

L'INGÉNIERIE AU SERVICE DU BÂTI TROPICAL



CLIMAYOTTE

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

– SEPTEMBRE 2025 –

Instrumentation



SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 3 |
| 1.1. OBJECTIFS | 3 |
| 1.2. METHODOLOGIE..... | 4 |
| 2. COLLEGE DE OUANGANI | 5 |
| 2.1. LOCAUX CLIMATISES | 5 |
| 2.2. LOCAUX NON CLIMATISES | 10 |
| 3. COLLEGE DE DEMBENI | 21 |
| 3.1. DESCRIPTION DES LOCAUX INSTRUMENTES | 21 |
| 3.2. INSTRUMENTATION | 22 |
| 3.3. SALLES NON CLIMATISEES - ANALYSE DES TEMPERATURES INTERIEURES | 23 |
| 3.4. SALLES CLIMATISEES - ANALYSE DES TEMPERATURES INTERIEURES | 26 |
| 3.5. CONCLUSION | 27 |
| 4. TECHNOPOLE | 28 |
| 4.1. DESCRIPTION DES LOCAUX INSTRUMENTES | 28 |
| 4.2. ANALYSE DES TEMPERATURES INTERIEURES..... | 30 |

1. Introduction

1.1. Objectifs

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet Climayotte, un projet de recherche appliquée mené à Mayotte, visant à **mieux concevoir les bâtiments de demain, plus confortables, résilients au changement climatique et moins énergivores.**

Il s'appuie sur une triple approche : mesure sur site, étude climatique, et simulation énergétique. Son objectif est simple : **adapter la conception des bâtiments aux réalités climatiques locales**, souvent mal connues ou mal prises en compte, pour garantir à la fois le confort des usagers et la performance environnementale.

Cette étude vise à instrumenter les bâtiments pour comprendre leur comportement réel et réaliser un **retour d'expérience** des bâtiments tertiaires ayant fait l'objet d'une conception bioclimatique type Mayenergie.

Des campagnes de mesures ont été menées dans plusieurs établissements scolaires (collège de Ouangani et Dembéni) et la Technopole de Démbéni afin de mesurer le confort thermique réel dans des salles climatisées et non climatisées et d'analyser les comportements des occupants vis-à-vis de l'utilisation de la climatisation.

Deux campagnes de mesures étaient initialement prévues : une durant la saison chaude et une durant la saison sèche, afin de mieux comprendre la capacité des bâtiments à assurer un confort satisfaisant en fonction des saisons et d'identifier d'éventuelles améliorations pour optimiser leur conception bioclimatique.

Adaptations suite au passage de Chido

La campagne de mesures initialement prévue en janvier 2025, pendant la saison chaude, a dû être annulée en raison de plusieurs contraintes liées au passage du cyclone Chido : manque de disponibilité des acteurs locaux, problèmes de logement et état non fonctionnel des bâtiments. Dans ce contexte, planifier une nouvelle campagne en saison chaude s'est rapidement avéré irréaliste.

Nous avons donc réalisé une unique campagne de mesures en juin 2025. Nous avons partiellement instrumenté certains locaux du collège de Ouangani d'avril à mai puis réalisé une campagne plus complète pendant une semaine en saison sèche (*du 27 mai au 4 juin 2025*) La campagne initialement prévue à la Technopole de Dembeni a été annulée en raison de l'état du bâtiment, nous avons trouvé un autre établissement : le collège de Dembéni.

1.2. Méthodologie

Afin de mesurer le confort thermique, les paramètres suivants ont été mesurés :

- Température de l'air,
- Température radiante,
- Humidité,
- Vitesse de vents.

Nous avons utilisé différents instruments de mesure et avons opté pour des équipements non connectés. Ce choix s'est imposé en raison de notre méconnaissance de la couverture du réseau LoRa à Mayotte : une mauvaise couverture réseau aurait pu entraîner des pertes de données.

Les instruments de mesure utilisés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

- **Thermomètre WBGT (wet bulb globe temperature)** - REED Instruments R6250SD
Thermomètre au globe mouillé permettant de mesurer la température de l'air, la température du globe et l'humidité.
- **Anémomètre à fil chaud** Delta Ohm HD403 TS4 couplé avec un enregistreur de données
Permet de mesurer des faibles vitesses de vents (0 à 5m/s)



Les données collectées permettent de tracer les diagrammes de Givoni pour les différents locaux étudiés et évaluer les périodes pendant lesquelles les conditions intérieures étaient ou non confortables pour les occupants. Ce diagramme prend en compte les effets combinés de la température opérative, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air. Il permet de visualiser les zones où les conditions thermiques sont perçues comme confortables. L'objectif est de maintenir les ambiances thermiques à l'intérieur de cette zone de confort, représentée en couleur en fonction des vitesses de vent. Trois zones de confort y sont distinguées, en fonction du mouvement d'air autour de l'individu (soit via la ventilation naturelle, soit via des brasseurs d'air).

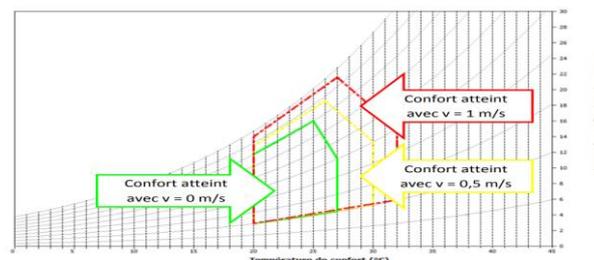


Illustration du diagramme de Givoni (Source: Mayenergy)

2. Collège de Ouangani

Une campagne de mesures a été conduite au sein du Collège de Ouangani. Cette campagne visait plusieurs objectifs :

- Évaluer le niveau de confort thermique dans les salles de classe,
- Analyser les conditions de confort dans les bureaux et les modalités d'usage de la climatisation,
- Collecter des données sur la consommation énergétique liée aux systèmes de climatisation,
- Recueillir les retours d'expérience des occupants sur leur ressenti thermique au quotidien.

Dans ce cadre, des locaux climatisés et non climatisés ont été instrumentés afin de permettre une comparaison représentative des conditions de confort et des usages selon les configurations.



Vues générales du collège de Ouangani

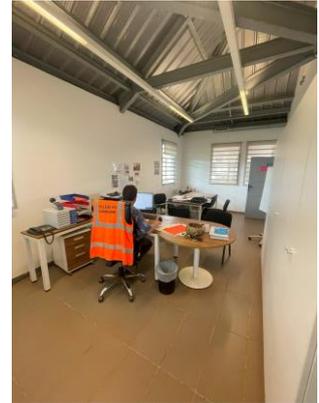
2.1. Locaux climatisés

Quatre locaux climatisés ont été instrumentés : principalement des bureaux ainsi que la salle des professeurs. L'objectif de mesurer des pièces climatisées était de comprendre le comportement des usagers au sein du bâtiment : recours à la ventilation naturelle ou non, réglages des appareils, habitudes d'occupation, etc.

2.1.1. Description et fonctionnement des locaux instrumentés

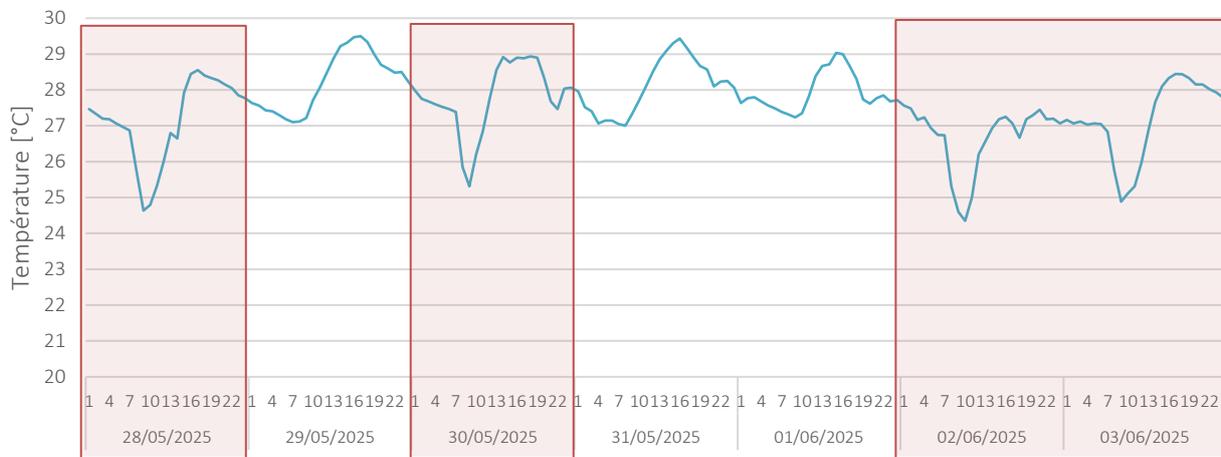
Bureau du principal

Dès son arrivée, l’occupant active la climatisation pour maintenir une température autour de 25 °C. Le bureau est équipé uniquement de la climatisation : il n’y a pas de brasseurs d’air et les fenêtres restent fermées. Situé sous toiture, ce local est particulièrement exposé aux apports thermiques.



Bureau du principal

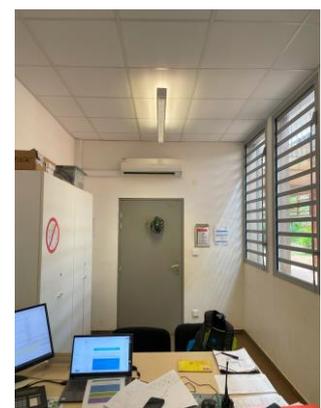
Evolution de la température dans un bureau



Evolution de la température dans le bureau principal (en rouges les jours ouvrés)

CPE

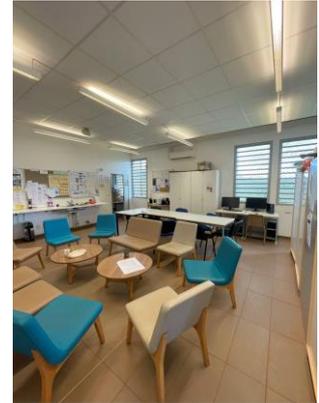
On y observe le même profil d’usage : la climatisation est activée dès l’arrivée le matin et reste en fonctionnement jusqu’en fin de journée. Toutefois, ce bureau bénéficie d’une meilleure inertie thermique et d’une protection solaire plus efficace. Il n’est pas situé directement sous toiture. La température intérieure peut monter légèrement au-dessus de 28 °C avant l’activation de la climatisation, mais ne dépasse pas ce seuil grâce aux caractéristiques du bâtiment.



Bureau CPE

Salle des professeurs

La climatisation y fonctionne en continu. Sur la semaine de mesure, on constate un oubli d’extinction : le système est resté actif de jour comme de nuit. L’analyse des données d’humidité confirme cet usage : le taux d’humidité relevé est particulièrement bas, ce qui indique un air traité par la climatisation.



Salle des professeurs

2.1.2. Analyse des consommations énergétiques

Pour compléter cette démarche, nous avons prévu une instrumentation parallèle des tableaux électriques afin de corrélérer les données de confort et d’usage avec les consommations énergétiques réelles. Cependant, plusieurs contraintes ont limité cette approche : l’accès à certains locaux électriques n’a pas été possible (notamment le local technique de l’étage, pour lequel nous ne disposons pas de clé), et, dans les tableaux accessibles, le câblage était trop fin et trop imbriqué pour permettre une mesure indépendante et fiable (voir photo ci-contre).

Cependant, certains compteurs étant en place sur le bâtiment 1 (*bâtiment administratif*), nous avons donc pu réaliser des relevés à deux semaines d’intervalle afin d’estimer la consommation énergétique des locaux instrumentés.



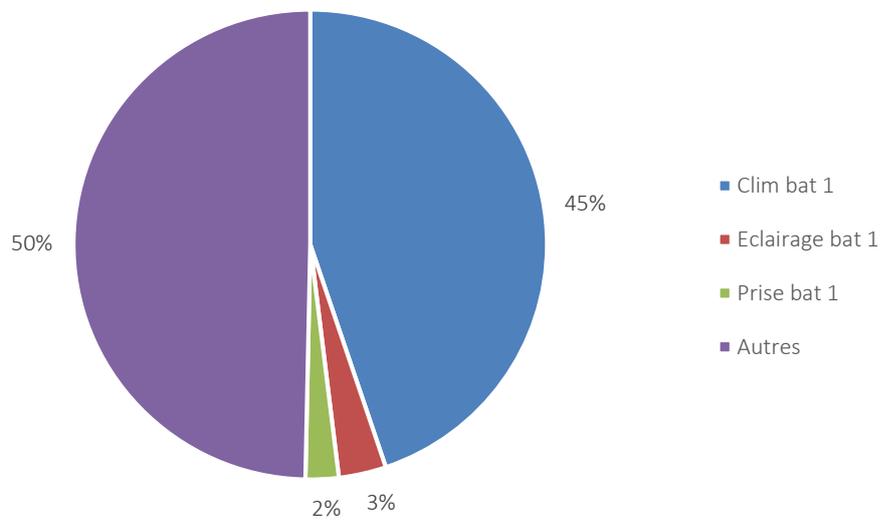
Pinces ampèremétriques



Illustration des différents compteurs du bâtiment 1

Sur la base des relevés effectués, la consommation liée à la climatisation sur une période de deux semaines s’est élevée à plus de 3 000 kWh. En comparant cette valeur avec les factures globales de consommation électrique du mois de juin, nous avons pu établir le constat suivant : **près de la moitié de la consommation totale du collège sur cette période est due à l’usage de la climatisation**, alors même que celle-ci ne concerne qu’un nombre restreint de locaux, principalement la salle des professeurs et quelques salles de permanence.

Répartition des consommations sur un mois de juin

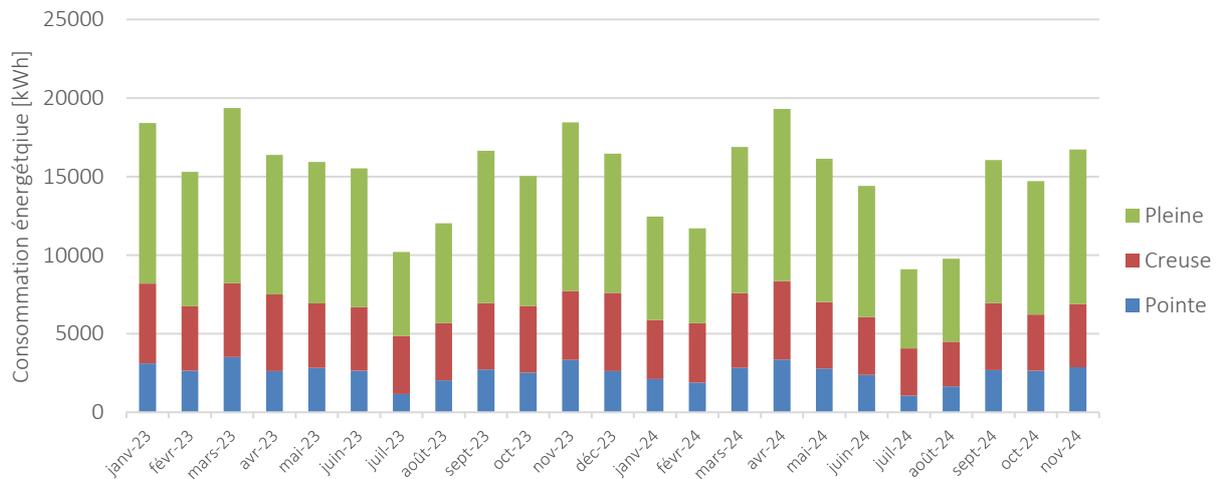


Profil de consommation sur le mois de juin

Les consommations mensuelles d'électricité sur les deux dernières années ont été analysées. L'examen du profil de consommation montre une baisse significative en juillet et août, période correspondant aux vacances scolaires et à la fermeture du collège. Cependant, l'analyse des Degrés-Jours Unifiés (DJU) révèle une faible corrélation, inférieure à 50 %, entre la consommation énergétique et la moyenne climatique de la région (en ajoutant le nombre d'heures ouvrées à l'équation). Cela indique que la climatisation est utilisée tout au long de l'année, indépendamment des variations saisonnières.

La consommation augmente pendant la saison chaude, mais on observe un usage quasi constant même hors période estivale. Ce constat met en évidence **l'absence de recours à la ventilation naturelle et l'utilisation systématique de la climatisation dans les salles équipées, tout au long de l'année.**

Evolution de la consommation énergétique



Evolution de la consommation énergétique sur le site de Ouangani

Au-delà de ces mesures, cela a été confirmé par le questionnaire de confort transmis aux utilisateurs de bureaux. Leur ressenti thermique est que les bureaux sont « très confortables ». Ceux-ci sont climatisés dès le matin à l'arrivée au bureau, ce toute l'année avec une température de consigne de 25°C. Les brasseurs d'air ne sont pas utilisés.

2.1.3. Décret éco-énergie tertiaire

Ce collège conçu en 2018 est soumis au décret tertiaire, avec l'obligation suivante : atteinte de l'un des deux seuils suivants pour chaque entité fonctionnelle tertiaire de plus de 1000 m²

- **Seuil relatif** : Baisse relative de la consommation par rapport à la consommation d'une année de « référence » : celui-ci serait de 20 kWh/m²
- **Seuil absolu** : Atteinte d'un seuil de consommation en valeur absolue (kWh/m²/an), selon la typologie de bâtiment (bureaux, entrepôts, ...). Ces seuils sont estimés à 35 kWh/m².an pour la typologie *Collège - Salles d'enseignements généraux*.

Les consommations annuelles du lycée sont de 190 MWh pour une surface d'environ 4 920 m². La consommation en 2024 est donc de 38,6 kWh/m² soit au-dessus du seuil absolu pour ce site, d'où l'intérêt de diminuer les consommations de climatisation.

2.1.4. Conclusion

Dans les locaux équipés de climatisation - notamment la salle des professeurs et quelques bureaux individuels - les relevés effectués montrent que les systèmes de climatisation restent actifs en continu tout au long de la journée, voire toute la nuit en cas d'oubli d'extinction. Les températures de consigne observées sont généralement basses, de l'ordre de 24 à 25 °C, sans recours à d'autres dispositifs de confort tels que des brasseurs d'air ou l'ouverture des fenêtres. L'étude des profils d'usage confirme un fonctionnement systématique : la climatisation est enclenchée dès l'arrivée de l'occupant le matin et maintenue jusqu'à son départ. Par ailleurs, l'analyse des Degrés-Jours Unifiés (DJU) révèle une faible corrélation entre la consommation énergétique et la moyenne climatique locale : bien qu'un pic de consommation apparaisse logiquement en période estivale, la climatisation est utilisée toute l'année, même lorsque la température extérieure ne le justifie pas pleinement.

En conclusion, la part importante de la climatisation dans la consommation énergétique du collège (*près de la moitié, selon les estimations basées sur les relevés et factures de 2024*) souligne la nécessité de repenser à la fois la conception des bâtiments et les habitudes d'usage pour tendre vers plus de sobriété énergétique dans les locaux climatisés.

La présence de végétalisation à proximité des locaux instrumentés a également été prise en considération dans l'étude.

Les locaux instrumentés sont décrits dans le tableau ci-dessous et leur positionnement dans le bâtiment est illustré à la page suivante.

L'ensemble des principes constructifs et les propriétés thermiques associées sont décrits dans le livrable *simulation*.

| Dénomination | Localisation | Photo | Porosité | Localisation | Orientation |
|----------------|--------------|---|------------|---------------------|-------------|
| <i>Local 1</i> | B12 |  | 15 % / 22% | <i>Sous toiture</i> | E/O |
| <i>Local 2</i> | D22 |  | 23 % / 27% | <i>R0</i> | E/O |
| <i>Local 3</i> | D32 |  | 26 % / 31% | <i>Sous toiture</i> | E/O |

| Dénomination | Localisation | Photo | Porosité | Localisation | Orientation |
|----------------|--------------|---|------------|---------------------|-------------|
| <i>Local 4</i> | <i>D26</i> |  | 25% / 16% | <i>RO</i> | <i>N/S</i> |
| <i>Local 5</i> | <i>D36</i> |  | 25% / 16% | <i>Sous toiture</i> | <i>N/S</i> |
| <i>Local 6</i> | <i>B19</i> |  | 25 % / 31% | <i>RO</i> | <i>N/S</i> |

Remarques :

- En raison des infiltrations d'eau causée par le passage du cyclone Chido, la laine de roche a été rendue humide et environ 75 % du réseau électrique est hors service. C'est le cas par exemple des brasseurs d'air dans l'ensemble des locaux.
- Beaucoup de jalousies sont bloquées en position fermée.

Le potentiel bioclimatique initial du bâtiment a été altéré. À l'époque, d'après les retours des utilisateurs, la combinaison des ventelles en bois et des brasseurs d'air assurait un bon fonctionnement, permettant des conditions intérieures globalement jugées confortables. L'absence d'ensoleillement direct contribuait à un niveau de confort supérieur à celui observé dans de nombreux établissements scolaires de Mayotte. Le corps enseignant a également indiqué que la ventilation naturelle (Vnat) était généralement suffisante, sauf durant les périodes de fortes chaleurs. Enfin, ils ont souligné que les derniers mois, marqués par l'absence de brasseurs d'air, ont été particulièrement éprouvants pour les élèves et le personnel.

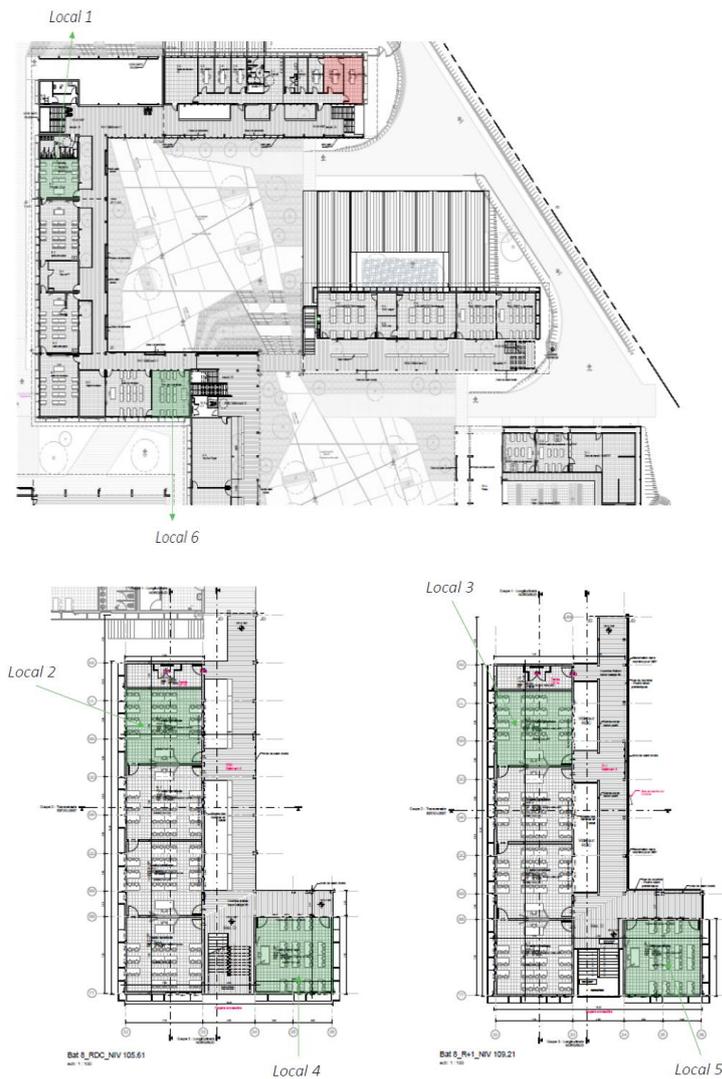


Illustration des locaux instrumentés

2.2.2. Instrumentation

Les anémomètres et les thermomètres ont été placés dans ces locaux pour une durée d'une semaine.

- *Anémomètres* : placés en face de la porte, sur le bureau du professeur.
- *Thermomètres* : installés à l'arrière de la classe, à des emplacements où ils gênaient le moins possible.



Illustration de l'instrumentation au collège de Ouangani

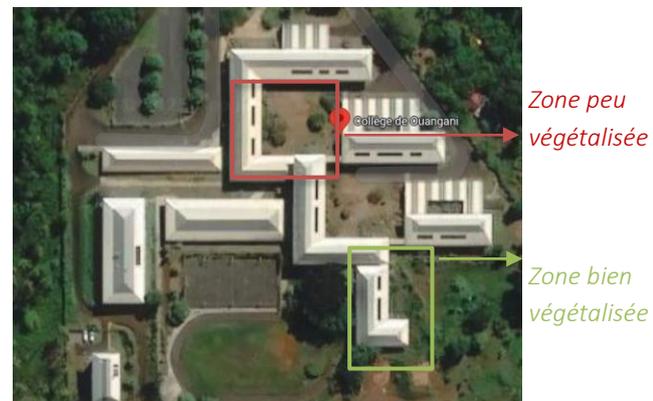
2.2.3. Analyse des températures intérieures

La comparaison entre les différents locaux a permis d'identifier plusieurs facteurs d'influence, parmi lesquels le potentiel bioclimatique s'est révélé avoir un impact notable sur les températures mesurées à l'intérieur des espaces.

Influence de la végétalisation et de l'orientation

Le premier paramètre étudié est l'influence de la végétalisation aux abords du bâtiment et du local. En effet, en comparant les différentes mesures de température, les températures au sein des locaux non végétalisés sont systématiquement plus élevées que les autres températures mesurées.

Parmi les locaux analysés, le local B12 possède des températures systématiquement plus chaudes que les autres. Ce local possède un mauvais potentiel bioclimatique : il est mal orienté au niveau du soleil (orientation Est/Ouest), sous toiture et ses abords sont non végétalisés

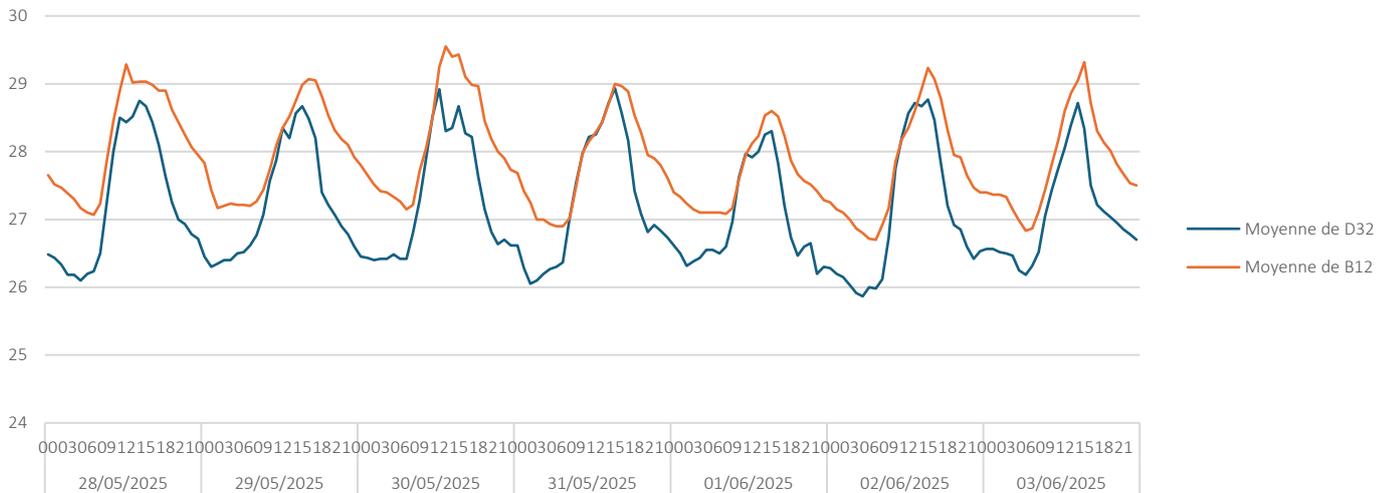


Plan de repérage des zones végétalisées

Les températures sont également plus chaudes dans le local B19 qui a pourtant un bon potentiel bioclimatique (orientation Nord/Sud, rez-de-chaussée et porosité > 20% sur deux façades), mais ses abords ne sont pas du tout végétalisés.

Le graphique ci-dessous illustre l'exemple de deux locaux aux mêmes propriétés thermiques, mais l'un a des abords bien végétalisés (D32) et l'autre pas (B12).

Evolution de la température sur un local végétalisé aux abords (D32) ou non (B12)



Influence de la végétalisation sur la température de l'air

⇒ La végétalisation aux abords directs des locaux a une influence sur la température au sein des locaux. La végétalisation permet en effet d'améliorer le confort urbain via les phénomènes d'oxygénation, d'évapotranspiration ou encore d'atténuation du rayonnement solaire. Elle permet par ailleurs de favoriser la gestion des eaux pluviales, de créer une ambiance esthétique et sensorielle de qualité.

Influence du changement d'orientation sur les profils de consommation

La comparaison entre les locaux orientés Est/Ouest et Nord/Sud met en évidence une variation de consommation énergétique liée aux apports solaires. Il convient de souligner que, dans les configurations Nord/Sud, les façades orientées au Nord bénéficient d'une protection efficace contre l'ensoleillement direct.

À titre d'exemple, la figure ci-dessous illustre la différence entre les locaux D22 (orienté Est/Ouest) et D26 (orienté Nord/Sud). Le local D22 présente un pic de température en fin de journée, attribuable aux apports solaires reçus par la façade Ouest. En revanche, le local D26, orienté Nord/Sud, reste globalement préservé de l'ensoleillement direct.

Evolution de la température sur un local orienté E/O (D22) ou N/S (D26)



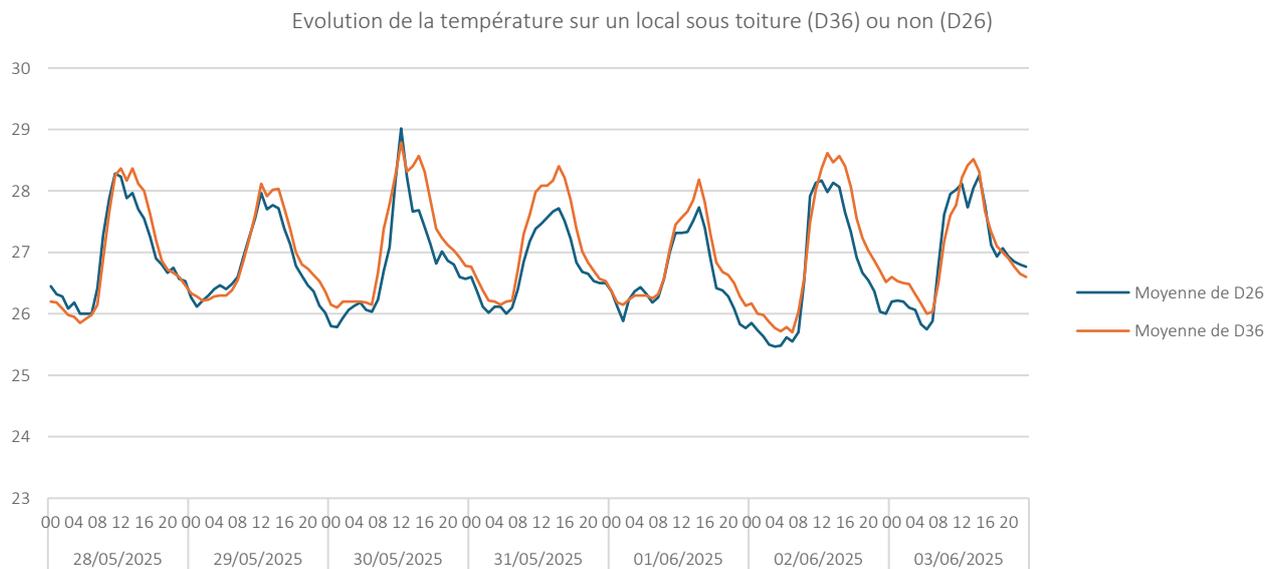
Influence de l'orientation sur la température de l'air



- ⇒ L'orientation du bâtiment a une incidence directe sur les températures intérieures : les locaux orientés Est ou Ouest, plus exposés aux apports solaires directs et plus difficiles à protéger, sont davantage sujets à des pics de température en matinée pour les façades Est et en fin de journée pour les façades Ouest.

Influence de la toiture

L'influence de la toiture s'avère déterminante dans les variations de température intérieure. Les locaux situés sous toiture (exemple : le local D36) présentent systématiquement des températures plus élevées que ceux qui ne le sont pas (exemple : le local D26), bien que ces deux locaux partagent une orientation identique. Cette tendance se confirme également pour les autres locaux analysés. Bien que la toiture soit isolée, des écarts de température sont observés.



Influence de la toiture sur la température de l'air

- ⇒ La position sous toiture ou non d'un local influence la température au sein des bâtiments (+0,5°C observé).

Influence de la porosité des façades

L'influence de la porosité des façades et de la ventilation naturelle liée aux vents s'avère peu significative dans le cadre de cette étude. En effet, les jalousies sont rarement ouvertes en raison de dispositifs d'ouverture/fermeture défectueux — un problème fréquemment observé à Mayotte. Par conséquent, les mesures de ventilation ont principalement été réalisées lorsque les portes étaient ouvertes, ce qui induit un niveau de porosité similaire entre les différents locaux.

Les mesures des vitesses d'air observées sont détaillées dans les parties suivantes.

2.2.4. Confort dans les classes et diagramme de Givoni

À partir des températures relevées, une évaluation du confort thermique a été menée dans différentes salles de classe. Pour ce faire, des diagrammes de Givoni ont été élaborés pour les deux cas les plus contrastés en termes de performance bioclimatique, en prenant en compte la végétalisation des abords tout en excluant la variable de porosité.

Les diagrammes de confort de Givoni présentés ci-après concernent ces deux locaux, représentant respectivement les scénarios les plus défavorables et favorables. Les données analysées ont été collectées durant les mois d'avril et mai 2025, sur la base de mesures de température de l'air et d'humidité effectuées pendant les périodes d'occupation (du lundi au vendredi, de 7h à 18h).

Cas 1 : meilleur scénario (local D26)

Ce local présente une orientation N/S, est situé au RDC et ses abords sont bien végétalisés.

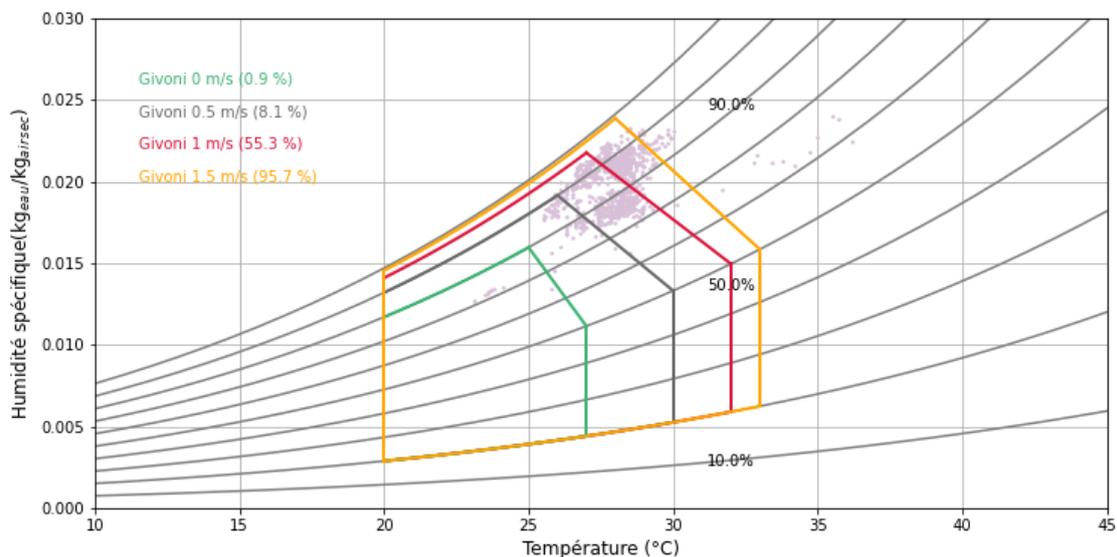


Diagramme de Givoni en avril et mai en occupation dans un cas au potentiel bioclimatique favorable

Cas 2 : pire scénario (local B12)

Ce local présente une orientation E/O, est situé sous toiture et ses abords sont peu végétalisés.

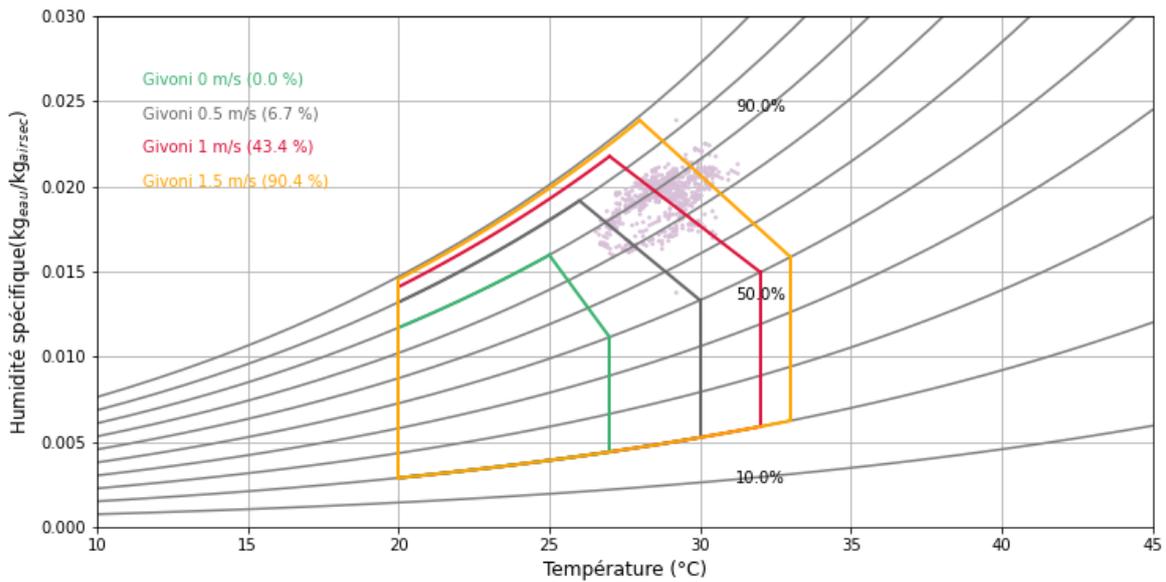
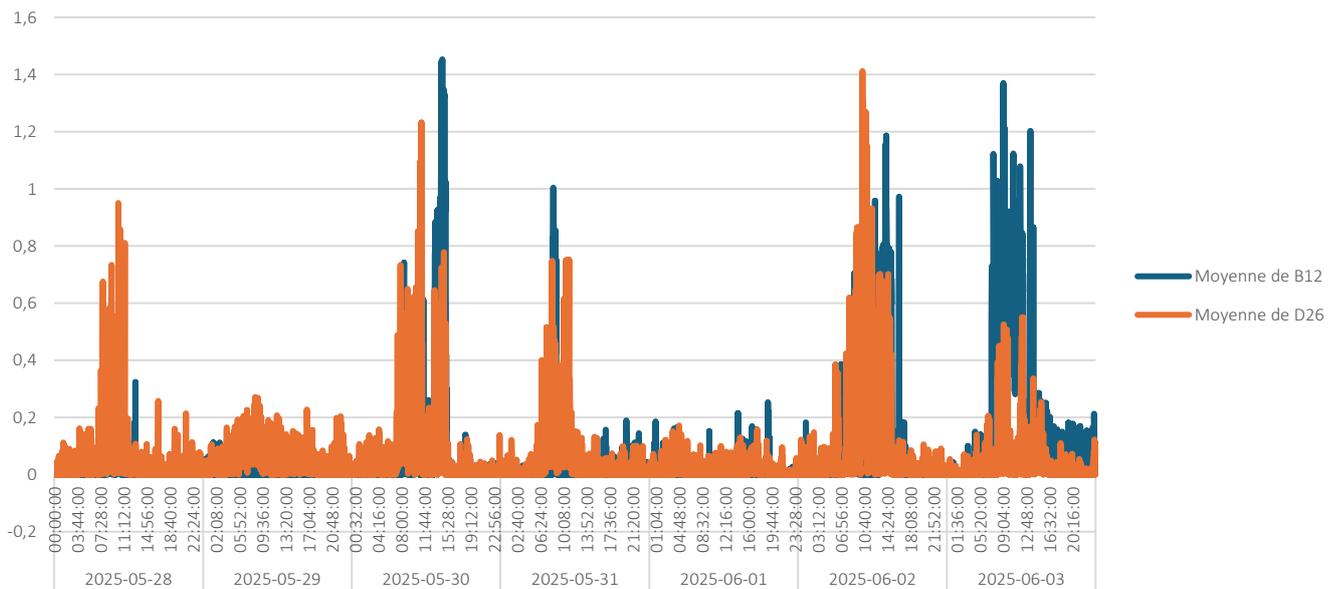


Diagramme de Givoni d'avril et mai en occupation dans un cas au potentiel bioclimatique défavorable

L'analyse des diagrammes de Givoni met en évidence la nécessité de vitesses de ventilation relativement élevées pour assurer un niveau de confort thermique satisfaisant dans les locaux étudiés. En effet, même dans le scénario le plus favorable, une vitesse de vent de 1 m/s ne permet d'atteindre les conditions de confort que pendant moins de 60 % du temps d'occupation. Ce taux chute à un peu plus de 40 % dans le cas le plus défavorable.

2.2.5. Mesure des données de vent

Les mesures de vitesses de l'air ont été effectuées avec les brasseurs d'air hors service, ces derniers ayant cessé de fonctionner à la suite du passage du cyclone Chido. Par ailleurs, les jalousies, majoritairement défectueuses, sont rarement ouvertes ou maintenues en position semi-fermée (ouvertes à seulement 10 à 15 %). Dès lors, la majeure partie de la ventilation naturelle observée provient de l'ouverture de la porte d'entrée. La figure ci-dessous présente les vitesses de l'air relevées dans les deux locaux précédemment analysés.



Vitesses d'air mesurées pour les locaux B12 et B26

Il ressort que la ventilation dans les salles de classe est limitée, se produisant principalement pendant les périodes d'occupation et entrant presque exclusivement par l'ouverture des portes, ce qui explique l'absence d'impact de la porosité des parois. L'ouverture des jalousies reste inchangée lorsque les locaux sont occupés, et aucun brasseur d'air n'est en fonctionnement. Dans les autres locaux, des profils similaires sont observés, indépendamment de leur orientation.



Système d'ouverture des jalousies non fonctionnel

Les mesures de vitesse du vent dépassent rarement 1 m/s. Les anémomètres sont placés sur le bureau du professeur, situé dans l'axe direct de la porte d'entrée, ce qui entraîne une surévaluation des données mesurées par rapport au confort réel dans les classes.

- ⇒ Les vitesses de vent mesurées dans les salles de classe sont insuffisantes pour respecter les critères de confort selon le diagramme de Givoni. Il est donc essentiel de réparer les brasseurs d'air afin d'assurer le confort pendant les périodes de mi-saison et en saison chaude.

2.2.6. Conclusion

Les résultats soulignent l'importance stratégique de l'orientation des locaux et des toitures, ainsi que l'impact de l'exposition des façades au rayonnement solaire. Les apports thermiques directs, dus à l'ensoleillement des façades Est et Ouest, entraînent des surchauffes significatives en matinée et en après-midi, contrairement aux orientations Nord et Sud, mieux protégées dans le contexte climatique tropical de Mayotte. Cette différence se traduit par des écarts notables de température intérieure entre zones exposées et zones protégées. De plus, les espaces situés en rez-de-chaussée présentent globalement un meilleur confort thermique que ceux en dernier niveau sous toiture, où les effets de surchauffe sont accentués. La végétalisation périphérique joue également un rôle bénéfique, en améliorant le microclimat immédiat et en contribuant à la réduction des températures ambiantes.

L'analyse du confort dans les locaux met en évidence l'importance cruciale de la ventilation pour assurer un confort optimal, conformément aux recommandations de Givoni. Il est donc impératif de réparer les brasseurs d'air afin de maintenir une vitesse de ventilation minimale nécessaire au bien-être des occupants.

Enfin, le ressenti général est que ce bâtiment est bien conçu et offre un confort supérieur comparé à d'autres bâtiments de Mayotte, ce qui confirme l'importance de préserver et de valoriser son potentiel bioclimatique.

3. Collège de Dombéni

Le collège de Dombéni a été instrumenté : des thermomètres mesurant la température de l'air et l'humidité ont été placés dans différents locaux.



Vues générales du Collège de Dombéni

3.1. Description des locaux instrumentés

Les différents locaux instrumentés sont présentés sur la figure ci-dessous. Ils ont été choisis car leurs usages sont similaires, mais leurs orientations sont différentes. Quatre locaux non climatisés ont été instrumentés, et deux locaux climatisés afin de récolter des informations sur l'usage de la climatisation en saison fraîche.

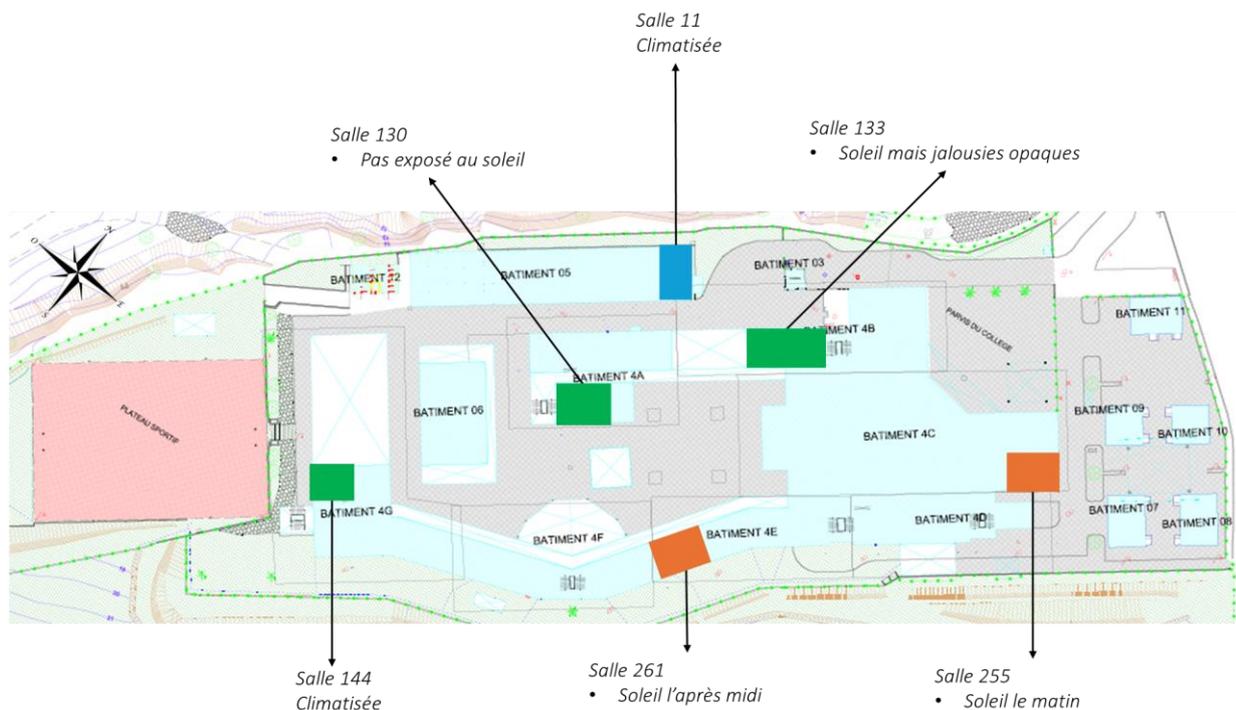


Illustration des locaux instrumentés sur le collège de Dombéni (en bleu le RDC, vert le 1er et orange le 2ème)

Retour d'expérience utilisateur

Le collège est situé dans une cuvette, ce qui entraîne un ensoleillement important dès les premières heures de la journée. À partir de 7h du matin, les salles sont exposées, ce qui génère un inconfort thermique pour les élèves et les enseignants.

Les résultats du questionnaire de confort confirment les remontées des usagers :

- Il fait généralement trop chaud dans les salles, surtout l'après-midi, principalement de janvier à mai.
- La température intérieure dépasse souvent celle de l'extérieur.
- Les portes et fenêtres sont ouvertes pour ventiler, mais l'air circule insuffisamment pour rafraîchir efficacement les salles.
- L'ensoleillement direct est jugé très gênant pour le bon déroulement des cours.

Dans ce contexte, la principale affirme la nécessité de climatiser progressivement l'ensemble des salles afin d'améliorer durablement les conditions d'enseignement et de travail pour tous. Historiquement, avant 2018, tout le lycée était climatisé. La principale souhaite aujourd'hui revenir à un système de climatisation généralisé pour toutes les salles de cours, car les salles climatisées restent les seules jugées véritablement confortables.

3.2. Instrumentation

La campagne de mesure s'est déroulée sur une semaine, *du 27 mai au 4 juin 2025*. L'objectif principal était de relever les températures dans différents locaux présentant des typologies variées, afin d'évaluer le niveau de confort thermique et de tirer des conclusions sur la conception bioclimatique de ces espaces.

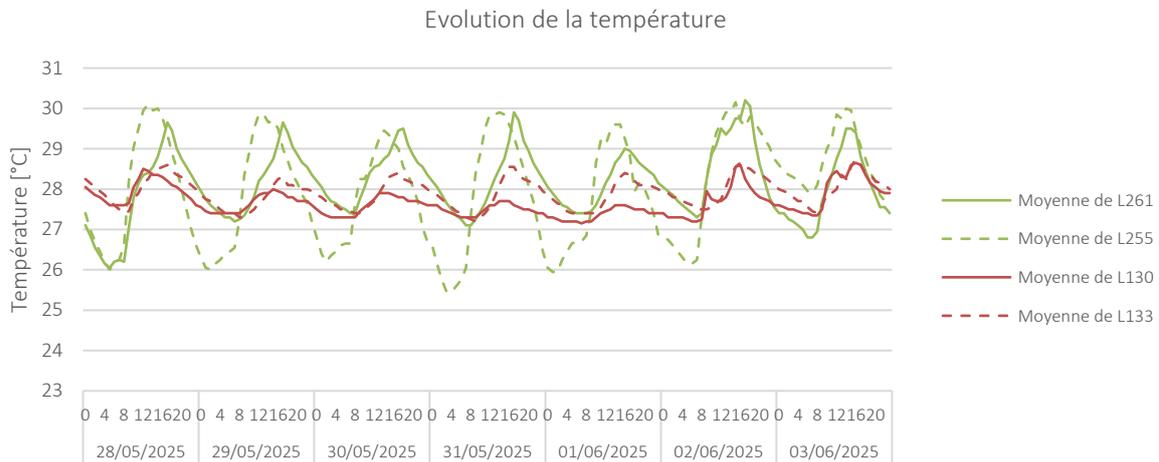
Contrairement au collège de Ouangani, la campagne de mesure n'a pas pu être menée de manière aussi complète. En effet, le choix de cet établissement a été effectué tardivement, et il a été décidé de limiter l'instrumentation pour rester le moins intrusif possible, d'autant que ce collège n'était pas directement impliqué dans le projet initial, contrairement à celui de Ouangani. Les différents locaux étudiés ont donc été équipés de TESTO, qui sont des petits thermomètres discrets, comme illustré ci-dessous.



Thermomètre utilisé dans le collège de Dembeni

3.3. Salles non climatisées - Analyse des températures intérieures

Quatre locaux non climatisés ont été instrumentés. Les températures relevées, mesurées à l'aide des capteurs TESTO sur une semaine, sont présentées ci-dessous.



Température de l'air mesurée par les TESTO sur une semaine

Les classes directement exposées au soleil et situées à l'étage, notamment les salles 261 et 255, affichent des températures intérieures nettement plus élevées, atteignant entre 29°C et 30°C en journée. On note des temps de chauffe différents selon l'orientation des locaux :

- **Salle 255**, exposée à l'est, présente des pics de température en matinée.
- **Salle 261**, orientée à l'ouest, enregistre des pics de température dans l'après-midi.

Ces différences confirment l'impact de l'orientation sur les surchauffes observées. En comparaison, les autres salles, moins exposées, présentent des températures plus basses, atteignant un maximum d'environ 28°C en journée, suivi d'une baisse progressive pendant la nuit :

- **Salle 130** : exposée plein sud et sans soleil direct grâce à son implantation, elle reste nettement plus fraîche que les salles situées à l'étage.
- **Salle 133** : exposée plein nord et recevant du soleil direct, elle est équipée de jalousies en métal opaque qui limitent le rayonnement solaire. Malgré cela, elle est légèrement plus chaude que la salle 130 protégée. La salle 133 est peu occupée, contrairement à la salle 130, ce qui explique une moindre différence thermique en période ouvrée.

Analyse du confort selon Givoni en heures ouvrées

Salle 130

La salle 130 est équipée de jalousies et bénéficie de brasseurs d'air bien réglés. Il n'y a pas de soleil direct dans la classe, ce qui, combiné à la bonne ventilation, permet de maintenir une température agréable et un bon niveau de confort.



Salle 130

⇒ Globalement avec une vitesse de vent de 1 m/s, le confort est assuré en période fraîche.

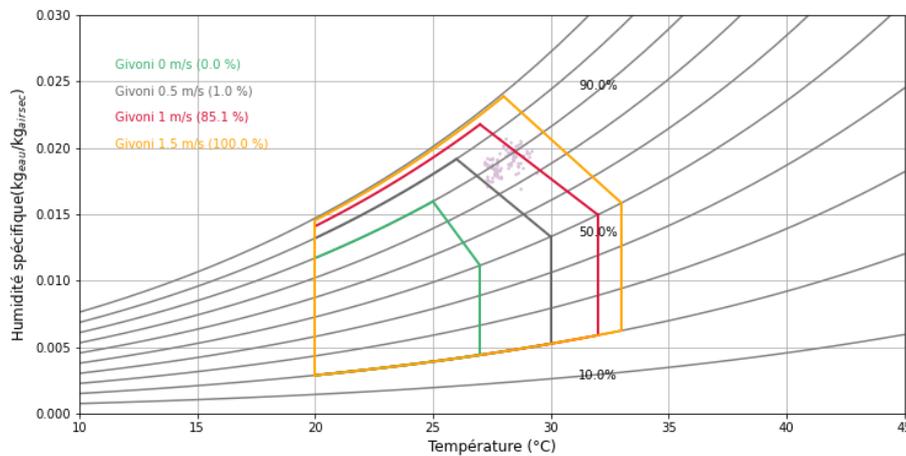


Diagramme de Givoni sur la salle 130

Salle 133

La salle 133 est exposée au soleil direct. Elle est équipée uniquement de jalousies en métal et sans fenêtres. Il est prévu de climatiser cette salle à l'avenir, mais cela pose deux problèmes : l'isolation est insuffisante, ce qui augmentera la consommation énergétique, et l'absence de fenêtres empêche tout apport de lumière naturelle lorsque la salle est fermée et climatisée.

À noter que cette salle n'est pas équipée de brasseurs d'air. Pour atteindre un niveau de confort satisfaisant en saison fraîche, selon les recommandations de Givoni, il faudrait assurer une vitesse d'air d'environ 1 m/s dans les locaux.



Salle 133, jalousies opaques

Salles 255 et 261

Concernant les autres salles, les mesures révèlent une amplitude thermique significative, comprise entre 26 et 30 °C. Dans ce contexte, une augmentation de la vitesse de l'air est nécessaire pour maintenir des conditions de confort thermique acceptables. Conformément aux référentiels établis par Givoni, une vitesse d'air proche de 1,5 m/s serait requise pendant environ 40 % du temps d'occupation pour compenser les températures élevées et assurer un niveau de confort thermique satisfaisant.



Salles 255 et 261

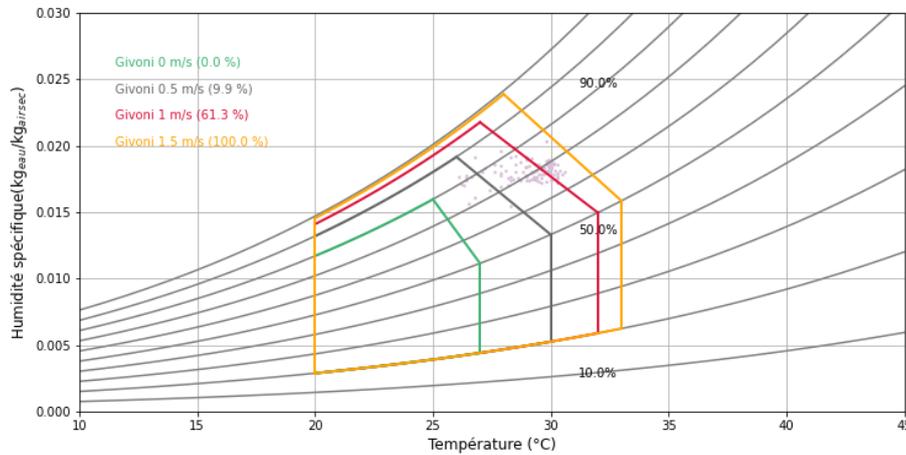


Diagramme de Givoni sur le local 255

Préconisations

- Mettre en place des protections solaires efficaces (casquettes et joues pour les orientations Nord et Sud ; brise-soleils pour les orientations Est et Ouest), en priorité pour les salles exposées et situées à l'étage.
- Installer et entretenir des brasseurs d'air (à minima 1 brasseur d'air pour 10m²) dans toutes les salles, y compris les salles informatiques, pour atteindre une vitesse de l'air suffisante (1 à 1,5 m/s selon les besoins).



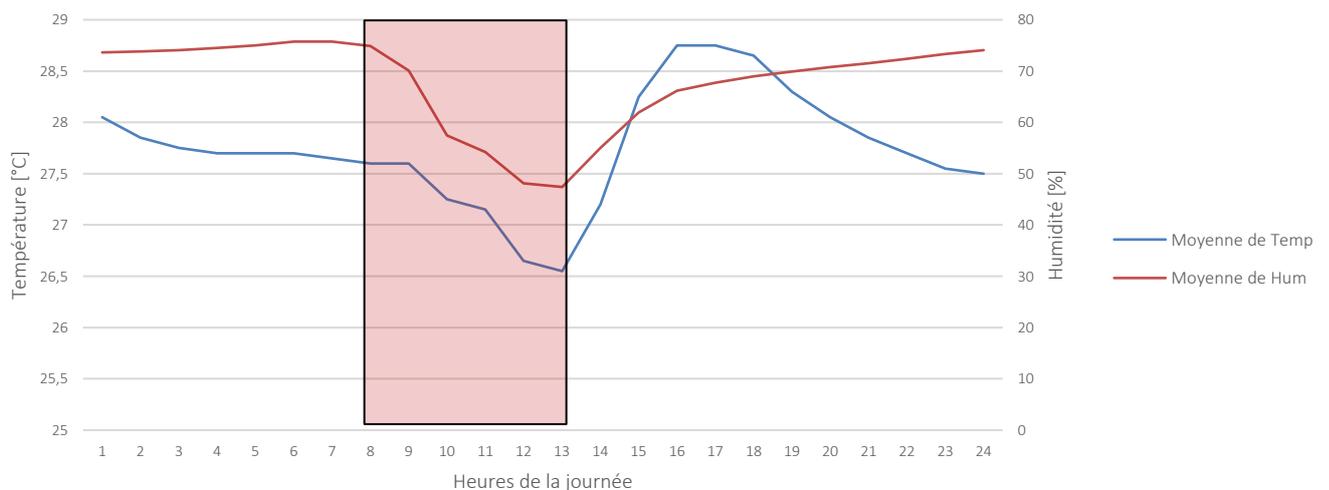
- Prendre en compte que certaines salles n’ont pas été conçues pour être climatisées : sans traitement des problèmes d’isolation et de ventilation, la climatisation seule ne suffira pas à garantir un confort satisfaisant et augmentera fortement les consommations d’énergie.

3.4. Salles climatisées - Analyse des températures intérieures

S’agissant des salles équipées de climatisation, les observations rejoignent celles effectuées dans les bureaux du collège de Ouangani : dès lors que la climatisation est disponible, elle est systématiquement utilisée, souvent sans prise en compte des défauts de conception ou d’isolation du bâti.

Dans la salle 11, par exemple, la température de consigne est fixée à 17 °C – pour atteindre une température d’air du local de 26°C, tandis que les brasseurs d’air ne sont pas utilisés. Les jalousies et les rideaux restent fermés en permanence, ce qui engendre un environnement visuellement inconfortable et totalement dépourvu de renouvellement d’air naturel. La climatisation fonctionne de manière continue de 8h à 13h, couvrant toute la période d’occupation du local, ce qui soulève des questions en termes d’efficacité énergétique et de qualité de l’environnement intérieur.

Illustration d'une journée type avec climatisation dans la salle 11



Profil de température et d'humidité dans une salle climatisée (salle 11)

Certains locaux ont toutefois été conçus en prévision d’un usage climatisé. C’est notamment le cas de la salle 144, située à proximité du terrain de football. Ce local bénéficie d’aménagements spécifiques, tels qu’un vitrage et des jalousies extérieures opaques additionnelles, visant à limiter les nuisances sonores ainsi que les apports solaires directs.



La salle 144 est équipée de jalousies opaques réglables et de menuiseries en double vitrage

3.5. Conclusion

L'analyse des conditions climatiques et des mesures relevées dans les différentes salles de classe met en évidence que le collège n'a pas été conçu pour assurer un confort thermique adapté aux contraintes locales. L'absence d'isolation thermique, l'insuffisance des protections solaires et l'inefficacité de la ventilation naturelle contribuent à une surchauffe marquée. Cette situation est aggravée par la topographie du site, en cuvette, ainsi que par un ensoleillement direct dès les premières heures de la journée, générant un inconfort thermique significatif pour les élèves et le personnel enseignant, en particulier pendant la saison chaude.

Si la direction de l'établissement identifie aujourd'hui la climatisation comme la solution prioritaire pour améliorer rapidement le confort, il convient de rappeler que le recours systématique à ce mode de refroidissement n'est ni adapté ni durable, d'autant plus que les locaux n'ont pas été conçus pour un fonctionnement efficace en mode climatisé. En l'absence d'isolation thermique performante et de menuiseries adaptées, l'installation de systèmes de climatisation engendrerait une consommation énergétique élevée pour une efficacité limitée.

Il est recommandé de privilégier en premier lieu des solutions passives simples et moins coûteuses, telles que la mise en place de protections solaires extérieures (brise-soleil, casquettes et joues) pour réduire les apports thermiques, ainsi que la remise en état ou l'installation de brasseurs d'air dans les salles de classe, afin d'améliorer la ventilation et le confort perçu. Ces interventions permettront de limiter les phénomènes de surchauffe, de réduire la dépendance aux systèmes de climatisation, et d'optimiser les coûts de fonctionnement de l'établissement à moyen et long terme.

4. Technopole

4.1. Description des locaux instrumentés

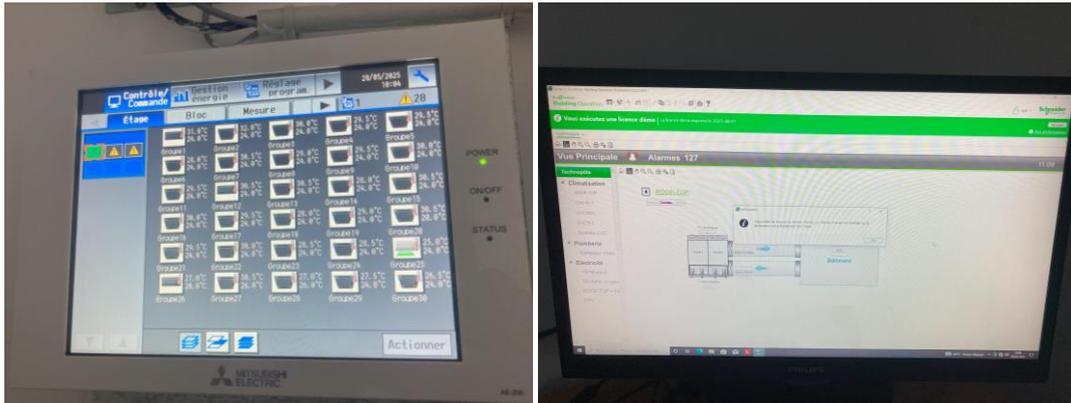
4.1.1. Etat des lieux post-cyclone

Une visite de terrain a été effectuée afin de constater les dommages subis par la Technopole à la suite du passage du cyclone Chido. Le site présente un état de dégradation avancé, comme en témoignent les photographies ci-dessous.



Bureaux après le passage du cyclone Chido

L'un des objectifs de cette visite était également de vérifier le paramétrage des différents équipements techniques et d'analyser les pratiques des usagers. En effet, même dans des bâtiments bien conçus, le manque de mise en service optimisée reste fréquent. Sur ce site, le système de climatisation est centralisé, avec des télécommandes individuelles pour chaque salle. Une Gestion Technique Centralisée (GTC) est installée, mais les équipements ne sont plus connectés depuis le passage du cyclone, ce qui a empêché toute observation des programmations en cours.



GTC - Technopole

4.1.2. Retour d'expérience utilisateur

À ce jour, un seul bureau est occupé. D'après les retours de l'occupant, des courants d'air importants traversent le bâtiment, ce qui dissuade l'usage de la ventilation naturelle, finalement très peu utilisée. Malgré cela, l'occupant juge son espace de travail globalement confortable, bien qu'il note des élévations de température en matinée et autour de midi.

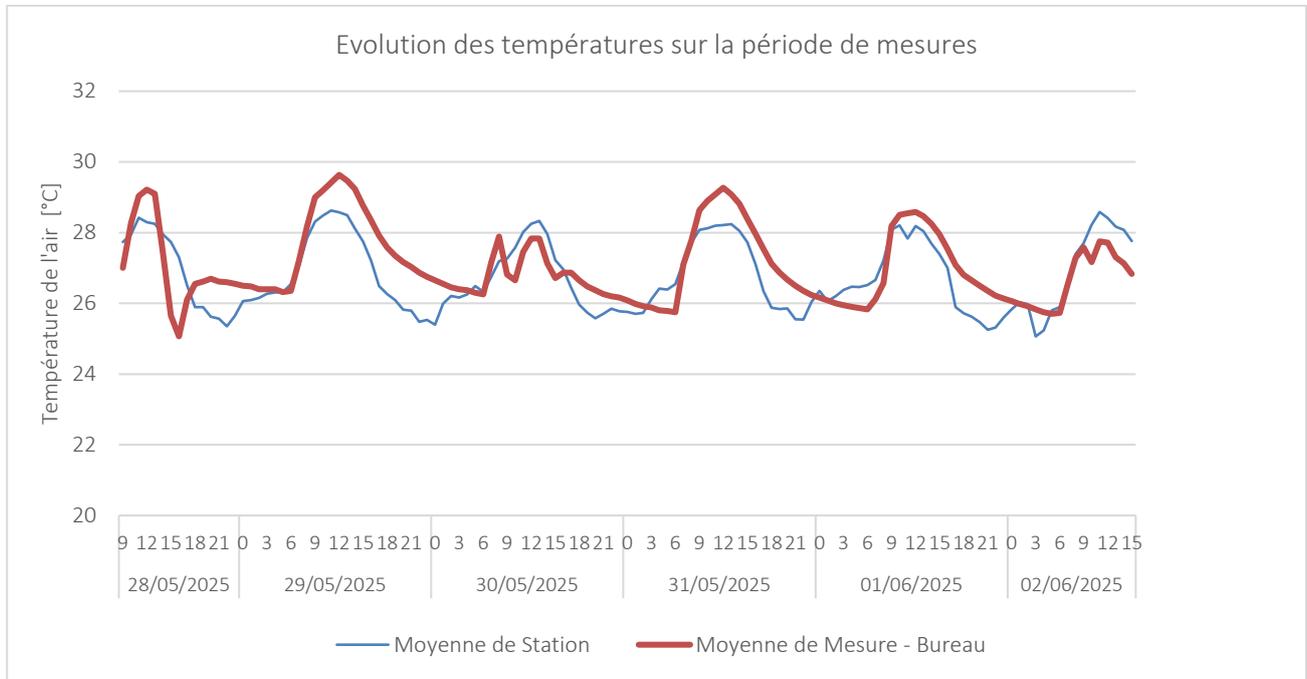


Bureau instrumenté

La climatisation est activée dès son arrivée, principalement durant les périodes chaudes (janvier à avril et septembre à décembre), avec une température de consigne réglée à 24 °C, jugée satisfaisante. La ventilation naturelle n'est utilisée qu'occasionnellement, et le brasseur d'air n'est jamais activé en simultané avec la climatisation. Il est également à noter que l'orientation du bureau induit une exposition solaire directe : le matin à l'arrière, le soir en façade (cf. photo ci-dessous).

4.2. Analyse des températures intérieures

Un capteur de température a été installé dans ce bureau pendant une semaine afin de croiser les données internes avec celles enregistrées par la station météorologique installée sur le toit de la station. Les résultats sont synthétisés dans le graphique suivant.



Profils de température et d'humidité dans le bureau instrumenté

L'analyse montre que la climatisation est systématiquement utilisée les jours ouvrés (28/05, 30/05 et 02/06), même si les conditions extérieures permettent l'atteinte du confort thermique avec l'utilisation d'un brasseur d'air selon le diagramme de Givoni (Température <29°C).

Recommandations

Au regard des observations, les recommandations suivantes sont formulées :

- Adapter les consignes de température à minima 26°C, voir 28°C avec l'utilisation du brasseur d'air.
- Favoriser la ventilation naturelle, en particulier en période sèche, et le matin et en fin de journée, afin de réduire le recours à la climatisation tout en améliorant le confort thermique.
- Sensibiliser les usagers à la comparaison systématique des températures intérieure et extérieure avant l'activation de la climatisation, afin de promouvoir un usage raisonné des équipements.

CONCLUSION

L'expérimentation menée dans le cadre du projet OMBREE a permis de dresser un état des lieux du comportement thermique réel des bâtiments scolaires étudiés à Mayotte. L'approche a combiné des prises de mesures et des retours d'usage. Trois grands enseignements émergent de cette campagne.

(1) Usage généralisé et non maîtrisé de la climatisation.

L'étude montre que 100 % des locaux climatisés utilisent la climatisation de manière systématique, y compris en saison fraîche (campagne de mesures réalisée en mai-juin). La climatisation est généralement activée dès l'arrivée des usagers, avec des températures de consigne basses (24 à 25 °C), sans extinction automatique.

Au collège de Ouangani, cette consommation spécifique représente près de 50 % de la consommation électrique totale, alors même que seul un nombre limité de locaux est climatisé. Par ailleurs, aucune stratégie de régulation n'est mise en œuvre : pas de pilotage horaire ni de contrôle des consignes de température.

Dans certains établissements, comme à Dembeni, une généralisation de la climatisation est envisagée, y compris dans des locaux non prévus à cet effet, ce qui risque d'entraîner des consommations énergétiques très importantes.

(2) Une conception déterminante, même en saison fraîche.

Le confort thermique dans les locaux non climatisés est globalement satisfaisant en période fraîche, mais il dépend fortement de plusieurs paramètres. L'orientation du bâtiment joue un rôle déterminant : les locaux orientés est/ouest subissent un ensoleillement plus direct, ce qui entraîne des températures plus élevées. La présence de végétation environnante contribue à améliorer le confort. La position dans le bâtiment joue également un rôle : les locaux situés sous toiture sont plus exposés à la chaleur et donc moins confortables, tandis que ceux en rez-de-chaussée bénéficient d'un meilleur confort thermique.

Ainsi, les salles bien orientées, situées en rez-de-chaussée et entourées de végétation, assurent un confort relatif même en période fraîche, alors que les locaux sous toiture, orientés Est/Ouest ou dépourvus de végétation sont les plus pénalisés, enregistrant des températures plus élevées. Par ailleurs, on observe un écart de température notable entre les sites étudiés : Ouangani est globalement plus frais que Dembeni (se référer au livrable *Climat*)

(3) Rôle central de la ventilation naturelle et des brasseurs d'air.

Les mesures montrent que les vitesses d'air naturelles restent faibles (<1 m/s), même lorsque les portes sont ouvertes, ce qui est insuffisant pour assurer le confort thermique selon les courbes de Givoni en l'absence de dispositifs de ventilation mécanique comme des brasseurs d'air.

Par ailleurs, l'état de dégradation des dispositifs passifs (jalousies cassées ou bloquées, brasseurs d'air défectueux, réseau électrique vétuste) compromet la performance bioclimatique des bâtiments en limitant la capacité à ventiler et à rafraîchir les locaux de façon naturelle et économique.

Ces constats soulignent l'importance de la présence efficace de brasseurs d'air pour atteindre et préserver un niveau de confort acceptable dans les salles non climatisées. Ils rappellent également la nécessité de privilégier des solutions passives telles que l'amélioration des protections solaires extérieures et la réparation des dispositifs de ventilation naturelle avant d'envisager la climatisation, d'autant plus que les locaux actuels ne sont pas conçus ni isolés pour accueillir un système climatisé efficace et économe en énergie.

Enfin, le recours à la climatisation généralisée va à l'encontre des objectifs de performance énergétique fixés par le décret tertiaire, qui impose la réduction progressive des consommations d'énergie dans le secteur du bâtiment. Il est donc essentiel de favoriser des solutions passives et bioclimatiques pour améliorer durablement le confort tout en respectant les obligations réglementaires et en limitant l'empreinte énergétique des établissements.



Recommandations

À court terme :

- Réparer ou installer des brasseurs d'air plafonniers dans les locaux non climatisés.
- Mettre en place des consignes minimales de température (>26 °C) et des horloges programmables sur les climatiseurs.
- Entretien et ouvrir les jalousies pour restaurer une ventilation naturelle efficace.
- Mener des actions de sensibilisation des usagers à l'usage raisonné des équipements.

À moyen et long terme :

- Renforcer l'isolation thermique, notamment en toiture.
- Généraliser les brasseurs d'air dans tous les locaux.
- Intégrer une réflexion bioclimatique systématique à tous les projets de construction ou de rénovation :
 - Orientation optimale,
 - Protection solaire,
 - Ventilation traversante,
 - Végétalisation des abords.

