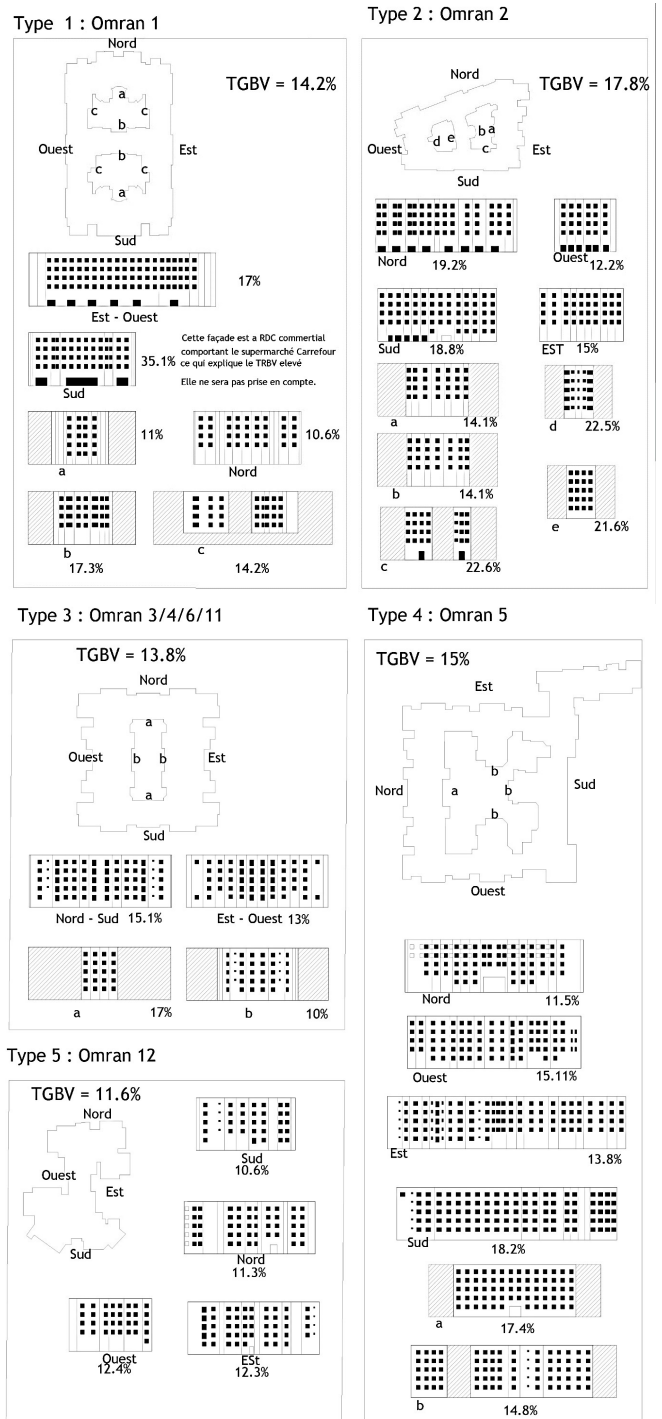


Fig. 2 Lecture plein vide et calcul du TGBV et TRBV pour les bâtiments de la cité Omrane.

4) Privilégier la ventilation naturelle

Pour la cité Omrane, toutes les pièces de vies dans les logements pour les différents bâtiments ont des ouvertures vers l'extérieur et son donc ventilées naturellement. Seules les salles d'eau et d'salles de bain utilise une ventilation mécanique et ce comme exigé dans la réglementation Tunisienne.

B. Optimiser la qualité thermique de l'enveloppe

Pour tous les bâtiments objet de cette étude, le système constructif est en double cloisons avec isolation en laine de roche et une toiture à corps creux avec isolation en polystyrène. Pour étudier la qualité thermique de l'enveloppe, nous avons calculer la résistance thermique, le coefficient de transmission thermique et le temps de déphasage total pour les cloisons extérieures et pour la toiture.

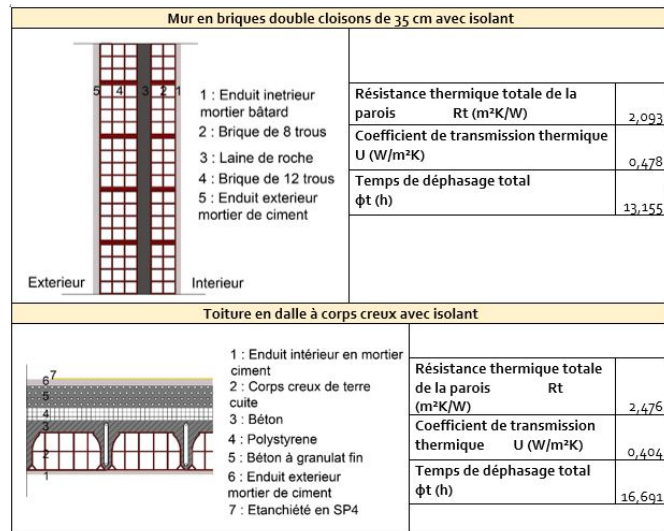


Fig. 3 Etude de la qualité thermique de l'enveloppe des bâtiments de la cité Omrane (cloisons extérieures et toiture)

### C. Utiliser des matériaux de construction à indice environnemental élevé

L'indice environnemental ou éco – index est un indicateur qui met l'accent sur la qualité environnementale d'un matériau tout au long de son cycle de vie. On privilégie ainsi les matériaux biosourcés, géosourcés, à faible déchets relatif et faible énergie grise et sans effets néfastes sur la santé de l'Homme. Or, pour tous les bâtiments de la cité Omrane, les principaux matériaux utilisés sont la brique rouge et le béton pour les gros œuvres, l'aluminium pour les menuiseries et un double vitrage pour les parties vitrées. Les matériaux utilisés sont donc à indice environnemental faible.

### D. Réduire l'usage des énergies fossile

Une enquête effectuée auprès des habitants de la cité Omrane, a révélé que 100% des logements sont équipés d'un chauffage central alimenté par le gaz naturel. Les usagers utilisent le chauffage en moyenne 4 mois en hiver de décembre à mars pour une fréquence de 09h/jour soit une moyenne de 1080h/an. Les résultats montrent aussi que 43% des habitants estiment que leur logement est assez thermiquement confortable en période hivernale. Par contre, pour la période estivale 39% estiment que leur logement est très chaud, et 46% chaud contre uniquement 15% qui estime que leur logement est assez confortable en été. Pour ce fait, 100% des logements sont équipés de climatisation split en raison de 2 climatiseurs/log pour un usage moyen de 3 mois en été de

juin à aout pour une fréquence de 8h/j soit 1440h/an. Pour ce qui est de l'eau chaude sanitaire, tous les logements sont équipés de chauffe-eau alimenté par le gaz de ville.

Aucune source d'énergie renouvelable n'est donc intégrée dans les logements.

Toujours, grâce à l'enquête effectuée, nous avons pu déterminée qu'il n'existe pas d'équipement et dispositif particulier pour le contrôle ou la maîtrise de la consommation. Seul un tableau électrique avec des disjoncteurs pour chaque pièce est prévu conformément à la réglementation tunisienne.

## IV. CONCLUSION

Le diagnostic environnemental de la cité Omrane a montré que les bâtiments résidentiels collectif du quartier présentent plusieurs facteurs lacunaires voir même absent. On constate que l'orientation n'est pas prise en compte lors de la conception ni lors de l'étude des ouvertures vitrées. Les bâtiments ont par conséquent un fort risque de surchauffe. La forme du bâtiment peut aussi contribuer à éviter ce risque de surchauffe. L'intégration d'une source d'énergie renouvelable comme les panneaux photovoltaïques permettraient de réduire l'usage de l'énergie fossile et couvrir les besoins des usagers. D'autre part, les matériaux utilisés sont à faible indice environnemental. Le mode constructif est donc à repenser afin de proposer une enveloppe plus performante avec des matériaux plus écologiques.

Ce diagnostic permet de mettre l'accent sur ces facteurs lacunaires afin orienter les concepteurs du bâtiment et de guider la stratégie future.

## REFERENCES

- [1] ABANDA.F.H, BYERS.L, *An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM*, Energy, volume 97, pages 517-527, 15 février 2016, Article scientifique
- [2] CHESNE Lou, *Vers une nouvelle méthodologie de conception de bâtiments, basée sur leurs performances bioclimatiques*, Université de Lyon, Institut national de sciences appliquées, Centre thermique de Lyon, Laboratoire MEGA, 2018p, 2013, Thèse de doctorat en Architecture et aménagement de l'espace
- [3] IZARD Jean-Louis, Olivier Kaçala, *Le diagramme bioclimatique du bâtiment*, IROBAT-Méditerranée Laboratoire ABC, ENSA-Marseille, 6p, 2016, Publication universitaire
- [4] IZARD Jean-Louis IZARD, *Le coefficient de forme du bâtiment*, IROBAT-Méditerranée Laboratoire ABC, ENSA-Marseille, 13p, 2016, Publication universitaire
- [5] IZARD Jean-Louis, *L'inertie thermique du bâtiment*, IROBAT-Méditerranée Laboratoire ABC, ENSA-Marseille, 20p, 2016, Publication universitaire
- [6] LABBEN Kamel, *Ecoconception en Architecture: Proposition d'un modèle de processus amond dédié à la conception architecturale climatique, basé sur une assistance par des outils pratiques simplifiés*, HANROT Stéphane, ABC, ENSA Marseille et Hassis Hedi, LGC, ENIT Tunisie, 2015, 385p, Thèse de doctorat en architecture et génie civil
- [7] LAVIGNE Pierre en collaboration avec BREJON Paul et FERNANDEZ Pierre, *Architecture climatique, une contribution au développement durable, tome 1 : Bases physiques et tome 2 concepts et dispositifs*; EDISUD, Aix-en-Provence, 192p, 1997, Livre
- [8] MAZRIA Edward, *Le guide de la maison solaire (the passive solar energie book)*, Parenthèses, 2005 première édition 1979, 333p, Liv