

# Pour un développement durable sous toutes les latitudes

60ES JOURNÉES D'ETUDES ET DE FORMATION DES IHF



**Michel Beauvais**  
Architecte-Urbaniste  
(MBA)



**Frédéric Frusta**  
Ingénieur - Expert  
environnemental (OASIIS)

## L'essentiel

Le changement climatique n'est plus un risque, c'est une réalité. Pour limiter son effet, nos écosystèmes exigent des procédés inventifs permettant de faire cohabiter l'architecture, les techniques constructives et l'environnement. Parmi les milieux les plus sensibles, les territoires caribéens, Pacifique ou africains révèlent des spécificités environnementales pouvant impacter leurs équipements et les populations les plus fragiles. Certains établissements de santé de ces territoires se mobilisent pour réduire leur impact sur leur milieu et transformer leurs modèles. Grâce aux progrès observés en matière de conception architecturale et technique, les exemples du Raizet en Guadeloupe, de Nouméa en Nouvelle Calédonie ou encore d'Abomey Calavi au Bénin figurent parmi les équipements hospitaliers plus vertueux dans ce domaine.

**Mots-clés :** architecture, développement durable, changement climatique, conception bioclimatique, climatisation solaire, ventilation mécanique assistée naturellement, certification HQE®, biodiversité, confort hygrothermique, phytoépuration.

## Un enjeu majeur pour l'architecture hospitalière

Les établissements hospitaliers et leurs territoires sont des fragments d'espaces urbains offrant des caractéristiques particulières, tantôt ouvertes ou fermées sur la ville. Quelles que soient leurs spécificités, leur taille ou leurs typologies, ils obéissent à des stratégies urbaines et environnementales allant du territoire au quartier, de l'îlot au bâtiment hospitalier. Indépendamment de leurs situations et des pays où ils sont implantés, ces établissements sont vecteurs de liens puissants avec la ville et les écosystèmes dans lesquels ils interagissent. En amont des projets, la démarche de l'architecte est déterminante pour intégrer les différentes échelles de territoire car il convient que l'établissement de santé réponde à la cohérence et la continuité des stratégies déjà engagées. Elle est également déterminante de la qualité environnementale du futur bâtiment.

Quels que soient les territoires d'accueil, en France, en Europe, dans le monde, en milieu urbain, péri-urbain ou rural, la démarche engagée pour le développement durable nécessite une analyse thématique fine « par thème » et une hiérarchisation des enjeux vis-à-vis des orientations locales.

Soumis à des conditions climatiques et environnementales difficiles, les établissements hospitaliers implantés dans les régions tropicales exigent des stratégies architecturales et techniques rationnelles, soutenables et innovantes permettant de répondre aux besoins en matière d'hygiène, de sécurité et de confort.

## Une philosophie architecte-ingénieur partagée

Pour l'architecte hospitalier Michel Beauvais, le traitement de la question environnementale et plus particulièrement celle du développement durable des bâtiments hospitaliers impose une réponse nécessairement *globale* capable de répondre aux enjeux climatiques, environnementaux, sanitaires et écono-

miques de cette typologie de projets. Aujourd'hui, il va plus loin en dénonçant l'urgence de renouveler les relations entre architecte et ingénieur pour s'écarter des modèles traditionnels qui consistent à ce que les BET forment leurs réponses aux concepteurs. Michel Beauvais l'affirme : « Avec Frédéric Frusta, nous nous inspirons des pratiques réellement collaboratives empruntées des process de l'ingénierie anglo-saxonne qui consistent à associer dès l'amont les problématiques architecturales aux problématiques techniques. Cette complicité de 20 ans nous a permis de construire une méthodologie de travail apte à interagir en continu dans la direction imposée par le programme et la prise en compte du contexte environnemental local ».

#### « Concevoir des projets hospitaliers plus résilients... ».

Riches de cette approche pluridisciplinaire, les projets hospitaliers développés par MBA et OASIIS, exigent de leurs bâtiments qu'ils intègrent des solutions pertinentes et innovantes en matière de développement durable. Certes, la qualité environnementale a toujours été pour le domaine de la santé et plus particulièrement celui des hôpitaux publics un postulat naturel intégré à la conception architecturale.

Ensemble, MBA et OASIIS nourrissent de solides expériences en proposant des solutions efficaces en matière de sécurité, de confort d'usage, de traitement de la lumière naturelle, de l'air, de l'eau... autant de contraintes traitées avec succès pour de nombreux établissements publics avant même l'apparition des normes environnementales et la réglementation de sécurité sanitaire des établissements de santé. « Aujourd'hui, nous allons plus loin » relève Michel Beauvais. « Nous savons concevoir des solutions écoresponsables permettant de diminuer l'impact de nos établissements sur l'environnement, d'exploiter les ressources renouvelables locales ou de s'en préserver lorsqu'elles deviennent des contraintes. Le réchauffement de la planète et les dérèglements climatiques stigmatisent aujourd'hui nos recherches architecturales et techniques pour en faire une priorité absolue pour concevoir et construire des établissements hospitaliers plus résilients ».

#### « Dialogue et confiance réciproque... »

Expert en performance environnementale, Frédéric Frusta témoigne également de l'intérêt qu'il porte à la démarche engagée avec Michel Beauvais. Selon lui, la place du développement durable dans le secteur hospitalier est devenue, plus que dans tout autre domaine, incontournable.

Forts des projets hospitaliers conçus et construits sous toutes les latitudes, nos ingénieurs ont acquis une solide expertise technique qui enregistre depuis quelques années des progrès

considérables; ils sont désormais en mesure de produire une analyse fine des contraintes et des atouts de n'importe quel site à partir des enjeux environnementaux, sociétaux et économiques propres au développement durable. Pleinement engagé dans ses missions et ardent défenseur de la cause environnementale, Frédéric Frusta aime à le souligner : « En cohérence avec les exigences architecturales, fonctionnelles et techniques du programme, nos équipes sont ainsi en mesure de guider l'architecte sur l'organisation du plan-masse, l'orientation du bâtiment sur la parcelle ou encore de proposer des morphologies de bâtiments et des typologies de façades visant à faciliter l'obtention de performances durables en accord avec l'économie du projet et les nouvelles organisations hospitalières ». Capable de valider la pertinence des solutions architecturales retenues par des modes de projection et de calcul détaillés, dynamiques et rigoureux, l'expertise environnementale permet également d'orienter l'ensemble des solutions techniques utilisées par tous les partenaires de l'équipe de maîtrise d'œuvre tout en veillant au respect des autres objectifs performantiels du projet.

Nécessaire dès la lecture du programme et la découverte du site, un dialogue soutenu entre l'architecte et l'ingénieur doit perdurer avec constance et fluidité tout au long du processus de conception, voire de réalisation du projet.

Il serait impossible selon Frédéric Frusta « d'imaginer une complémentarité basée sur un dialogue permanent et des échanges interactifs avec une confiance réelle et réciproque entre tous et notamment avec les équipes architecturales ».

Fort de ces témoignages, la pluridisciplinarité basée sur une communication étroite entre architecte et ingénieur permet ainsi d'intégrer très en amont, la question du développement durable comme un moteur créatif, économique et technique au service du projet. L'appréhension globale des projets hospitaliers expérimentée par l'agence MBA (l'architecte) et le bureau d'études OASIIS (Expert en performance environnementale) trouve ici sa raison d'être et sa motivation en associant étroitement les outils intellectuels (questionnements, concepts) avec des outils techniques d'analyse et de mesure (logiciels, calculs) permettant à l'architecte et l'ingénieur d'analyser et de diagnostiquer autant que d'imaginer et de proposer.

## Secteur hospitalier : les cibles environnementales

### L'aéroulque du site

L'étude de l'aéroulque du site constitue l'un des éléments structurants du plan-masse. Elle permet notamment :

- d'identifier le potentiel de recours à la ventilation naturelle pour le traitement du confort thermique estival (en métropole) ou en toute saison (en zones chaudes) ;
- de prévenir les déperditions thermiques par l'effet convectif sur les façades des bâtiments ;
- de déterminer les zones à risques pour les conditions de confort des espaces extérieurs (parvis, terrasses, zones de détente, zones de dépose) et d'anticiper les dispositifs de protections nécessaires.

Selon les objectifs recherchés, différents niveaux d'approche sont nécessaires :

- la simple prise en compte de la rose des vents annuelle,
- les roses des vents mensuelles afin d'en identifier les variations saisonnières,
- les études de simulation numérique du vent (CFD) permettant d'évaluer les effets de l'environnement urbain sur les écoulements d'air observés sur la parcelle,
- les études de simulation numérique du vent (CFD) permettant d'évaluer les impacts du projet sur les écoulements d'air sur et autour des bâtiments,

### La question de l'ensoleillement et des orientations

L'étude de la course du soleil et de l'ensoleillement des façades d'un bâtiment permet d'identifier les problématiques spécifiques à un site et faire évoluer l'implantation et la morphologie du projet. Elle permet également de vérifier les phénomènes de masques liés à l'environnement urbain ou aux reliefs topographiques, générés par le bâtiment sur lui-même, ou provoqués sur les bâtiments alentour. Elle permet également, sur la base d'une étude spécifique de l'efficacité des dispositifs de protections solaires envisagés, de maîtriser l'évolution des températures et les besoins de rafraîchissement dans les différents espaces.

### La lumière naturelle

Les simulations de l'éclairage naturel nous permettent de contribuer activement à la mise en forme des morphologies et des enveloppes architecturales. Le dimensionnement des patios et les choix relatifs au positionnement des surfaces vitrées sur les façades et à leur dimensionnement, en y associant l'impact des dispositifs de protection solaires, sont évalués. Ces études visent à optimiser le confort visuel des occupants à l'intérieur d'un bâtiment, et à limiter les consommations électriques liées à l'éclairage artificiel. Ces études, très interactives avec celles des protections solaires, nécessitent de nombreuses itérations croisées afin de déterminer les équilibres optimaux entre efficacité des protections solaires et accès à la lumière naturelle.

### L'hydrologie et la gestion des eaux

La prise en compte du cycle de l'eau, et plus généralement la gestion des eaux au sens large, représente l'un des aspects environnementaux majeurs du secteur hospitalier. En effet, les risques d'inondation provenant des bassins-versants et de l'environnement immédiat du projet, la gestion des eaux pluviales issues de l'imperméabilisation de la parcelle, les divers besoins en eau froide et eau chaude sanitaires, et enfin les différentes typologies d'eaux usées générées par l'hôpital sont autant d'aspects qui conditionnent tant le parti d'implantation du projet que les partis techniques.

Les notions d'infiltration et de rétention des eaux pluviales à la parcelle, de plus en plus contraignantes en milieu urbain, de récupération d'eaux pluviales ou autres (osmoseurs) pour les usages non sanitaires externes au bâtiment, de maîtrise des consommations d'eau sanitaire, et enfin la question cruciale des eaux usées (hors pollution spécifique tel que laboratoires, morgue, médecine nucléaire...) dont la charge médicamenteuse et en termes de micropolluants reste souvent sous silence, structurent les réponses conceptuelles et conditionnent l'impact global de l'hôpital sur cette ressource de plus en plus précieuse que devient l'eau.

### Le traitement des déchets

L'hôpital est un grand producteur de déchets de toutes catégories (DAOM, DASRI, DEEE, déchets spéciaux [cytotoxiques, mercuriels, pièces anatomiques...]).

L'organisation de la collecte à la source, le parcours des déchets dans l'hôpital, les lieux de stockage intermédiaires et finaux, les modes de transports et les dispositifs de traitement terminaux (banaliseuse, incinérateur) impactent fortement les flux logistiques, dont la mutualisation des systèmes reste un enjeu économique et fonctionnel fort dans un projet hospitalier.

Par ailleurs, l'introduction progressive du numérique dans les organisations et process hospitaliers, qui renforce à terme la production des D3E et l'émergence des systèmes de transport pneumatique lourd, implique de nouvelles réflexions et perspectives, en lien avec la transition énergétique et l'utilisation des déchets en nouvelles ressources.

### Les confort

Les notions de confort (hygrothermique, visuel, acoustique, olfactif), à destination des patients mais également des personnels soignants, trop souvent oubliés ces dernières décennies, sont en grande partie traitées par l'architecture bioclimatique développée en amont. Elles sont complétées par les choix des modes d'émission de chaleur et de froid, qui conditionnent le ressenti des utilisateurs, ainsi que les dis-

positifs d'éclairage artificiel et de traitement d'air appropriés. Le confort acoustique reste quant à lui une notion plus indépendante qu'il convient d'appréhender avec soin, en tenant compte des spécificités hospitalières (interférence avec le type de revêtement de sol pour les bruits d'impact, les typologies de portes intérieures pour les bruits aériens...).

### La qualité de l'air

La qualité de l'air est l'une des notions cruciales intrinsèques au milieu hospitalier. Son influence sur les maladies nosocomiales en est la source, et se trouve parfaitement traitée pour tout ce qui relève des locaux à risque infectieux sévères (Classes 3 et 4).

Cependant, elle mérite une attention particulière pour maintenir une qualité suffisante dans les locaux classés en risques minimales et moyens, tout en veillant à l'impact énergétique induit par le renouvellement d'air choisi (consommations de chauffage de froid) et le niveau de filtration (consommations d'électricité). Les multiples orifices d'admission d'air neuf et d'extraction d'air vicié nécessaires aux activités hospitalières méritent à ce titre une étude spécifique de positionne-

## Principales références hospitalières MBA/OASIIS

Abomey-Calavi (Bénin)	CHU
Lens	Nouvel Hôpital
Nouméa	Médipôle
Périgueux	CH
La Réunion	CH
Montpellier	CHU
Chambourcy	CHI
Guadeloupe	CH Le Raizet
Limoges	CHU Dupuytren 2
Martinique	Nouvelle cité hospitalière Mangot-Vulcin

ment relatif et d'ordonnement vis-à-vis des vents dominants observés sur le site. La qualité de l'air est également en lien direct avec les polluants internes aux locaux, provenant notamment des matériaux de revêtement utilisés (murs, sols, plafonds, mobiliers), sous forme d'émissions de COV, de formaldéhydes ou d'agents CMR.

## MBA et OASIIS, un duo d'experts hospitaliers

De la France à l'Afrique, aux territoires caribéens et au Pacifique, l'agence MBA et le bureau d'Expertise en Performance Environnementale OASIIS cultivent un partenariat actif depuis 20 ans qui leur a permis de concevoir plus de 20 établissements hospitaliers de référence. Ensemble, ils développent des concepts originaux, innovants et durables pour des programmes hospitaliers de différentes échelles, souvent complexes. Basée sur une forte prise en compte du contexte social, économique et environnemental local, Michel Beauvais et Frédéric Frusta partagent la même philosophie dans une complémentarité sans faille unissant l'architecte et l'ingénieur.

© Photographies Sergio Grazia  
 © Schémas techniques OASIIS  
 © Images 3D Michel Beauvais Associés

<https://architecturemba.com>  
<https://www.OASIIS.fr>

### Les choix énergétiques et la récupération des énergies fatales

Grands consommateurs d'énergie, les centres hospitaliers sont soumis à des choix structurants en matière de source énergétique et de mode de production qui impactent significativement leurs budgets d'exploitation et leur dépendance à l'augmentation galopante et volatile des coûts de l'énergie.

La valorisation des énergies fatales provoquées par les activités hospitalières, le recours aux énergies renouvelables locales, et un choix rigoureux du mix énergétique assurant à la fois performance et sécurité d'approvisionnement, constituent les objectifs vertueux vers lesquels tout établissement doit désormais se tourner.

### Biophilie et biodiversité

La biophilie participe significativement au bien-être des usagers, qu'ils soient patients, personnels soignants, administratifs et techniques ou visiteurs, et renforce indirectement le cadre des guérisons et le moral des soignants. Par ailleurs, la situation souvent urbaine des hôpitaux et leur étendue foncière, en font l'une des typologies de construction tertiaires les plus à même de participer à la réintroduction de la biodiversité dans la ville, en lien avec le paysage.

La convergence de ces vertus provoque une nécessaire prise en compte de ces deux notions, en rapport avec les moyens et ressources dont disposent les établissements en termes d'entretien. ■



Photographie © Sergio Grazia

ZONE CARIBÉENNE

## Guadeloupe, centre hospitalier de gérontologie du Raizet

### Le projet

Le centre hospitalier gérontologique du Raizet s'est engagé dès sa phase de programmation en 2005 dans une action volontaire et affirmée en matière de préservation de la planète et d'accompagnement de la transition énergétique, pionnière à l'échelle des territoires ultramarins, qui a permis d'adopter dès la genèse du projet les principes du développement durable. Située à proximité de l'agglomération des Abymes sur l'île de Grande-Terre, la construction de cet établissement a été réalisée dans un territoire tropical humide considéré comme sensible aux risques d'insalubrité. Le projet présente cependant des équipements sanitaires parfaitement adaptés aux patients fragiles capables de leur offrir des conditions agréables de soins et de confort en utilisant notamment les ressources naturelles renouvelables locales.

Le bâtiment s'inscrit sur un terrain se caractérisant par une grande linéarité (750 m x 130 m) qui oriente la composition d'ensemble. Organisé en village autour d'une voie piétonne, le projet présente une répartition claire entre les différents secteurs d'hébergement Alzheimer, Ehpad, soins de suite et de réadaptation fonctionnelle. Les éléments naturels comme les alizés et le soleil sont ici les composantes du vocabulaire architectural. L'organisation en « maisonnées » s'inspire de l'habitat créole et s'articule autour de 12 bâtiments dont 8 destinés à l'hébergement.

Le recours aux énergies renouvelables locales comme le vent, le soleil et la pluie sont des facteurs puissants de la démarche HQE qui a été engagée. Ce positionnement vertueux, main-

#### Programme

275 lits Ehpad + Alzheimer  
+ SSR + réadaptation  
fonctionnelle  
30 800 m<sup>2</sup> SDO  
Livraison 2016  
Loi MOP

#### Maître d'ouvrage

Centre hospitalier de  
gérontologie du Raizet

#### Équipe MOE

Michel Beauvais Associés,  
architecte mandataire  
BET : Egis Bâtiment, Hauss,  
Edeis,  
Économie 80, économie  
pour les études  
Agence TER, paysage  
OASIS, HQE  
(Certification HQE)

Fiche technique

tenu jusqu'à l'achèvement du projet a été récompensé par l'obtention de la certification NF HQE Bâtiments tertiaires du référentiel relatif aux établissements de santé (mention Excellent) pour les phases de programmation, conception et réalisation. Le centre hospitalier de gérontologie du Raizet est le premier établissement de santé ultramarin à s'être engagé dans cette certification.

Il s'agit également d'une opération exemplaire en matière d'utilisation des énergies et ressources renouvelables à l'échelle nationale, voire mondiale.

### La gestion de la ressource solaire

Le parti général des bâtiments relève d'une conception bioclimatique (**Figure 2**) permettant de se protéger des effets néfastes du soleil :

- larges débords de toitures tenant compte de la course atypique du soleil (7 mois au sud, 5 mois au Nord),
- isolation thermique des parois extérieures
- faible coefficient d'absorption solaire des toitures.

Il permet de limiter les charges de rafraîchissement, et prépare les conditions du développement de techniques efficaces en matière de maîtrise du confort hygrothermique.

La forte disponibilité de la ressource solaire a également permis l'installation d'une climatisation solaire, et de diverses stations de production d'eau chaude sanitaire solaire. Véritable utilisation durable de cette ressource locale abondante, en phase avec les besoins de rafraîchissement, la climatisation solaire ne présente pas d'impact environnemental et permet de supprimer

des coûts d'exploitation importants qui pèsent sur le budget de fonctionnement des établissements de santé, notamment en milieu ultramarin.

Elle est constituée de 924 m<sup>2</sup> de capteurs solaires tubulaires sous vide regroupés sur les toitures des bâtiments de la zone logistique (**Figure 3**), qui permettent de produire une eau chaude supérieure à 88 °C. Cette eau chaude alimente ensuite soit directement, soit au travers d'un stockage de 30 m<sup>3</sup>, quatre machines à absorption d'une puissance totale de 420 kW frigorifiques. L'énergie dégradée en sortie des machines à absorption est évacuée via deux tours de refroidissement fermées, positionnées en extrémité du site, sous les alizés.

Cette installation fonctionne au gré de la disponibilité du soleil



Figure 2 - Voie piétonne et débords de toiture

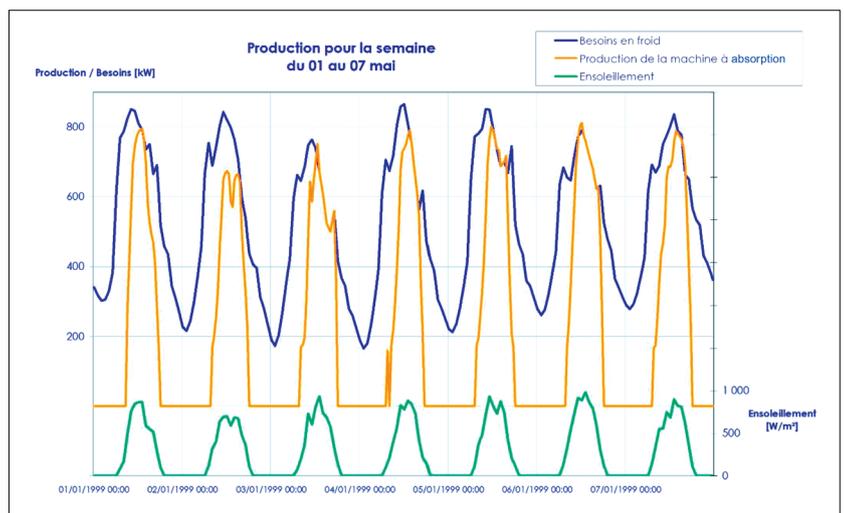


Figure 4 - Couverture horaire des besoins frigorifiques par la climatisation solaire



Figure 3 - Climatisation : capteurs solaires sous vide

et intervient en priorité sur l'installation de production frigorifique à compression qu'elle complète (**Figure 4**).

L'objectif est de couvrir environ 25 % des besoins frigorifiques annuels du site, correspondant à une consommation électrique de plus de 270 MWh, permettant ainsi d'éviter l'émission annuelle de 210 tonnes eqCO<sub>2</sub>.

Les unités de production d'ECS solaire, installées sur chaque maisonnée, permettent de couvrir plus de 60 % des besoins d'eau chaude sanitaire du site. Leur conception, qui place le circuit solaire comme un primaire de chauffage totalement séparé du circuit sanitaire par un échangeur thermique, prévient de tout risque de développement de légionnelles lié à la variabilité des niveaux de température propres aux dispositifs solaires.

### L'exploitation des alizés

Profitant de la conception bioclimatique préalable permettant de limiter les effets des agressions solaires sur les températures intérieures, les alizés sont ici exploités en association avec une ventilation mécanique pour assurer le confort hygrothermique des occupants au moyen d'un système de « ventilation mécanique assistée naturellement » ou VMAN (**Figure 5**).

Il s'agit d'un dispositif de rafraîchissement, sans production de froid, qui exploite la vitesse résiduelle de l'air autour des occupants pour leur « arracher » de l'énergie et créer une sensation de fraîcheur. L'air est soufflé aux conditions extérieures (chaudes et humides) au travers de micro-buses judicieusement positionnées avec une vitesse et un angle d'incidence



Figure 5 - Façade Ouest - Hébergement avec varangue équipée de ventelles

permettant le maintien de vitesses résiduelles entre 0,8 et 1,2 m/s dans les zones d'occupation (**Figure 6**).

Les admissions d'air des ventilations mécaniques des 3 maisons abritant les unités d'Ehpad bénéficiant de ce système, ont été positionnées sur les pignons Est des maisons exposées aux alizés (**Figure 7**), dont les coefficients de pression ont été validés sur la base d'une étude aérodynamique CFD complexe. (**Figure 8**). Elles bénéficient d'un large cône de captation et de concentration des alizés, capable d'augmenter la pression en amont du ventilateur, et ainsi de soulager son travail et réduire ses consommations électriques.

### La récupération des eaux pluviales

Avec une pluviométrie qui dépasse 1,75 m de précipitations par an en Guadeloupe, l'exploitation rationnelle de l'eau de

pluie a été un facteur important de la performance environnementale du site d'autant plus que le terrain est traversé par une ravine assurant le drainage naturel des sols.

Le dispositif utilisé s'est appuyé sur :

- un système de récupération des eaux pluviales dimensionné pour couvrir :
  - 80 % des besoins en arrosage du site,
  - 60 % des besoins des tours de refroidissement de la climatisation solaire;
- une limitation délibérée du débit de fuite de 5l/s/ha permettant de restreindre de manière responsable les rejets d'eau pluviale dans la ravine afin de limiter les risques d'inondation et l'importante imperméabilisation du site et des terrains situés en aval. ■

Figure 7 - Capteurs d'alizés en pignon de combles



Figure 6 - Principe de la VMAN dans les chambres

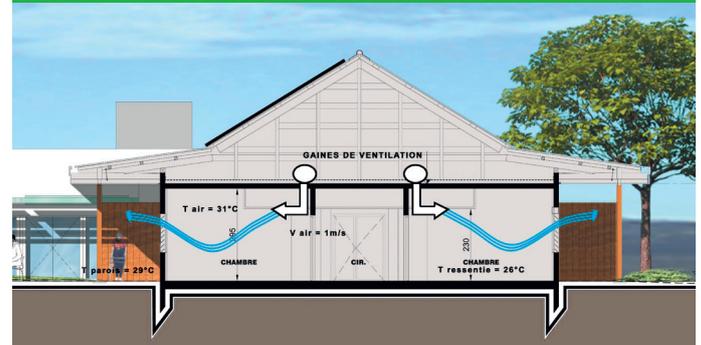


Figure 8 - Orientation des alizés





Photographie © Sergio Grazia

ZONE PACIFIQUE

## Nouméa, Nouvelle-Calédonie, le médipôle de Koutio

### Le projet

Le médipôle de Koutio s'affirme comme une cité sanitaire regroupant sur un site unique le nouvel hôpital territorial (les pôles de médecine, chirurgie, obstétrique, les plateaux techniques), l'institut Pasteur, le centre de cancérologie et de médecine nucléaire, les logistiques. Face à l'océan Pacifique, le nouvel équipement s'inscrit dans un environnement qui a inspiré les composantes du vocabulaire architectural des bâtiments. Composé principalement d'un grand bâtiment polyblocs, plusieurs éléments caractérisent ici la convergence entre le parti fonctionnel et la tradition culturelle calédonienne : un hall d'accueil (grand faré) s'ouvre sur le jardin remarquable (jardins des traversées) qui s'oriente en continu vers les hébergements et les plateaux techniques. Dans ce site protégé par un lagon inscrit au Patrimoine de l'humanité et où la protection de la biodiversité apparaît comme une priorité, le développement durable a été considéré comme une composante essentielle dans la conception architecturale et technique du bâtiment et dans sa modélisation du projet. Si la certification HQE a provoqué un réel impact sur la préservation de l'environnement avec la protection de la biodiversité et le maintien de la mangrove, elle aura également permis aux Calédoniens d'acquérir de nouvelles compétences en matière de construction. Avec cette démarche vertueuse, le médipôle s'affirme comme un hôpital environnemental et le premier bâtiment tertiaire certifié HQE en Nouvelle-Calédonie.

### Programme

Centre hospitalier territorial + Institut Pasteur + Centre de cancérologie  
645 lits MCO  
88 000 m<sup>2</sup> SDO  
Livraison 2016  
Loi MOP + Dialogue compétitif pour attribution des marchés travaux

### Maître d'ouvrage

Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie

### Équipe MOE

Michel Beauvais Associés, architecte mandataire  
Archipel Ollivier Dalla Vecchia, architecte associé  
Artelia, ITCE et ECEP, BET  
Économie 80, études  
OASIIS, BET HQE

Fiche technique

### Une architecture bioclimatique

Compte tenu de la latitude du lieu (22° Sud), la course du soleil n'est pas tout à fait symétrique par rapport aux saisons. La majeure partie de l'année, la course du soleil se trouve clairement au Nord, alors que durant le mois de juin, elle s'établit légèrement au Sud, tout en restant très voisine de la verticale (**Figure 2**). Il en résulte que les dimensions des protections solaires doivent être adaptées à cette absence de symétrie, puisque le soleil est beaucoup plus bas au Nord, lors du solstice d'été, qu'au Sud, lors du solstice d'hiver.

La conception des unités d'hébergement dotées de coursives extérieures et de débord de toiture tient compte de cette particularité locale. Ainsi, un dispositif de brise-soleil judicieusement dimensionné anime les façades et se répartit selon les

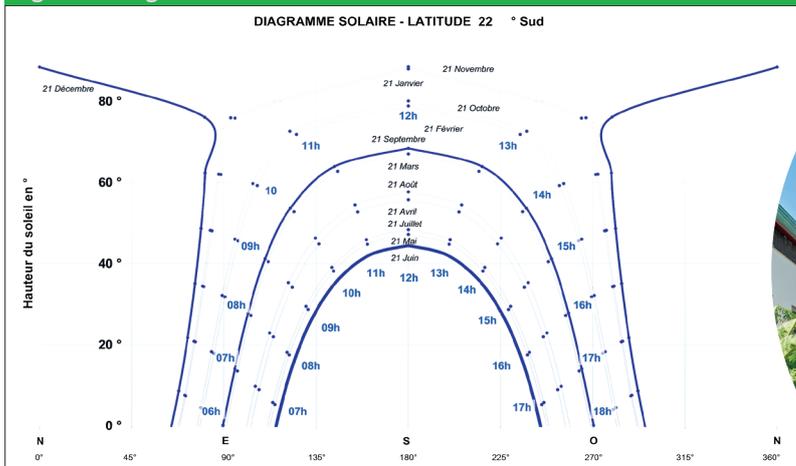
sollicitations solaires auxquelles elles sont soumises :

- débords de toiture et coursives extérieures (**Figure 3**) dimensionnées pour produire des ombres portées couvrant la totalité des vitrages en façade Nord-Est (angle de 45° Sud par rapport à l'horizontale au solstice d'été) et en façade Sud-Ouest (angle de 88° Nord par rapport à l'horizontale au solstice d'hiver) ;
- coursives extérieures complétées en façade Sud-Ouest par des panneaux brise-soleil fixes formant ventelles (**Figure 4**), capables d'assurer une protection très efficace en fin d'après-midi lorsque le soleil vient frapper la façade de manière agressive. Ils sont positionnés en décalage des baies vitrées afin de préserver les vues sur le lagon, et de ménager un accès généreux à la lumière naturelle (**Figure 5**).

### La ventilation naturelle

La Nouvelle-Calédonie est soumise à un régime général d'alizés, vents dominants de secteur Est à Sud-Sud-Est, soufflant de façon régulière. Ils sont générés par l'anticyclone permanent de l'Île de Pâques et celui de la mer de Tasman. En effet, les vents supérieurs ou égaux à 5 m/s dont la direction est comprise entre les secteurs 80° (Est-Nord-Est) et 140° (Sud-Est), représentent 58 % des observations, soit 212 jours par an, essentiellement placés en saison chaude. L'exploitation de ce régime aéraulique nous a conduits à positionner le hall d'accueil principal du CHT (le Grand Faré) dans l'axe moyen des alizés, afin d'en permettre une ventilation naturelle aisée, et d'éviter tout traitement thermique actif. Des ventelles réglables sont ainsi disposées en partie médiane et haute de la grande façade vitrée Est, ainsi que sur la façade opposée, permettant le balayage naturel du volume (**Figure 6**).

Figure 2 - Diagramme solaire de la Nouvelle-Calédonie



### Le confort hygrothermique

Afin d'offrir un niveau de confort hygrothermique acceptable sans nécessiter une climatisation au sens strict du terme, et donc provoquer des coûts d'investissement et d'exploitation importants, nous avons choisi, en accord avec le maître d'ouvrage, de traiter l'ensemble des hébergements au moyen d'une distribution d'air neuf rafraîchi à 20 °C, dont les débits ont été adaptés local par local (Figure 7), en fonction des charges thermiques reçues, notamment selon sa typologie (chambre 1 lit ou 2 lits), son orientation et sa position altimétrique (sous toiture, prise en compte des masques).

Une simulation thermique dynamique horaire globale du bâtiment a été nécessaire, et a permis d'apprécier pièce par pièce le niveau de confort hygrothermique obtenu au moyen du diagramme de Givoni, où l'on peut observer le nombre d'heures en dehors du polygone de confort.

### La qualité de l'air

Au-delà des débits hygiéniques nécessaires à chaque typologie d'espace, une étude détaillée a été menée sur le positionnement relatif, et l'ordonnancement de l'ensemble des prises d'air neuf et rejets d'air vicié, en fonction du régime de vent dominant, de manière à éviter toute possibilité de recirculation d'air (Figure 8).

### La biodiversité : préservation de la mangrove et de l'avifaune

Dans le but d'améliorer la biodiversité du site, la préservation et l'amélioration de sa qualité écologique, et notamment celle de la mangrove, s'est imposée comme l'un des axes importants du projet. Sur la base d'un diagnostic floristique détaillé, elle s'est traduite par l'éradication de toutes les espèces envahissantes repérées sur la zone d'étude, préalablement aux plantations, tout

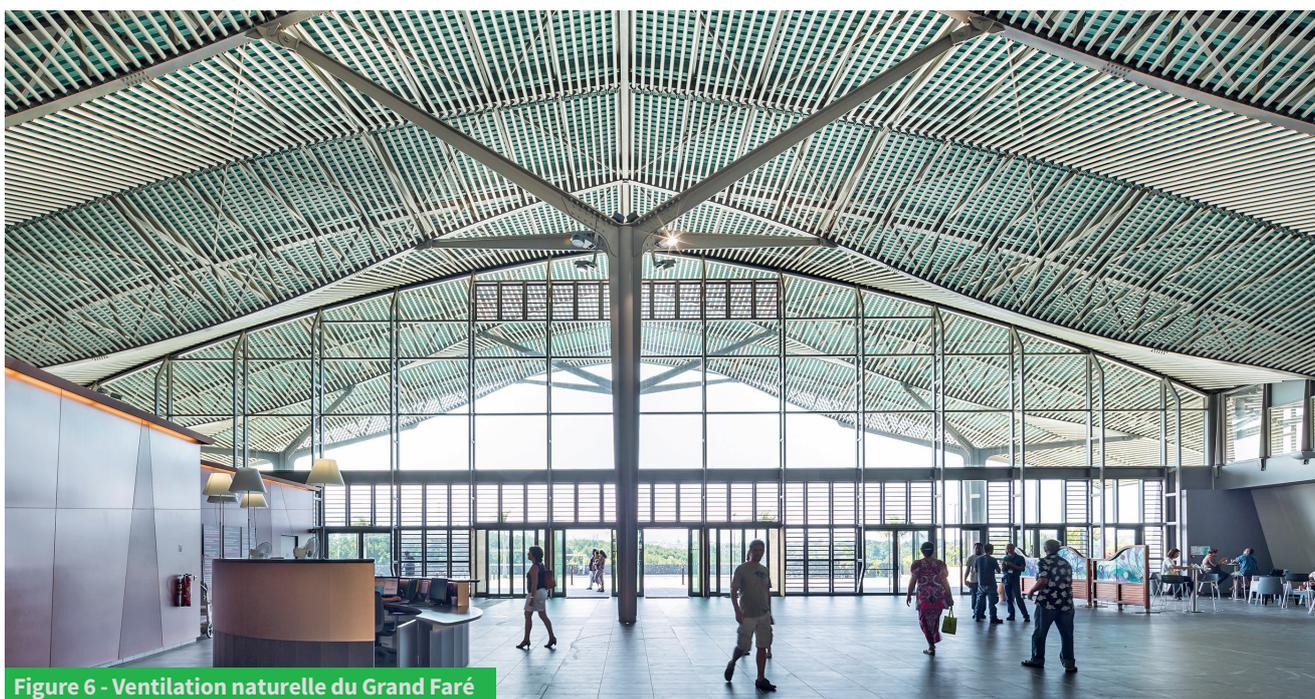
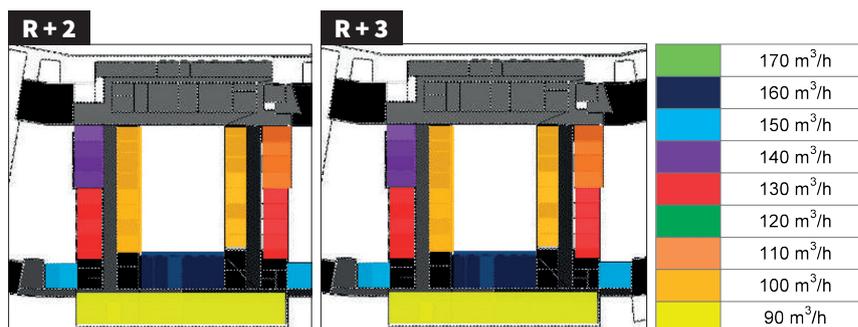


Figure 6 - Ventilation naturelle du Grand Faré

Photographie © Sergio Grazia

Figure 7 - Simulation thermo-dynamique des débits d'air rafraîchi selon la localisation des chambres



en préservant les espèces remarquables. La re-végétalisation des surfaces sur 2,2 ha en milieu ouvert et sous-bois par 2633 plants sur l'ensemble de la zone est perceptible sur la vue aérienne. Les rejets des eaux pluviales, prévus directement dans la mangrove, ont été l'objet d'une étude spécifique de manière à multiplier et répartir les points de rejet, afin d'éviter les phénomènes de désalinisation locale de l'eau, néfastes à la faune aquatique. Enfin, l'ensemble du projet d'éclairage extérieur du site est conçu afin de préserver l'avifaune, et notamment les pétrels, très sensibles à la température de couleur des lampes utilisées.

### La récupération des eaux osmosées

Les dispositifs mis en œuvre pour la production d'eau osmosée destinée au service d'hémodialyse permettent de récupérer environ 40 m<sup>3</sup>/jour d'eau de qualité suffisante pour assurer une partie des besoins où la potabilité n'est pas absolument exigée. Ainsi, cette eau, normalement perdue, est stockée dans une cuve appropriée et réutilisée afin de procéder à l'arrosage journalier des espaces verts du médipôle.

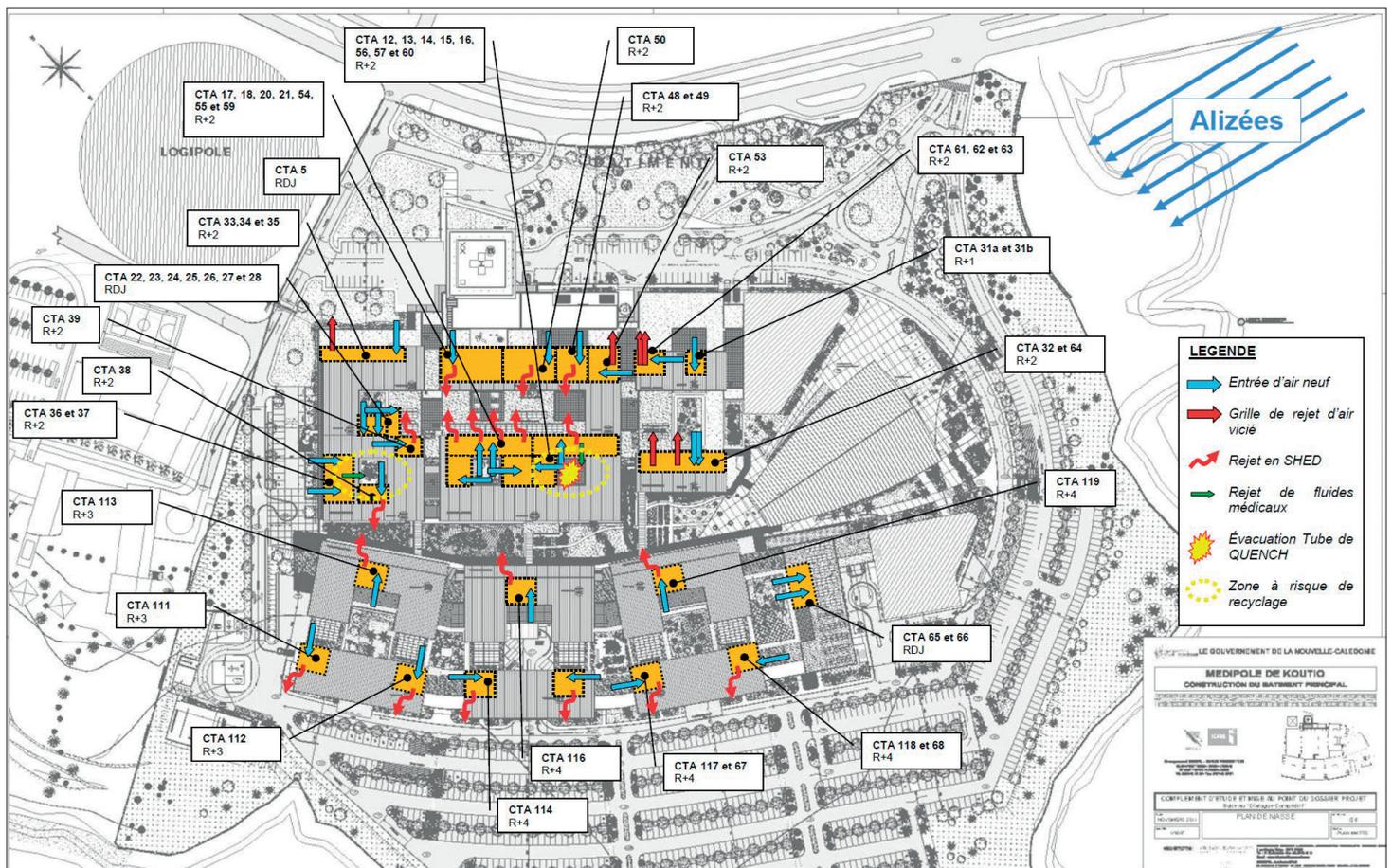


Figure 8 - Positions relatives des admissions et rejets d'air selon le vent dominant





3D © Michel Beauvais Associés

ZONE AFRIQUE

## République du Bénin, Abomey Calavi, centre hospitalier universitaire

### Le projet

Le gouvernement de la République du Bénin a confié à l'agence Michel Beauvais Associés le soin de concevoir le futur centre hospitalier universitaire (CHU) d'Abomey Calavi situé dans l'agglomération de Cotonou à l'extrême sud du Bénin. Afin de développer l'offre sanitaire existante, le CHU complète l'hôpital de zone actuel lui faisant face. Ensemble, les deux établissements auront vocation à former un groupe hospitalier d'envergure à l'image des GHT du territoire français.

Sur un terrain de 15 ha, ce projet d'envergure se caractérise par sa dimension spatiale et une volumétrie volontairement basse et séquencée s'insérant dans les formes d'urbanisation du quartier. L'hôpital s'affirme ainsi par son identité, par la prise en compte des dimensions sociales et culturelles de la population et par son insertion dans le développement urbain de la ville. L'établissement promet au pays tout entier une offre de soins performante adossée à une activité d'enseignement. La conception architecturale et technique du CHU tient compte des contraintes climatiques de la région. Le Centre Hospitalo-universitaire d'Abomey-Calavi constituera par sa taille le premier établissement public de santé du pays et un établissement hospitalier universitaire de référence pour le Bénin et l'ensemble du continent africain.

### L'architecture bioclimatique, axe structurant du CHU...

Le sud du Bénin dispose d'un climat équatorial avec deux saisons sèches et deux saisons des pluies qui enregistrent des pré-

#### Programme

Service d'urgences,  
plateau technique,  
hospitalisation,  
Médecine nucléaire et  
imagerie, funérarium.  
Pôle enseignement avec  
amphithéâtre  
434 lits  
40 856 m<sup>2</sup> SDO  
Commande de gré à gré

#### Maître d'ouvrage

Gouvernement de la  
République du Bénin

#### Équipe MOE

MBA, mandataire  
conception  
Bouygues Bâtiment  
International,  
mandataire réalisation  
Egis International, BET  
Claire Planson, ingénieure  
biomédicale  
OASIIS, BET HQE  
Livraison 2023

Fiche technique

cipitations annuelles comprises entre 800 mm et 1 200 mm. Les températures moyennes sont constantes (26 à 29 °C), les précipitations abondantes et l'humidité élevée.

Dès la phase de conception du bâtiment, les recherches en matière bioclimatique se sont rapidement imposées afin de poser les bases de l'obtention d'ambiances climatiques agréables et pérennes.

Compte tenu de la latitude du site très proche de l'équateur (6,4° N), la course du soleil est presque symétrique par rapport à la verticale. La majeure partie de l'année (de septembre à mars), la course du soleil se trouve au sud, avec une hauteur solaire minimale de 60°, alors que durant les cinq autres mois (d'avril

à août), elle s'établit au nord, avec une hauteur minimale de 75°. Il en résulte que les dimensionnements des protections solaires sur les façades correspondantes sont à peu près identiques. Par ailleurs, autour des équinoxes (mars/avril et août/septembre), le soleil reste alternativement à l'est toute la matinée, puis à l'ouest toute l'après-midi en passant brièvement à la verticale lors du midi solaire. Il en résulte que les expositions Est et Ouest sont particulièrement soumises à des contraintes solaires très sévères durant ces périodes.

Ainsi, toutes les orientations de façade méritent de recourir à une protection solaire adaptée, principalement composée de débords horizontaux sur les façades nord et sud, et de protections réparties sur la hauteur pour les orientations est et ouest. **(Figure 2).**

La conception des unités d'hébergement conduit ainsi à une implantation donnant une grande majorité de chambres orientées Sud et Nord. Elles sont toutes dotées de persiennes fixes à lames horizontales orientables en métal extrudé, placées à l'extérieur et réparties sur la hauteur des vitrages **(Figure 3)**. Côté Ouest, une coursive générale extérieure, protégée d'une toiture avec débord, permet l'accès visiteurs aux unités d'hébergement, et laisse pénétrer le vent au travers des claustras qui la délimite. En accord avec les capacités réduites de maintenabilité locales des équipements, seule l'orientation manuelle des lames des persiennes est proposée afin de maîtriser les vues, la pénétration de la lumière naturelle et l'efficacité solaire selon les conditions météorologiques et d'usage.

### L'exploitation des régimes de vent sur le site

L'idée générale est de vérifier si l'exploitation des vents dominants sur le site permet de procéder à la ventilation naturelle de certaines catégories de locaux, afin de décharger thermiquement le bâtiment, voire d'apporter directement le confort thermique sans traitement actif.

Pour cela, une modélisation aérodynamique du site, avec l'implantation et la morphologie du bâtiment a été réalisée, avec l'exploitation de la rose des vents locale (Cotonou).

Ces calculs permettent d'observer la trajectoire et la répartition des vitesses de vent au travers du projet en fonction de la direction et la vitesse des vents dominants, qui s'établissent sur le site de secteurs Sud-Ouest à Sud-Sud-Ouest.

Il en résulte que la configuration du terrain, assortie des contraintes fonctionnelles et des contraintes d'accès, conduisant à l'implantation et la morphologie du bâtiment, n'est pas très favorable à l'exploitation du potentiel aérodynamique du site.

Cependant, nous avons identifié la possibilité de laisser pénétrer les vents dominants dans les jardins au travers de la coursive extérieure d'accès aux hébergements, afin d'alimenter de manière aérodynamique les ouvertures placées en redent de façade des unités d'hébergement. Le but étant de faciliter la ventilation naturelle des circulations internes des unités d'hébergement, afin de décharger thermiquement ces espaces. Ce potentiel est utilisé pour faciliter la ventilation naturelle des circulations **(Figure 4)**.

Figure 2 - Protections solaires multiples : débords, ventelles extérieures, moucharabiehs



### Le confort hygrothermique dans les espaces intérieurs

L'association des études aérauliques du site, des exigences de maîtrise des conditions d'ambiances en fonction des zones fonctionnelles, de notre volonté de proposer un établissement performant du point de vue énergétique, et enfin des capacités locales de maintenance des équipements techniques, nous a amenés à déterminer trois catégories de traitement permettant d'atteindre les niveaux de confort souhaités en fonction des typologies d'espaces :

- **Les zones climatisées**, dotées de systèmes complexes de conditionnement d'air, correspondent aux zones classées en risque 3 et 4.
- **Les zones rafraîchies**, telles que les consultations, les salles de soins, les postes de surveillance, les chambres VIP, les bureaux médicaux, les espaces administratifs... où la température sera maintenue à une consigne de 26 °C avec un glissement potentiel de manière à maintenir un écart de -5 °C avec l'extérieur.
- **Les zones ventilées**, telles que les chambres d'hébergement standards, ne disposent pas de système de rafraîchissement actif. Le confort sera cependant assuré par la maîtrise des surchauffes obtenue via l'architecture bioclimatique, la ventilation des circulations intérieures permettant de décharger thermiquement le cœur des services, et la mise en œuvre de brasseurs d'air capables de provoquer une agitation de l'air intérieur qui déplace le polygone de confort en ambiance chaude, en fonction de la vitesse résiduelle de l'air au contact des usagers (Figure 5).

Ainsi, selon la vitesse de rotation du brasseur d'air, la plage de confort est assurée. Le brasseur d'air étant à l'arrêt lors des périodes plus fraîches (Figure 6).

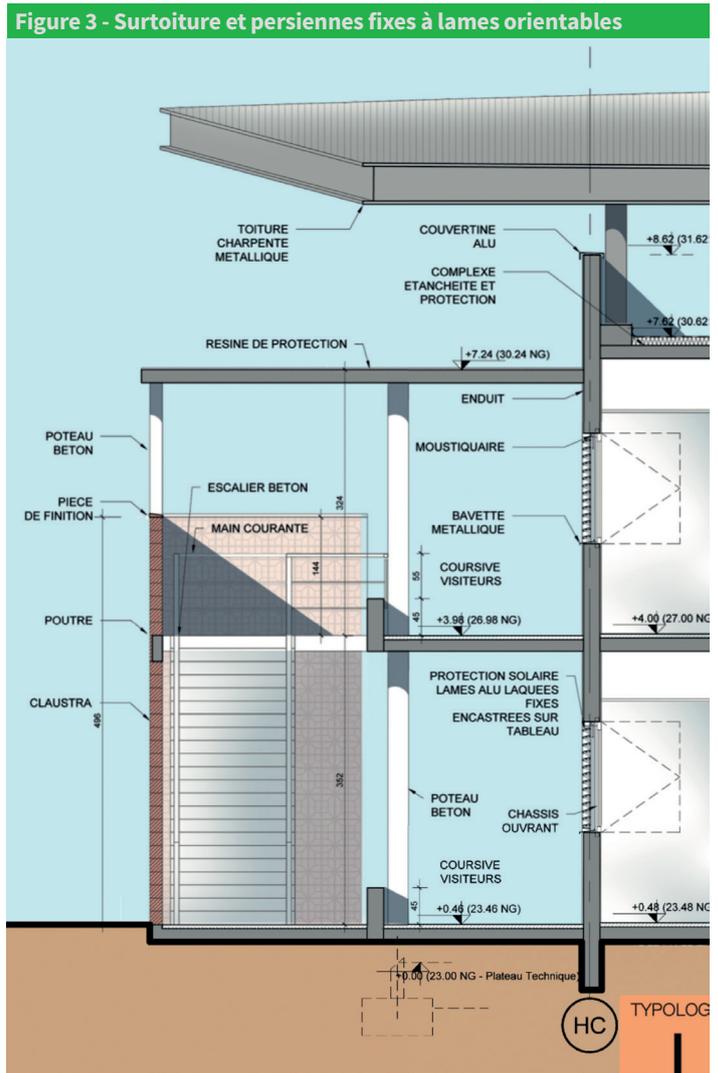
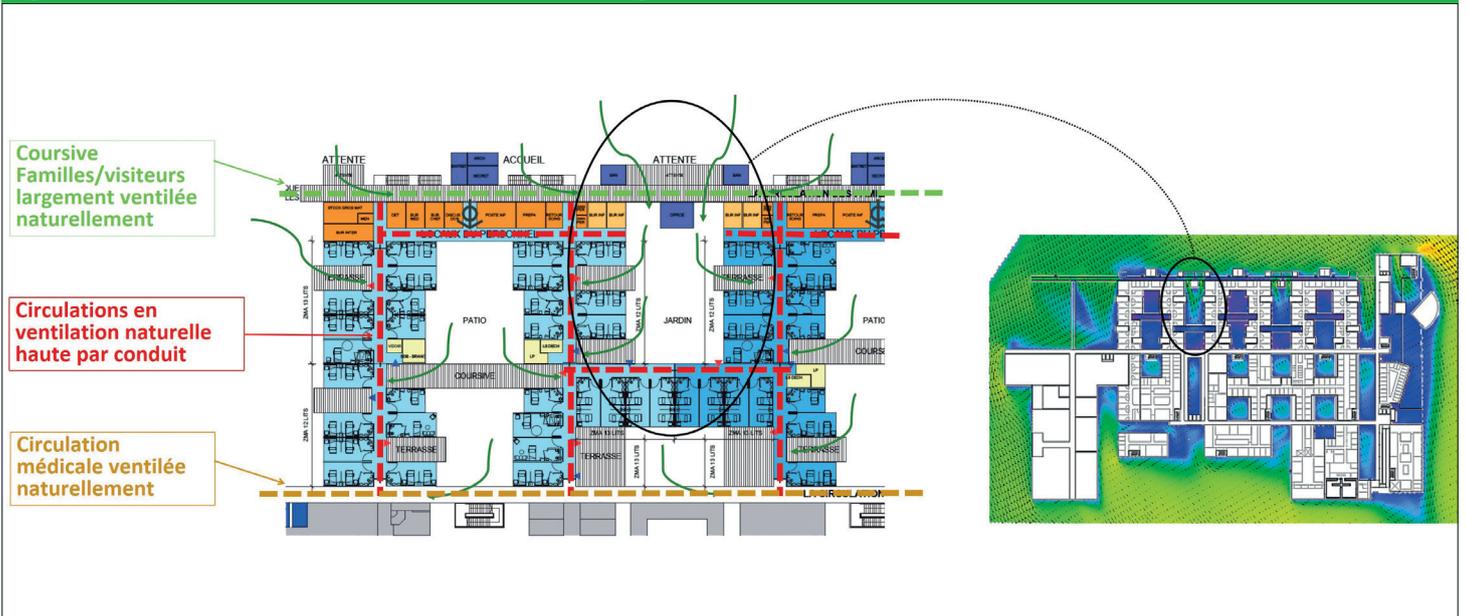


Figure 4 - Concept de ventilation naturelle des unités d'hébergement



**Un traitement des eaux usées par phyto-épuration**

L'eau potable et l'assainissement constituent des sujets préoccupants au Bénin. La rareté de l'eau potable et le coût du m<sup>3</sup> distribué, largement subventionné par l'État, invite à la maîtrise des consommations et à l'utilisation des eaux pluviales pour les usages non sanitaires qui le permettent.

Par ailleurs, l'état précaire du réseau d'évacuation des eaux usées et l'approximative capacité des installations collectives de traitement (STEP) à générer une qualité acceptable de l'eau en sortie, nécessitent une grande attention quant à la gestion des effluents, notamment hospitaliers.

Outre un dispositif de récupération classique des eaux pluviales pour les usages externes et non sanitaires de l'eau, le projet propose ainsi pour la gestion des eaux usées, un dispositif de filtres plantés de roseaux d'origine locale pour l'épuration (FPR), comparable en termes de qualité de traitement à une STEP industrielle issue de la filière classique, complétée par une zone de rejet végétalisée (ZRV) pour la finition. La ZRV peut, en partie aval, également servir de bassin de rétention et d'infiltration des EP.

**Le potentiel photovoltaïque**

Le principal potentiel renouvelable du site est sans conteste le rayonnement solaire.

Compte tenu de notre volonté de limiter et de simplifier les actions de maintenance et de privilégier les systèmes simples et robustes, nous avons proposé d'orienter la réflexion sur la valorisation du potentiel solaire vers le photovoltaïque.

Le potentiel solaire des toitures a ainsi été cartographié, afin de déterminer les zones les mieux exposées (Figure 7).

Nous comptabilisons environ 16 000 m<sup>2</sup> de surfaces exposées entre 90 % et 100 % du temps au rayonnement solaire direct autorisant une productivité photoélectrique d'environ 260 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Ainsi, la surface totale disponible avec une efficacité solaire maximale pour l'installation photovoltaïque permettrait de couvrir entre 70 et 80 % des consommations annuelles prévisionnelles du CHU. Compte tenu du contexte général de l'indépendance énergétique du Bénin, de la sécurité d'approvisionnement à l'échelle du Pays, de l'absence d'outils de production électrique, et des consommations électriques importantes et atypiques que va engendrer l'exploitation de l'établissement, le recours au photovoltaïque constitue une opportunité exceptionnelle qu'il conviendra de développer ultérieurement, notamment dans un cadre de financement complémentaire. ■

Figure 5 - Polygone de confort selon vitesse résiduelle d'air

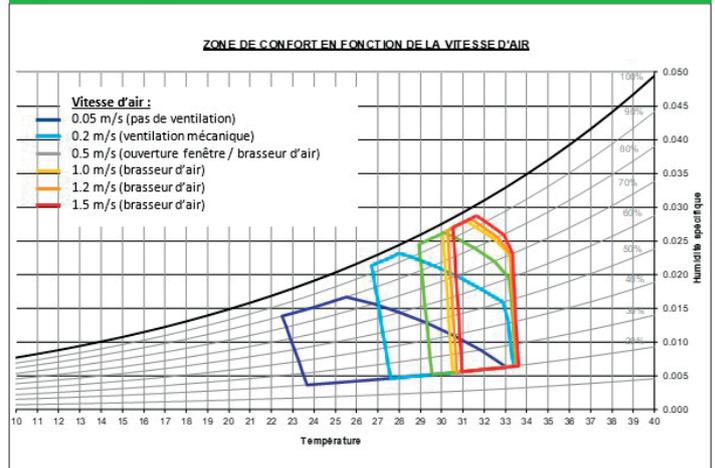


Figure 6 - Plages de confort hygrothermique selon l'action du brasseur d'air

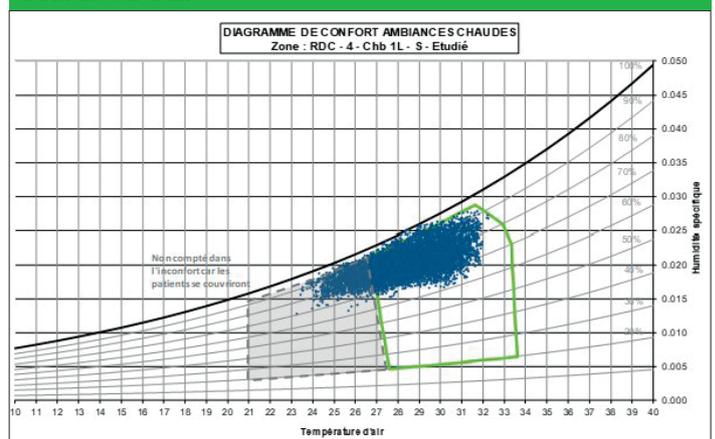


Figure 7 - Étude du potentiel solaire annuel des toitures

