

ÉTUDE D'INDICE DE CONFORT THERMIQUE ET BIOCLIMATIQUE DE MADAGASCAR

Manitraja C. RAMAHAFADRAHONA¹, Tahina A. RAKOTOARINOSY²,
T.N. RAMANAKOTO³

- 1- Ingénieur, Mention Météorologie, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500, 101 Antananarivo, Madagascar
- 2- Assistant d'Enseignement Supérieure, Mention Météorologie, Laboratoire Modélisation des Systèmes Physiques, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar
- 3- Maître de Conférences, Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Mention Météorologie, École Doctorale Ingénierie et Géoscience, Laboratoire Hydrodynamique, Madagascar

Auteur correspondant : Manitraja Claudia RAMAHAFADRAHONA

Adresse : École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500,
101 Antananarivo, Madagascar

E-mail : mmanitraja@gmail.com

Téléphone : +261 34 10 387 25

Auteur correspondant : Tahina Andrianiaina RAKOTOARINOSY

Adresse : École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500,
101 Antananarivo, Madagascar

E-mail : rakotoandrianiainatahina@gmail.com

Téléphone : +261 34 40 144 75

Auteur correspondant : Toky Nandrasana RAMANAKOTO

Adresse : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500,
101 Antananarivo, Madagascar

E-mail : ramanakoto@gmail.com, toky.ramanakoto@univ-antananarivo.mg

Téléphone : +261 34 06 877

Résumé (< or = 250 mots)

Le changement climatique est un contexte géopolitique et un outil inévitable dans la planification durable. Le monde, y compris Madagascar, subit sa répercussion. Heureusement, l'avancée de la technologie et de la recherche intègrent le changement climatique dans la conception et réalisations des projets surtout dans l'infrastructure, d'où, la naissance de l'architecture bioclimatique et confort thermique. Ce concept contribue à la fois à la réduction du gaz à effet de serre et à la résilience d'infrastructure face aux aléas climatiques. La mise en pratique du bioclimatique nécessite la connaissance d'indice de confort thermique du milieu.

Pour Madagascar, seulement quelques études ont été faites et l'unité spatiale est à l'échelle local. C'est le cas des bâtiments universitaire et le cas de la ville d'Antananarivo.

L'objectif de ce travail est de définir le confort thermique de Madagascar à l'échelle zonale en utilisant des paramètres et des indices prescrites par l'Organisation Météorologique Mondiale. L'indice Humidex permet d'évaluer le confort thermique. Le diagramme de Szokolay et les tables de Mahoney permettront d'analyser le bioclimatique par zones climatiques à partir de la température maximale, moyenne et minimale, la précipitation, l'humidité relative et l'irradiation solaire.

Le stress thermique sur l'île est généralement perçu pendant la saison chaude. L'inconfort de la saison fraîche ne se présente qu'au centre de l'île, avec un climat adouci par le relief. Les traits bioclimatiques sont presque similaires dans toute l'île : la ventilation naturelle et l'orientation de l'habitat. Mais le dimensionnement des ouvertures et le choix des matériaux utilisés se diffèrent suivant le climat local du pays

Mots-clés

Changement climatique, Architecture bioclimatique, Indice Humidex, Diagramme de Szokolay, Tables de Mahoney.

1- Introduction

Le confort thermique est une condition très importante pour le bien-être de l'homme. L'évolution de la technologie facilite l'atteinte de ce besoin de confort dans le bâtiment. [1] En revanche, l'utilisation des appareils électriques contribue à l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère qui accentue le changement climatique. [2] Les experts précisent la réduction rapide de ces émissions par le renforcement de la réalisation des solutions dans tous les secteurs possibles dans tout le monde entier. Le secteur du bâtiment est responsable d'environ 20% des émissions de GES au niveau mondial. [3] Pour le secteur du bâtiment, l'architecture bioclimatique est une solution à ce problème avec son principe de « construire avec le climat » dans le but d'obtenir de manière naturelle le confort thermique. [4] Ainsi, il est crucial de modifier la conception et le fonctionnement de l'habitat pour Madagascar, qui n'est pas aussi à l'abri des répercussions du changement climatique, pour pouvoir contribuer aux défis du changement climatique dans le secteur du bâtiment. [5] Mais réellement, face au climat, comment est la sensation du confort thermique perçue par les habitants de la grande île ? Comment adopter cette architecture bioclimatique avec le climat de Madagascar ?

De nombreuses études relatives à l'évaluation du confort thermique par les indices de confort biométéorologiques d'un lieu spécifique ont été faites, notamment les travaux de recherche de Thibaut Filliol, en 2015, sur la Mise au point d'une méthode de mesure sur les indices de confort sur la ville de Strasbourg [6] et celui de Radanielina Miharintsoa, en 2019, sur le microclimat urbain notamment sur la mise en évidence du phénomène d'îlot de chaleur et de confort thermique et sa variabilité spatiale sur l'agglomération d'Antananarivo. [7] Aussi, des études sur l'analyse bioclimatique d'un lieu spécifique par les méthodes d'analyse bioclimatique ont été faites pour obtenir les solutions passives architecturales avec des études plus approfondies du point de vue énergétique pour quelques-unes. Ce sont principalement les recherches de H. M'Sellem et D. Alkama, de l'Université Mohamed Khider, en 2009, sur la perception et évaluation du confort thermique par les techniques d'analyse bioclimatique dans les cas des milieux arides à climat chaud et sec [8]; et celle de RAKOTO Harry Angelo, en 2012, de l'Université d'Antananarivo, sur l'évaluation du confort thermique généré par des solutions passives dans cas d'un bâtiment universitaire. [9] Le présent travail se focalise sur les études climatiques plutôt qu'architecturale du sujet. Il consiste à déterminer la variation spatiale du confort thermique au cours de l'année à Madagascar et d'obtenir des recommandations architecturales bioclimatiques à travers les indices de confort et bioclimatique, ceci afin

d'introduire ce concept du bioclimatisme dans le pays.

2- Méthodologie

Ce présent travail requiert des données climatiques de Madagascar. Ces données sont les données de température (maximale, moyenne et minimale), de précipitation, de l'humidité relative et de l'irradiation solaire. L'étude a été adaptée et réalisée en fonction de la disponibilité des données à Madagascar. Les données de température et de précipitations sont des données de 1981 à 2021, sur des grilles de 10 km, provenant de la Direction Générale de la Météorologie (DGM). Pour l'humidité relative, les données normales de toutes les stations météorologiques de Madagascar, de 1971 à 2000, provenant aussi de la DGM, sont utilisées. Enfin, pour celle de l'irradiation solaire, des données par zones climatiques provenant du site Solar Data Radiation Helioclim de 2005 à 2014, ont été recueillies.

L'étude comporte généralement deux grandes parties. La première partie concerne l'évaluation de la variation spatiale du confort thermique au cours de l'année à Madagascar et la deuxième partie s'étalera sur l'analyse bioclimatique pour obtenir les recommandations architecturales bioclimatiques de Madagascar.

Il existe de nombreux indices pour évaluer le confort thermique. [10] Dans cette étude, l'indice de confort biométéorologique Humidex a été choisi parmi ces indices suite à de nombreux raisons telles que sa recommandation par l'Organisation Météorologique Mondiale, la disponibilité de données, le fait qu'il est un indice pouvant être déterminé par une équation simple et ne nécessite que deux variables climatologiques pour définir le confort à savoir la température et l'humidité, et aussi qu'il est utilisé pour les zones à types de climats chauds comme Madagascar.

En premier lieu, des calculs des valeurs de l'indice ont été effectués dans le cas d'une température maximale et le cas d'une température moyenne, selon les douze mois de l'année.

$$\text{Humidex (HD)} = T_a + \frac{5}{9} (p_{vs} - 10) \quad (1)$$

La pression de vapeur d'eau p_{vs} peut être déterminée soit via la température du point de rosée T_d soit par en utilisant l'humidité relative HR .

$$p_{vs} = 6,11 \times e^{5417,7530 \times \left(\frac{1}{273,16} - \frac{1}{T_d} \right)} \quad (2)$$

$$p_{vs} = 6,112 \times \left(10^{\frac{7,5T_a}{237,7+T_a}} \right) \times \frac{HR}{100} \quad (3)$$

Pour les interprétations des résultats obtenus, il existe des codes couleurs des valeurs de l'Humidex, établis par les créateurs de l'indice, là où chaque couleur correspond à un degré de confort associé.

Tableau 1 : Valeurs de l'Humidex et les conditions de confort thermique associées

Valeur Humidex	Degré de Confort
<15	Sensation de frais ou de froid
15-20	Peu de gens sont incommodés
20-30	Aucun inconfort
30-40	Un certain inconfort
40-46	Beaucoup d'inconfort
46-54	Danger- coup de chaleur probable
54<	Coup de chaleur imminent – danger de mort

Source : Environnement Canada

L'observation de la situation de confort moyenne est alors effectuée ainsi que le degré de confort perçu là où la température atteint sa valeur maximale. Les valeurs obtenues ont été représentés graphiquement sur SIG.

Pour l'analyse bioclimatique, elle permet aussi d'identifier le confort optimal des individus ainsi que leurs conditions d'inconfort tout comme les indices de confort. Mais surtout, cette partie consiste plutôt à obtenir des solutions et des stratégies architecturales permettant d'améliorer ce besoin de confort dans un bâtiment. Le diagramme bioclimatique de Szokolay et les tables de Mahoney sont les méthodes utilisées dans cette partie. Le diagramme bioclimatiques de Szokolay permet d'identifier et d'obtenir les stratégies bioclimatiques (zone d'effet de masse, zone de ventilation naturelle,...) . Il existe d'autres types de diagramme bioclimatique, mais celui de Szokolay s'avère le mieux adapté car il est spécifique à une région étudiée. Les tables de Mahoney sont vraiment une méthode adoptée pour aboutir à l'élaboration de l'architecture bioclimatique. [11] Ces méthodes bioclimatiques ont été effectués dans les différentes zones climatiques de Madagascar selon la *Figure 1* sur la délimitation climatique zonale de Madagascar. [12]

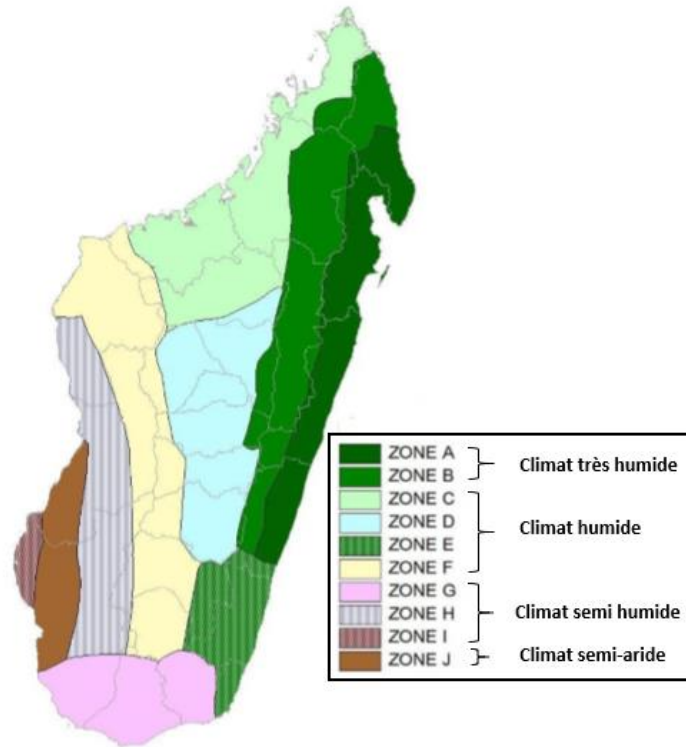


Figure 1: Délimitation climatique de Madagascar

Source : [12]

Concernant les outils informatiques utilisés, Microsoft Excel ainsi que les logiciels QGIS version 3.24.2 Tisler et CYT PsyChart Version Demo ont été manipulés. Le tableur Excel a été utilisé pour le triage des données et les différents calculs ; et QGIS a été manœuvré pour la réalisation de la distribution et de la variation spatiale de l'Humidex à Madagascar. Pour l'élaboration des diagrammes bioclimatiques de Szokolay, de nombreux logiciels permettent de l'effectuer mais CYT PsyChart, est le cas suggestionné dans notre étude.

3- Résultats

Résultats de l'évaluation du confort thermique à Madagascar :

Dans ce travail, le confort thermique a été évalué mensuellement. Les résultats ci-dessous montrent les mois les plus critiques des deux saisons à Madagascar.

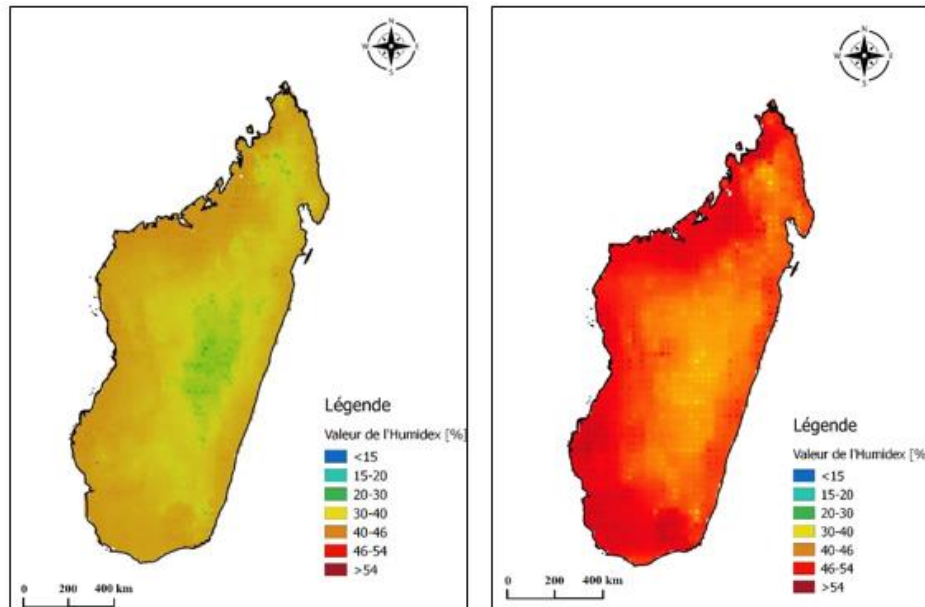


Figure 2 : Valeurs de l'Humidex pour le mois de Janvier

En Janvier, l'Humidex varie dans toutes les parties de l'île que ce soit par rapport à la température maximale qu'à la température moyenne. En termes de température moyenne, sur la figure de gauche, elles varient généralement entre 20 à 46% dans la grande île. Les valeurs indiquant une sensation d'inconfort dominant dans toute l'île, entre 30 à 46%, même s'il y a une légère sensation de confort ressentie au centre, avec une valeur entre 20 à 30%, en vert. En cas de surestimation des valeurs de l'indice, calculés à partir des températures maximales, sur la figure de droite, le niveau de confort est défavorable dans tout Madagascar, avec des valeurs toutes supérieures à 30%, principalement pour la partie Ouest, où l'indice est supérieur à 54%, indiquant un danger de coup de chaleur. Les risques d'insolation, de crampes musculaires ou épuisement par la chaleur sont possibles dans ces cas. Les autres mois de la saison chaude, de Novembre en Avril présentent à peu près les mêmes caractéristiques de ce mois de Janvier.

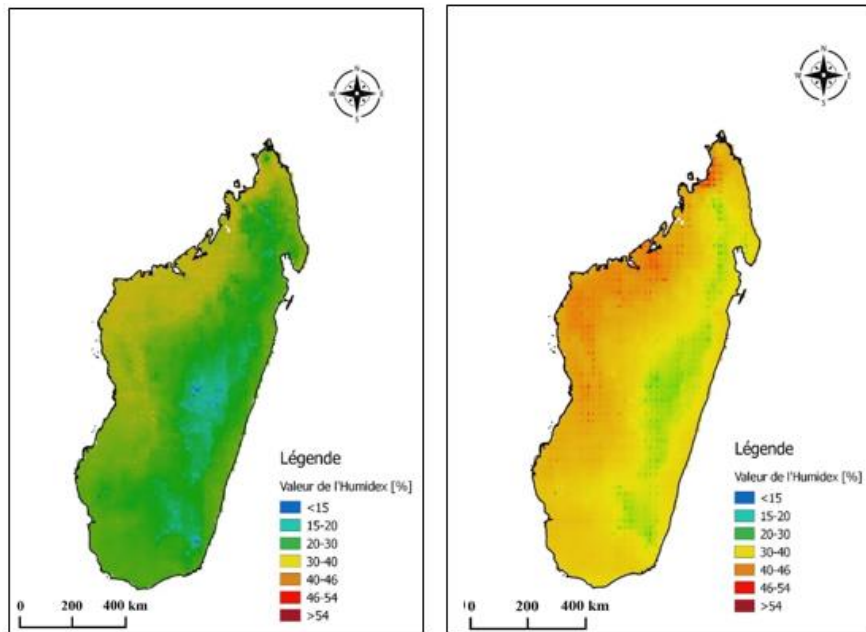


Figure 3 : Valeurs de l'Humidex pour le mois de Juillet

En Juillet, étant le mois le plus froid de l'année dans tout Madagascar, en termes de température moyenne, l'Humidex est en majorité en dessous de 30%, indiquant une sensation de bien-être. Mais, pour la partie au Nord-Ouest, il y a un certain inconfort représenté par la couleur jaune, entre 30 à 40%. Pour une partie dans le centre, une sensation inconfortable due au froid est observée, avec une valeur inférieure à 20%. Concernant la température maximale, l'indice est généralement compris entre 20 à 54%. La majeure partie de l'île est dans une situation inconfortable, spécialement pour la partie plus au Nord-Ouest de l'île, avec une valeur entre 40 à 54%. En revanche, une sensation de confort s'étend pour quelques parties du centre, représenté en vert. Pour les **autres mois, le mois de Mai, Septembre et Octobre**, les valeurs de l'Humidex indiquent des situations de confort tendant vers les cas des mois de la saison chaude.

Résultats de l'analyse bioclimatique par les diagrammes de Szokolay et les tables de Mahoney, par zones climatiques de Madagascar:

Ces résultats sont à peu près les mêmes dans l'île, notamment pour les zones ayant les mêmes caractéristiques climatiques. Alors, voici seulement les résultats des zones les plus spécifiques de Madagascar.

• **Zone A : climat très humide toute l'année**

- Résultats concernant le diagramme de Szokolay :

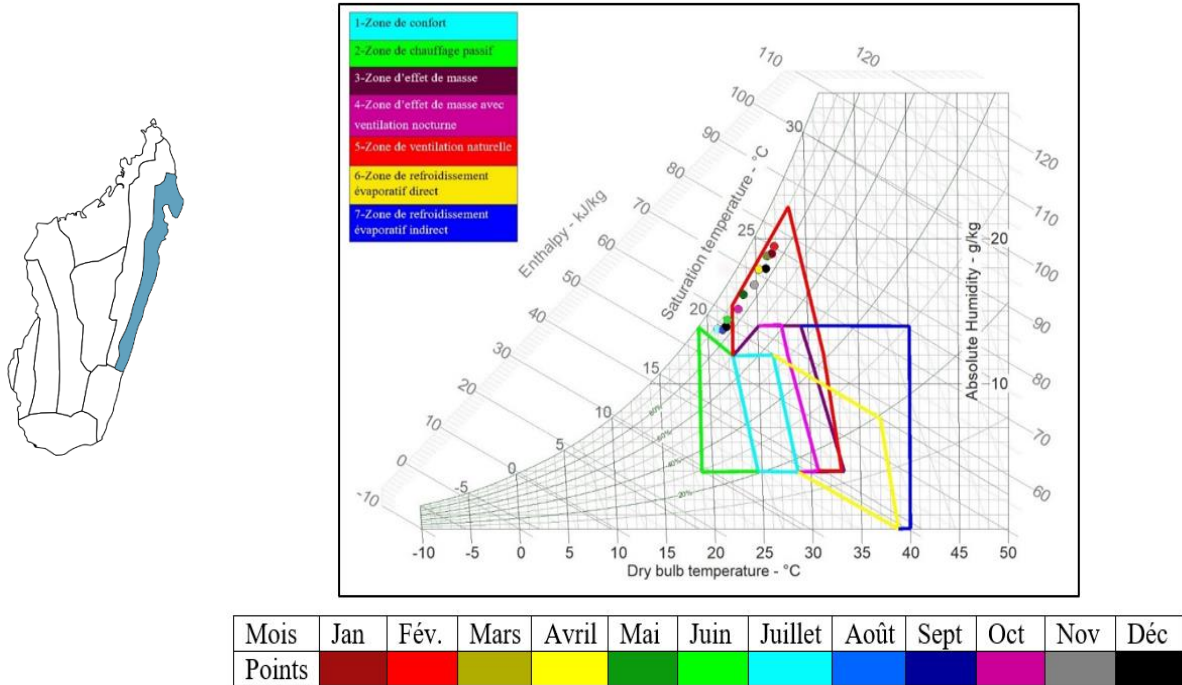


Figure 4 : Localisation de la zone A de Madagascar et son diagramme bioclimatique de Szokolay

D'après le diagramme de Szokolay, on constate tout d'abord que chaque mois de la zone A est en dehors du polygone de confort. Le diagramme indique qu'une ventilation naturelle est nécessaire pendant la saison chaude (au mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril).

- Résultats et recommandations selon les tables de Mahoney:

Tableau 2 : Extrait des recommandations des tables de Mahoney : zone A

Indicateur						Recommandations spécifiques
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
8	12	4	0	0	0	
						Plan masse 1-Orientation suivant un axe longitudinal E-O 2-Plan compact avec cour intérieure
						Espacements 3-Grands espacements entre les bâtiments 4-Idem avec protection contre le vent 5-Plan compact
						Circulation d'air 6-Circulation d'air permanente 7-Circulation d'air intermittente 8-Circulation d'air inutile
						Ouvertures

						9-Grandes ouvertures des façades N et S
						10-Très petites ouvertures (10 à 20%)
						11-Ouvertures moyennes (20 à 40%)
						Murs
						12-Murs légers
						13-Murs massifs
						Toitures
						14-Toitures légères et isolantes
						15-Toitures lourdes
						Sommeil en plein air
						16-Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
						17-Protection contre la pluie
						<i>Recommandations plus détaillées</i>
						Dimensions des ouvertures
						1-Grandes ouvertures (40 à 80%) des façades N et S
						2-Ouvertures moyennes (25 à 40%)
						3-Petites ouvertures (15 à 25%)
						4-Très petites ouvertures (10 à 20%)
						5-Ouvertures moyennes (25 à 40%)
						Position des ouvertures
						6-Ouverture au N et au S
						7-Idem avec des ouvertures pour les murs intérieurs
						Protection des fenêtres
						8-Exclure les apports directs
						9-Créer des protections contre la pluie
						Murs et planchers
						10-Murs légers, faible capacité thermique
						11-Murs lourds, déphasage au-delà de 8h
						Toitures
						12-Toiture légers
						13-Toitures légères et isolantes
						14-Toitures lourdes, déphasage au-delà de 8h
						Traitement des surfaces extérieures
						15-Espaces extérieures nécessaires pour dormir
						16-Drainage adéquat des eaux pluviales

D'après les tables de Mahoney appliquées sur les données climatiques de la zone A, avec un climat de type très humide toute l'année, le bâtiment bioclimatique doit tout d'abord avoir un plan de masse en adoptant une orientation de l'édifice suivant l'axe de déplacement du Soleil, c'est-à-dire suivant l'axe Est-Ouest, pour éviter les excès d'apports de chaleur par les rayonnements solaires en Eté. Comme distance entre les bâtiments, il est important d'établir un grand espacement entre les habitats avec des protections contre le vent, pour bien favoriser la ventilation naturelle et la circulation d'air permanente. Les façades principales doivent faire face au Nord et au Sud pour profiter des apports solaires bas en hiver, avec des grandes ouvertures de 40 à 80% de la superficie des murs au Nord et au Sud.

Concernant les structures du bâtiment, il doit être construit avec des murs et des toits de matériaux légers, avec une isolation pour la toiture. En raison du régime pluviométrique de cette zone, il est aussi utile de construire de prévoir des protections contre la pluie, avec un drainage

adéquat des eaux pluviales. Les fenêtres doivent également se munir des protections solaires pour éviter les rayonnements en été.

Zone D : Climat adouci par le relief

- Résultats concernant le diagramme de Szokolay :

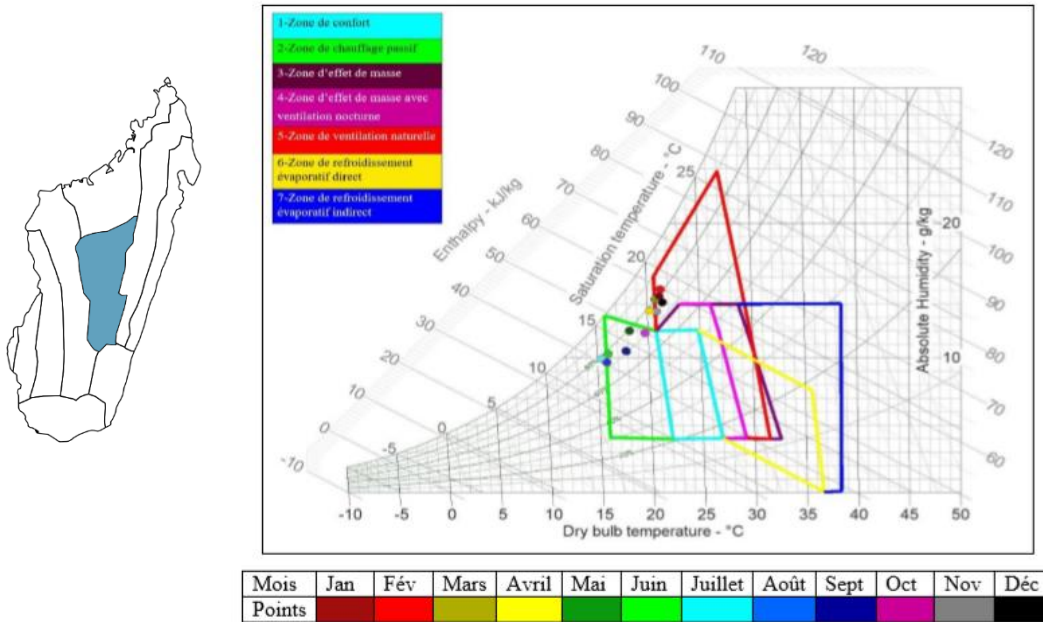


Figure 5 : Localisation de la zone D de Madagascar et son diagramme bioclimatique de Szokolay

Dans le centre de Madagascar, l’insertion de ses données climatiques dans le diagramme bioclimatique de Szokolay permettent d’obtenir les stratégies recommandées ci-après. Même si dans les hauts plateaux, le climat est moyennement confortable pour les habitants en été qu’en hiver, une ventilation naturelle est quand même nécessaire pendant la saison sèche (de Novembre à Mars). De plus, afin de bien rester au chaud pendant la saison fraîche, au mois de Mai jusqu’au mois de Septembre, une stratégie de chauffage passif serait utile.

- Résultats et recommandations selon les tables de Mahoney:

Selon les tables de Mahoney pour la zone D, avec un climat adouci par le relief, en premier lieu, concernant le plan du site et du bâtiment, l’orientation de l’axe principal suivant l’axe Est-Ouest est également suggéré. Dans le milieu urbain, les bâtiments doivent être très espacés entre elle avec des protections contre le vent pour assurer une ventilation optimale. Les principales façades doivent être orientées au Nord et au Sud, munies d’une grande ouverture de

dimension entre 40 à 80% de la superficie totale des murs au Nord et au Sud, pour privilégier d'une circulation d'air permanente.

Ensuite, concernant les structures du bâtiment, la construction de l'enveloppe du bâtiment doit se faire avec des matériaux légers, notamment pour les murs et la toiture, avec des isolants thermiques. Les fenêtres sont recommandées de se munir des protections contre les rayonnements solaires et la pluie. De plus, il est conseillé de prévoir un système de drainage adéquat des eaux pluviales.

Zone J : Climat semi-aride

- Résultats concernant le diagramme de Szokolay :

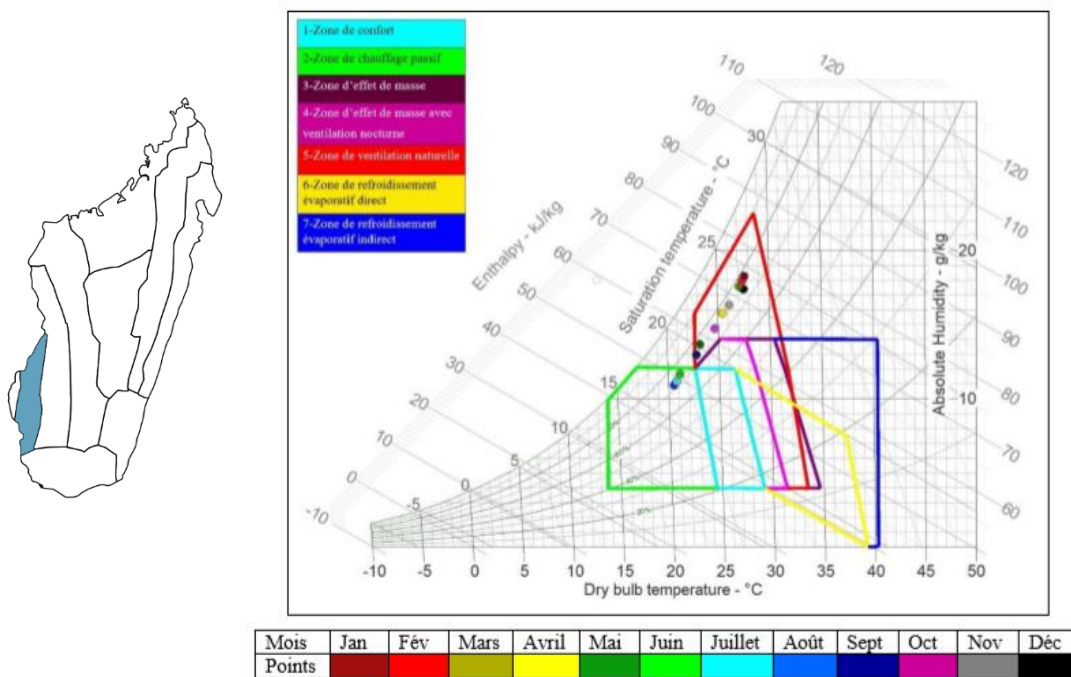


Figure 6 : Localisation de la zone J de Madagascar et son diagramme bioclimatique de Szokolay

Selon le diagramme bioclimatique de Szokolay, les mois de Juin en Août sont localisés dans la zone de chauffage passif, ainsi, il est utile d'entamer une stratégie de chauffage passif au cours de cette période. Pour le reste de l'année, une ventilation naturelle est exigée pour bien atteindre le confort optimal en été.

- Résultats et recommandations selon la table de Mahoney:

Pour concevoir dans les meilleures conditions de confort une maison bâtie dans la zone J à Madagascar, de climat semi-aride, les tables de Mahoney suggèrent les recommandations ci-après. Concernant tout d'abord le plan du site et du bâtiment, L'axe principal de l'habitat doit suivre l'orientation longitudinal Est-Ouest en été. Les maisons doivent être bien espacées afin d'assurer une circulation d'air suffisante à l'intérieur et autour des bâtiments. Les ouvertures doivent être conçues à travers les façades au Nord et au Sud du bâtiment, de dimension entre 20 à 80% de la surface totale des murs au Nord et au Sud.

Pour les structures du bâtiment, il est recommandé de choisir des murs légers et des toitures légères et isolantes. Pour éviter les rayonnements solaires d'y pénétrer à travers les ouvertures, il est impératif d'ombrager les fenêtres. En raison de la faible pluviosité de cette zone, les protections contre la pluie ne seront pas nécessaires.

4- Discussions

Pour l'évaluation du confort thermique à Madagascar, d'après ces résultats, premièrement, les situations dans les deux cas de la température sont différentes : ceux avec la température maximale sont plus pessimistes par rapport à ceux de la température moyenne. D'abord, les résultats selon le cas de la température moyenne annoncent fortement des résultats plutôt positifs sur le confort thermique perçu par la majorité des habitants sur la grande île. Quant aux résultats obtenus par la température maximale, les résultats sont alarmants et avertissent même des dangers pour quelques parties de Madagascar, malgré une légère sensation de confort sur quelques régions du centre. Mais la perception des éventualités du confort dans la grande île est liée aux saisons dans les deux de la température. Pendant la saison chaude et humide, généralement située entre le mois d'Octobre au mois de Mars, les habitants ne sont pas à l'aise face au climat et subissent un stress thermique causé par la chaleur. En revanche, pendant la saison fraîche, à peu près au mois d'Avril jusqu'au mois de Septembre, le climat fournit plutôt des conditions de confort dans presque toutes les zones de Madagascar. Ensuite, la sensation de confort à Madagascar varie essentiellement suivant la climatologie dans les différentes parties de l'île. La partie centrale présente les résultats les plus optimistes. Ceci est causé par le type de climat de cette région, caractérisé par des températures et des conditions modérées par rapport aux autres parties de l'île. En allant plus dans les zones périphériques de Madagascar, jusqu'aux régions côtières, les situations de confort s'aggravent graduellement, notamment la partie occidentale, qui est la partie la plus dangereuse de l'île. La partie orientale présente des conditions modérées. Même si les conditions de confort des zones côtières ne sont pas toutes bonnes par rapport aux hautes terres centrales, la partie occidentale, plus au Nord-Ouest, est la moins favorable pour la santé des habitants à Madagascar car c'est la partie qui est générée par un type de climat le plus sec par rapport aux autres, avec des températures très élevées.

Pour les résultats de l'analyse bioclimatique, malgré l'étude suivant les différentes zones climatiques, visant à obtenir des résultats plus variés, toutes les recommandations et stratégies dans toutes les zones, qui découlent des méthodes bioclimatiques, sont presque similaires. Généralement, tous les habitats dans toutes les zones climatiques de Madagascar doivent être conçus suivant l'axe longitudinal du Soleil, en Ouest-Est, afin de limiter la pénétration des rayonnements solaires en été, avec un grand espace entre les bâtiments pour bien favoriser une bonne ventilation naturelle. En effet,

même s'il existe des variétés de climat à cause de différents facteurs comme la topographie, tout le pays reste quand même généré par un même climat, un climat chaud et tropical. Ainsi, les stratégies d'amélioration du confort sont toutes principalement des stratégies qui consistent à se protéger des dangers de la chaleur en été, qui sont vraiment appropriés pour éliminer le recours à la ventilation mécanique pendant les mois très critiques de la saison chaude, comme l'orientation, les principes de l'emploi de la ventilation naturelle, le choix des matériaux ou l'effet de masse. Par contre, pour la période située à peu près entre Juin et Septembre, elle est moins critique, avec des températures modérées et même faibles pour quelques parties de l'île là où un peu de chauffage est nécessaire pendant les journées les plus froides de l'année. Par rapport à l'abondance de pluies dans presque toute Madagascar par la situation géographique de l'île et les phénomènes météorologiques qui s'y produisent, tous les habitats doivent prévoir des techniques de construction adaptées aux périodes de pluie, à l'exception de la partie Sud-Ouest, de climat semi-aride, avec une pluviosité très faible.

En comparaison avec les types d'habitat existants à Madagascar actuellement, cette étude nous permet de dire que peu sont les habitats qui tiennent vraiment compte du climat pendant la conception à cause de nombreuses raisons comme l'ignorance, le pouvoir économique ou l'arrivée des nouvelles constructions avec des styles qui tendent à s'éloigner des principes de construction naturelle. La plupart des bâtiments sont faits par exemple avec des matériaux qui ne sont pas compatibles avec le type de climat ou de façon à utiliser des matériaux selon le pouvoir d'achat.

En revanche, les méthodes et pratiques traditionnelles de Madagascar comportent certains avantages pour l'architecture bioclimatique comme l'emploi des matériaux disponibles dans la nature ou l'orientation des pièces de la maison par rapport au Soleil. La toiture de chaume est autrefois très utilisée en milieu rural et elle est rentable et efficace pour l'isolation thermique. Par contre, selon cette présente étude, le choix de l'orientation comme suivant l'axe Nord-Sud n'est pas vraiment adapté au principe bioclimatique pour Madagascar.

Conséquemment, toutes ces raisons ainsi que les résultats de l'étude nous permettent de déduire que des modifications doivent être établies pour la conception de nouveaux bâtiments afin de bien « construire avec le climat » à Madagascar.

5- Conclusion

L'architecture bioclimatique est une solution aux problèmes liés au confort thermique du bâtiment afin de combiner l'environnement, le climat et l'habitat. De ce fait, l'intégration de ce concept repose en grande partie sur l'analyse approfondie du climat local et du confort thermique. Le but de ce travail consiste ainsi à l'étude du confort thermique et une approche à la recherche de ce confort dans une habitation bioclimatique à Madagascar par l'analyse du climat à travers l'étude des indices de confort.

En s'appuyant sur les résultats obtenus dans cette étude, la situation de confort est généralement liée aux saisons climatiques de Madagascar. Des changements doivent être établis pour les bâtiments afin d'aboutir au principe du bioclimatisme comme l'orientation de l'édifice suivant l'axe Nord-Sud ou le choix des matériaux approprié aux types de climat. Mais ce travail n'est qu'une étape primaire et importante pour un projet de construction bioclimatique à Madagascar étant donné que c'est un type d'architecture avec le climat. Ainsi, il est impératif de procéder à d'autres études ultérieures.

6- Références

- [1] ONU Habitat et OIF/IFDD ; *Conception architecturale durable en milieu tropical : Principes et applications pour l'Afrique de l'Est* ; Québec, 2015.
- [2] OMM ; *Bulletin de l'OMM sur la qualité de l'air et le climat* ; Septembre 2022 ; n° 2.
- [3] Mark Tuddenham, Vincent Mazin, Colas Robert, Ludivine Cozette ; *6e rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), 3e volume : atténuation* ; 2022.
- [4] Organisation Internationale de la Francophonie ; *L'architecture bioclimatique* ; 2008.
- [5] Organisation Internationale de la Francophonie ; *Guide du bâtiment durable en régions tropicales Tome 1 : Stratégies de conception des nouveaux bâtiments en régions tropicales*, 2015.
- [6] Thibaut Filliol ; *Mise au point d'une méthode de mesure sur les indices de confort : étude menée sur la ville de Strasbourg* ; 2015.
- [7] Radanielina Miharintsoa ; *Microclimat urbain : phénomène d'îlot de chaleur et confort thermique mise en évidence et variabilité spatiale sur l'agglomération d'Antananarivo* ; 2019.
- [8] H. M'Sellem et D. Alkama ; *Le confort thermique en, tre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec* ; 2009.
- [9] RAKOTO Harry Angelo ; *Evaluation du confort thermique généré par des solutions passives : cas d'un bâtiment universitaire* ; 2012.
- [10] OMM, OMS ; *Vagues de chaleur et santé: guide pour l'élaboration de systèmes d'alerte* ; 2015 ; No 1142.
- [11] Hamel Khalissa ; *Confort thermique , Cours n°2, Tome 2, Université Biskra*.
- [12] Météo Malagasy ; *Atlas Climatologique de Madagascar* ; Mars 2014

7- Tableaux

Tableau 1 : Valeurs de l'Humidex et les conditions de confort thermique associées	5
Tableau 2 : Extrait des recommandations des tables de Mahoney : zone A.....	9

8- Figures

Figure 1: Délimitation climatique de Madagascar	6
Figure 2 : Valeurs de l'Humidex pour le mois de Janvier.....	7
Figure 3 : Valeurs de l'Humidex pour le mois de Juillet.....	8
Figure 4 : Localisation de la zone A de Madagascar et son diagramme bioclimatique de Szokolay	9
Figure 6 : Localisation de la zone D de Madagascar et son diagramme bioclimatique de Szokolay	11
Figure 7 : Localisation de la zone J de Madagascar et son diagramme bioclimatique de Szokolay	12