REALISATION D'UN BATIMENT A ENERGIE POSITIVE A L'ILE DE LA REUNION. PRESENTATION D'UNE NOUVELLE APPROCHE DE LA CONCEPTION EN PHASE ETUDE.

François Garde[1], Alain Bastide[1], Dalila Bentaleb[1], Alihamada Fakra[1]
Eric Ottenwelter[2], Eric Pothin[2], Nejia Ferjani[2]
[1]Laboratoire de Physique du Bâtiment et des Systèmes, Université de La Réunion.
[2]Bureau d'études Imageen, Technopole de La Réunion, Ile de La Réunion.

RESUME

Ce papier présente un projet de bâtiment universitaire à énergie positive à l'Ile de La Réunion. L'objectif est de réaliser un bâtiment consommant deux fois moins d'énergie qu'un bâtiment standard. La méthodologie a porté sur des exigences définies dès la phase programme sur la conception thermique et les systèmes. Les innovations portant sur la conception architecturale du bâtiment, sur les performances des systèmes et sur les simulations numériques sont présentées. Les toitures photovoltaïques intégrées au bâtiment assurent la production de l'énergie électrique qui permettra au bâtiment de produire plus d'énergie qu'il n'en consomme.

INTRODUCTION

Le contexte énergétique de l'lle de La Réunion

L'Ile de La Réunion, à l'instar de l'ensemble des milieux insulaires, rencontre l'éternel problème de la réponse des moyens de production à la demande énergétique. Ceux-ci arrivent de plus en plus difficilement à répondre à l'appel de puissance de l'île provenant à 87% du secteur du bâtiment. La croissance est de l'ordre de 7 % par an, aussi bien en puissance qu'en énergie. Pour le moment, l'absence de réglementation thermique autorise la construction de bâtiment tels que celui représenté par la figure 1.

Figure 1: Un contre-exemple parfait en matière de conception thermique de bâtiment en climat tropical. La façade vitrée sans protection est une façade Est.

Les institutions publiques telles que le Conseil Régional encouragent heureusement la construction de bâtiments à haute qualité environnementale. Le Conseil Régional a par ailleurs financé une planification énergétique à l'échelle de La Réunion baptisée le PRERURE[1] dont l'objectif final est d'atteindre l'autonomie énergétique de La Réunion en 2025 (Lopez, 2000). Les conclusions de l'étude portent entre autre sur le développement de la maîtrise de l'énergie –ie MDE et une planification de diverses énergies renouvelables.

L'Université de La Réunion et la MDE

L'Université de La Réunion connaît à son échelle les même problèmes que l'Ile de La Réunion en général, à savoir, une croissance énergétique similaire, des problèmes de MDE récurrents et un patrimoine immobilier énergivore. Le ratio de consommation énergétique est égal à 165 kWh par an et par mètre carré de surface utile (kWh/an/m²SU). Ce ratio comprend la climatisation, ses auxiliaires et l'ensemble des autres usages (principalement parc informatique et éclairage). La facture d'électricité 2004 est de l'ordre de 560 k€ dont 40% est dû à la climatisation. L'Université a mis en place depuis cinq ans une politique énergétique de MDE. Nous allons dans ce papier présenter la méthodologie adoptée pour les bâtiments neufs et illustrerons nos propos en présentant le projet de bâtiment à énergie positive.

METHODOLOGIE ET OBJECTIFS

Les objectifs énergétiques que nous nous fixons à l'horizon 2020 sont ceux fixés par le protocole de Kyoto, à savoir diminuer d'un facteur 4 les émissions de gaz à effet de serre et donc la consommation des bâtiments. La figure 2 représente les ratios énergétiques actuels, ceux fixés pour les bâtiments universitaires neufs optimisés et ceux fixés pour le bâtiment à énergie positive, l'objectif étant d'atteindre en 2020 un ratio de 40 kWh/an/m² SU.
Le principe de base de notre méthodologie est d'essayer atteindre les conditions de confort thermique et visuel par des solutions passives. La

[1] Plan Régional sur les Energies Renouvelables et l'Utilisation Rationnelle de L'Energie.

climatisation et l'éclairage artificiel doivent être utilisés en dernière limite. Pour se faire, l'ensemble des bâtiments neufs de l'université doit respecter un certain nombre de critères de qualité portant sur différents points concernant le bâtiment, à savoir :

- L'environnement autour du bâtiment ;
- La conception thermique et aéraulique ;
- Les systèmes et équipements techniques ;
- La maîtrise et le suivi des énergies.

Ces critères de qualité sont énoncés dans une note MDE intégrée dans le programme de construction du bâtiment. Plus récemment, les bâtiments doivent également respecter des prescriptions contenues dans l'outil PERENE (Garde 2005). Le programme PERENE –ie PERformance Energétique des Bâtiments, est un programme qui préfigure un projet de réglementation thermique dans les DOM pour les bâtiments tertiaires. En effet, devant la lenteur des pouvoir publics à mettre en place une réglementation, même minimale, dans le domaine du bâtiment, les professionnels locaux ont décidés de mettre en place un outil d'aide à la conception appliqué à la fois au résidentiel et au tertiaire, permettant de bien concevoir un bâtiment quelle que soit la zone climatique de l'Ile (Garde 2005). Des objectifs de puissance installée et de consommation énergétique sont indiqués. L'outil est opérationnel depuis 2004 et est actuellement en phase d'expérimentation.

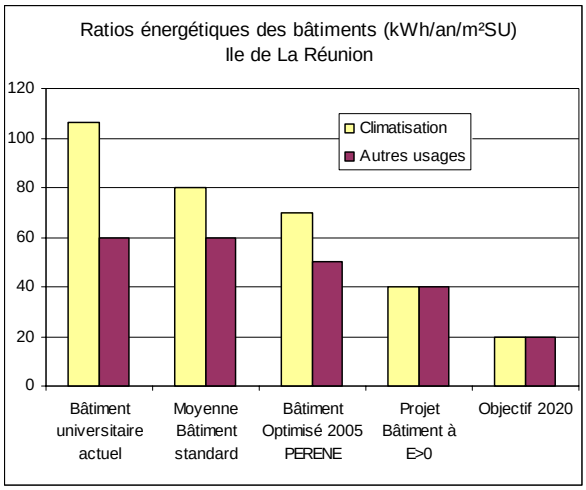

Figure 2 : Objectifs de ratio énergétiques.

Le projet de bâtiment à énergie positive fait partie des bâtiments retenus lors de cette phase d'expérimentation. Il est également prévu que ce projet obtienne le label Greenlight pour l'éclairage. Ce label européen récompense les bâtiments bien conçus en terme d'éclairage artificiel et naturel. Les objectifs clairement affichés sont de faire de ce bâtiment la référence dans les Départements d'Outre Mer français en terme d'optimisation énergétique.

LE PROJET DE BATIMENT A E>0

Le projet est composé de quatre petits bâtiments parallèles les uns aux autres. Les façades principales sont orientées Nord et Sud (voir Figure 3). Les deux bâtiments situés au Nord vont accueillir une formation de Services et Réseaux de Communication de niveau bac +2 et les deux autres bâtiments plus au sud une formation en master Génie Civil de niveau ingénieur.

Les typologies de locaux sont :

- des bureaux pour les deux départements situés au RdC des bâtiments latéraux ;
- des salles dites banalisées pour l'enseignement des travaux dirigés –ieTD ;
- des salles informatiques.

Figure 3 : Vue 3D du bâtiment. L'azimut des façades Nord est de -14°Est/Nord géographique..

La répartition des surfaces utiles par type de salle est donnée par le tableau 1. On note que 47 % de la surface utile est climatisée. Il s'agit d'une exigence du programme dans la mesure où nous exigeons que les salles de TD ne soient pas climatisées. A charge aux concepteurs de trouver les solutions passives pour atteindre un certain niveau de confort.

Tableau 1 : Répartition des surfaces utiles par typologie de salle

Locaux	Surfaces climatisées	Surfaces non climatisées
Bureaux départements	401 m²	
Salles informatiques	423 m²	
Salles banalisées		401 m²
Autres		512 m²
Sous Total	**824 m² (47%)**	**913 m²(53%)**
Total surface utile	**1737 m²**	

RESULTATS ET DISCUSSION : CONFORT THERMIQUE

Objectifs :

Comme nous l'avons dit précédemment, l'objectif est de réduire voire d'annuler la période de climatisation. Les bâtiments standards ont une période de climatisation qui peut durer toute l'année. En moyenne, celle-ci dure sept mois (de début octobre à mi mai). Pour atteindre cet objectif, l'environnement autour du bâtiment, la conception

thermique et aéraulique ont une importance primordiale.

Environnement autour du bâtiment

Le programme de construction ainsi que PERENE imposent une végétalisation périphérique d'au moins 3 mètres de large autour du bâtiment, ceci pour éviter que l'air s'échauffe et pénètre dans les locaux lorsque ceux-ci fonctionnent en ventilation naturelle. Les figures 3 et 4 montrent que ce point est respecté. Par ailleurs, les orientations des façades principales nord-sud limitent les apports solaires sur les pignons est et ouest. De plus, celles-ci sont perpendiculaires aux brises thermiques soufflant en saison chaude. La ventilation des locaux est donc optimisée.

Figure 4 : Vue des façades nord (protections solaires en lame de bois) et ouest (bardage tôle et bois).

Conception thermique de l'enveloppe

PERENE et le programme du bâtiment fixent des valeurs de facteur solaire pour les parois opaques et les vitrages. Le projet respecte ces valeurs de facteur solaire à ne pas dépasser. Les solutions techniques pour atteindre les valeurs PERENE sont les suivantes :

- Toiture : isolation de 9 cm de polystyrène sur la dalle avec une surtoiture ventilée.
- Mur et vitrages nord et sud: Débord de toiture, coursives et brises soleil déportés en lames de bois fixées sur des supports obliques en acier galvanisé.

Concernant l'optimisation des brises soleil, leur modélisation est quasiment impossible avec des codes de simulation thermique classiques. Pour toutes les façades, le nombre de lames, leur espacement et leur angle a donc été déterminé à l'aide d'une reconstitution du bâtiment en 3D sous Autocad. La figure 6 montre l'efficacité des protections solaires sur une façade Nord pour une journée du mois d'avril. L'objectif in fine est d'avoir une protection totale pendant les horaires d'enseignement (de 8h à 17h) pour les façades nord jusqu'au 30 avril et pour les façades sud durant le mois de décembre.

Conception aéraulique

Le principe de base en climat tropical est d'avoir des locaux traversants,-ie d'avoir deux façades opposées donnant sur l'extérieur, avec un niveau de porosité supérieur à 20%. Ce principe est imposé dans le programme de construction. Ainsi, toutes les salles d'enseignements sont traversantes avec un niveau de porosité supérieur à 30% assuré par des menuiseries de type jalousies qui ont l'avantage de pouvoir réguler les flux d'air, mais qui sont également anti-cyclonique et anti-effraction. De ce fait, les locaux peuvent continuer à fonctionner en ventilation naturelle la nuit et être rafraîchis par ventilation nocturne. Grâce à ce principe, on peut atteindre des niveaux de renouvellement d'air compris entre 40 et 100 vol/h et des vitesses intérieures de 1 $m.s^{-1}$ pour des vitesses de vent de l'ordre de 2 $m.s^{-1}$.

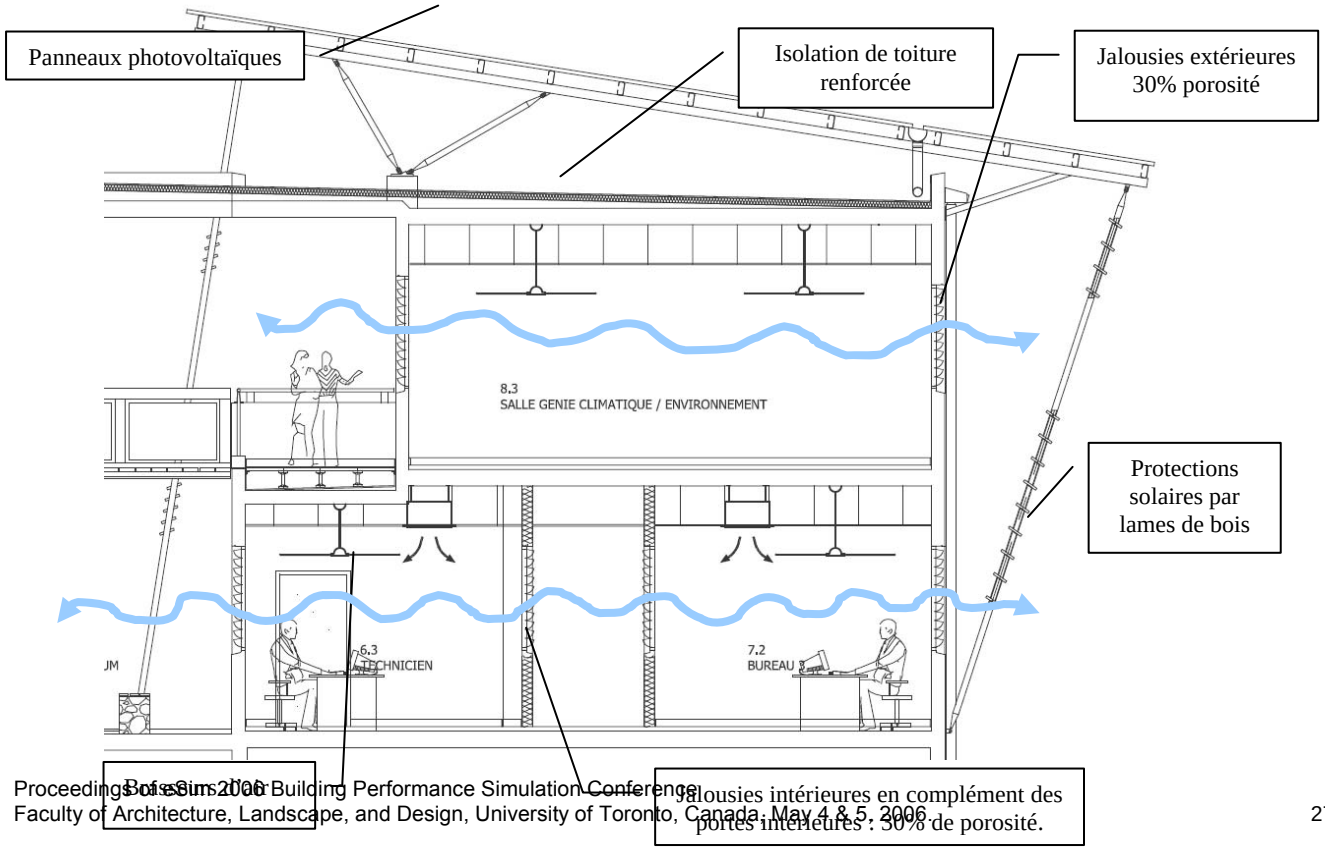

Figure 5 : Solutions techniques retenues pour la conception thermique et aéraulique du bâtiment.

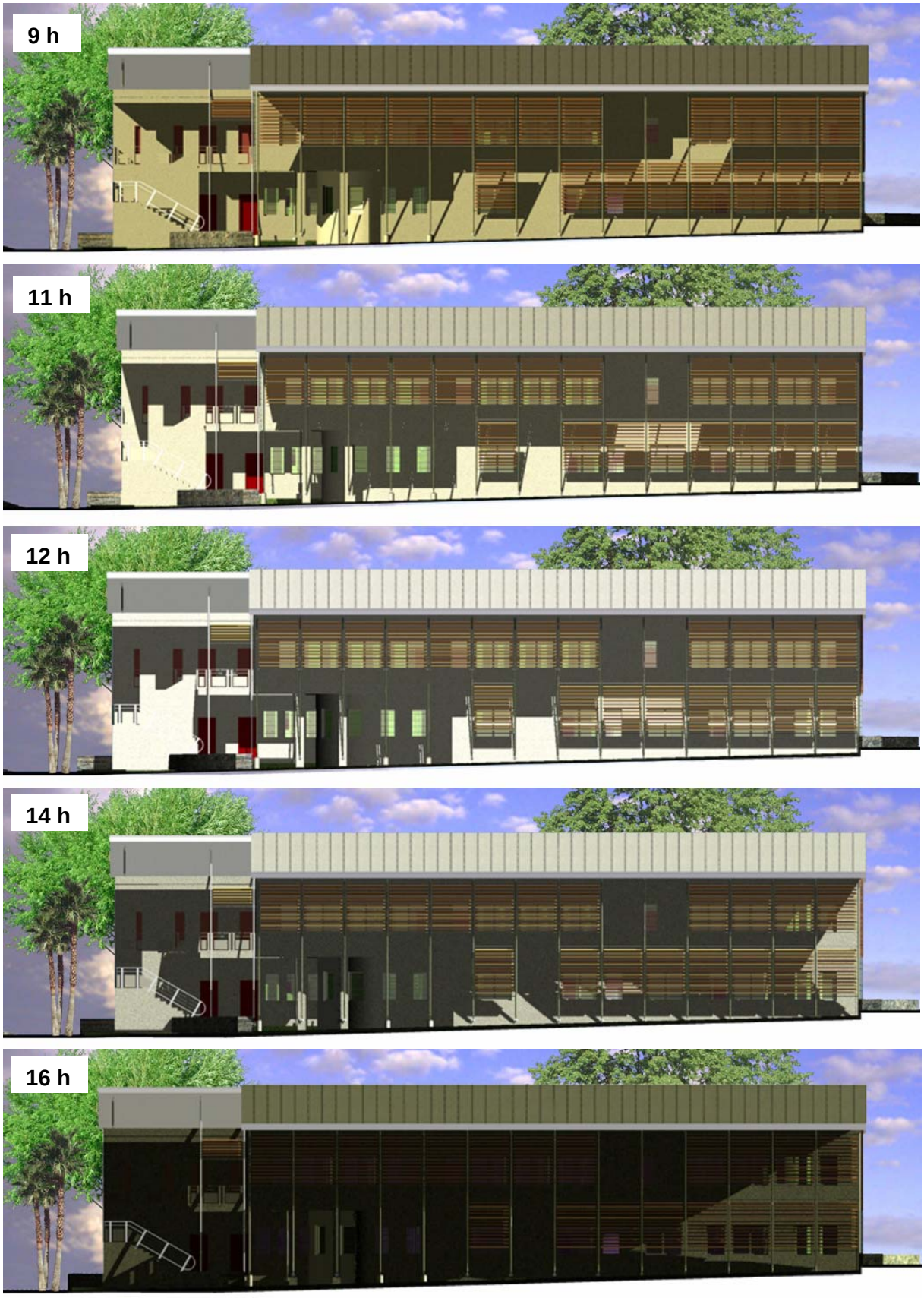

Figure 6 : Simulation de l'efficacité des protections solaires de la façade Nord du bâtiment Nord à différentes heures d'une journée du mois d'avril : 9h 11h, 12h 14h 16h. Les ouvertures sont à l'ombre quelque soit l'heure.

La conception des bureaux est plus problématique car, comme le montre la figure 5, nous sommes dans une configuration standard avec un couloir central qui dessert les bureaux. L'originalité du projet est d'avoir prévu des jalousies intérieures en verre sablé qui favorisent et assurent une meilleure répartition de l'écoulement de l'air intérieur. Ceci permet d'avoir une porosité intérieure de 30 %. Enfin, une autre innovation est d'avoir prévu des brasseurs d'air dans toutes les salles y compris dans les locaux climatisés. Ceux-ci assurent le complément de vitesse d'air pour les jours sans vent et permettent d'avoir une période de transition avant la période de climatisation active (voir Figures 5, 11 et 12).

Simulations en régime dynamique

Les simulations en régime dynamique ont pour objectif de prédire les différentes périodes de fonctionnement : ventilation naturelle, brasseurs d'air et climatisation active. Elles ont été menées par les chercheurs de l'université en collaboration avec le bureau d'étude thermique. Le code utilisé est un code de simulation thermique et aéraulique pouvant, à l'aide d'un modèles de grandes ouvertures en pression, modéliser l'effet de la ventilation naturelle sur le confort thermique. Le modèle utilisé pour les transferts de masse est le modèle de Roldan détaillé dans (Boyer 1998). Le modèle considère un seul nœud d'air par pièce. La stratification est négligée. Les indices de confort choisis sont le diagramme de confort de Givoni et la température résultante T_{res}. La formule de T_{res} intègre la température d'air T_a et la moyenne des températures de parois T_{rm} pour une pièce ventilée naturellement ($T_{res} = 2/3.T_a + 1/3\ T_{rm}$). Les zones de confort permettent de connaître le pourcentage de points compris dans les différentes zones de confort (0 $m.s^{-1}$, 0,5 $m.s^{-1}$ et 1 $m.s^{-1}$ ainsi que le nombre d'heures d'inconfort. La température résultante permet d'avoir une idée des différentes périodes de fonctionnement. Le fichier météo utilisé est une année type au pas de temps horaire. Celle-ci a été reconstituée à partir d'une base de données incomplète mesurée sur site. La méthode de reconstitution est présentée dans (David 2005). La vitesse moyenne d'air intérieure est estimée à l'aide d'un coefficient de corrélation entre la porosité et la vitesse d'air extérieure provenant de (Allard 02). Ainsi, pour une porosité de 30 % et une vitesse de vent de 1,5 $m.s^{-1}$, nous avons des vitesses moyennes de 0,5 $m.s^{-1}$. Concernant la vitesse d'air avec les brasseurs d'air, des mesures sur site montrent que nous obtenons des vitesses supérieures à 1$m.s^{-1}$.
Les figures 7 et 8 montrent le résultat des simulations pour un bureau de 3 personnes. Concernant les charges internes, nous avons supposé que l'éclairage naturel est suffisant. Les ordinateurs ont une puissance de 200 W, ce qui est légèrement surestimé par rapport aux ordinateurs plus récents à écran TFT où la puissance moyenne est de 120 W. La figure 7 et le tableau 2 montrent que les couples température résultante/humidité sont à 89% compris dans l'ensemble des zones de confort pour la période du 1er octobre au 31 avril, ce qui correspond à la saison chaude. Les occupants auront donc une sensation d'inconfort 11 % du temps et principalement à partir du début de l'après midi. En nombre d'heures, cela représente 160 h. On peut donc imaginer un fonctionnement en ventilation naturelle le matin et passer en climatisation active l'après midi.

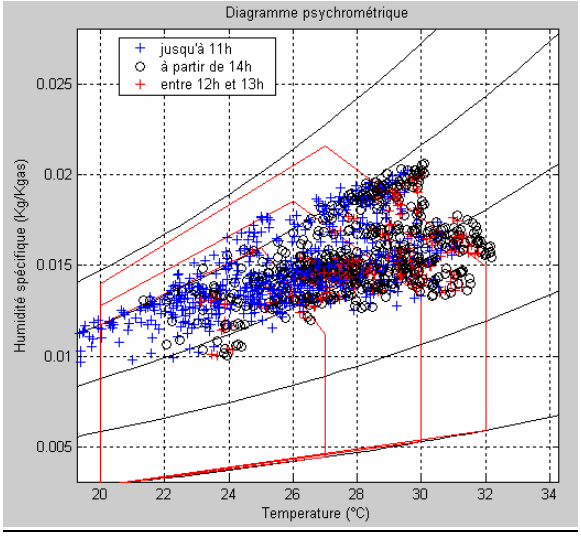

Figure 7 : Résultats des simulations pour un bureau pendant la saison chaude (1er octobre au 31 avril).

Les mêmes simulations ont été menées pour une salle de TD de 60 m² avec 40 étudiants et une salle informatique de 50 m² avec 20 étudiants et 20 PC. Dans chaque cas, on suppose que l'éclairage naturel est suffisant. Le tableau 2 synthétise les résultats. Bien évidemment, le pourcentage d'inconfort est le plus élevé pour la salle informatique. Le nombre d'heures d'inconfort –ie le nombre de points en dehors des zones de confort, est le double de celles du bureau. Ce nombre d'heures correspond à la durée de fonctionnement de la climatisation active.

Tableau 2 : Pourcentage de points situés dans les zones de confort et nombre d'heures inconfortables

	Bureau	**Salle TD**	**Salle info**
0 $m.s^{-1}$	24%	26%	23%
0,5 $m.s^{-1}$	38%	38%	36%
1 $m.s^{-1}$	27%	22%	23%
Total %	**89%**	**86%**	**82%**
Nbre d'heures inconfortables	160 h	270 h	335 h

La figure 8 permet, grâce à l'évolution annuelle de la température résultante, de prévoir les différentes périodes de fonctionnement : ventilation naturelle, brasseurs d'air, climatisation. La transition ventilation naturelle/brasseurs d'air s'effectue d'une part grâce à notre expérience et connaissance du site et du climat mais également sur le critère d'une

température résultante maximale moyenne supérieure à 28°C et enfin sur une étude de la transition des régimes de vents Alizés/brises thermiques. La transition brasseurs d'air/climatisation a été définie selon le critère d'une température résultante supérieure à 30°C. En effet, un occupant en activité du bureau habillé en tenue d'été commence à ressentir une sensation de chaleur au delà de 30°C avec une vitesse d'air de 1 $m.s^{-1}$. Rappelons que la température ressentie à cette vitesse est 4°C inférieure à la température résultante effective. Ainsi, nous voyons que pour un bureau la climatisation active n'est nécessaire qu'à compter de janvier. Le fonctionnement en brasseurs d'air est efficace jusqu'à la fin de l'année civile.

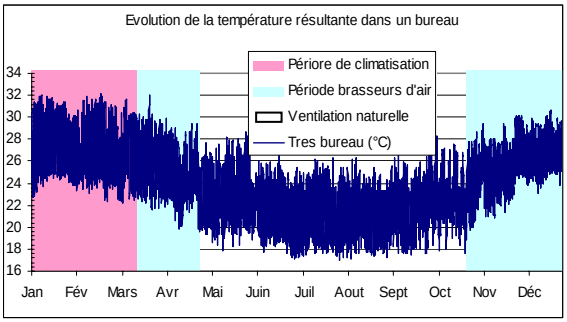

Figure 8 : Evolution de la température résultante dans un bureau pendant une année type.

La figure 9 synthétise les différentes périodes de fonctionnement définies grâce aux simulations dynamiques. Nous voyons que les espaces de bureaux sont climatisés pendant 1,5 mois et les salles informatiques pendant 3 mois (15 jours en décembre et de début février à mi avril).

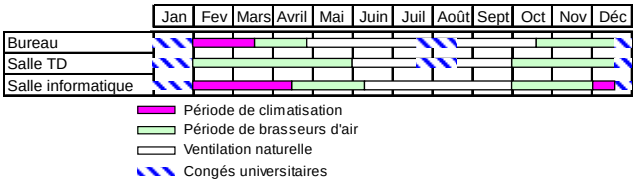

Figure 9 : Périodes de fonctionnement de la climatisation et des brasseurs d'air définies grâce aux simulations en régime dynamique

Ainsi, les consommations annuelles dues à la climatisation et aux brasseurs d'air ont pu être calculées. Au final, le bâtiment à énergie positive consommera quatre fois moins d'énergie électrique qu'un bâtiment standard avec un ratio énergétique de 17 kWh/an/m²SU pour le conditionnement d'air. Ceci comprend les groupes de froid et auxiliaires ainsi que les brasseurs d'air.

RESULTATS ET DISCUSSION
CONFORT VISUEL

Contexte et objectifs

De la même manière que le confort thermique, les conditions d'éclairage doivent pouvoir être atteintes par des moyens passifs, c'est-à-dire en éclairage naturel. Concernant l'éclairage artificiel, les normes françaises en matière d'exigence d'éclairement sur un plan de travail ont souvent tendance à surdimensionner les systèmes. Par exemple, les puissances installées sont souvent de l'ordre de 17W/m² pour un niveau d'éclairement mesuré de 700 lux, alors que 300 lux est largement suffisant. On se retrouve donc avec des bâtiments qui consomment deux fois plus d'énergie qu'il n'en faudrait. Le programme de construction et la note MDE imposent que la puissance électrique installée soit inférieure à 7 W/m². Nous allons voir que cet objectif peut être facilement atteint sans surcoût significatif.

Eclairage naturel

L'ensemble des salles a été classé par typologie et a fait l'objet de simulation sous un logiciel capable de simuler le niveau d'éclairage naturel. Ce logiciel est largement répandu dans les milieux des bureaux d'études (DIAL).

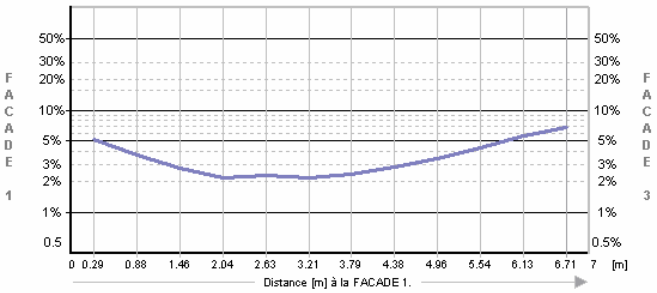

Figure 10 : Evolution du facteur de jour suivant une coupe d'une salle de TD à l'étage

La figure 10 par exemple montre l'évolution du facteur de jour par temps couvert pour une salle de classe située à l'étage. Pour avoir un niveau d'éclairement acceptable, le FJ doit être supérieur à 1,5%. Ce type de figure couplé aux résultats du tableau 3 nous montre que pour l'ensemble des pièces situées à l'étage, l'éclairage artificiel n'est pas nécessaire quel que soit le moment de l'année pendant les heures d'enseignement (de 8h à 17h).

Tableau 3 : Pourcentage de facteur de jour supérieur à 1,5% par typologie de local

Local	% surface pièce avec FJ ≥ 1.5%	FJ minimum (%)
Bureau RdC sur patio	60%	1.0%
Salle RdC sur patio	Entre 40 et 82%	1.2%
Salles en R+1	100%	1.6%

Les seuls locaux qui posent problème sont deux salles d'enseignement situés au RdC des deux bâtiments centraux. Des solutions sont actuellement à l'étude pour améliorer l'éclairage naturel, notamment de réduire ou de percer les dalles terrasse (voir figure 3). En terme de solution technique, les jalousies intérieures des bureaux qui sont utilisées pour la

ventilation naturelle jouent également le rôle de second jour dans le couloir (voir figures 5 et 11). Ainsi, les simulations ont montré que l'éclairage artificiel du couloir n'était pas nécessaire.

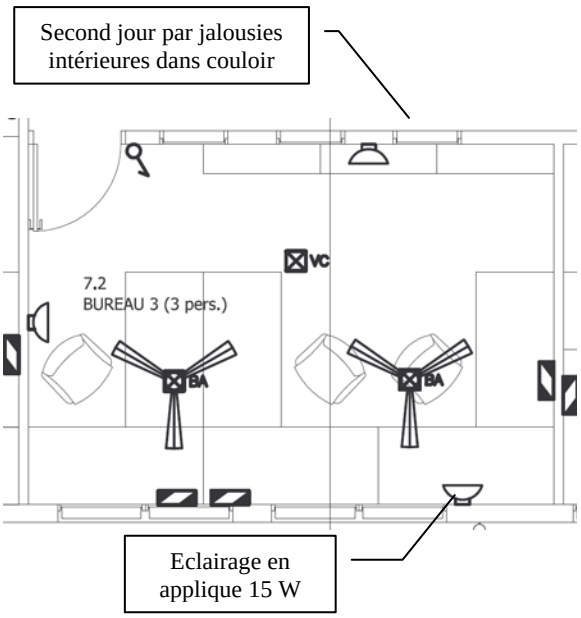

Figure 11 : Principes d'éclairage naturel (jalousies intérieures en second jour) et artificiel (appliques) pour un bureau.

Eclairage artificiel

Pour atteindre les objectifs de 7 W/m², l'ergonomie du bureau et des salles de cours a été repensée afin de tenir compte de la présence des brasseurs d'air et d'éviter tout effet stroboscopique sur le plan de travail. La législation française impose 425 lux d'éclairement moyen dans un bureau et 325 lux dans une salle d'enseignement. Notre démarche a consisté à respecter 400 lux au niveau des tables de travail mais nous avons estimé qu'ailleurs, un niveau d'éclairement de 100 lux était largement suffisant. De ce fait, comme le montre la figure 11, l'éclairage artificiel du bureau est constitué de 3 appliques en verre sablé avec des lampes basse consommation de 15 W chacune et de trois lampes de bureaux également en lampe basse consommation. La puissance installée et de 90 W/20 m², soit un ratio de 4,5 W/m². Un bâtiment standard aurait eu une éclairage de 3 pavés de 4x18 W, soit une puissance totale de 216 W et un ratio de 11 W/m². Concernant les salles de TD, le niveau d'éclairement exigé dans le programme est de 250 lux, soit 100 lux de moins que la législation. L'éclairage naturel assurera le complément exigé. De ce fait, en terme de solution technique, les pavés de 4x18 W habituellement utilisés ont été remplacés par des pavés de 2x24W avec ballast électronique. La puissance installée pour une salle telle que celle représentée par la figure 12 est alors de 8,4 W/m². Elle aurait été de 14 W/m² pour un bâtiment standard. La figure 12. Cette salle, à l'instar de l'ensemble des salles, est dotée d'un double allumage qui permet seulement d'allumer la trame centrale si l'utilisateur le désire au cas où le FJ soit trop faible. Bien évidemment, les solutions proposées ont fait l'objet de simulations afin de vérifier que les niveaux d'éclairement en éclairage artificiel étaient atteints. A l'échelle de l'ensemble du bâtiment, la puissance moyenne installée est de 7 W/m². Le ratio énergétique est de 5,5 kWh/an/m², contre 9,4kWh/an/m² pour un bâtiment standard.

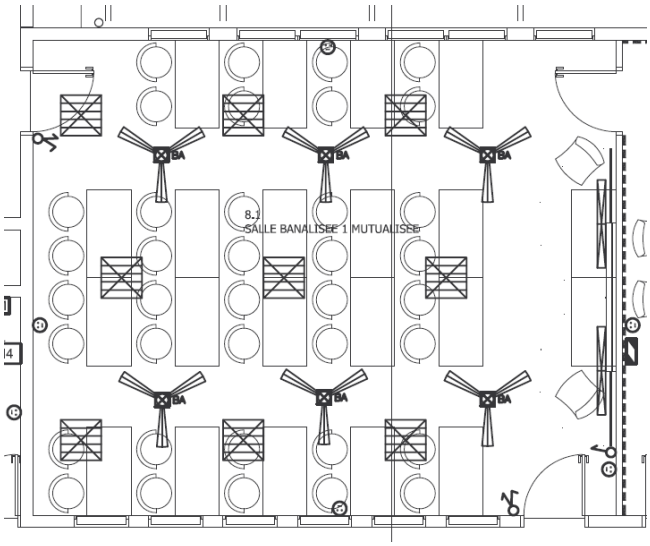

Figure 12 : Principes d'éclairage artificiel et calpinage des luminaires et brasseurs d'air pour une salle banalisée de 60 m².

RESULTATS ET DISCUSSION EQUIPEMENTS TECHNIQUES

Synthèse équipements techniques

Le programme de construction exige un niveau de performance minimal pour certains équipements techniques. Ainsi, la production de froid sera assurée par deux groupes monoblocs à compression scroll situés en toiture terrasse, de technologie différente afin de comparer leurs performances respectives :

- 1 groupe d'eau glacée pour le département SRC;
- 1 groupe VRV –ie volume variable de réfrigérant, pour le département GC.

Le VRV utilise un fluide frigorigène comme fluide caloporteur entre le groupe et les unités terminales. Il s'agit d'une technologie très peu répandue à La Réunion mais qui donne de très bonnes efficacités frigorifiques de l'ordre de 10. L'Eff est définie ici comme étant le ratio de la puissance frigorifique fournie sur la puissance électrique du groupe. Les Eff exigées dans le programme doivent être supérieures à 3 quelque soit le taux de charge. La puissance électrique de ces groupes est de 30 kW. Elle aurait été de 78 kW pour un bâtiment standard. Concernant l'éclairage artificiel, tous les luminaires utilisés sont de type fluorescent à basse luminance. L'éclairage extérieur sera assuré par des lampes sodium à haute pression. Les halogènes sont interdits. Les bureaux sont équipés de détecteurs de présence qui remontent

la consigne de climatisation à 27°C et coupent l'éclairage en cas d'inoccupation prolongée. Une gestion technique centralisée assure le contrôle et le suivi des énergies. La GTC permet d'avoir les consommations par type d'utilisation et de reconstituer la courbe de charge du bâtiment en temps réel. L'ensemble des solutions techniques performantes ainsi que la qualité thermique du bâtiment ont permis de réduire significativement l'appel de puissance du bâtiment. En tenant compte des foisonnements et des facteurs de simultanéité, nous arrivons à une puissance électrique appelée maximale de 51 kW. Elle aurait été de 94 kW pour le même bâtiment sans préconisations MDE. La figure 13 donne les ratios de consommation globaux et par type d'utilisation. On peut constater que le bâtiment va consommer 3 fois moins qu'un bâtiment standard avec un ratio total de 50 kWh/an/m². La consommation annuelle est de l'ordre de 87 MWh/an.

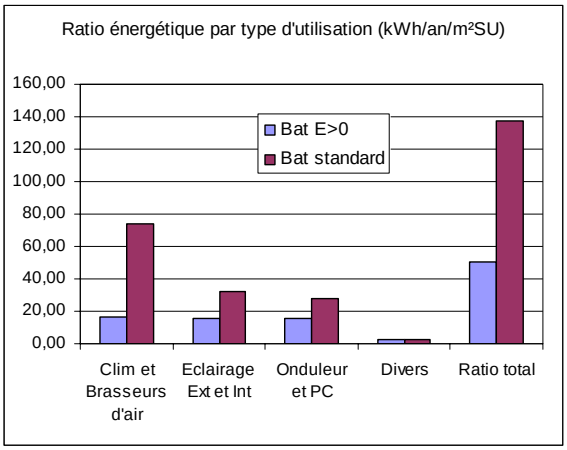

Figure 13 : Synthèse des ratios énergétiques par type d'utilisation pour le bâtiment à énergie positive et le même bâtiment mais avec une conception standard.

Energies renouvelables

Les quatre sur-toitures mono-pente nord et sud sont constituées de panneaux photovoltaïques poly cristallins fixés directement sur la structure métallique en remplacement d'une tôle classique. Les toits 1 et 3 ont une pente nord de 9°. Les toits 2 et 4 ont une pente sud de 9° (voir figures 3 et 5). Les simulations menées avec PVSYST (PVSYST 3.4) montrent que les toitures au sud ont productivité annuelle inférieures de 5% seulement par rapport aux toitures nord. Celle-ci est de l'ordre de 1500 kWh/kWc/an (voir tableau 4).

Tableau 4 : Puissance nominale, énergie produite et productivité pour les quatre toiture.

	Surf.	P. nom. kWc	Production MWh/an	Productivité kWh/kWc/an
Toit 1	360m²	46	71.1	1553
Toit 2	252m²	32	47.5	1484
Toit 3	242m²	31	47.9	1558
Toit 4	317m²	40	59.9	1485
Total	**1171m²**	**149 kWc**	**226.4**	

La puissance nominale est de 149 kWc. La production annuelle est estimée à 226 MWh soit 2,5 fois la consommation prévisionnelle du bâtiment. Nous voyons que les toits 1 et 3 pourraient à eux seuls compenser la consommation et l'appel de puissance du bâtiment. L'ensemble des installations PV est connecté au réseau. Le montage financier est de type location de toiture avec défiscalisation. L'université loue les toitures mais les installations PV ne lui appartiennent pas, ce qui permet de s'affranchir des problèmes de maintenance.

CONCLUSION

Les objectifs fixés en terme de consommation ont été atteints. Ce résultat a pu être possible grâce à une forte collaboration entre l'équipe de maîtrise d'œuvre et les chercheurs de l'université, avec une mise en commun non seulement des outils de dimensionnement et d'expertise, mais également des habitudes de conception. Ainsi, avec quelques innovations architecturales telles que les jalousies intérieures, les lampes en appliques, l'utilisation de brasseurs d'air, une meilleure gestion et un dimensionnement intelligent des systèmes, on peut arriver à réaliser un bâtiment qui consomme trois fois moins qu'un bâtiment standard avec un surcoût de 2% du principalement à la GTC optimisée. Les installations PV produiront en outre l'équivalent de 2,5 fois la consommation du bâtiment.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'architecte du projet Thierry Faessel-Bohe pour les vues 3D du bâtiment et le BET Tribu pour les simulations DIAL.

REFERENCES

Allard F. 2002. Natural ventilation in buildings. A design handbook. Ed° James & James, 356 p. ISBN 1 873936729.

Boyer ,H., Garde, F., Gatina, J.C., Brau, J. 1998. A multi model approach of thermal building simulation for design and research purposes. Energy and Buildings 28 (1):71-79.

David, M., Adelard, L., Lauret, P. and Fock, E. 2005. Time Delay Neural Networks (TDNN) applied to a weather data generator based on typical meteorological sequence analysis., Proceedings of ISES, Aout 2005, Orlando, USA, p.1-11

DIAL Europe version 3.4, www.estia.ch.

Garde, F. Adelard, L. David, M. 2005. Elaboration of Thermal Standards for French Tropical Islands : Presentation of The PERENE Project. In proceedings of Clima 2005**,** Lausanne, Suisse.

Lopez, J. Ottenwelter, E. 2000. ICE, INSET. Rapport PRERURE téléchargeable à www.arer.org.

PVSYST 3.4. Université de Genève. http://www.pvsyst.com