

Michel Beauvais

ARCHITECTE URBANISTE, MICHEL BEAUVAIS ASSOCIÉS, PARIS

Frédéric Frusta

EXPERT EN PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE, OASIIS, AUBAGNE



Photos et figures © DR

Confort thermique en climat tropical

La ventilation naturelle assistée au Lamentin

54^{ES} JOURNÉES D'ÉTUDES ET DE FORMATION IHF – 11-13 JUIN 2014 – TOULOUSE

« GESTION PATRIMONIALE ET CONCEPTION ARCHITECTURALE ET TECHNIQUE DES ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ »

Nous présentons ici un retour d'expérience sur le confort thermique du patient en climat tropical à travers une conception originale et expérimentale : la ventilation naturelle assistée pour les hébergements d'un hôpital réalisé en Martinique.

Il y a plus de dix ans, le syndicat interhospitalier du Lamentin a programmé la réalisation de la nouvelle cité hospitalière Mangot-Vulcin (NCHMV) au Lamentin, en Martinique. La NCHMV regroupe toutes les activités du centre hospitalier du Lamentin (300 lits et places environ) et celle de l'établissement public de santé mentale (EPSM) de Colson (120 lits). Proche

de Fort-de-France et de l'aéroport, elle bénéficie d'un vaste terrain d'environ 7,5 ha (**Photo 1**). L'urbanisation périphérique de proximité provoquée par la dynamique urbaine induite par ce grand programme sanitaire a toutefois laissé des vues dégagées vers ces grands paysages caressés par les alizés, sources et supports de la ventilation naturelle. La topographie et les caractéristiques géoclimatiques du site nous ont immédiatement incités à concevoir un projet en résonance avec cet environnement de grande qualité, pour offrir une architecture et une fonctionnalité capables de répondre au mode de vie caribéen.

Ventilation naturelle assistée (VNA) : un système inédit en santé

Sans que cela soit une exigence du programme, la conception architecturale propose dès l'esquisse du concours une ventilation naturelle comme un apport significatif sur le plan de la qualité environnementale. Cette démarche était un pari sur l'avenir car aucune réalisation hospitalière, même située en outre-mer, n'offrait cette technique intégrée à l'architecture. Des exemples connus de bâtiments récents en milieu tropical – peu nombreux – sont conçus sur un principe de ventilation traversante qui s'inspire de l'architecture créole traditionnelle. Mais « décharger » thermiquement les bâtiments avec un système traversant n'est pas compatible avec les isolements et les compartimentages requis pour la sécurité incendie. C'est également impossible au regard de la séparation indispensable entre certaines fonctions, et en particulier, entre les chambres et les circulations générales. Notre choix technique s'est porté vers un système original qui répond en tout point aux fonctionnalités hospitalières attendues et requises, ainsi qu'aux réglementations d'hygiène et de sécurité.

Comment offrir un confort thermique au patient en utilisant au maximum les alizés naturellement disponibles, de quantité et qualité suffisantes pour créer un dispositif durable, économique et performant tout au long des saisons ? Comment utiliser directement l'air extérieur chaud et humide, pour créer une sensation de fraîcheur ? Ces questions nous ont guidés dès les premières esquisses et tout au long des études techniques.

Le confort hygrothermique en milieu tropical humide

Dans un bâtiment non climatisé, notamment en climat chaud et humide, le confort thermique peut être amélioré grâce à une ventilation (naturelle ou forcée) assurant des vitesses résiduelles de l'air supérieures à la normale. La norme ISO 7933 « Ambiances chaudes – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondée sur le calcul de la sudation requise » permet de déterminer une zone de confort en fonction de l'environnement et du sujet. Basé sur le bilan thermique du corps humain, le calcul tient compte des caractéristiques de l'ambiance (température, humidité relative et vitesse de l'air, température moyenne radiante des parois), de l'activité et de la vêtue des occupants. Le critère principal

limitant cette zone de confort est le maintien d'une sudation raisonnable, n'entraînant pas d'apparition de sueur liquide sur la peau et limitant les pertes en eau à 70 g/h environ afin d'éviter la déshydratation. Dans le cas particulier du confort des patients dans les chambres de l'hôpital du Lamentin ($T_{mrt} = 30 \text{ °C}^1$), une augmentation raisonnable de la vitesse de l'air jusqu'à 0,8 m/s permet de procurer aux occupants une sensation de confort équivalente à celle qu'ils percevraient dans une ambiance où la température serait diminuée de 2 à 7 °C (selon le niveau d'humidité relative de l'air) avec un air calme.

■ Prérequis : l'approche bioclimatique

Pour obtenir des conditions satisfaisantes de confort hygrothermique en l'absence de système de rafraîchissement actif, il faut respecter les principes suivants :

- éviter les apports solaires directs ;
- éviter l'échauffement des parois intérieures ;
- ventiler largement les locaux pour obtenir une température et une humidité de l'air intérieur voisines des conditions extérieures à l'ombre ;
- maintenir à l'intérieur des locaux une vitesse résiduelle de l'air d'environ 1 m/s.

Nous avons poursuivi deux objectifs fondamentaux :

- une performance thermique de l'enveloppe du bâtiment permettant de minimiser les apports de chaleur dans l'édifice en assurant une large ventilation de ceux-ci afin d'évacuer le reliquat d'apports de chaleur qui parviendrait néanmoins à s'introduire dans le bâtiment ;
- le maintien d'une vitesse d'air dans les locaux qui, au contact de la peau des individus, soit capable de leur « arracher » de l'énergie thermique, leur procurant ainsi une sensation de fraîcheur synonyme de confort.

■ Maîtrise de la température intérieure des parois

Il s'est donc agi de concevoir un bâtiment dont les parois présenteraient des propriétés isolantes et faiblement absorbantes au rayonnement solaire, de manière à maintenir la température résultante intérieure proche de la température de l'air. Nous avons mis en œuvre un isolant sur les parois opaques extérieures, d'épaisseur adaptée à sa position, soit 4 cm pour les parois verticales et 6 cm en toiture. Par ailleurs, toutes les parois extérieures sont de couleur claire, dont en particulier les toitures en bardage simple peau de couleur vert pastel, afin d'obtenir un coefficient d'absorption solaire de 0,4.

1- T_{mrt} : mean radiant temperature, température radiante moyenne.

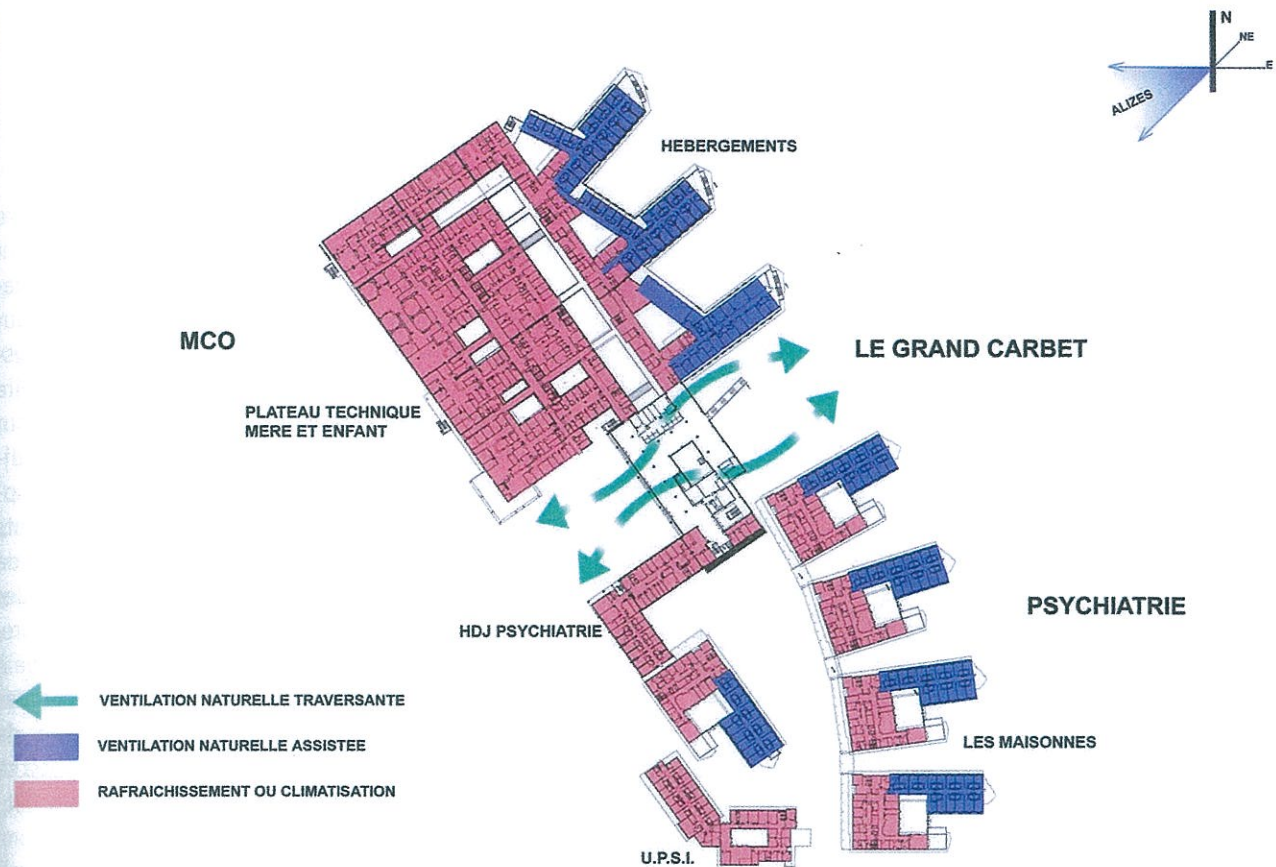


Figure 1 - Typologie des ambiances thermiques

■ Protection contre les apports solaires directs

Pour protéger les locaux du rayonnement solaire direct, les façades nord et sud des unités de soins de médecine, chirurgie, obstétrique (MCO) et de l'admission de la psychiatrie permettent de larges débords de toiture et des coursives extérieures; des brise-soleil horizontaux, dimensionnés selon l'exposition, protègent les chambres de la quasi-totalité des apports solaires directs. Afin d'optimiser les dispositions relatives à l'isolation et aux protections solaires, nous avons réalisé une simulation thermique dynamique complète de la cité hospitalière au moyen du logiciel TAS (THERMAL ANALYSIS SOFTWARE).

Une conception intégrée à l'architecture, adaptée au climat tropical et à l'hébergement hospitalier

Mis à part l'espace du Grand Carbet qui bénéficie d'une ventilation naturelle traversante, nous avons cherché un principe non traversant, seule solution permettant de répondre aux contraintes réglementaires et aux fonctionnalités d'usage des unités d'hébergement (chirurgie, médecine et psychiatrie) (Figure 1). Seules les unités fonctionnelles à forte exigence d'environnement contrôlé, comme le plateau technique, n'ont pas été équipées de ce système.

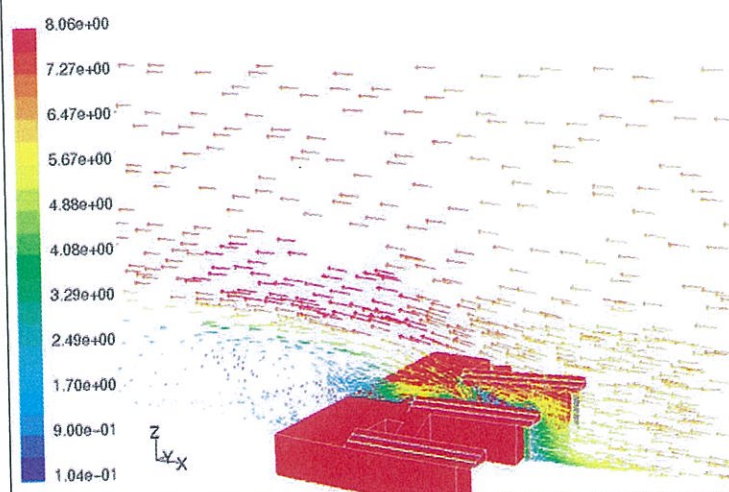
Le pôle Mère Enfant, implanté au-dessus du plateau technique, aurait également pu bénéficier de la ventilation naturelle pour l'hospitalisation en gynécologie et en obstétrique mais, les ailes d'hébergement de médecine et de chirurgie leur faisant écran, le captage des alizés en façade était insuffisant. De même, la néonatalogie positionnée au cœur de l'obstétrique apportait, par son traitement d'air spécifique, une contrainte supplémentaire, incompatible avec la ventilation naturelle.

L'architecture s'exprime naturellement à partir de ce concept bioclimatique. Inspirée de la culture caribéenne et respectant la fonctionnalité du programme, elle n'apporte aucune contrainte particulière aux usagers. L'orientation des bâtiments et leur volumétrie, la conception des façades, avec leurs varangues protégées par des ombrières et des vantelles vitrées ou de bois, participent également de la pertinence du système (Photos 2-4).

Après une campagne de relevés des alizés sur le terrain pendant toute l'année des études d'avant-projet sommaire (APS) et définitif (APD), le recours à la ventilation adopté dès le départ s'est confirmé au travers des modèles et des simulations pour aboutir à la mise au point d'un principe de ventilation naturelle assistée. En effet, une ventilation naturelle simplement



Figure 2 - Champs de vitesses autour du bâtiment



Plan de coupe suivant le bâtiment 2
Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)
Calcul en partie haute par vent de 115 degrés nord

Jun 07, 2002
FLUENT 6.0 (3d, segregated, rke)

innervée par des gaines, et ceci sur un grand linéaire et sur plusieurs niveaux, s'est avérée insuffisante pour assurer la pérennité du confort thermique et de la qualité de l'air en toute saison. La seule possibilité pour vaincre cette difficulté a été de l'assister par un système mécanique qui renforce la pression nécessaire à la distribution des flux aérauliques connectés sur un réseau de gaines distribuant les unités d'hospitalisation. Ces gaines sont branchées sur des « capteurs d'alizés », situés en pignon des hébergements et protégés par des vantelles équipées de volets de fermeture paracycloniques. L'air est véhiculé vers des microbuses orientables situées dans chaque chambre, à proximité du lit, sur une gaine verticale intégrée à la salle d'eau. Le balayage aéraulique s'effectue des buses vers la façade, dotée de vantelles vitrées de type Nacco. Le patient peut agir manuellement et à sa convenance pour bénéficier ou pas du flux d'air.

La conception technique de la VNA : modèles, calculs et simulations

Nous avons réalisé à l'aide du logiciel de CFD² FLUENT une modélisation 3D et différents calculs itératifs des écoulements d'air autour du bâtiment MCO et des maisons de psychiatrie, afin de déterminer les champs de pression statique obtenus sur les parois et toitures des bâtiments, ainsi que les champs de vitesses d'air résultant de la morphologie générale du bâti (Figure 2). Notre volonté était de capter les alizés et de les faire cheminer à l'intérieur des bâtiments, afin de les utiliser comme vecteur de confort dans les chambres et d'effectuer des économies d'énergie. Pour cela, la pression de l'air doit être plus élevée sur les orifices de captage que sur les façades afin que la création naturelle de courants d'air soit possible. Cette étude a permis de localiser les zones de surpression et de dépression afin de positionner judicieusement les entrées d'air (Figure 3).

L'étude CFD s'est poursuivie à l'intérieur des volumes traités, pour les chambres de médecine, de chirurgie et de psychiatrie, afin de déterminer les champs de vitesse résiduelle de l'air dans les zones d'occupation, en caractérisant les paramètres du soufflage de l'air. Le principe est de définir les débits d'air à mettre en jeu, l'emplacement du soufflage à l'intérieur de la chambre, la vitesse et la direction de l'éjection de l'air, afin d'obtenir une vitesse d'air résiduelle de 0,8 à 1 m/s au niveau du lit et des zones de soins. Une

2- CFD : *computational fluid dynamics*, étude de la mécanique des fluides par la résolution numérique des équations Navier-Stokes.

étude paramétrique itérative faisant varier l'ensemble de ces éléments a permis de proche en proche de préciser les équilibres idoines concourant à la solution mise en œuvre. Une vitesse résiduelle voisine de 0,8 m/s est ainsi assurée en permanence à la surface du lit du patient et sur les principales zones de stationnement des visiteurs et du personnel soignant (Figures 4 et 5).

Le principe de la ventilation naturelle assistée consiste à placer un caisson de ventilation mécanique en comble, avec prise d'air neuf en pignon soumis à la pression des alizés, et plénum de raccordement. L'air extérieur est directement aspiré par un ventilateur, dont le travail est soulagé par l'effet des alizés grâce à la surface de captation et à l'orientation de celle-ci en pignon des combles. Il est ensuite filtré et distribué, d'abord de façon horizontale dans les combles par un réseau de gaines métalliques, puis verticalement au moyen d'une gaine par chambre. Il ne reçoit pas de traitement thermique. L'air est soufflé dans les chambres par l'intermédiaire de deux ou trois bouches composées de microbuses orientables de haut en bas et de gauche à droite. La détente de l'air s'effectue ensuite librement par la façade au travers des ouvertures en vantelles prévues à cet effet.

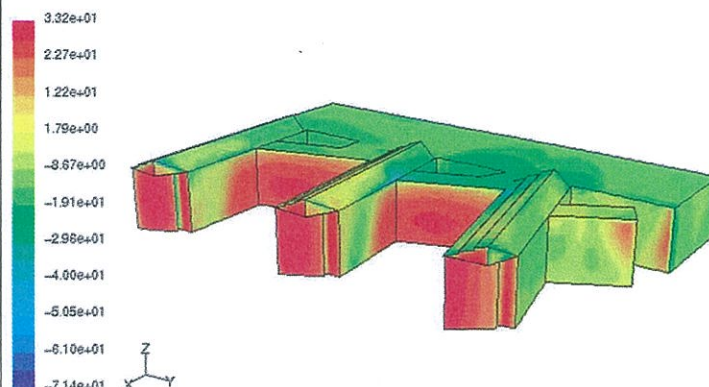
Les dispositifs communs mis en œuvre sous les combles sont les suivants (Figure 6) :

- grilles de captation des alizés et plénums de raccordement;
- caissons de ventilation équipés d'une filtration G4+F7³, d'un ventilateur centrifuge avec moteur à vitesse variable, de plots anti-vibratiles;
- pièges à sons sur le soufflage;
- réseaux de gaines en combles y compris dans le plénum, raccordement sur caisson de ventilation par manchette souple, organes d'équilibrage, trappes de visites;
- clapets coupe-feu en franchissement des dalles horizontales.

Les dispositifs communs pour les chambres à un et deux lits consistent en :

- un plénum en gaine technique orientant le débit d'air vers les bouches de soufflage;
- des modules de réglage de débit en amont de chaque bouche garantissant la valeur souhaitée quelle que soit la pression assurée en amont;

Figure 3 - Coefficients de pression sur l'enveloppe du bâtiment



bâtiment complet
Contours of Static Pressure (pascal)
Calcul en partie haute par vent de 115 degrés nord

Jun 07, 2002
FLUENT 6.0 (3d, segregated, r6)

Figure 4 - Coupe horizontale à 0,8 m du sol

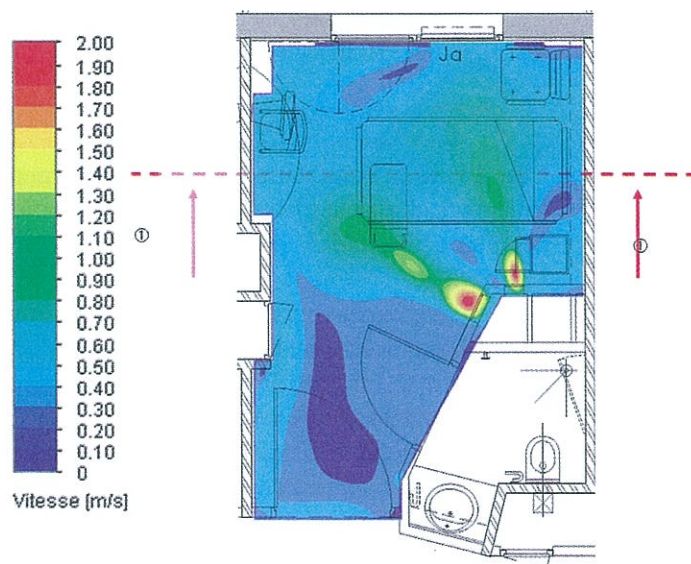
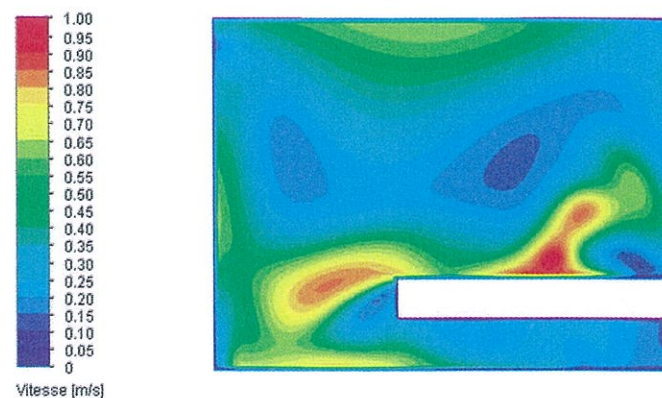


Figure 5 - Coupe verticale 1 passant par le lit



3- Filtre grossier type G4: 10 % d'efficacité sur les particules de 1 µm; aucune protection significative. Filtre fin type F7: presque 4 fois plus efficace qu'un 65 % opacimétrique (pour les particules de diamètre 1 µm), protection adéquate pour une qualité d'air intérieur.

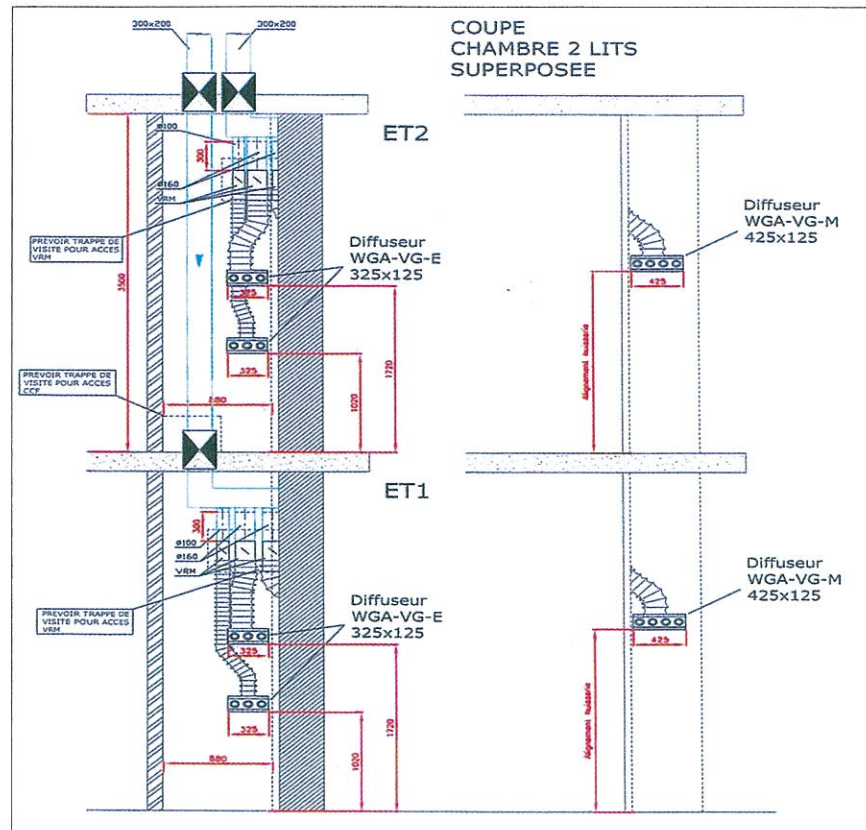


Figure 6 - Diffusion de la ventilation dans les gaines : coupe de principe

- des diffuseurs à microbusés motorisés permettant de régler l'orientation des jets d'air vers le lit du patient, pour des débits variant de 160 m³/h à de 270 m³/h à 30 dB(A) ;
- un interrupteur de commande deux positions et son raccordement au servomoteur.

Performances en développement durable

Ce principe permet non seulement d'assurer des conditions de confort acceptables, mais également de réaliser de sérieuses économies d'investissement et d'exploitation. Il participe à l'indépendance énergétique de la Martinique, et permet une réduction des émissions de CO₂ et de gaz à effet de serre. Par comparaison aux autres espaces d'hébergement du projet, similaires en termes de fonctionnalités, de rythme d'occupation et de charges thermiques internes, les bilans énergétiques et économiques s'établissent ainsi :

- réduction des consommations d'électricité : 81 kWh/m²/an ;
- économie de consommations : 7,05 €HT/m²/an ;
- économie d'entretien-maintenance : 6 €HT/m²/an ;
- économie d'investissement : 107,50 €HT/m².

Ainsi, par ces seules réductions de consommations, l'impact bénéfique sur les émissions de CO₂ s'établit pour ce projet à 65 kg CO₂/m²/an.

Bilan

En service depuis trois ans, la nouvelle cité hospitalière de Mangot-Vulcin présente un taux de satisfaction conforme aux attentes. Aucune remarque ni plainte significative de la part des patients et utilisateurs du bâtiment n'a été portée à la connaissance des services techniques. Le confort y est perçu comme satisfaisant, la plupart des utilisateurs pensant que les locaux sont climatisés. Mieux, cette technique a depuis été proposée en Guadeloupe, pour le nouveau centre gériatrique du Raizet et pour les soins de suite et de réadaptation du CHU de Pointe-à-Pitre qui intègrent ce nouveau site. Après s'être renseigné auprès du personnel soignant du Lamentin, le maître d'ouvrage a adopté la ventilation naturelle assistée pour une grande partie de son programme. Nous pouvons donc conclure à la bonne adéquation de cette technique avec les besoins de confort hygrothermique en milieu tropical humide, pour des hébergements de médecine, de chirurgie, de psychiatrie et de gériatrie.

Pour aller plus loin

La partie présentant les « Grands principes fonctionnels » est disponible sur www.techniques-hospitalieres.fr, en annexe de la version pdf de l'article