

L'INGÉNIERIE AU SERVICE DU BÂTI TROPICAL

CLIMAYOTTE

**Adapter la conception bioclimatique des bâtiments tertiaires aux enjeux du
changement climatique**

– SEPTEMBRE 2025 –

Climat et stations météo



SOMMAIRE

1. CONTEXTE : STATION METEO ET CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	3
2. OBJECTIFS.....	4
3. MISE EN ŒUVRE DE STATIONS METEOROLOGIQUES.....	6
3.1. METHODOLOGIE.....	6
3.2. DEFINITION DES ZONES THERMIQUES	6
3.3. SELECTION DES SITES D'IMPLANTATION.....	7
3.4. ACQUISITION DES DONNEES METEOROLOGIQUE	14
3.5. COMPARAISON DES DONNEES METEO.....	20
4. ANALYSE DES DONNEES RELATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	23
4.1. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE A MAYOTTE	23
4.2. L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE CONFORT THERMIQUE	25
CONCLUSION.....	32

1. Contexte : Station météo et changement climatique

Les données météorologiques représentent les premières données d'entrée utilisées dans le processus de **conception bioclimatique**. Elles sont issues des stations météorologiques qui rendent compte du climat à un point donné sur la période de mesure.

Aujourd'hui, à Mayotte, on dénombre une seule station qui relève l'ensemble des données nécessaires à la conception bioclimatique. Elle est située sur le site de l'aéroport de Pamandzi sur Petite Terre dont la représentativité de l'ensemble de territoire Mahorais n'est pas avérée. Contrairement à Petite Terre, l'île principale de Mayotte présente en effet des reliefs pouvant aller jusqu'à 660m d'altitude et se caractérisant par des pentes moyennes.

Il apparaît régulièrement dans les rapports, ou dans les conclusions d'étude (*Réalisation d'une campagne de mesures instrumentée et d'une enquête sociologique relative au confort sur des opérations de logements élus au programme Mayenergie et MayenergiePlus à Mayotte, Imageen, 2020*) un manque de donnée météo, à Mayotte, permettant de concevoir des bâtiments bioclimatiques confortables.

Les bonnes pratiques de conception bioclimatique et indicateurs de performance formulés dans les guides de conception (*MayEnergiePlus®*, 2013) se basent en partie sur l'analyse du seul fichier météo disponible et restent donc générales. Dans l'objectif d'adapter les règles générales au site étudié, les concepteurs prennent des hypothèses sur les phénomènes susceptibles d'être observés : baisse du signal aéraulique de par la présence d'un relief, phénomène de recirculation des vents dans les baies, canalisation des vents par effet de ravine). Lors de l'exploitation du bâtiment, ces hypothèses sont rarement vérifiées malgré leur caractère dimensionnant.

Par ailleurs, le fichier météo utilisé à Mayotte dans le processus de conception pour évaluer le confort, les consommations énergétiques, la pertinence d'un choix de conception par rapport à un autre, et parfois pour dimensionner les systèmes de climatisation, se base sur une moyenne des données sur la période actuelle.

Bien que les bâtiments soient conçus pour une durée de vie de 50 ans et plus, les scénarios d'évolution climatique futurs ne sont donc pas pris en compte lors de la conception. Pour la région de l'océan indien, **les scénarios du GIEC prévoient une augmentation du nombre de jours de fortes chaleurs et des phénomènes climatiques plus extrêmes et plus fréquents (sécheresses, inondations, cyclone)**. Outre les risques sur la santé animale, la biodiversité, la sécurité alimentaire, qu'aura comme conséquence l'évolution climatique, les risques sur la santé humaine seront d'autant plus importants que les bâtiments n'intégreront pas la prise en compte de ces phénomènes dans la conception initiale. **Ceci augmente la probabilité de voir apparaître la mise en œuvre de solutions compensatoires actives au cours de la durée de vie du bâtiment (climatisation par exemple).**

2. Objectifs

En termes de données météorologiques, l'analyse du contexte mahorais met en évidence les constats suivants :

- Les données météo à disposition des concepteurs ne permettent pas de mettre en œuvre une conception bioclimatique fine. Elles sont insuffisantes et ne sont **pas représentatives de l'ensemble du territoire** Mahorais.
- Les données météo actuellement utilisées par les concepteurs n'intègrent pas les évolutions climatiques à venir. Bien que construits pour 50 ans et plus, les bâtiments actuels ne sont donc pas adaptés au climat futur.



Face à ces constats, l'objectif du projet CLIMAYOTTE est double :

- **Améliorer la connaissance du climat mahorais par la mise en œuvre de stations météorologiques.**
- **Anticiper des besoins futurs des bâtiments, tout en minimisant leur impact énergétique notamment grâce à l'intégration des scénarios d'évolution climatique aux fichiers météo.**



Pour répondre aux objectifs de l'étude, notre projet se décompose en deux grandes thématiques :

- La mise en œuvre de deux nouvelles stations météorologiques sur le territoire Mahorais.
- L'analyse du climat Mahorais futur selon différents scénarios RCP (Representative Concentration Pathways, ou profils représentatifs d'évolution de concentration de GES).

3. Mise en œuvre de stations météorologiques

3.1. Méthodologie

Concernant la mise en œuvre de nouvelle station météo, la méthodologie se décompose selon les étapes suivantes :

- Sélection de deux zones thermiques spécifiques (topographie et développement économique). Des acteurs locaux (Météo France et CAUE) ont été consultés pour le choix des zones.
- Sélection d'un site d'implantation par zone.
- Mise en œuvre et installation de deux stations météo.
- Création d'un accès aux données en direct pour suivre l'évolution climatique d'une période voulue via le site du laboratoire Energy Lab (<https://galilee.univ-reunion.fr/>).

3.2. Définition des zones thermiques

Nos différents échanges avec les acteurs locaux (Météo France OI et le CAUE), nous ont permis d'établir que :

- En raison du relief et des brises thermiques, Mayotte possède de nombreux microclimats ;
- La façade Est est plus ventilée que la façade Ouest ;
- La baie de Chirongui est déventée ;
- La baie de Mtsamboro est bien ventilée ;
- La zone sud possède un régime de vents différent du reste de l'île ;
- Les saisons des pluies sont de plus en plus décorrélées de la saisonnalité habituelle.

Météo France possède plusieurs stations météo réparties sur l'île (principalement sur la partie Nord de l'île). Néanmoins, seule la station de Pamandzi récolte l'ensemble des données nécessaires pour les études thermiques avec un pas de temps horaire (nécessaire pour les STD).

Corrélés aux zones de forts développements économiques (Kaweni, Tsigoni / Longoni, Dembeni...), ces deux entretiens ont permis de confirmer le zonage thermique ci-dessous, permettant de considérer à la fois les différences météorologiques de Mayotte, les futures zones de développement ainsi que les contraintes en termes de site pouvant accueillir la station :

- **Une station météo dans la zone Centre-Ouest** : La station permettra de caractériser le potentiel aéraulique de la zone et donc le potentiel bioclimatique des bâtiments de la zone Ouest de Mayotte.

- **Une station météo dans la zone Centre-Est :** Un fort développement économique est prévu sur cette zone (Mamaoudzou, Kaweni et Dembeni...). Les données recueillies pourront servir aux grands projets d'aménagement sur l'île.



- ✗ Localisation de la station météorologique actuelle
- Localisation des futures zones météorologiques

Carte de Mayotte – Emplacements des zones d'implantation des stations météo

3.3. Sélection des sites d'implantation

Les sites doivent remplir plusieurs critères :

- Avoir fait l'objet d'une conception bioclimatique suivant la charte Mayenergie
- Être déjà construit ou livré en 2024 ;
- Être situé dans les zones prédéfinies.

3.3.1. Le collège de Ouangani

Le Collège de Ouangani

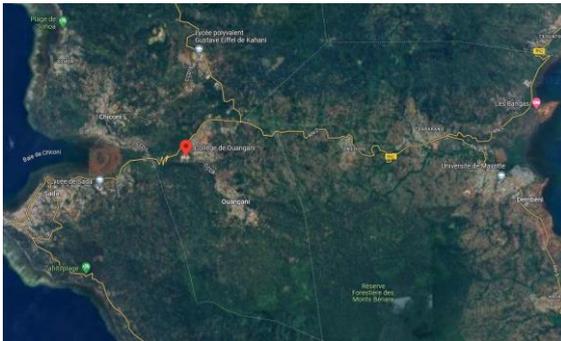
Livré en 2018, le Collège de Ouangani a fait l'objet d'une conception bioclimatique suivant la charte Mayenergie. D'une surface de plus de 10 000m² SHON, le collège comporte plusieurs activités : salles de classe, restauration, logements de fonction, plateau sportif...



Collège de Ouangani - TERRENEUVE Architectes

Analyse de site – Echelle large

Le projet est situé sur la commune de Ouangani à l'Ouest de Grande Terre. Le site est situé sur un petit relief entre deux canyons rejoignant le lagon à l'Ouest.



Insertion du projet au sein de Grande Terre



Vue depuis l'Ouest vers l'Est – Google Earth



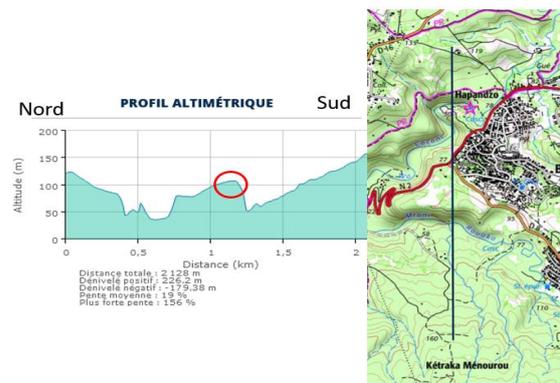
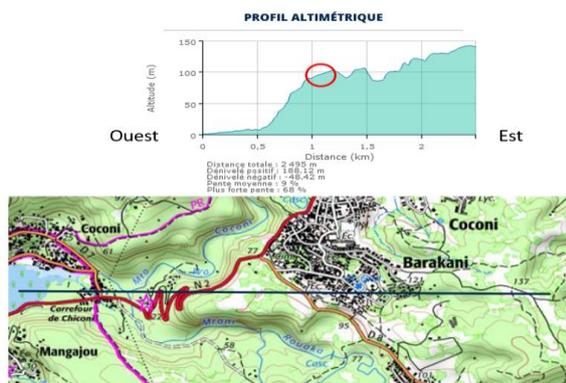
Position du projet – Carte ING

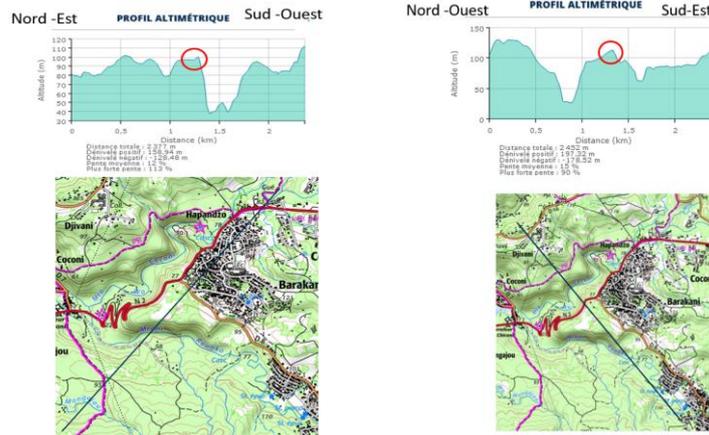
Analyse de site - Echelle macro, analyse de la topographie

À l'échelle macro, le site est plutôt bien situé par rapport à l'accès aux vents :

- L'Ouest est dégagé de reliefs. Les reliefs à l'Est ne sont pas un obstacle à l'écoulement aéraulique (éloignement suffisant et faible hauteur relative).
- Le Nord est dégagé et les reliefs au sud peuvent légèrement dégrader l'accès aux vents venant de cette direction.

Le Nord-Ouest, Nord Est, Sud-Ouest et Sud-Est sont dégagés.





Profil altimétrique en fonction de l'orientation

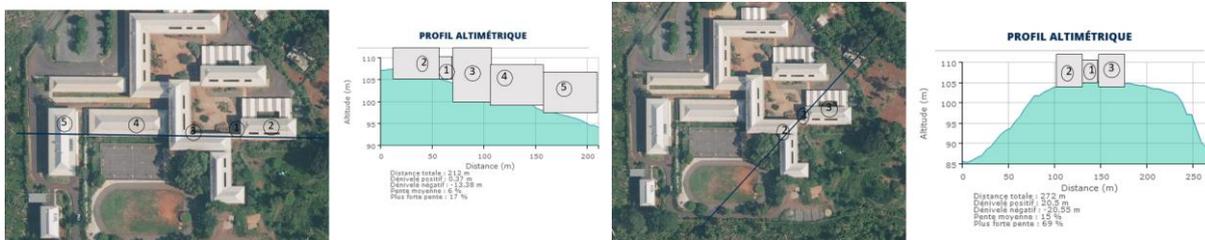
Analyse de site - Echelle parcellaire

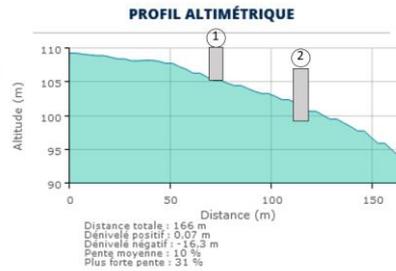
Le projet est composé de 9 bâtiments répartis sur la parcelle. Ils assurent les fonctions d'enseignement, de restauration, d'atelier, de gymnase, d'administration et logements.



Vue de la parcelle d'implantation

Le site présente une déclivité. Les bâtiments sont représentés en gris sur les altimétries si dessous.





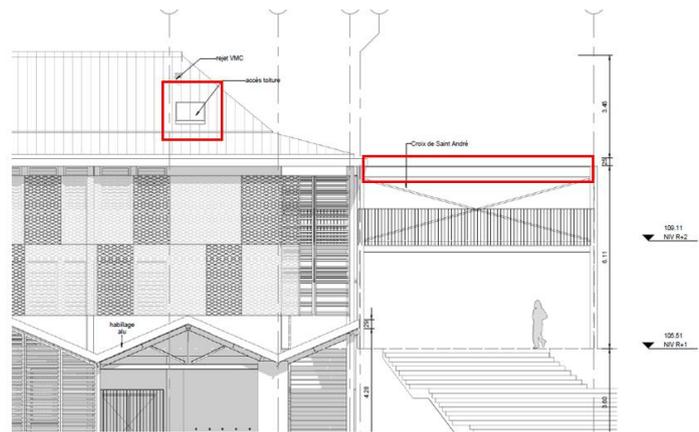
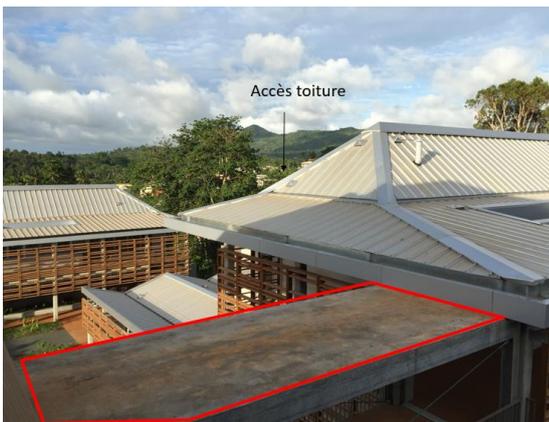
Profils altimétriques à l'échelle de la parcelle

Site d'implantation

La zone sélectionnée pour l'implantation de la station météorologique est la zone 1. Il s'agit d'une casquette, protégeant la coursive. Elle est en béton sur fond de coffrage en bac acier et ossature métallique.

Repérage de la zone d'implantation de la station météo

Les périodes d'ombre identifiées sur cette casquette sont présentées sur le diagramme solaire suivant. Il s'agit de la première heure et de la dernière heure de la journée.



Plan d'implantation de la station météo

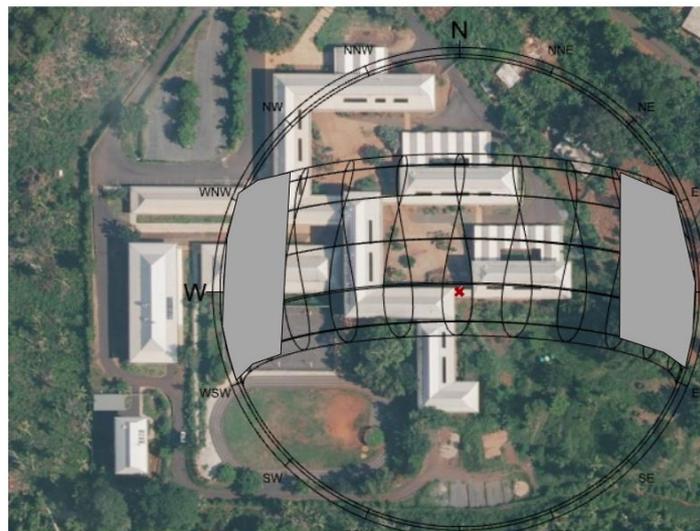


Diagramme solaire et ombres probables



3.3.2. La technopole de Dombéni

La Technopôle de Dombéni

Le siège de la Technopole situé à Dombéni a été livré au 1er semestre 2024 et inauguré en Novembre 2024.

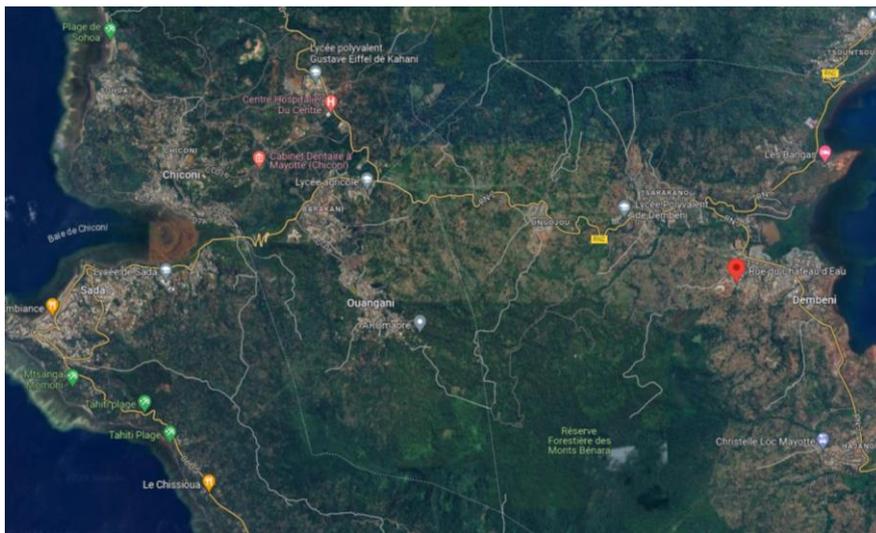
Le siège de la Technopole a fait l'objet d'une conception bioclimatique. Positionné sur les hauteurs de Dombéni, le bâtiment est situé dans une commune en fort développement et s'inscrit dans une future ZAC aménagée pour accueillir des entreprises innovantes. D'une surface de plus de 2 500m², le projet se compose de bureaux (individuels, collectifs et open-space), d'ateliers, de laboratoires de recherche, d'un auditorium et d'une résidence pour les chercheurs.



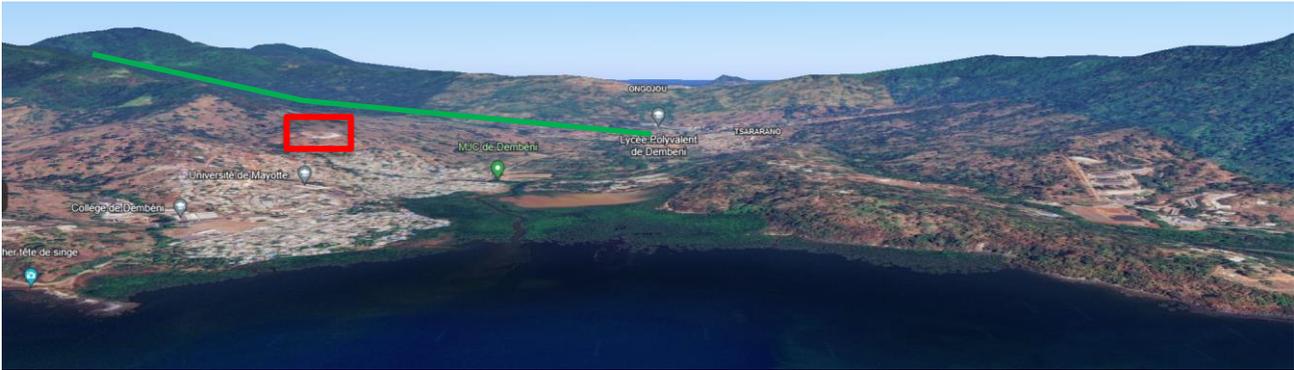
Photos de la technopole – Novembre 2023 - Architectes : TAND'M

Analyse de site- Echelle large

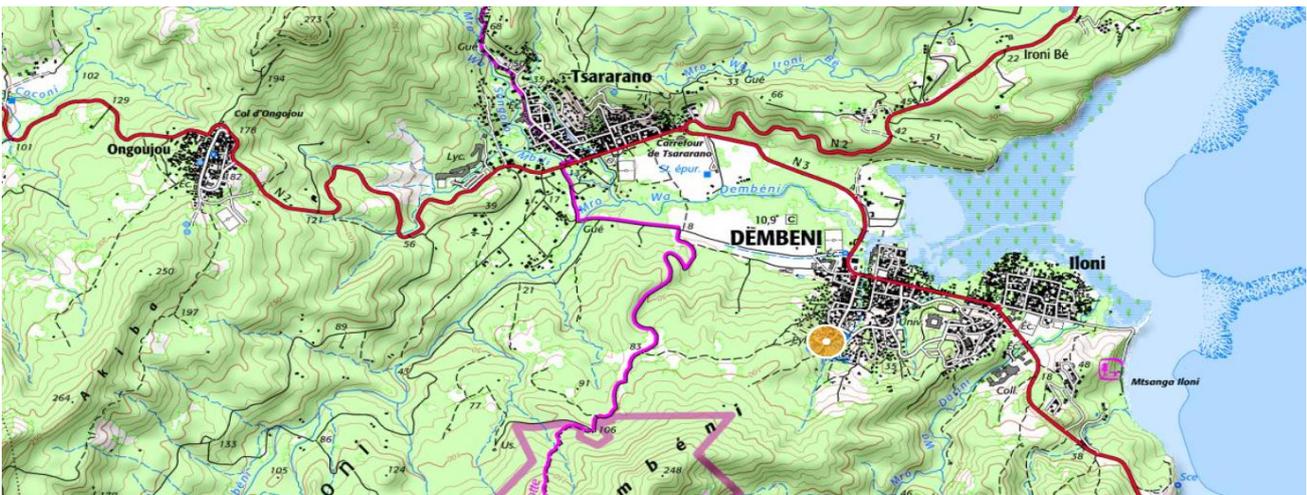
Le projet est situé sur la commune de Dombéni à l'Est de Grande Terre. Le site est situé sur un relief surplombant la mer, avec une ravine à sa gauche.



Insertion du projet au sein de Grande Terre



Vue depuis l'Est vers l'Ouest -Google Earth



Position du Projet - Carte IGN

Analyse de site - échelle macro - Analyse de la topographie

À l'échelle macro, le site est plutôt bien situé par rapport à l'accès aux vents :

- Le site est situé sur une colline, avec un accès principalement dégagé aux vents et en particulier des brises thermiques.
- Pas de masque aéralique lié au bâti.

Nord Sud

PROFIL ALTIMÉTRIQUE



Ouest Est

PROFIL ALTIMÉTRIQUE



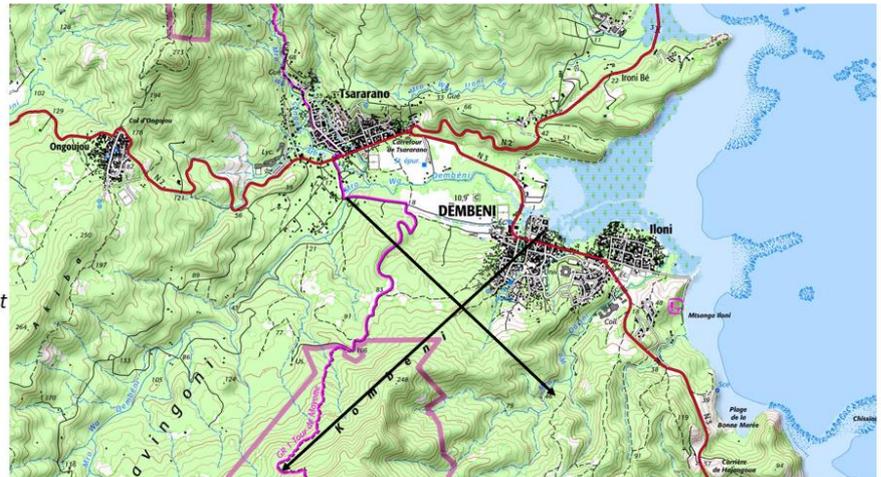
Profils altimétriques à l'échelle de la parcelle N/S et E/O



Au niveau des directions transverses :

Nord-Ouest

Sud-Est



Nord-Est

Sud-Ouest



Profils altimétriques à l'échelle de la parcelle NO/SE et NE/SO

Analyse de site - échelle parcellaire

Le projet est composé de plusieurs bâtiments : la technopole, des entrepôts et de l'hébergement. Les alentours sont peu construits pour le moment.



Insertion du bâtiment au sein de la parcelle

Site d'implantation

Le site sélectionné pour l'implantation de la station météorologique est la toiture technique. Il n'y a pas de périodes d'ombre identifiées sur ce bâtiment.



Implantation de la station météo au sein de la Technopole

3.4. Acquisition des données météorologique

3.4.1. Energy-Lab

Les stations météo ont été installées en collaboration avec le laboratoire ENERGY-Lab, unité de recherche EA4079, rattachée à l'Université de La Réunion. Le laboratoire possède une expertise forte dans l'installation de matériel de mesure comme les stations solaires et météorologiques.

L'un des axes de recherche du laboratoire est la « Variabilité et Gestion de l'énergie » notamment solaire. Dans ce cadre, le laboratoire ENERGY-Lab a déployé le réseau de stations IOS-net (<https://galilee.univ-reunion.fr/>).

Le réseau comporte une quinzaine de stations réparties dans l'Océan Indien et les données mesurées par les stations (température, humidité, pression, vitesse et direction du vent, pluviométrie, ensoleillement global et diffus) sont accessibles en libres accès.

Comme cas d'applications, ces données peuvent servir les études du gisement solaire, l'optimisation des systèmes énergétiques solaires intelligents ou encore les études de dimensionnement et diagnostic de systèmes photovoltaïques.

L'expérience du ENERGY-Lab dans ce domaine a notamment permis au laboratoire d'avoir une station référencée au réseau mondial BSRN (Baseline Surface Radiation Network) en 2021.

3.4.2. Équipements

Les stations météo seront équipées de 2 capteurs :

Capteur	Données mesurées	Visuel	Descriptions techniques
Pyranomètre SPN1 - Delta-T Devices	Rayonnements visibles : rayonnement global et diffus - flux global (GHI) – W/m ² - flux diffus (DHI) – W/m ² - flux direct (BHI) – W/m ² (le flux direct est ici calculé par différence entre flux global et flux diffus (BHI = GHI - DHI))		<u>Précision globale</u> : ±5% des rayonnements journaliers <u>Résolution</u> : 0.6W/m ² <u>Plage de mesure</u> : 0 à 2000W/m ²

Transmetteur WXT536 de chez Vaisala	Vents (direction et vitesse des vents), pluviométrie, température, humidité, pression atmosphérique : <ul style="list-style-type: none"> - température extérieure - °C - Humidité relative - % - vitesse de vent – m/s - direction du vent – 0° - 360° - pression atmosphérique – hPa - détection de pluie – mm H2O (L'appareil WXT n'est pas un véritable pluviomètre, il ne donne qu'une image de la quantité de pluie)		<u>Vitesse des vents :</u> ±3 % at 10 m/s <u>Direction des vents :</u> ±3.0° at 10 m/s <u>Pression atmosphérique :</u> ±0.5 hPa de 0 à +30 °C ; ±1 hPa de -52 à +60 °C <u>Température :</u> ±0.3 °C à 20 °C <u>Humidité Relative :</u> ±3 %RH de 0 à 90 %RH, ±5 %RH, de 90 à 100 %RH
--	---	--	--

Les appareils sont connectés à une centrale d'acquisition CR1000X qui permet l'acquisition des données et la communication avec le serveur de stockage. La connexion avec le serveur de stockage est réalisée à partir du réseau 4G. L'installation est donc équipée d'un modem 4G ainsi que d'une carte mémoire pour la mise en tampon des données en cas de perte de communication.

L'alimentation électrique se fait par panneau photovoltaïque et batterie installés à côté ou sur la station avec un régulateur de charge solaire.

L'ensemble des éléments sont installés sur une structure vissée sur les parois des murs disponible ou au sol.

Ce matériel est un matériel de qualité, éprouvé en milieu tropical et qui équipe la plupart des stations météo du réseau IOS-net.

Après la fin des deux ans du programme OMBREE, les stations seront exploitées par ENERGY-Lab. Les données des stations sont ainsi disponibles sur le site : <https://galilee.univ-reunion.fr/>. Les données seront mesurées avec un pas de temps horaire à minima. Les données collectées permettront de créer des fichiers météo exploitables dans le cadre des études thermiques.

3.4.3. Installation des stations météo

Le collège de Ouangani

L'accès à la coursive a été réalisé à partir d'une échelle empruntée au personnel technique du collège. L'échelle a ensuite été stockée dans le dépôt F20 du collège. La structure métallique a été installée au sol au centre de la coursive sur la dalle. Elle a été fixée à partir de goujon inox et de scellement chimique permettant un ancrage résistant au vent cyclonique. Le panneau a ensuite été installé et connecté au régulateur de charge dans le coffret électrique installé lui aussi sur la structure métallique.

— Extrait du rapport d'installation d'Energy Lab

Le coffret contient :

- La CR1000X
- Le régulateur de charge
- Le modem 4G
- La batterie



Structure métallique et coffret électrique - Rapport d'installation d'Energy-Lab

Le SPN1, qui est utilisé pour la mesure du rayonnement solaire, a été positionné afin d'obtenir le minimum de masque possible. Il a été installé sur une barre verticale fixée sur la structure métallique. Un potentiel masque est visible en hiver le matin entre le lever du soleil et 7h15 et le soir entre 17h15 et le coucher du soleil puis en été le matin entre le lever du soleil et 6h30 et le soir entre 18h00 et le coucher du soleil. Le WXT a été installé à l'opposé sur la même barre verticale.

Problèmes rencontrés : Le positionnement du SPN1 n'a pas pu être positionné de façon optimale due à la hauteur de la structure métallique et des différents éléments environnants (végétations, toitures, etc.). Le perçage de la dalle en béton armé était complexe, le positionnement des goujons a dû être adapté.



Illustration des potentiels masques

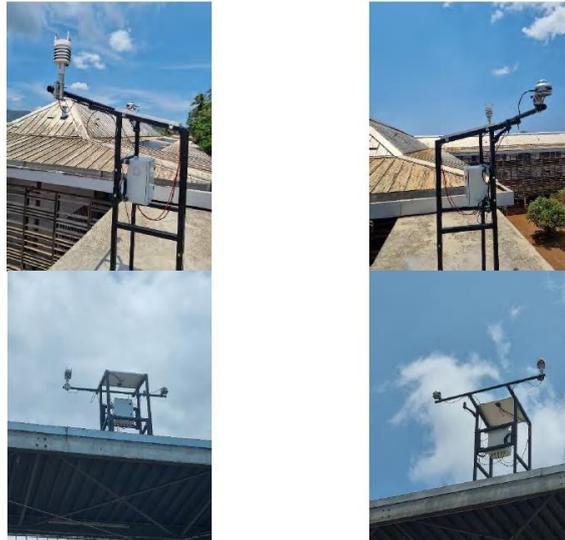


Illustration de la station complète installée

La Technopole de Dembéni

La structure métallique a été installée sur un pan de mur côté ouest de la terrasse technique de façon à orienter le panneau solaire vers le NORD. Elle a été fixée à partir de goujon inox et de scellement chimique permettant un ancrage résistant au vent cyclonique.

— Extrait du rapport d'installation d'Energy Lab

Le panneau a ensuite été connecté au régulateur de charge dans le coffret électrique.

Le coffret a quant à lui été installé sur le pan de mur côté sud afin de permettre une distance optimale pour le positionnement du SPN1 et du WXT. Il contient :

- Le régulateur de charge
- La CR1000X
- Le modem 4G
- La batterie



Panneaux photovoltaïques et coffret d'alimentation

Le SPN1, qui est utilisé pour la mesure du rayonnement solaire, a été positionné afin d'obtenir le minimum de masque possible. Il a été installé sur le pan de mur côté SUD suite à une visualisation de la position du soleil en été et en hiver. Un potentiel masque est visible en hiver le matin entre le lever du soleil et 7h du matin du fait du positionnement d'un appareil et de la hauteur du mât du SPN1. Le WXT a été installé sur le pan de mur côté Est afin d'avoir la meilleure position pour la mesure du vent sans créer de masque sur le SPN1.

Les 2 appareils ont été installés sur un mât de 1m50, ce qui les ramène à une hauteur d'environ 2m50 du sol de la terrasse technique.

Problèmes rencontrés : Le SPN1 n'a pas pu être positionné de façon optimale due à la hauteur du mât et les éléments présents sur la terrasse technique. Le perçage des murs en béton armé était complexe, le positionnement des goujons a dû être adapté et les trous initialement percés ont été rebouchés au scellement chimique.



Mât du SPNA et du WXT



Illustration du potentiel masque



Photo de la station météo complète

3.4.4. Réparation suite au passage du cyclone Chido

Face à l'intensité du cyclone CHIDO, les stations météo ont été partiellement endommagées. Un état des lieux a été réalisé afin d'évaluer les équipements impactés, permettant ainsi d'établir un inventaire précis du matériel à réparer ou à remplacer.

Sur le site de Ouangani, les éléments suivants sont hors d'usage :

- WHT 536 : module mesurant la vitesse et la direction du vent et la température
- SPN1 : mesure de l'ensoleillement
- Le panneau photovoltaïque

Sur le site de Dembeni, les éléments suivants sont hors d'usage :

- WHT 536 : module mesurant la vitesse et la direction du vent

En partenariat avec le laboratoire EnergyLab, il a été décidé de procéder à la réparation et au remplacement des équipements défectueux afin de remettre en service les stations météorologiques. L'intervention est programmée pour le troisième trimestre 2025.



Station météo de Ouangani après le passage de Chido

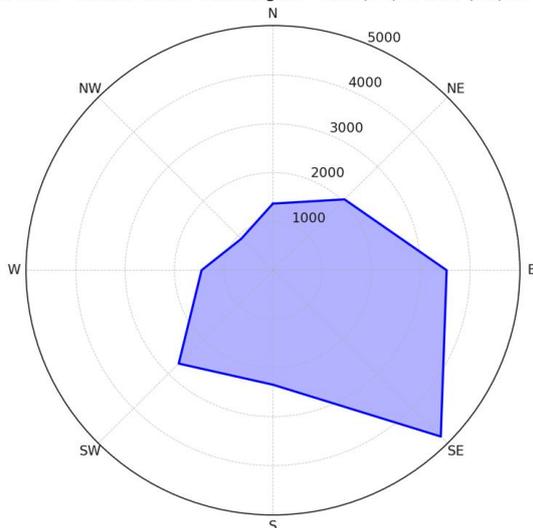
3.5. Comparaison des données météo

Une comparaison des données météo mesurées à Ouangani, Dembéni et à Pamandzi a été réalisée sur une période de deux semaines en saison chaude. La période de comparaison s'étend du 01/12/2024 au 14/12/2024 avant le cyclone Chido. Les données étudiées sont :

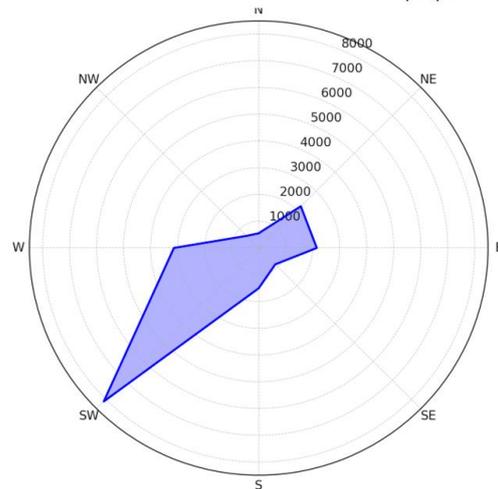
- La direction du vent
- La vitesse du vent
- La température de l'air
- L'irradiance globale

Concernant le vent, une nette différence est observée entre les deux sites : à Ouangani les vents dominants durant la période de mesure provenaient du Sud-Est, tandis qu'à Dembéni, ils étaient majoritairement orientés Sud-Ouest. **Cette divergence peut s'expliquer par les effets de la topographie locale sur les écoulements aérauliques.**

Rose des vents – Station météo de Ouangani – du 01/12/24 au 14/12/24

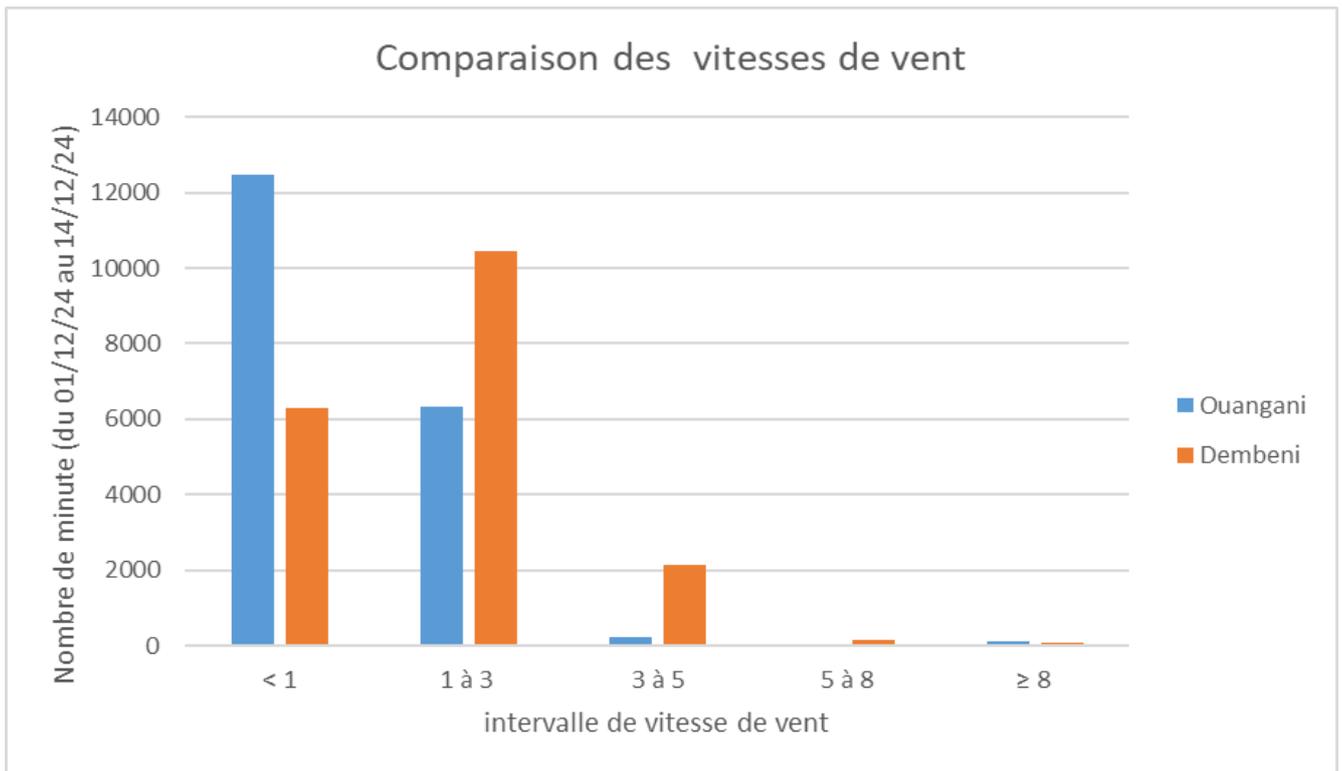


Rose des vents – Station météo de Dembeni – du 01/12/24 au 14/12/24



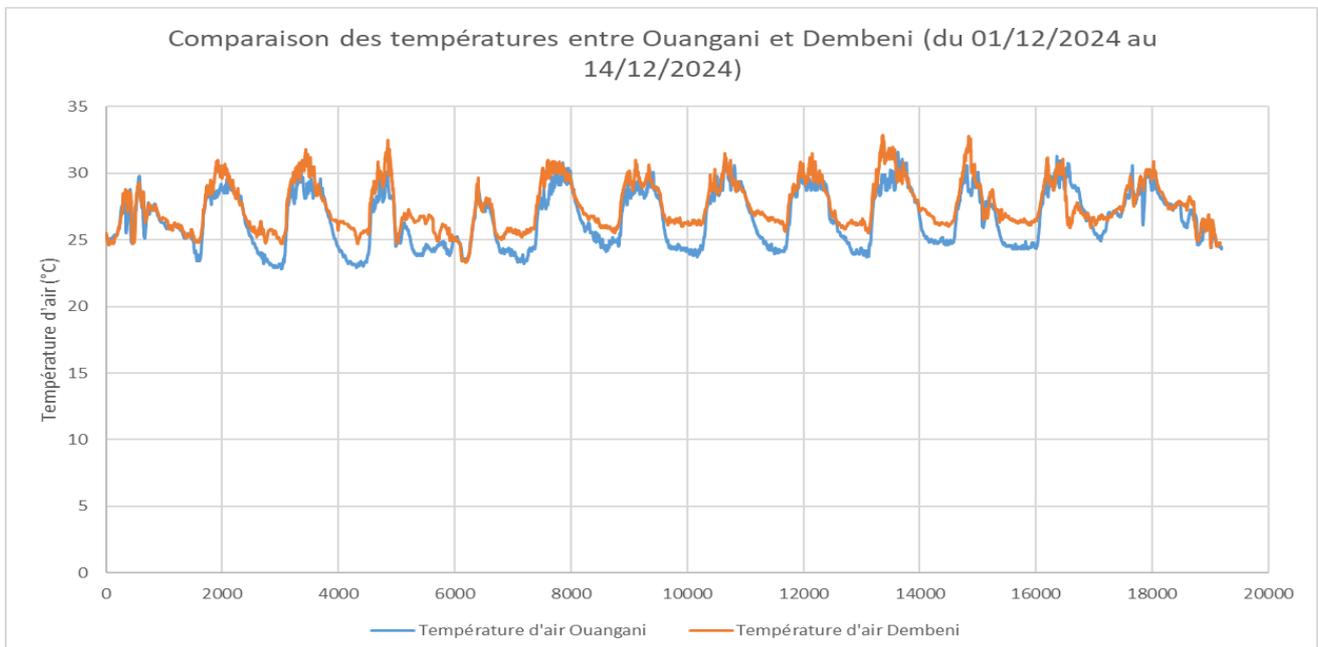
Rose des vents pour les stations de Dembéni et Ouangani

En termes de vitesses de vent, il ressort que, sur la période de mesure, le site de Ouangani est plus fréquemment exposé à des vents de très faible intensité ($< 1 \text{ m/s}$) que celui de Dembeni. Orienté face à la mer, le site de Dembeni présente un meilleur potentiel aéraulique.



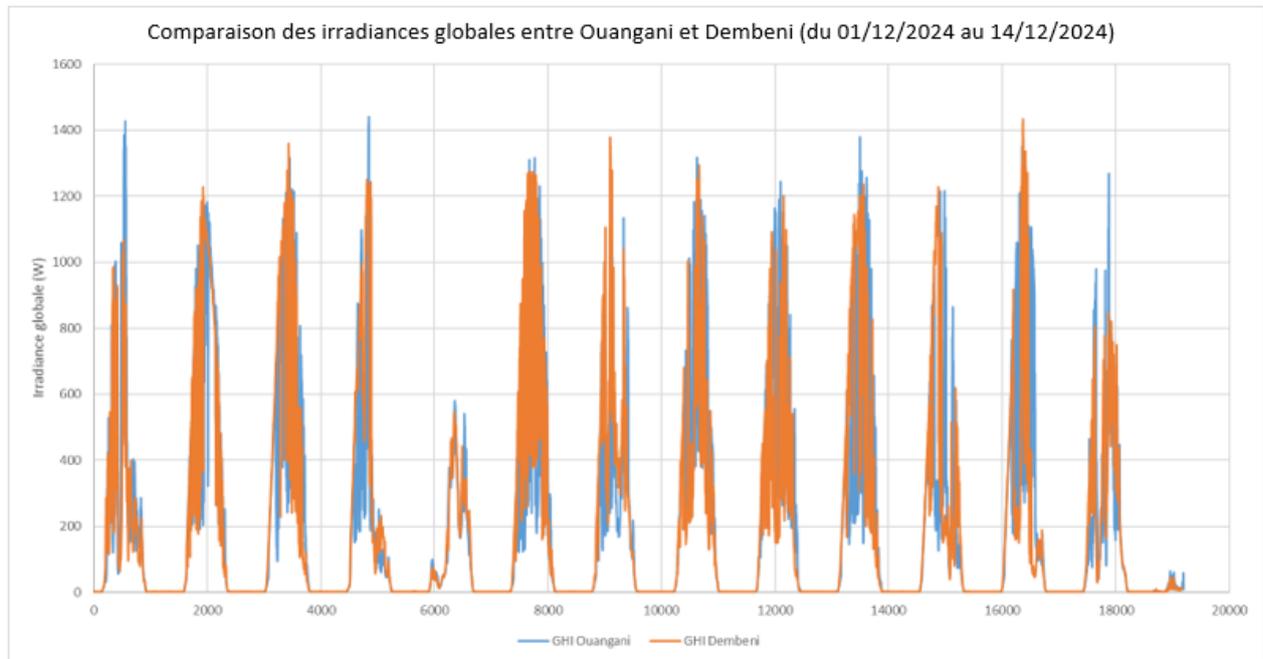
Analyse des vitesses de vent des stations de Ouangani et Dembeni

Concernant l'évolution des températures d'air, malgré une distance de seulement 5,8km et une altitude similaire (environ 100m), le site de Ouangani présente des températures globalement plus fraîches que celui de Dembeni, avec un écart qui se manifeste plus fortement la nuit que le jour, pouvant atteindre jusqu'à 2°C.



Analyse des températures des stations de Ouangani et Dembeni

Les deux sites ne sont pas soumis aux mêmes irradiances globales, ils ont donc une couverture nuageuse différente. Bien que la période de mesure soit trop courte pour conclure à une différence significative d'ensoleillement, ces données mises en perspective avec les autres résultats reflètent une différence de climat entre les deux sites pourtant distants de seulement 5km.



Analyse de l'irradiance globale des stations de Ouangani et Dembeni

La comparaison des données enregistrées par les deux nouvelles stations météo met en évidence des différences significatives en termes de direction et de vitesse de vent, ainsi que de température de l'air.

Ces résultats montrent clairement que la conception bioclimatique des bâtiments à Dembeni et à Ouangani doit être adaptée par rapport à celle de Petite-Terre, notamment en ce qui concerne l'orientation vis-à-vis des vents dominants et les stratégies de ventilation nocturne.

4. Analyse des données relatives au changement climatique

Mayotte bénéficie d'un climat défini comme *tropical chaud humide et maritime* selon Météo France. Les températures y sont relativement stables toute l'année, avec des faibles écarts tant journaliers que saisonniers. Le climat mahorais est structuré par deux grandes saisons climatiques, influencées par les régimes de vents tropicaux, ainsi que deux intersaisons plus brèves.

- La **saison chaude et pluvieuse** (de décembre à mars) correspond à l'été austral. Les températures maximales atteignent régulièrement 32 °C en journée, tandis que les minimales descendent autour de 26 °C la nuit. L'humidité est élevée, souvent proche de 80 %. Cette période est dominée par le Kashkasi, un vent de mousson chaud et humide soufflant du nord à nord-ouest.
- La **saison fraîche et sèche** (de juin à septembre) marque l'hiver austral, sous l'influence du Kusi, un alizé plus frais et sec provenant du sud-est. Les températures sont plus modérées, avec des maximales autour de 28 °C et des minimales inférieurs à 24 °C. Les précipitations deviennent rares, et certaines années peuvent enregistrer plusieurs mois quasiment sans pluie.

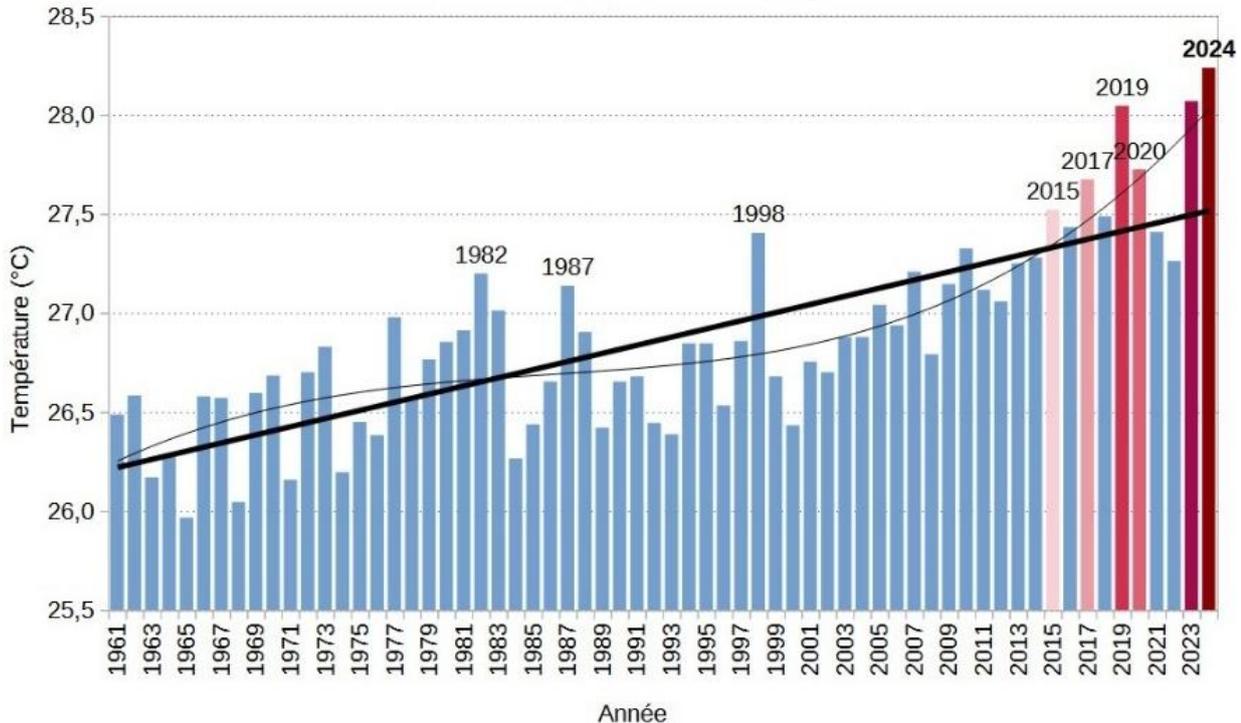
Les intersaisons (avril-mai et octobre-novembre) marquent respectivement la fin et le retour progressif des précipitations

4.1. Le changement climatique à Mayotte

Le changement climatique est l'un des défis majeurs du XXI^e siècle, affectant les régions du monde de manière inégale. À l'échelle mondiale, la température moyenne a augmenté de 1,5°C depuis l'ère préindustrielle (GIEC), une tendance qui se poursuit à un rythme accéléré. Concernant Mayotte, l'île connaît une élévation de température encore plus marquée. Entre 1961 et 2024 (station de Pamandzi), la température moyenne annuelle a augmenté de 1,3°C, passant de 26,2°C à 27,5°C, avec une accélération notable ces dernières années (source : Météo France).

Evolution de la température moyenne de 1961 à 2024

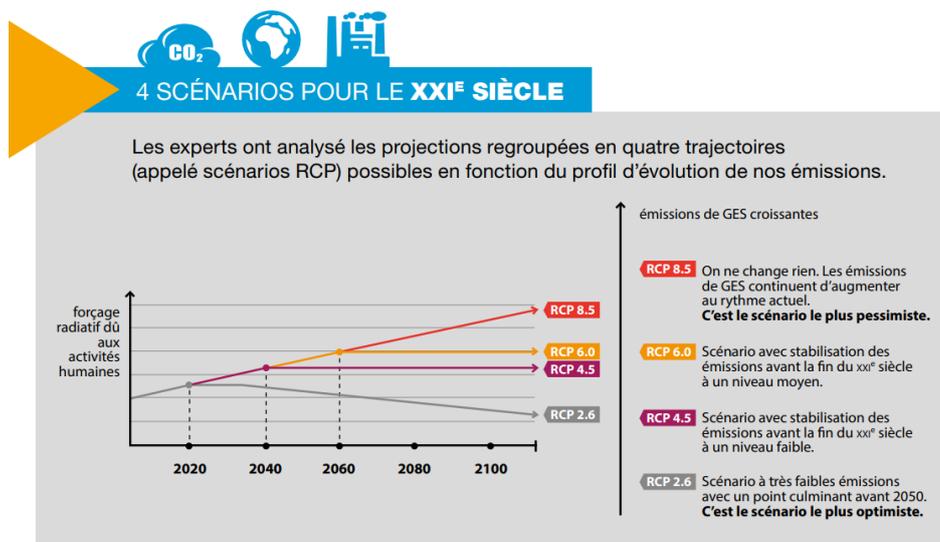
MAYOTTE (Pamandzi-Aéroport)



Évolution des températures moyennes à Mayotte (source : Météo France)

Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) a développé plusieurs scénarios pour prévoir l'évolution du climat, en fonction des comportements anthropiques et des émissions de gaz à effet de serre ainsi que des aérosols rejetés dans l'atmosphère. Ces émissions proviennent principalement de nos activités, comme la consommation d'énergie, l'industrie, l'agriculture, et les transports. Selon le niveau de ces émissions, les scénarios montrent différentes trajectoires possibles pour le climat.

Ces scénarios sont représentés dans le graphique ci-dessous.



Scénarios envisagés par le GIEC pour l'évolution des GES - Source : ADEME

Pour étudier l'évolution des conditions climatiques sur Mayotte, nous avons utilisé différents scénarios climatiques générés par MeteoNorm. Ces scénarios couvrent les trajectoires suivantes :

- Scénarios : RCP 2.6, 4.5 et 8.5
- Périodes étudiées : Années 2050 et 2070

4.2. L'impact du changement climatique sur le confort thermique

Ainsi, 6 fichiers météo ont été créés et comparés avec les données climatiques moyennes de 2000 à 2010. Les différents paramètres climatiques susceptibles d'influencer la conception bioclimatique ont été analysés et sont présentés ci-dessous.

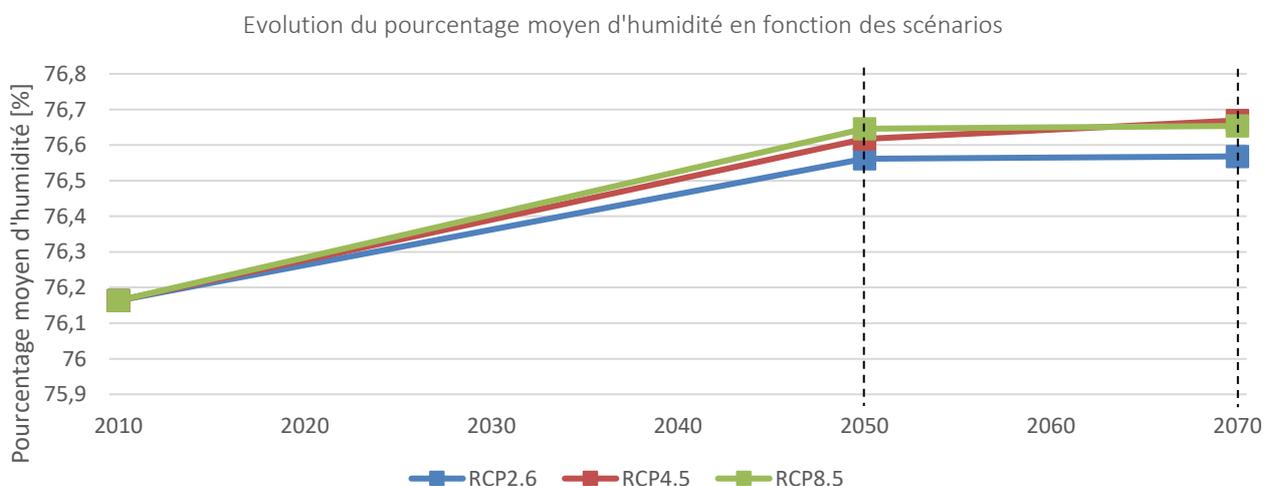
4.2.1. Vents

Les résultats issus des simulations climatiques montrent peu de variations significatives concernant les vents à l'horizon 2050 ou 2070, quel que soit le scénario envisagé. La direction des vents reste globalement inchangée, avec une stabilité marquée des régimes dominants observés aujourd'hui (Kashkasi en saison chaude et Kusi en saison sèche).

Les vitesses des vents ne montrent pas de tendance notable à la hausse ou à la baisse. En conséquence, les scénarios futurs considèrent que les caractéristiques actuelles du vent sont conservées, tant en termes de direction que d'intensité.

4.2.2. Humidité

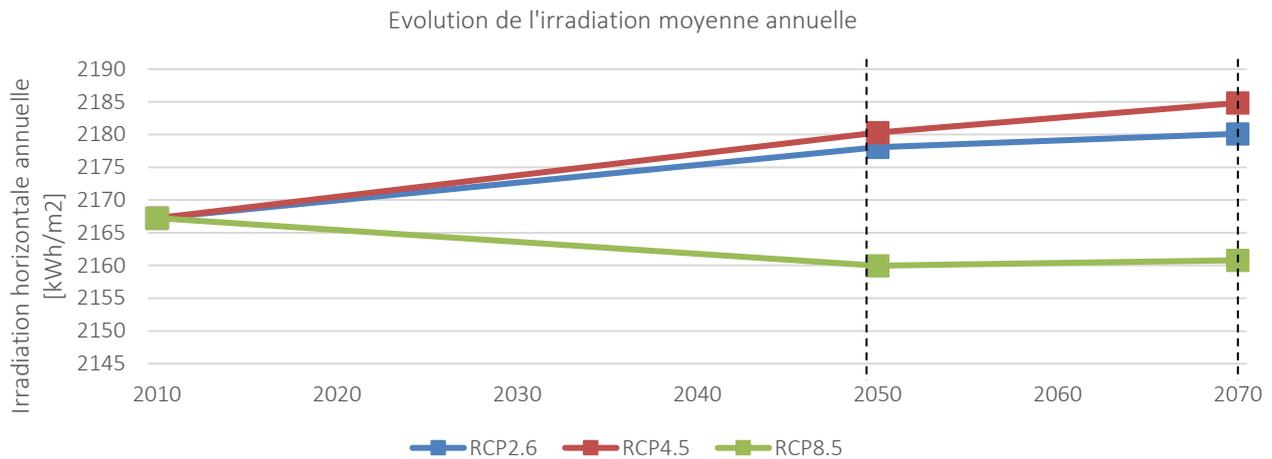
Les projections climatiques indiquent une légère augmentation de l'humidité relative, avec une variation moyenne de +0,5 %, passant de 76,16 % à 76,65 % dans le scénario le plus extrême. Cette évolution reste donc modérée.



Évolution du pourcentage moyen d'humidité selon les modèles

4.2.3. Irradiation

Les projections climatiques montrent une stabilité marquée de l'irradiation solaire à Mayotte, avec des variations inférieures à 1 % selon les scénarios étudiés, y compris les plus extrêmes. Une légère tendance à la baisse est parfois observée dans les scénarios les plus défavorables. Elle pourrait être liée à une augmentation de la couverture nuageuse, une hausse de l'humidité atmosphérique, etc. Néanmoins, ces variations restent faibles et peu significatives. Le potentiel solaire global demeure inchangé, ce qui signifie qu'il n'y a pas d'impact majeur attendu sur la conception bioclimatique des bâtiments ni sur la stratégie d'éclairage ou la production d'énergie photovoltaïque ou solaire thermique.



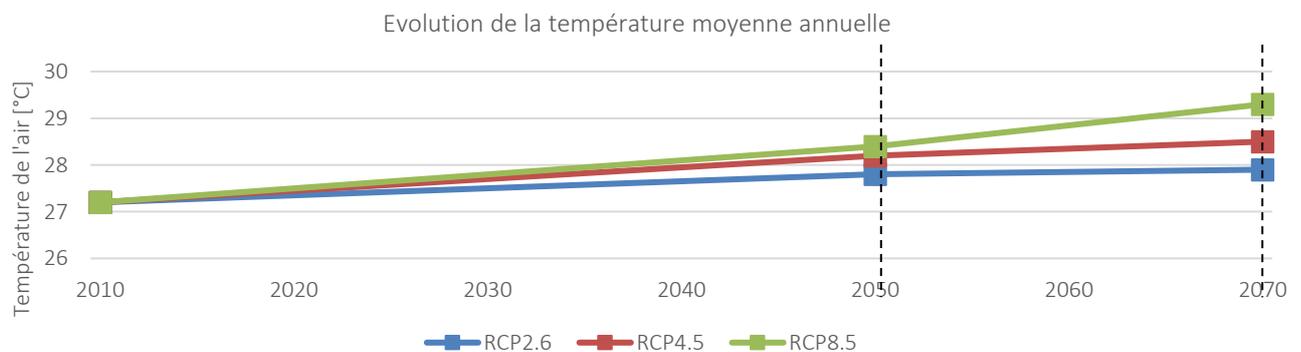
Évolution de l'irradiation horizontale annuelle selon les modèles

4.2.4. Température de l'air

Le principal effet du changement climatique à Mayotte se traduit par une élévation progressive des températures, bien plus marquée que les variations constatées précédemment.

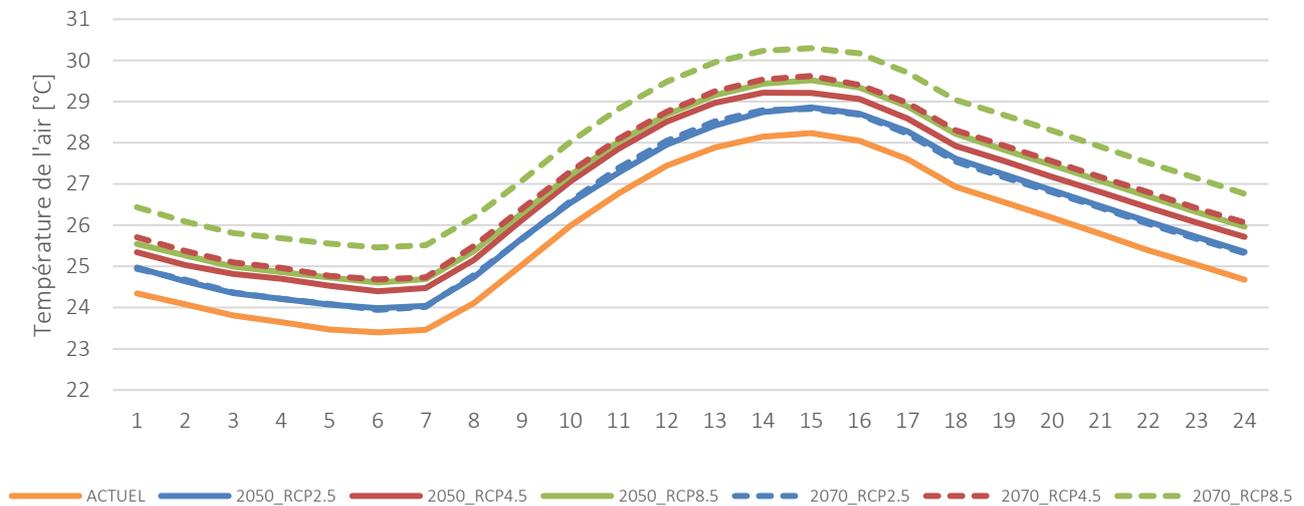
- À l'horizon 2050, les températures pourraient augmenter de +0,6 °C à +1,2 °C selon les scénarios.
- D'ici 2070, cette hausse est estimée entre +0,7 °C et plus de +2 °C, en comparaison avec les données de référence sur la période 2000-2019.

Dans un climat tropical déjà chaud et humide, même une élévation modérée du thermomètre peut amplifier les situations d'inconfort thermique. Ce contexte renforce la nécessité d'adapter les stratégies architecturales.



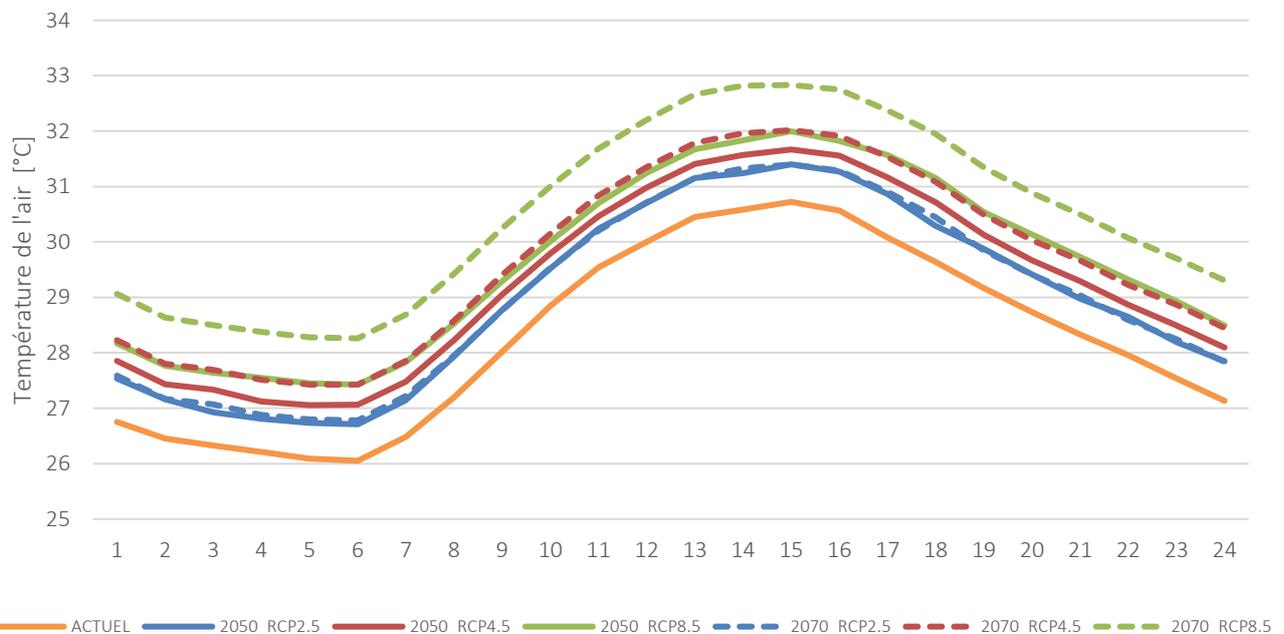
Évolution de la température moyenne annuelle selon les modèles

Les températures moyennes horaires ont été analysées sur les différents saisons et scénarios climatiques, en mettant l'accent sur les saisons chaudes (mois de janvier) et fraîches (mois de juillet). Un des résultats clés de cette analyse est que, d'ici 2070, si l'on suit le scénario le plus pessimiste (RCP 8.5), les mois de juillet pourraient connaître des températures similaires à celles que l'on observe actuellement en janvier. Cela traduit une augmentation significative des températures pendant la saison fraîche.



Variation horaire des températures au mois de juillet selon les modèles RCP

L'illustration de variation quotidienne sur les mois de janvier met en lumière une autre réalité : l'inertie thermique des bâtiments ne pourra plus être exploitée de manière optimale. En effet, avec l'augmentation des températures attendues d'ici 2070 dans le scénario le plus défavorable (RCP 8.5), la température moyenne nocturne ne descendra probablement plus en dessous de 28°C. Ce changement pourrait réduire considérablement l'efficacité des stratégies passives de refroidissement des bâtiments.



Variation horaire des températures au mois de janvier selon les modèles RCP

4.2.5. Taux d'inconfort

L'évolution des taux d'inconfort extérieurs, sur la période de 7h à 17h, selon différents scénarios de changement climatique est analysée. Le confort thermique dépend de la température d'air, de l'humidité et la vitesse d'air. Le diagramme de Givoni intègre 4 zones de confort qui dépendent de la vitesse d'air intérieure. Ainsi, l'utilisation de ce diagramme permet, pour chaque couple de température/humidité, de caractériser l'atteinte ou non du confort. Ces zones de confort sont valides pour un occupant portant des vêtements légers et qui a une activité de type bureau.

Les zones sont définies pour des vitesses d'air maximales :

- 0m/s (pas de vent)
- 0,5m/s
- 1 m/s
- 1,5m/s

Dans le cadre de l'analyse, puisque la conception bioclimatique prévoit l'installation systématique de brasseurs d'air, les zones de vitesse d'air d'1m/s et 1,5m/s sont considérées :

- La vitesse d'air d'1m/s correspond aux vitesses d'air qui seront atteintes naturellement grâce à l'irrigation naturelle des espaces et aux brasseurs d'air les jours sans vent.
- La vitesse d'air 1,5m/s sera obtenue en étant sous un brasseur d'air.

La figure suivante présente le diagramme de Givoni associé aux conditions extérieures. Le fichier météo utilisé est celui de Pamandzi (TMY basé sur l'historique des relevés entre 1996 et 2015 pour le rayonnement et 2000 et 2019 pour les autres paramètres) entre 7h et 17h.

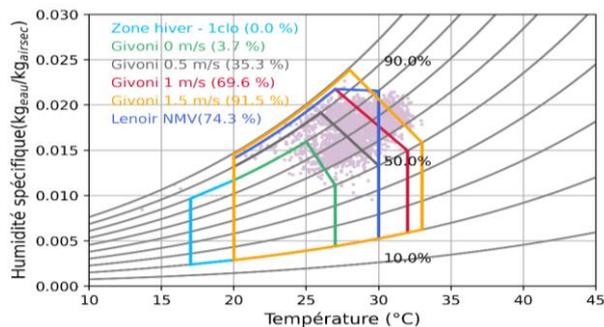


Diagramme de Givoni : cas actuel à Mayotte – Occupation (7h-17h) - conditions extérieures

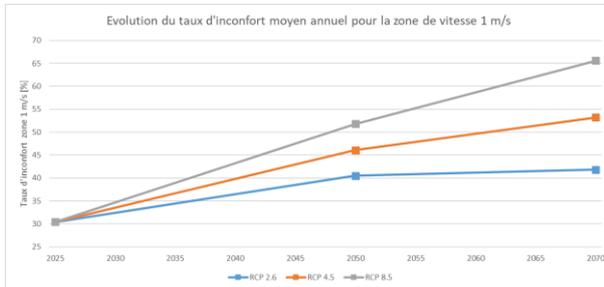
Les conditions climatiques actuelles présentent un inconfort annuel extérieur notamment lorsque le vent est inexistant (0 m/s) ou faible (0,5 m/s). Les températures chaudes associées à l'hygrométrie importante caractéristique du climat tropical en sont responsables. Les taux d'inconfort suivants sont observés :

- 0 m/s : 96,3% d'inconfort.
- 0,5 m/s : 64,7% d'inconfort
- 1 m/s : 30,4 % d'inconfort
- 1,5 m/s : 8,5 % d'inconfort

Taux d'inconfort annuels

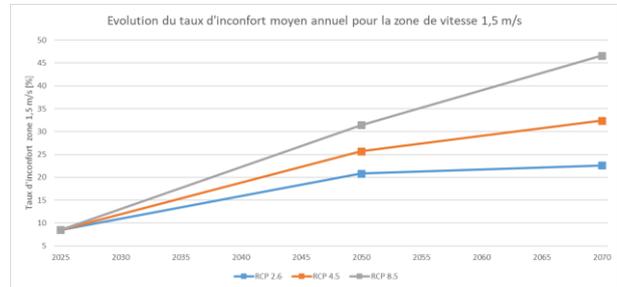
Une augmentation de cet inconfort plus ou moins importante est attendue selon les scénarios d'émission de GES. La figure suivante présente les évolutions des taux d'inconfort annuels entre 2025 et 2070 pour trois scénarios d'émission de GES (RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5). Les vitesses d'air de 1m/s et 1,5m/s sont considérées.

1 m/s



Évolution du taux d'inconfort moyen annuel pour la zone de vitesse 1 m/s selon les modèles

1,5 m/s



Évolution du taux d'inconfort moyen annuel pour la zone de vitesse 1,5 m/s selon les modèles

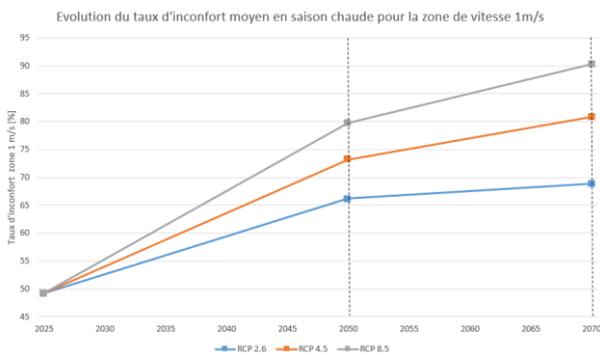
- À l'horizon 2050, les taux d'inconfort augmentent significativement passant de 30% en 2025 à 40%, voire 50% selon les scénarios.
- En 2070, les taux d'inconfort sont compris entre 40% et plus de 65% dépendamment du scénario de changement climatique.
- À l'horizon 2050, les taux d'inconfort augmentent significativement passant de moins de 10% en 2025 à plus de 20% selon les scénarios.
- En 2070, les taux d'inconfort sont compris entre 25% et plus de 45% dépendamment des scénarios de changement climatique.

Les taux d'inconfort sont analysés en fonction des deux saisons caractéristiques du climat Mahorais : la saison chaude (Novembre à Mars) et la saison fraîche (Avril à Octobre), sur la plage horaire de 7h à 17h.

Taux d'inconfort en saison chaude

Les figures suivantes présentent les évolutions des taux d'inconfort pour des vitesses d'air de 1m/s et 1,5 m/s pour la saison chaude.

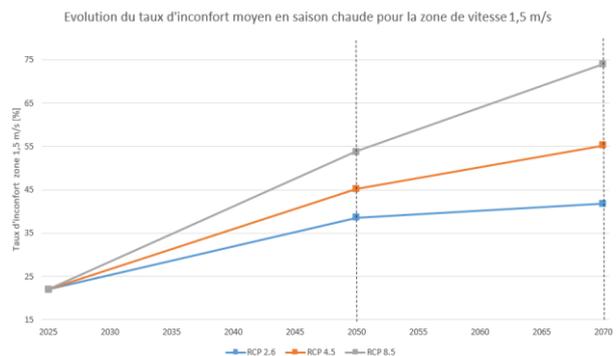
1 m/s



Évolution du taux d'inconfort moyen en saison chaude pour la zone de vitesse 1 m/s selon les modèles

- Avec une vitesse d'air de 1m/s, les taux d'inconfort en saison chaude attendus en 2050 sont compris entre 65 % et 80%. En 2070 ils sont compris entre 65% et 90%.

1,5 m/s



Évolution du taux d'inconfort moyen en saison chaude pour la zone de vitesse 1,5 m/s selon les modèles

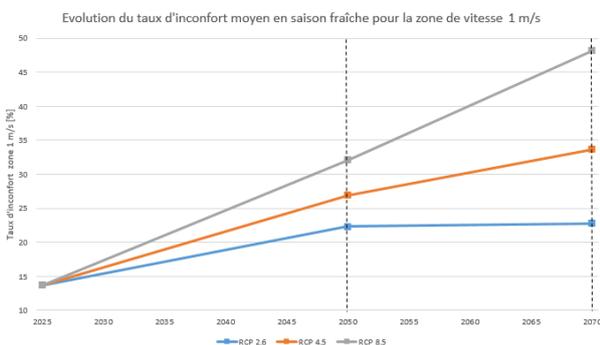
- Avec une vitesse d'air de 1,5 m/s, les taux d'inconfort en saison chaude attendus en 2050 sont compris entre 40% et 55%. En 2070 ils sont compris entre 43% et 75%.

Les taux d'inconfort attendus avec le scénario le plus pessimiste sont élevés. Avec un inconfort compris 55% et 80% pour le scénario le plus probable (RCP 4.5), l'inconfort sera très fréquent sur plusieurs mois consécutifs. Ces résultats mettent en lumière que, malgré l'utilisation de la ventilation naturelle et de brasseurs d'air, le maintien d'un confort thermique acceptable deviendrait de plus en plus difficile dans les décennies à venir. En réponse, la mise en œuvre de la climatisation en action corrective est possible.

Taux d'inconfort en saison fraîche

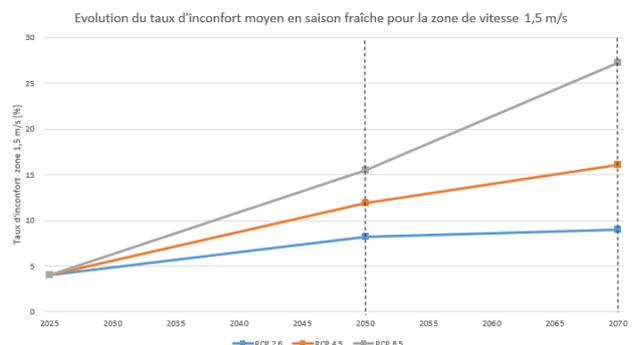
Les figures suivantes présentent les évolutions des taux d'inconfort pour des vitesses d'air de 1m/s et 1,5 m/s pour la saison fraîche.

1 m/s



Évolution du taux d'inconfort moyen en saison fraîche pour la zone de vitesse 1 m/s selon les modèles

1,5 m/s



Évolution du taux d'inconfort moyen en saison fraîche pour la zone de vitesse 1,5 m/s selon les modèles

En saison fraîche, le taux d'inconfort thermique est susceptible d'augmenter de manière significative, bien que dans une moindre mesure qu'en période chaude. À une vitesse de ventilation de 1 m/s, ce taux pourrait passer de 14 % en 2025 à une fourchette comprise entre 23 % et 48 % à l'horizon 2070.

Avec une vitesse de ventilation de 1,5 m/s, l'inconfort thermique demeure plus modéré, mais il continue également à croître, pouvant atteindre 27 % en 2070.

Ces résultats soulignent qu'en dépit de l'utilisation de brasseurs d'air pour assurer une vitesse d'air complémentaire, l'inconfort thermique en saison fraîche tend à s'intensifier, en particulier dans les scénarios les plus pessimistes. Cela met en évidence l'urgence d'adapter la conception bioclimatique des bâtiments, afin de mieux anticiper et atténuer les effets du changement climatique sur le confort thermique des occupants, y compris durant des périodes traditionnellement perçues comme plus « agréables ».

CONCLUSION



La mise en place de deux stations météorologiques, à Ouangani et Dembeni, constitue une première réponse concrète pour affiner la connaissance du territoire. Ces stations permettront d'alimenter des fichiers météo localisés, intégrant des scénarios d'évolution climatique à l'horizon 2050 et 2070.

Concernant l'évolution du climat, les analyses montrent que, même avec des stratégies bioclimatiques (ventilation naturelle, brasseurs d'air), les taux d'inconfort thermiques vont croître significativement, notamment en saison chaude. Cela confirme la nécessité d'**anticiper dès aujourd'hui** ces évolutions par une **conception bioclimatique renforcée**, intégrant :

- **Une meilleure prise en compte de l'orientation, de l'inertie thermique et de la végétalisation ;**
- **Une adaptation des protections solaires et des systèmes de ventilation ;**
- **Et, en dernier recours, un recours raisonné à la climatisation, dans des bâtiments conçus pour.**

Les données collectées pourront permettre d'appuyer une approche plus précise, durable et résiliente de la construction à Mayotte, dans un contexte de changement climatique avéré.

