

# LOGEMENTS DURABLES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

UNE ÉTUDE DU GUMP PACIFIC RESEARCH STATION, MOOREA  
UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE BERKELEY  
AVEC L'OFFICE POLYNÉSISIEN DE L'HABITAT 2012



*Cette étude a été demandée par Monsieur le Directeur de l'Office Polynésien de l'Habitat et son Ministère de Tutelle que nous remercions tout particulièrement.*

INTRODUCTION GÉNÉRALE

# LOGEMENTS DURABLES EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

L'Office Polynésien de l'Habitat (OPH) a comme objectif de produire un fare OPH durable.

Dans un premier temps un nouveau prototype amélioré climatiquement, le fare OPH4, a été développé pour l'expérimentation. Conscient que les caractéristiques thermiques ne sont qu'un aspect du contexte général du développement durable, l'OPH fait appel à l'Université de California Berkeley (UCB) pour entreprendre une analyse intégrée.

Les impacts d'une construction qui n'est pas régulée du point de vue de l'environnement aussi bien que de l'esthétique, peuvent dégrader, voire détruire à terme, les ressources naturelles elles-mêmes, qui attirent des visiteurs à Moorea et Tahiti.

De ce fait ce rapport aborde la question avec une approche trilatérale de l'analyse du fare OPH4 dans les contextes suivants:

## Réponse thermique et confort

Cette section comporte une analyse thermique du prototype OPH4 existant et propose des solutions pour améliorer l'efficacité thermique ainsi que le confort de l'habitant.

## Bilan carbone et habitat durable

Cette section comporte une analyse énergétique d'un fare OPH4 ainsi que des recommandations pour réduire son empreinte énergétique en faisant des économies d'échelle et/ou l'utilisation de matériaux trouvés localement.

## Durabilité culturelle

Cette section évalue la capacité d'adaptation du fare OPH4 à l'aspect social et culturel de l'usager. Les informations résultent d'une collaboration soutenue pendant une année avec des usagers, des anciens et d'autres membres de l'Association Te Pu Aitia qui a pour but la conservation du patrimoine culturelle et scientifique de la Polynésie Française.

Les deux sections finales résument les résultats et les observations et proposent des directions à suivre pour des actions futures.

## Fare bioclimatique

Cette section fait état des analyses citées ci-dessus ainsi qu'une synthèse des résultats, pour proposer un nouveau cahier des charges et un projet schématique pour une nouvelle génération de fare OPH5 durable.

## Résumé et recommandations

Après avoir distillé des constats à travers les chapitres précédents, cette section établira une synthèse des recommandations majeures.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

## GÉNÉRALITÉS

Après deux années cycloniques particulièrement dramatiques en 1982 et 1983 en Polynésie Française, l'Agence Territoriale de la Reconstruction a conçu une maison préfabriquée capable de résister à des vents de 200 km/h, facile à monter et économique. Le fare ATR était né.

600 fares furent construits à cette époque. Dix années plus tard, un autre cyclone plus dévastateur encore, William, passait. Le gouvernement relance le programme d'habitat d'urgence avec un nouveau modèle, le fare OPH2.

La popularité du Fare OPH dû à sa facilité de montage et son coût faible incite à sa commercialisation comme logement social en habitat dispersé en 1995.

À ce jour, 8000 fares ATR et fares OPH ont été construits en Polynésie française.

Près de 15% de la population habite dans ce type de construction.

A partir de 2005 la version fare OPH3 est disponible et en 2009 l'OPH complète une nouvelle version OPH4 avec un nouveau cahier des charges écologique et souhaite l'expérimenter avant sa diffusion définitive sur le marché.

## Introduction

La nature multidisciplinaire du développement durable implique que les politiques de la durabilité franchissent les limites pour intégrer les questions culturelles, économiques et environnementales.

Ainsi, le fare OPH représente une occasion exceptionnelle pour promouvoir le développement durable en Polynésie Française.

Etant donné leur présence croissante dans le paysage, en particulier à Tahiti et Moorea, la question de leur intégration dans le site et leur impact sur l'environnement deviennent primordiales.

Incorporer une politique de développement durable dans le programme des fares de l'OPH participerait à l'amélioration de la qualité de vie des résidents, réduirait les émissions carbone, aiderait l'industrie locale et créerait des emplois.

## Problématique

Le nombre restreint d'industries dans l'archipel en conjonction avec une culture de plus en plus modernisée et dépendante de l'importation a pour résultat un coût de vie élevé. Aujourd'hui quand la moyenne de revenu par foyer est de \$18,500, le prix de vente moyen d'une maison est de \$300,000. L'OPH traite de diverses manières du besoin d'habitat à un prix abordable. Les subventions pour un fare OPH étant une composante importante de leur programme. 350 fares individuels, au coût de \$80,000 sont entièrement subventionnés par le gouvernement avec une liste d'attente qui dure sur environ dix ans.

L'OPH est mandaté pour administrer et pourvoir autant de fares dans la limite budgétaire. Bien que très appréciés par les habitants, ces fares ne sont pas des logements particulièrement adaptés au climat polynésien. On constate divers problèmes de chaleur captée dans la construction rendant l'intérieur de l'habitat inconfortable et aggravé par une inadaptation générale de ce genre de logement par rapport au mode de vie locale. Par ailleurs, la conséquence des exigences économiques et les faibles ressources de l'industrie du bâtiment locale font que les matériaux de ces constructions sont pour la plupart importés.



1983



1988



1991

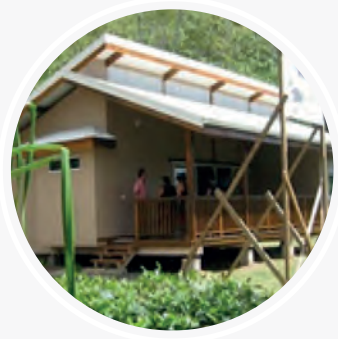
## INTRODUCTION GÉNÉRALE



1996



2000



2009

Dès qu'on considère le programme de fare OPH dans un contexte de développement durable, on constate plusieurs défis :

- ▶ *Réconcilier l'utilisation de matériaux locaux plus chers mais à l'empreinte carbone plus faible avec le besoin croissant de maisons confortables et aux prix abordables.*
- ▶ *Réconcilier les économies d'échelle possibles d'une construction en kit avec une conception bioclimatique et durable spécifique au site.*
- ▶ *Bien que la nouvelle version aille dans le sens du confort avec des performances thermiques améliorées, il faut mettre en parallèle les perspectives d'une durabilité de l'industrie du bâtiment locale.*

### OBJECTIFS

Dans le cadre des objectifs du projet, notre recherche s'est tournée vers les éléments suivants:

- ▶ *Assembler et exposer le nouveau prototype OPH4 au centre Atitia afin d'informer les PME et les artisans du bâtiment des nouveautés du modèle et les encourager à améliorer leur gestion du site sur les chantiers de construction.*
- ▶ *Conduire des études de performance environnementale et énergétique sur le prototype OPH4 2009.*
- ▶ *Evaluer l'adéquation du OPH4 avec la situation socioculturelle de la Polynésie Française.*
- ▶ *Développer des propositions d'amélioration du fare OPH par rapport à ses performances énergétiques et environnementales.*
- ▶ *Formuler des plans préliminaires pour un nouveau fare OPH5 qui intégreraient les résultats de nos recherches.*

### Méthodologie

Cette étude permettra d'appréhender la complexité de la problématique du logement OPH sous différents axes (sociologiques et économiques ainsi qu'écologiques) et selon différents points de vue.

Il proposera des actions et recommandations pour faire évoluer au bénéfice des familles polynésiennes le fare OPH en kit. Ici nous identifierons les besoins, les ressources disponibles pour les mettre en adéquation tout en laissant la porte ouverte aux solutions pluridisciplinaires et évolutives.

Les informations nécessaires à ce projet sont acquises de deux façons :

Les données quantitatives sont obtenues à travers le recueil de données énergétiques et environnementales par capteurs et simulations. Les paramètres mesurés incluent à la fois les énergies classiques, et les paramètres de confort tels que la température, l'humidité, la luminosité. L'analyse est approfondie et affinée par les notions de confort adaptif, les entretiens avec les usagers et consultation de leurs livres de bord.

L'interaction et la consultation des usagers font partie intégrante de cette étude. Les données qualitatives sont recueillies par sondage simple, observation et entretiens avec les anciens. L'OPH nous a fourni les données utiles concernant leur activités ainsi que ceux des entrepreneurs locaux.

RÉPONSE THERMIQUE

&amp; CONFORT

# RÉPONSE THERMIQUE ET CONFORT

## RÉPONSE THERMIQUE ET CONFORT DU FARE OPH4

### Problématique

Sous les climats tropicaux une mauvaise enveloppe du bâtiment apporte souvent un gain excessif de chaleur, qui à son tour va appeler une utilisation de ventilation et rafraîchissement mécanique. Une meilleure connaissance de l'enveloppe permettrait d'identifier la manière la plus efficace et plus économique, de contrôler les échanges passifs de chaleur et ainsi permettre aux habitants de mieux réguler la température de leur espace de vie.

Les données de température présentées ici nous ont permis d'observer les effets en temps réel des caractéristiques du fare OPH. Nous avons pu collecter des informations concernant les limites externes, identifier les sources intérieures de chaleur et évaluer l'impact potentiel de diverses éléments de construction, par exemple les vitres, l'isolation et la couleur. L'analyse de leur performance est ensuite utilisée comme un outil pour examiner l'efficacité et la viabilité de toute une série de changements hypothétiques.

Aussi, pendant 10 à 15 dernières années, la réflexion sur le concept du «confort» a énormément évoluée. La notion d'un confort «adaptif» qui se développe a des implications importantes pour le bâtiment et l'habitat.

Ceci démontre que la possibilité de changer son environnement thermique aura un impact sur la sensation du confort. Dans la synthèse des observations, la notion d'un confort adaptif sera prise en compte dans l'évaluation.

### Introduction : Fare laboratoire

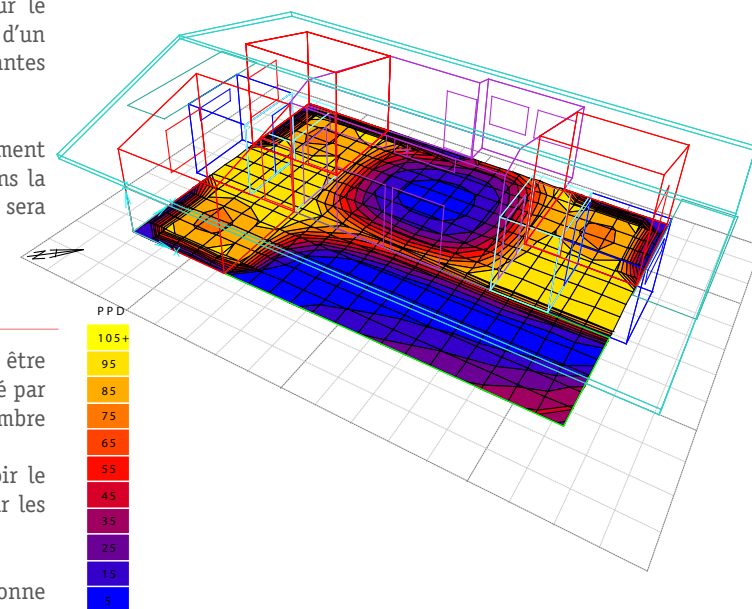
Le plus récent des prototypes fare, le fare OPH4, conçu pour être plus écologique et efficace sur le plan énergétique a été livré par OPH et assemblé sur le site Atitia à Gump Station en Novembre 2010.

Etant la première construction de ce modèle de OPH à voir le jour, le chantier a servi de cas d'exemple pédagogique pour les entreprises locales.

L'orientation est/nord-est du fare lui accorde une bonne exposition aux vents dominants de l'île de Moorea, aussi bien que du microclimat du site localisé au fond de la Baie de Cook. Il est situé sur un terrain dédié au jardin botanique du centre culturel de l'Association Te Pu Atitia.

Ce site est un lieu éducatif et le jardin est dévoué à la biodiversité biologique polynésienne.

La maison sera habitée par la gardienne du jardin et sa famille. En février 2010, le fare avec trois chambres, salon, cuisine ouverte et deux salles d'eau, a été équipé avec sensors sans fil et sa conduite thermique est suivie depuis pendant une année.



- **Logements durables en Polynésie française**

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

## Objectifs

- ▶ *Analyse et mesure du comportement thermique du fare OPH4 sur une période d'une année en temps réel.*
- ▶ *Utilisation des résultats pour calibrer un modèle informatique détaillé du comportement thermique du fare.*
- ▶ *Intégrer les impressions et réactions des usagers.*
- ▶ *Utiliser les résultats de simulation pour proposer des améliorations de confort.*
- ▶ *Intégrer l'impact des coûts.*
- ▶ *Identifier et interpréter les adaptations construites par les usagers.*
- ▶ *Utiliser les résultats des analyses pour optimiser le confort et facilité du design.*

## Méthodologie

Le système mis en place nous permettra de suivre comment la charte de température varie dans l'espace et le temps d'une année entière.

On situe le début de la saison des pluies autour du 20 novembre, **Matari'i nia -ta'u auhunera'a**, et de la saison sèche et plus fraîche, **Matari'irarotau o'e**, à partir du premier mai.

Ce projet de monitorisation se focalise sur l'interaction de la température, humidité et le mouvement d'air dans le fare par rapport aux conditions météorologiques différentes des deux saisons avec une focalisation sur la saison **Matari'i nia -ta'u auhunera'a** qui présente le plus grand défi de confort.

## MONITORISATION

### Description des appareils

Nous avons sélectionné l'utilisation du système de sensors eKo développé pour la société Memsic.

UCB a une expérience satisfaisante avec ce système qui est utilisé au sein d'autres centres de recherches au Blue Oak Ranch Ecological Reserve dirigé par notre conseiller, Michael Hamilton. Un des inventeurs du système, Alan Broad, nous a conseillé et a adapté le système à nos besoins spécifiques.

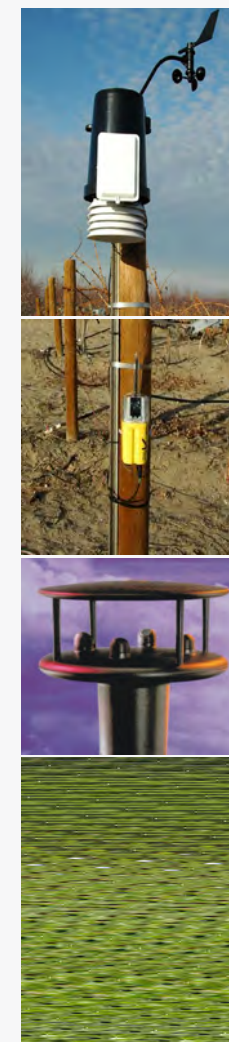
Les composants du système de capteurs comprennent :

- *Memsic eKo weather station ES-2000*
- *Trois sensors Memsic eKo ES-1201 : température et humidité*
- *Trois sensors environnementaux Memsic eKo EN-2120*
- *Une Memsic eKo relay node*
- *Station centrale Memsic eKo radio EB-2120*
- *Trois groupes de batteries*
- *Un ordinateur portable Acer Net book (serveur portail)*
- *Windsonic Ultrasonic Wind Sensor (2 dimensional) 1405-PK-040*

La sonde du vent, ne faisant pas partie du système eKo il a fallu l'intégrer dans le système. Cette intervention a impliqué la création par eKo d'une boîte de jonction alimentant en 9V le Windsonic et le noyau eKo. Le câble qui permet l'interface pour le Windsonic et le XML script file est complété.

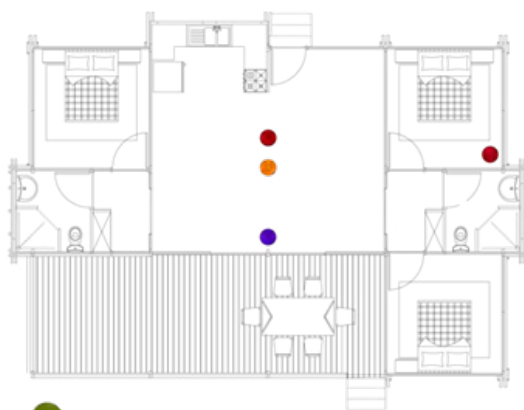
Les données (vitesse et direction du vent) provenant du Windsonic se collectent à une fréquence de 30 secondes. Les autres noyaux eKo collectent à la fréquence standard d'intervalles de 15 minutes.

Les capteurs d'intérieurs ont été équipés de groupe de batteries (piles) alors que ceux de l'extérieur restent à l'alimentation solaire.



RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT



LEGENDE

- Température / Humidité à 60 cm
- Wind Sensor à 2 niveaux
- Température / Humidité à 4 m
- Weather Station + Relay Node

### Installation des sondes

Le Memsic eKo weather station a été installé à 2 mètres sud/est du mur principal à une hauteur de 3 mètres. Cette position a été sélectionnée pour donner une représentation de meilleures conditions météorologiques environnant le fare. (e.g. les vents dominants du nord-est et sud est seront non-obstrués et la station ne fera pas l'objet d'ombres portés par le fare, d'autres construction ou végétation)

Windsonic ultrasonic wind sensor (eKo view nom du sensor: HouseWind\_P4) a été installé au centre du séjour à une hauteur de 1.30 mètres. L'installation permet l'addition d'un support pour monter le sensor à une hauteur de 2.40 mètres.

Les Memsic eKo sensors mesurant la température et l'humidité ont été installés suivant:

- Une au centre du séjour à une hauteur de 3.5 m
- eKo view sensor name: HouseCeiling\_P2
- Une au centre du séjour à une hauteur de 6.5 m
- eKo view nom du sensor: HouseFloor\_P1
- Une au coin nord-est de la chambre nord-est à une hauteur de 1.30 m
- eKo view nom du sensor: BedRoom\_P2
- Les Memsic eKo sensor noyaux sensors environnementaux
- Le noyau central est installé sur la cloison centrale du séjour à une hauteur de 1.70 m
- eKo view nom du noyau: LivingRoom\_N5 (ce sensor collecte également des données de température)
- Un noyau au-dessus du sensor chambre eKo view node nom: BedRoom\_N9
- Un noyau sur le Weather Station eko view node nom: WeatherStation\_N5

Le Memsic eKo relay node (eKo view node nom: Relay\_N3) a été installé sur la route en face sur le quai/laboratoire Salt Water. Les données sont recueillies sur l'Acer Netbook situé dans le bâtiment principal de Gump Station dans le bureau du directeur technique et branché à l'aide d'une connexion Ethernet au LAN Science Building.

### Suivie des données

Le système décrit ci-dessus a été testé sur une période pendant trois semaines, et n'a montré aucune défaillance.

Les données du système de sensors sont centralisées sur le site eKo ci-dessous auquel ont accès tous les membres de l'équipe y compris OPH.

EKo view External Site Access: (voir Annexes eKo site data)

L'extraction des données mensuelles nous donne la capacité de produire un fichier Excel par sensor permettant l'obtention de moyennes par heure, semaine et mois ainsi que des graphiques en sélectionnant des données, coordonnées spécifiques.

Les tâches continues comprenaient:

Sur site:

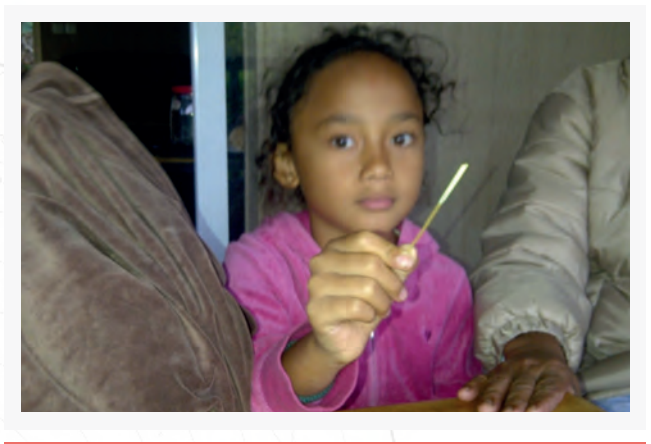
- Vérification de l'alimentation et branchement de chaque composant
- Inspection mensuelle de la condition et non-blocage du Weather Station page 5
- Inspection hebdomadaire de l'intégrité du système

A distance:

- Sauvegarde mensuel des données totales
- Vérification hebdomadaire du système (quotidien pendant le premier mois)

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT



*Cette étude a l'avantage d'avoir une famille polynésienne qui habite le fare en étude.*

*Les observations de la famille - deux adultes et un enfant de 9 ans - ont été intégralement prise en compte pour l'analyse global et l'évaluation de la conduite thermique du fare OPH4.*

### Habitants

La présence des habitants implique un facteur supplémentaire de données qui doit être monitorisé et coordonné.

A cette fin, les directives précises ont donc été convenues avec les habitants du fare.

Afin de maîtriser la variété de configurations d'ouvertures possibles et de pouvoir les réconcilier avec les données reçues des sensors, les systèmes suivants ont été mis en place :

Par défaut: les ouvertures seront dans les configurations suivantes:

- *Jour: toutes les fenêtres ouvertes + toutes les portes intérieures ouvertes*
- *Vide: toutes les fenêtres fermées + toutes les portes intérieures ouvertes*
- *Nuit: toutes les fenêtres ouvertes + toutes les portes intérieures fermées*

De plus, pour monitoriser les écarts du système par défaut, les fiches d'utilisation ont été placées dans le fare OPH4 près de chaque ouverture. Les habitants les ont rempli selon l'usage et changements des ouvertures.

Dans le cas où l'habitant souhaite changer la configuration, ils ou elles ont rempli la fiche près de cette ouverture avec l'information pertinente : date et l'heure, indication de quelle ouverture, pleinement ou partiel et la raison de changement (eg. pluie trop de vent, chaleur).

En addition, pour nous permettre d'affiner l'étude, les habitants nous ont remis un journal de bord de l'activité quotidien : l'utilisation de la cuisinière, des douches (heures + durée) et l'heure où le fare est vide.



- *Logements durables en Polynésie française*

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

## MODELISATION ET SIMULATION

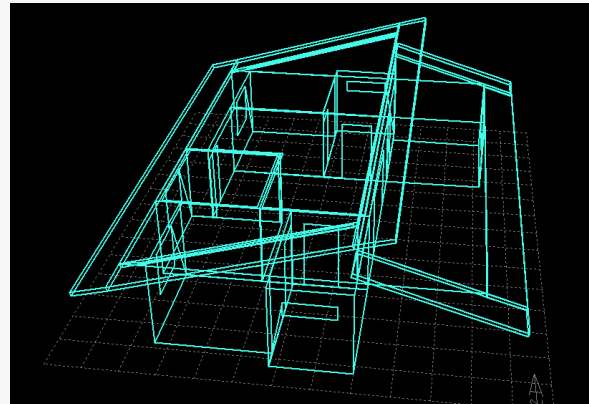
### Outil de Modélisation et de Simulation: Virtual Environment d'IES (VE-IES)

Le fare OPH4 avec 3 chambres, un salon principal, cuisine ouverte et deux salles d'eau comme le modèle construit et équipé de sensors, a été modélisé à l'aide du logiciel environnement Virtuel créé par IES Integrated Environmental Solutions.

Outil modélisant l'environnement virtuel, le logiciel d'IES est en fait une succession de modules autorisant les possibilités suivantes : modélisation 3D et assignation de matériaux de construction ; modélisation de l'éclairage, de systèmes électriques et mécaniques; simulations d'ensoleillement, d'éclairage par lumière du jour, de circulation de l'air, de systèmes thermiques et énergétiques ; analyse de coûts de cycles de vies des bâtiments et étude de la dynamique des fluides par ordinateur (CFD).

Des tests permettant une validation standard ont été réalisés, et beaucoup d'entreprises majeures d'ingénierie à travers l'Europe, le Canada et les Etats-Unis ont récemment adopté ce logiciel comme leur outil de référence.

Au vue de ses capacités à intégrer des simulations multizones thermiques et de circulation de l'air, parallèlement à une analyse de la dynamique des fluides (CFD), le VE-IES est apparu idéalement adapté aux exigences de ce projet.



RÉPONSE THERMIQUE

&amp; CONFORT

## Modules d'Environnement Virtuel (VE)

VE est un outil multifonctions qui comprend plusieurs modules fonctionnels intégrés. Une interface de type Windows permet la navigation entre les différents modules et fonctions. Les modules utilisés pour l'analyse préliminaire sont cités ci-dessous.

Un modeleur de composant additionnel affinera cette étude pour simuler les occupants, la lumière, et le réfrigérateur en tant que sources de chaleur dans des endroits spécifiques au sein de l'espace, plutôt que sous forme de charges thermiques réparties de façon égale.

Les modules thermiques et solaires sont étroitement liés pour déterminer le gain solaire et le transfert de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment et entre les zones. Les propriétés des matériaux, charges de chaleur internes, et les profils ou les tâches pour ces charges sont également assignées ici.

Le module numérique d'étude de la dynamique des fluides par ordinateur (CFD) fournit une simulation des processus de circulation et du flux d'air, du transfert de chaleur et de transfert de masse. L'objectif étant de mieux appréhender les processus de transfert de flux d'air et de chaleur qui surviennent à l'intérieur et autour d'un bâtiment, dans des conditions données de limites spécifiées, en y incluant les effets du climat et des charges thermiques internes.

Les propriétés des matériaux pour tous les composants majeurs de la simulation ont été définies pour être les plus proches possibles de la conception actuelle. Ceci comprend le couplage entre la terre au bas de l'espace mort, les panneaux orientés, le contreplaqué, et le fibrociment utilisés pour le sol, les murs, le plafond, les fenêtres à vitre simple, et le toit métallique, en prenant en compte la réflectivité et l'émissibilité solaires appropriées pour la surface du toit et le matériau de barrage radiant situé juste au-dessous. Le tableau ci-dessous résume ces composants et leurs propriétés.

Module	Description
<b>Modélisation 3D</b>	Définition de la géométrie, des matériaux, des tailles d'ouvertures et du vitrage du bâtiment.
<b>Thermique</b>	Assignation de matériaux de construction et de charges thermiques internes. Des calculs de charge thermique quotidienne et des simulations dynamiques sont effectués. Les résultats permettent l'examen de tous les paramètres significatifs pour chaque heure simulée, incluant des détails tels que les températures de surface.
<b>Circulation de l'air multizone</b>	Logé dans le module thermique, ce module assigne des types d'ouverture et des tâches de ventilation et de flux entre les différents espaces.
<b>Solaire</b>	Calcule l'ombrage en fonction de la géométrie du bâtiment et du toit, et de la position du soleil. Il détermine également les surfaces qui reçoivent une radiation solaire directe.
<b>CFD</b>	Calcule et visualise la vitesse des flux, leur pression et leur température à travers l'espace.

Élément	Matériaux
<b>Toit</b>	Panneau sandwich isolé + Barrière radiante en aluminium (séparés par un espace libre de 2.5 mm)
<b>Plafonds</b>	PVC peint en blanc (poids relativement bas avec surface de haute émissibilité)
<b>Planchers</b>	Panneaux structuraux orientés de 3/4" (haute densité, équivalente à celle de planches en fibrociment)
<b>Cloisons</b>	Murs intérieurs de contreplaqué 5/8" (densité modérée ; pourrait aussi être en fibro léger)
<b>Mur extérieur</b>	Planches en fibrociment 5/8" (parement extérieur) + goujons de jonction 2x4 + murs de contreplaqué 5/8"
<b>Vitrage extérieur</b>	Vitrage float clair, non doublé

- **Logements durables en Polynésie française**

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

## Charges thermiques intérieures

Les hypothèses préliminaires proviennent des questionnaires de Te Pu Atitia.

Comme les familles tahitiennes tendent à être nombreuses par rapport à la taille de leur maison, mais passent une partie relativement importante de leur temps à l'extérieur, nous avons pris comme base une maison de trois chambres habitée par 4 personnes adultes, 24 heures par jour toute l'année.

Les charges thermiques pour chaque occupant sont estimées à 250 Btu/h (~73 W) sensibles, plus 200 Btu/hr (~59 W) latents, en gardant un niveau d'activité modéré. Ceci a pour but non de représenter l'occupation réelle avec le temps, mais les charges thermiques adéquates pour les conditions de mi-journée, alors que nous cherchons à ce que la maison supporte un niveau d'activité moyen raisonnable. Parce que les conditions de mi-journée nous paraissent les plus importantes, les charges thermiques associées aux occupants ont toutes été placées dans l'espace du salon (qui inclut la cuisine), distribuées de façon égale dans toute la pièce, et considérées constantes durant toute la journée.

Les autres charges thermiques comprennent un réfrigérateur de 350 W, de fraction radiante 0,1 et un éclairage incandescent d'un total de 235 W, de fraction radiante 0,85 inclus pour les heures du soir, débutant à 18 h (s'exerçant plus ou moins entre le coucher du soleil et minuit).

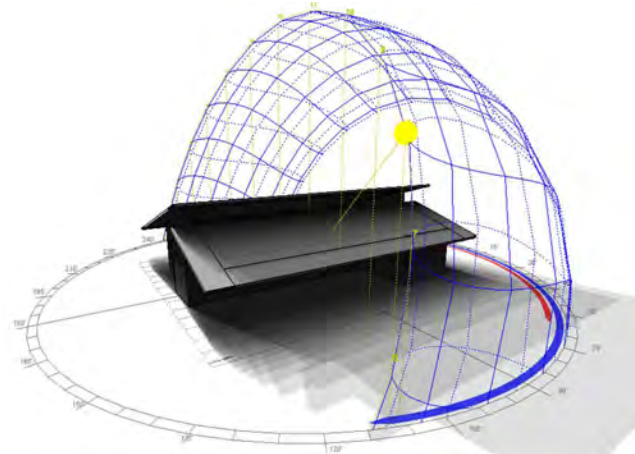
Le réfrigérateur et l'éclairage ont tous deux été modélisés pour être distribués uniquement à l'intérieur de l'espace contigu salon-cuisine.

## Analyse Solaire

L'analyse du soleil et de l'ombrage ont été incluses dans la simulation. L'orientation de la maison est celle du prototype OPH4 construit sur site pour le test. Le gain de l'éclairage solaire en fin de journée apparaît dans les résultats comme une élévation de la température en fin d'après-midi dans les chambres donnant sur l'arrière.

## Journées à météo «créées»

Afin d'analyser le comportement de la maison, deux conditions météo extrêmes ont été envisagées. Ces conditions sont dans le limite du climat moyen sur 30 ans, basé sur des données disponibles. (VOIR : Annexes) Ces journées particulières ont été choisies afin d'isoler les effets respectifs de la radiation solaire et du vent.



RÉPONSE THERMIQUE

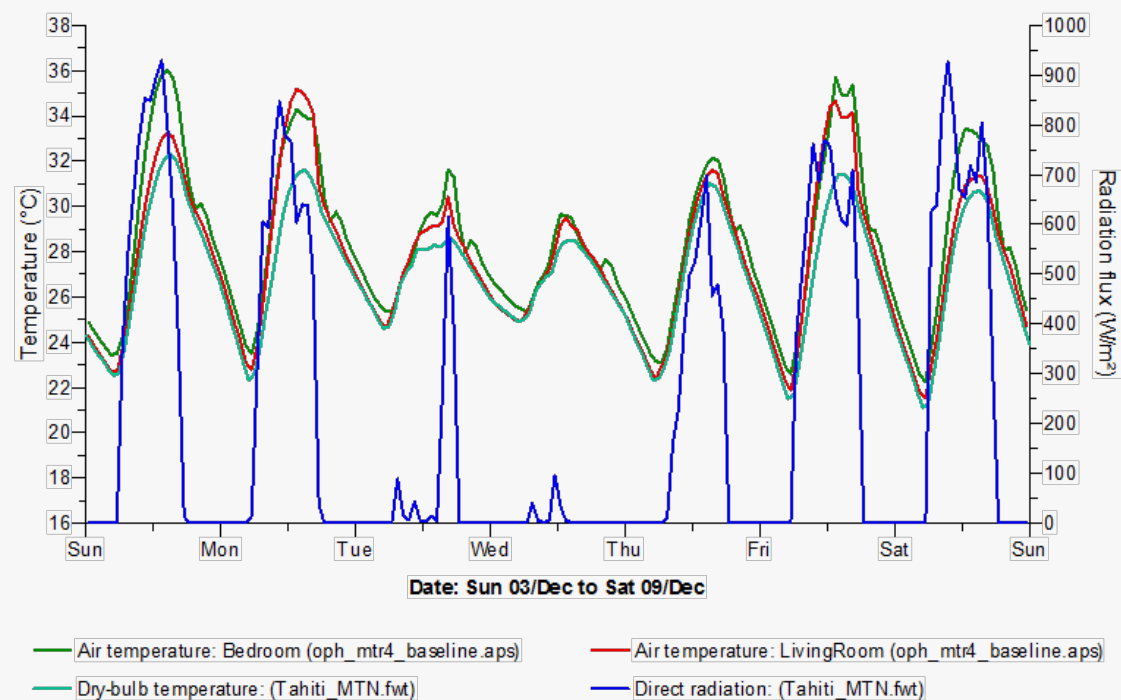
&amp; CONFORT

### Etude Thermique\*

L'étude suivante a pour but d'analyser la performance du fare OPH4, de cibler des améliorations possibles et de prédire l'impact de ces mesures.

Des outils de modélisation énergétique permettent de simuler une année «typique » basée sur des données météorologiques statistiques.

Prenant en compte les différentes données de température, humidité, vitesse et orientation du vent, ensoleillement appliquées avec propriétés des matériaux de la maison (isolation, transmission, masse, etc.) et les estimations d'utilisation (nombre d'occupants, activités, appareils électriques, éclairage, ouvertures des fenêtres, etc.) le modèle calcule chacune des 8760 heures de l'année.



Semaine typique ciel dégagé et ciel couvert – Températures intérieures et extérieures (salon et chambre) et radiation solaire directe  
Entrées et sorties d'air à travers différentes ouvertures (l/s) – 3 décembre 14h30

\*Cette section a été élaborée par Moana Reynau avec Hien Minh Vuong

RÉPONSE THERMIQUE

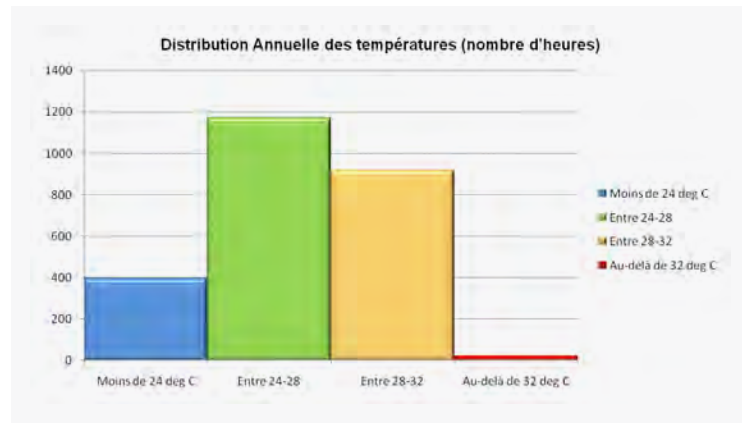
&amp; CONFORT

A partir des simulations, deux types de résultats sont présentés:

- La fréquence des températures regroupées en 3 classes (inférieures à 23 degrés, entre 23 et 30 degrés et supérieures à 30 degrés) sur toute l'année.
- Les profils horaires de températures extérieure/intérieure, la décomposition des différents gains (internes, solaire, conduction, ventilation naturelle) au cours d'une journée typique chaude et ensoleillée (1er Février) et d'une journée nuageuse.

La fréquence des températures permet d'évaluer la performance de la maison sur une année typique entière et mesurer l'impact global des modifications toutes saisons incluses.

Les profils journaliers permettent une étude plus précise de cas particuliers afin de comprendre la contribution de chaque gain et l'impact des modifications sur chacun d'entre eux.



Modèle de base – à comparer avec différentes améliorations

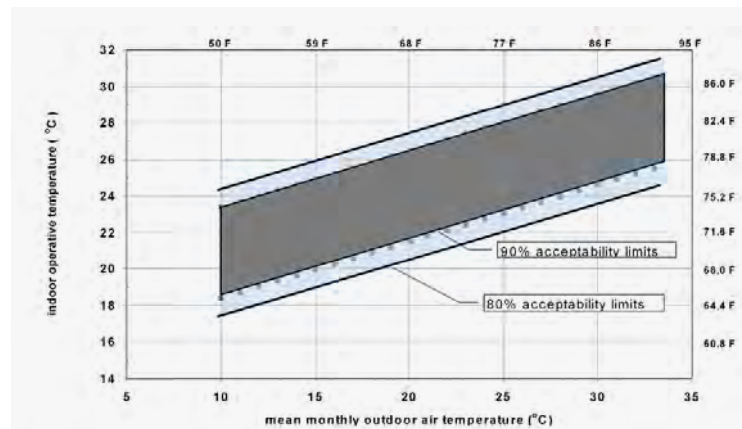


Figure 5.3 Acceptable operative temperature ranges for naturally conditioned spaces.

- *Logements durables en Polynésie française*

RÉPONSE THERMIQUE

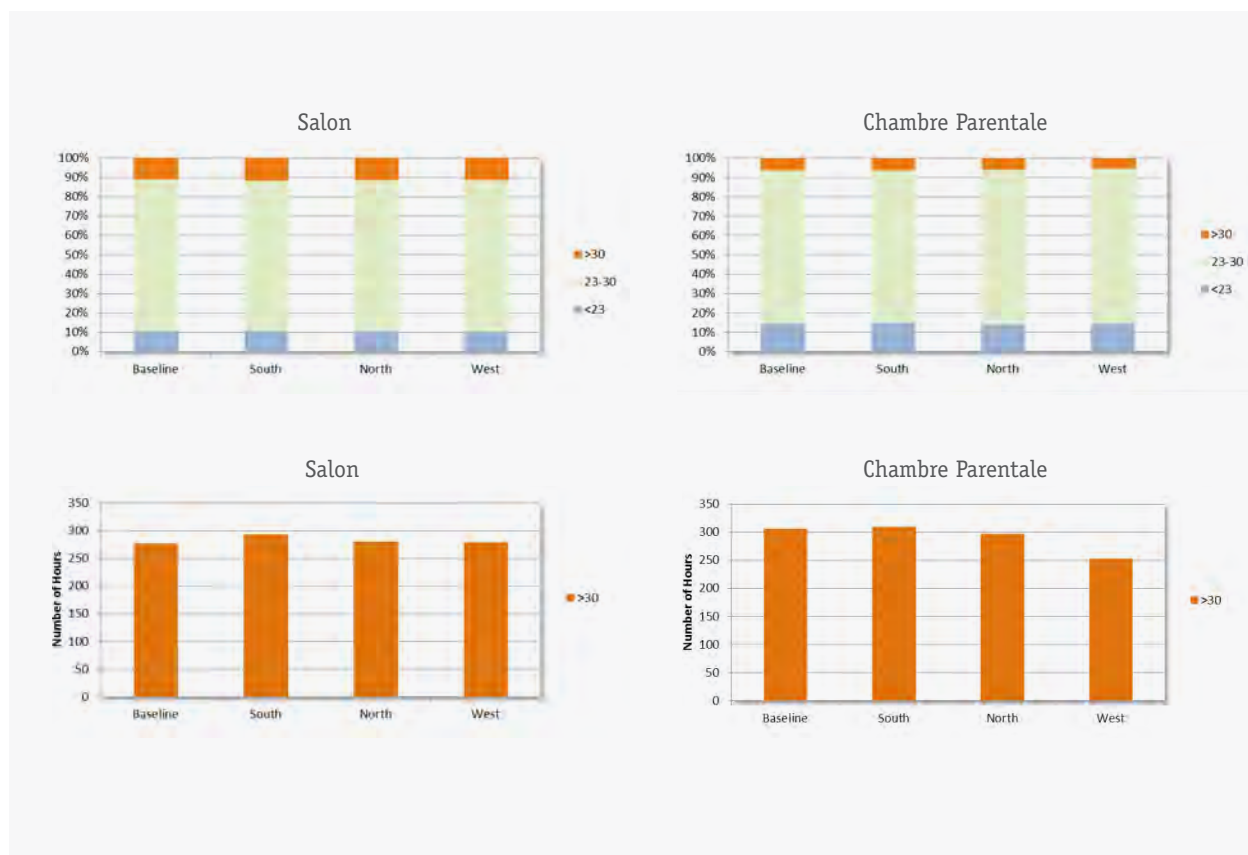
& CONFORT

## Résultats des Simulations Orientation

Les fares OPH sont généralement construits en fonction de la configuration du terrain et du chemin d'accès. Mais quel est l'impact de l'orientation sur la performance thermique de la maison ?

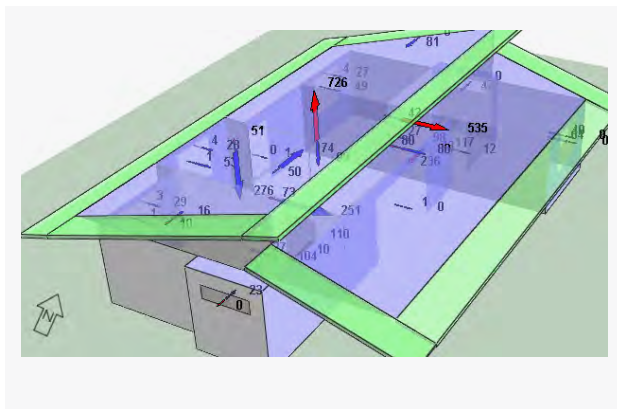
Les graphes ci-contre représentent le pourcentage du nombre d'heures occupées dans les 3 fourchettes de températures. Les résultats sont présentés pour le salon et la chambre parentale. L'orientation Ouest présente le moins d'heures au-dessus de 30 degrés (-21% par rapport à l'orientation Est pour la chambre, +3% pour le salon).

Cette différence s'explique notamment par les différences d'exposition au soleil par rapport aux fenêtres ainsi que pour les murs.



## RÉPONSE THERMIQUE

## &amp; CONFORT



Airflow unit: I/s Date/Time: 1/Feb 13:30

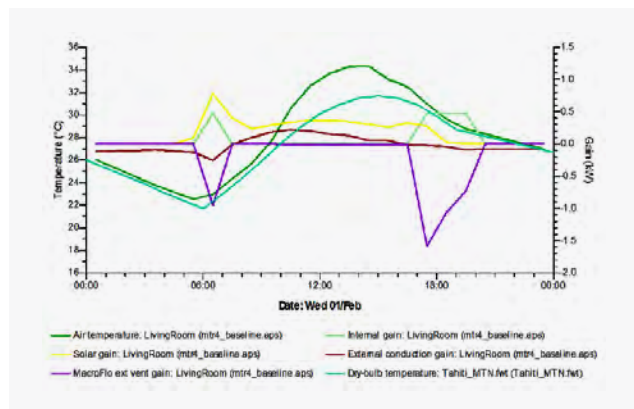
### Salon - Les profils de gains pendant une journée ensoleillée

Pour le salon, les gains internes dominent l'ensemble des gains. Or en semaine, les gains internes du salon ne se produisent qu'en matinée puis en soirée. Pendant ces périodes la baie vitrée et la porte d'entrée sont également considérées ouvertes.

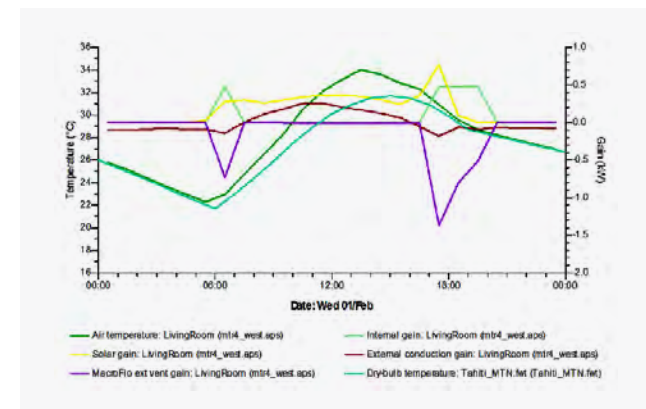
La température intérieure est proche de la température extérieure. En milieu de journée la température intérieure augmente plus rapidement que la température extérieure, car malgré l'ouverture en partie supérieure ne parvient pas à combler les gains solaires. Ceci peut s'expliquer par le manque d'ouvertures permanentes à bas niveau afin de permettre une ventilation naturelle même lorsque les portes et fenêtres sont fermées.

On notera pour le salon que les gains de conduction sont relativement faibles ainsi que les gains solaires grâce à l'isolation de la toiture et la protection de la baie vitrée par la terrasse.

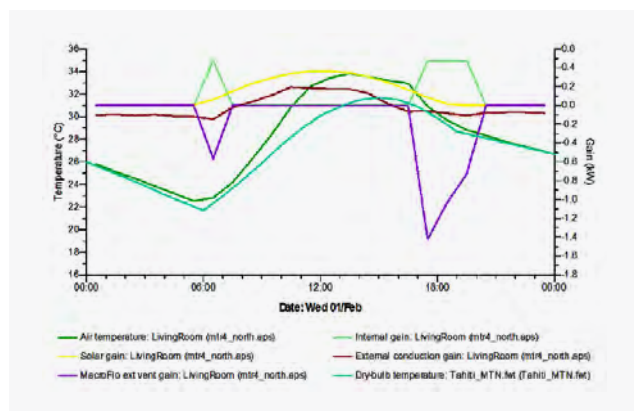
### Est (donnée de référence)



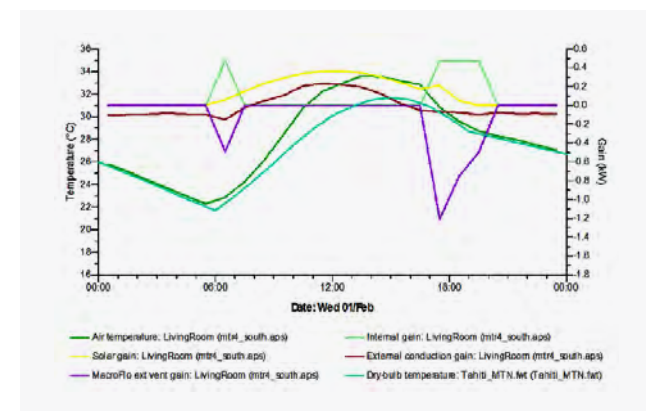
### Ouest



### Nord



### Sud



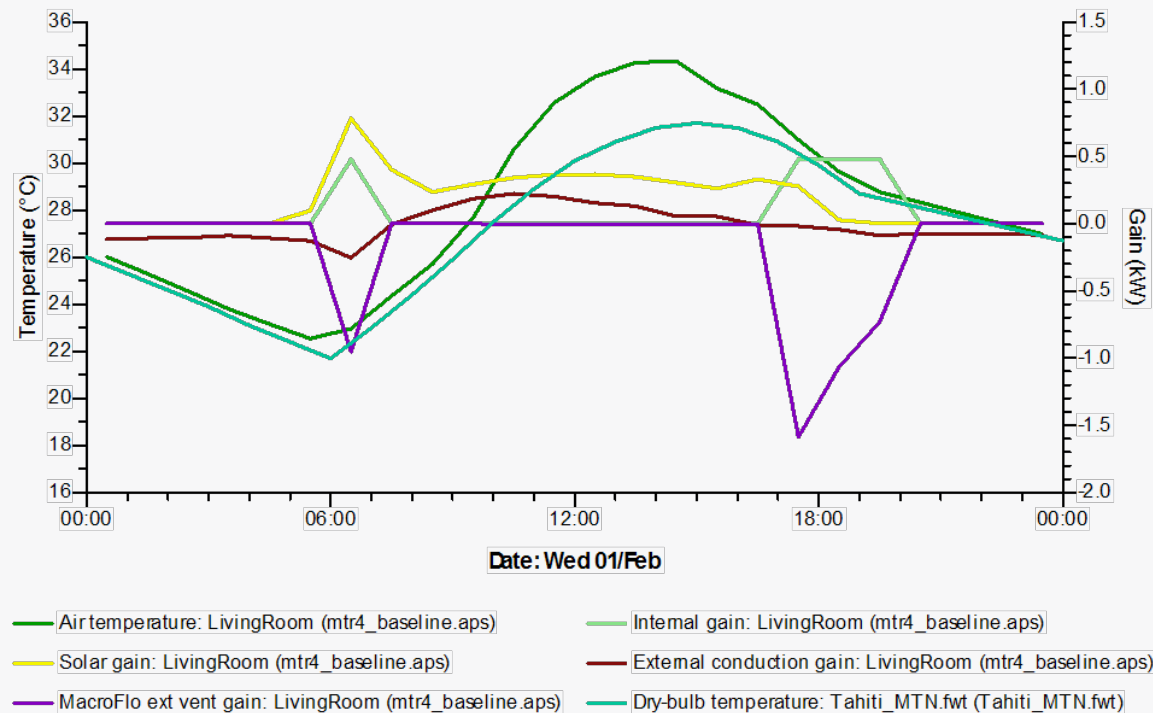
RÉPONSE THERMIQUE

&amp; CONFORT

### Salon - La comparaison des températures de chaque orientation pendant une journée ensoleillée

Le graphique ci-contre montre la température intérieure dans les quatre orientations.

Il y a peu de différence entre les différents cas, surtout aux heures occupées (matin et soirée).





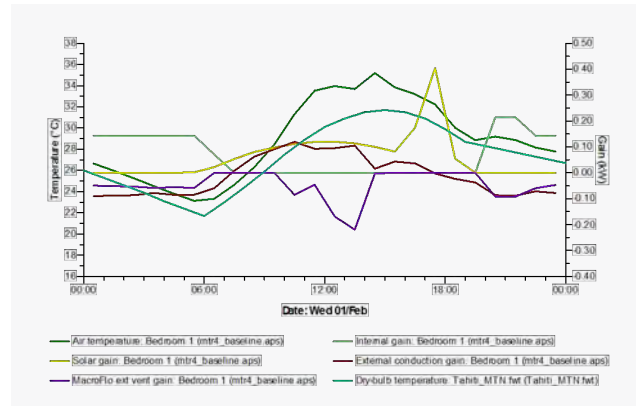
RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

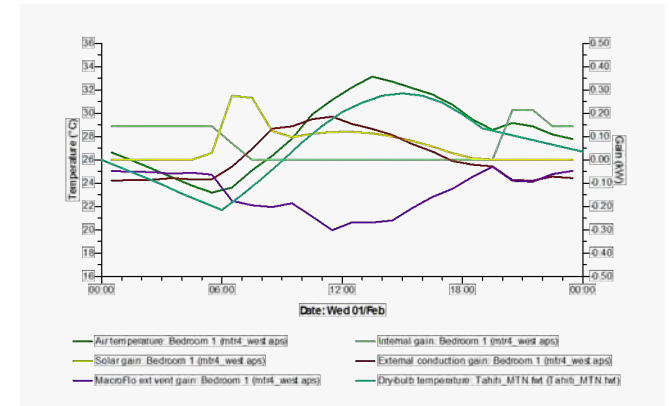
**Chambre Parentale - Les profils de gains pendant une journée ensoleillée**

Pour la chambre parentale, le poids des différents gains est différent avec une plus importante contribution des gains solaires et des gains de conduction. La chambre étant en périphérie de la maison, elle est plus exposée en fonction de l'orientation. Les louvres permettent une ventilation permanente. Cependant celles-ci ne suffisent pas pour maintenir la température intérieure proche de la température extérieure.

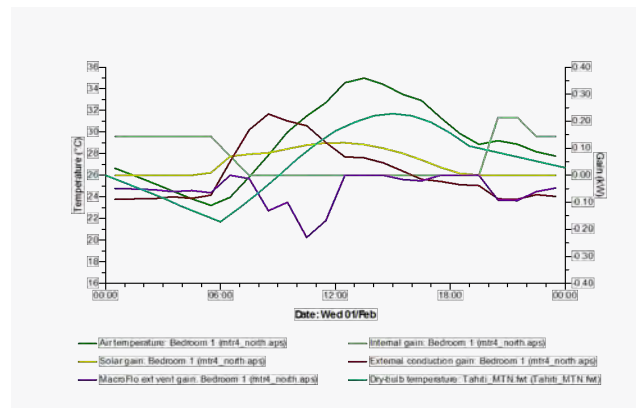
**Est (donnée de référence)**



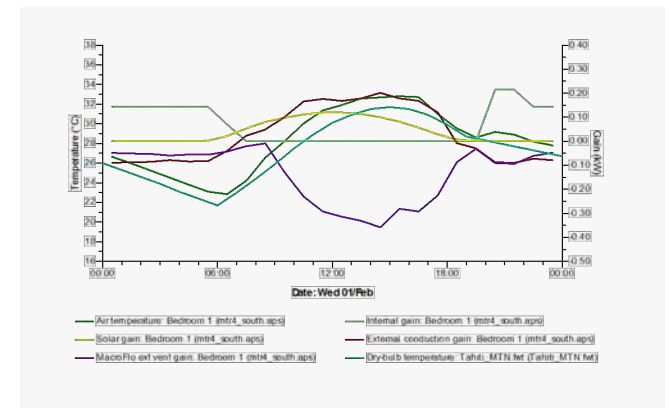
**Ouest**



**Nord**



**Sud**



● *Logements durables en Polynésie française*

RÉPONSE THERMIQUE

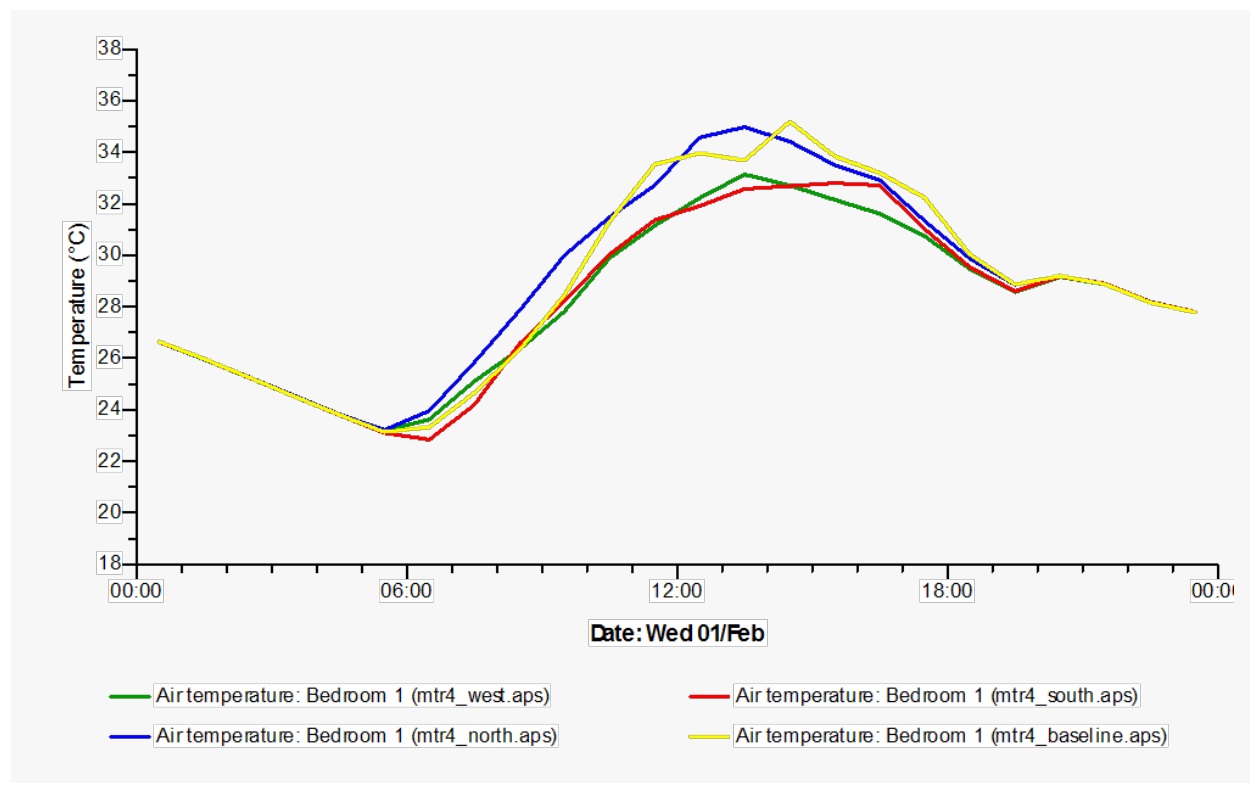
& CONFORT

**Chambre Parentale - La comparaison des températures de chaque orientation pendant une journée ensoleillée**

Les températures intérieures des différentes orientations varient de plus de 2 degrés.

Les cas les plus aggravés sont pour les orientations nord et est, orientations pour lesquelles la chambre parentale est exposée au soleil de l'après-midi.

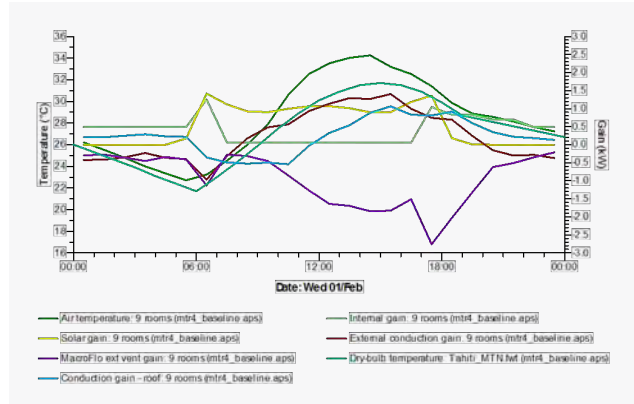
Ces résultats nous indiquent que l'isolation des murs et le type de vitrage utilisé aura un impact majeur sur la performance de la maison.



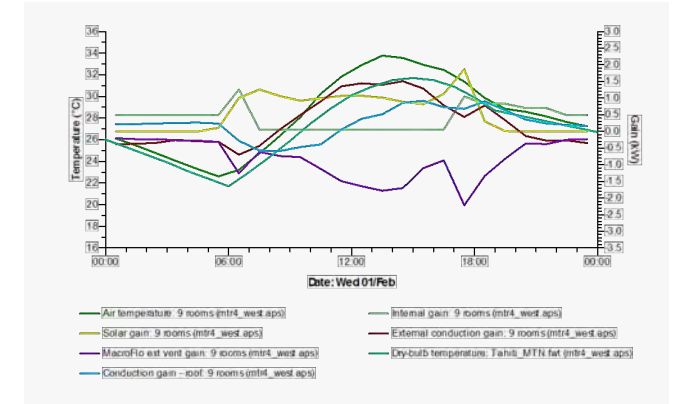
RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

Est (donnée de référence)



Ouest



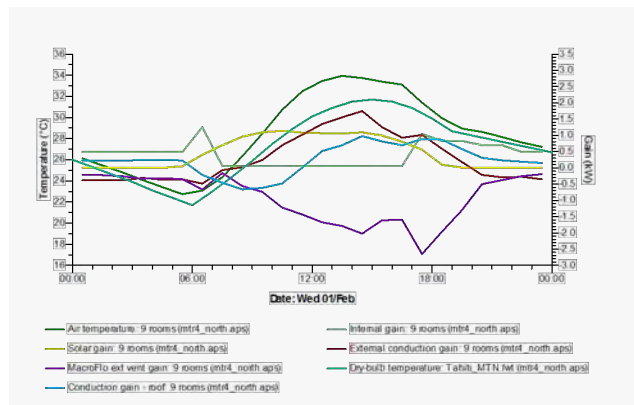
L'ensemble de la maison - Les profils de gains pendant une journée ensoleillée

Le graphique ci-contre présentent les profils de gains et températures moyennes pour l'ensemble de la maison.

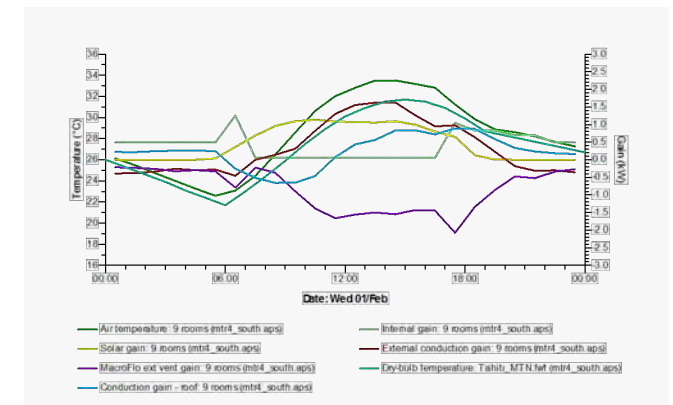
La température intérieure est clairement supérieure à la température extérieure – environ 2 degrés de plus. Les gains sont trop importants par rapport aux bénéfices de la ventilation naturelle. Contrairement aux résultats individuels des chambres et salon, les gains intérieurs, les gains solaires et de conduction diffèrent moins en fonction de l'orientation.

La ventilation naturelle varie de façon légèrement plus marquée du fait de la localisation et orientation non réparties des ouvertures.

Nord



Sud



## RÉPONSE THERMIQUE

## &amp; CONFORT

## Conclusion

L'orientation de la maison a un impact surtout localisé pour les pièces situées en périphérie. L'orientation ouest offre la meilleure performance globale, suivie par l'orientation sud.

Les orientations est et nord sont plus ou moins similaires.

L'absence de masse thermique se reflète dans la réponse de la température intérieure par rapport à la température extérieure.

À chaque moment, l'équilibre entre les gains et les bénéfices de la ventilation naturelle résulte en une montée de la température intérieure ou à un retour vers la température ambiante.

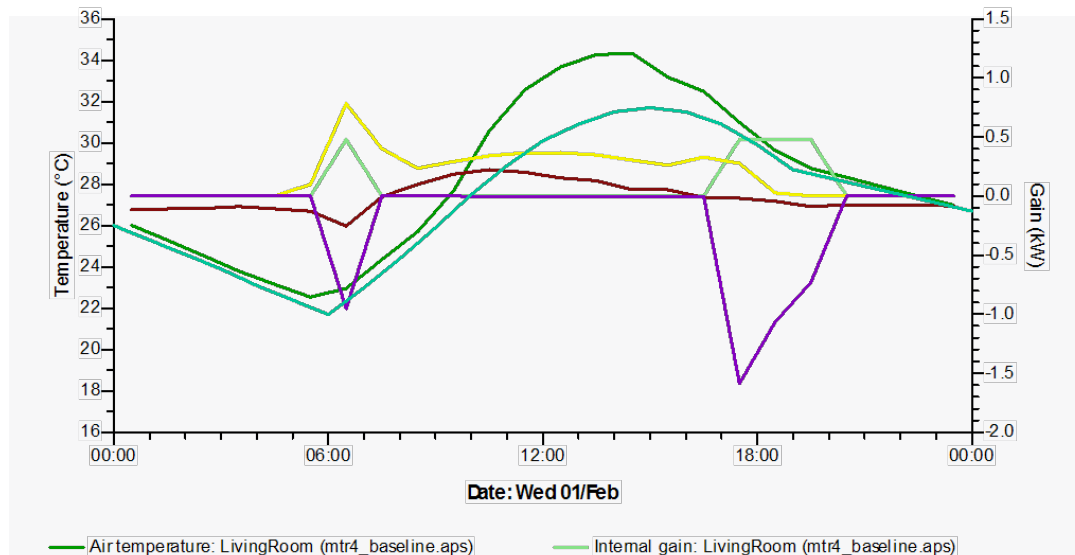
La partie suivante a pour but de tester et tenter de quantifier l'impact d'amélioration au design de la maison.

## Améliorations

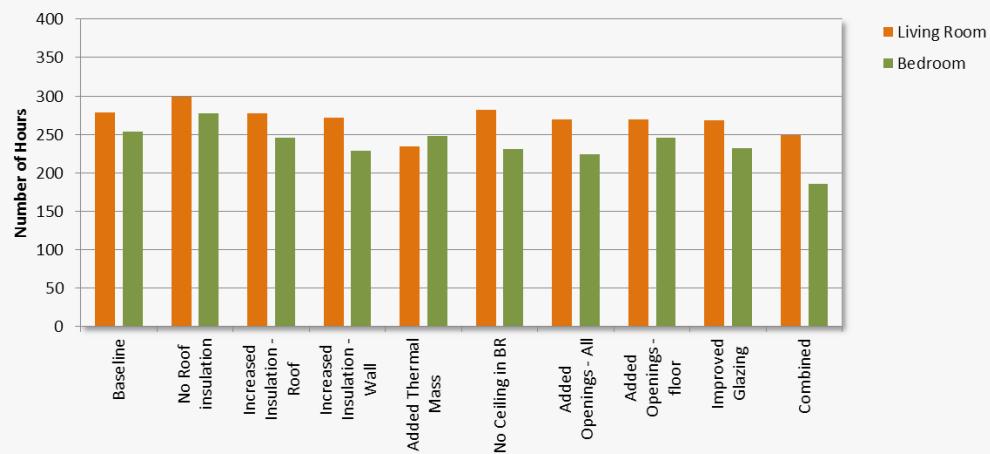
Un climat tropical, chaud et humide, plus ou moins constant au cours de l'année présente plusieurs défis. Lorsque la climatisation n'est pas une option, l'objectif est d'essayer de maintenir la température intérieure proche de la température extérieure. Le niveau de confort peut être amélioré en offrant suffisamment d'ombre et de mouvement d'air.

Ce but peut être atteint en réduisant les différents gains thermiques et en augmentant les bénéfices de la ventilation naturelle. Dans certains cas, l'utilisation de masse thermique peut se montrer judicieuse et permettre de bénéficier de l'inertie de la maison.

Chaque amélioration proposée est étudiée et comparée individuellement au modèle de base. Les améliorations sont comparées pour l'orientation de base ainsi que pour l'orientation ouest. L'objectif étant de rapporter les bénéfices de chaque mesure à son coût associé.



## Améliorations de l'orientation Ouest - heures au-dessus de 30 degrés



RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

Un des changements du OPH III par rapport au OPH4 est l'utilisation d'une toiture avec isolation (panneaux sandwichs) qui s'avèrent être une solution couteuse. La première étape de cette étude a été de vérifier que ce changement est réellement profitable au confort de la maison.

L'utilisation d'une toiture non isolée augmente le nombre d'heures à température supérieure à 30 degrés (9% - salon et 17% - chambre), en particulier pour les chambres étant donné le rôle important des gains de conduction pour cette zone. Le salon est moins affecté car les ouvertures permettent de dégager la chaleur transmise par le toit.

Une augmentation de l'isolation de la toiture et des murs a un impact restreint sur les températures intérieures du salon.

En revanche, pour la chambre parentale, les murs sont davantage exposés au soleil et l'ajout d'isolation permet de légèrement améliorer les conditions internes.

Malgré la faible variation des températures journalière (jour/nuit), l'addition de masse thermique permet de tempérer l'augmentation de température en cours de journée et réduit ainsi le nombre d'heures au-dessus de 30°C.

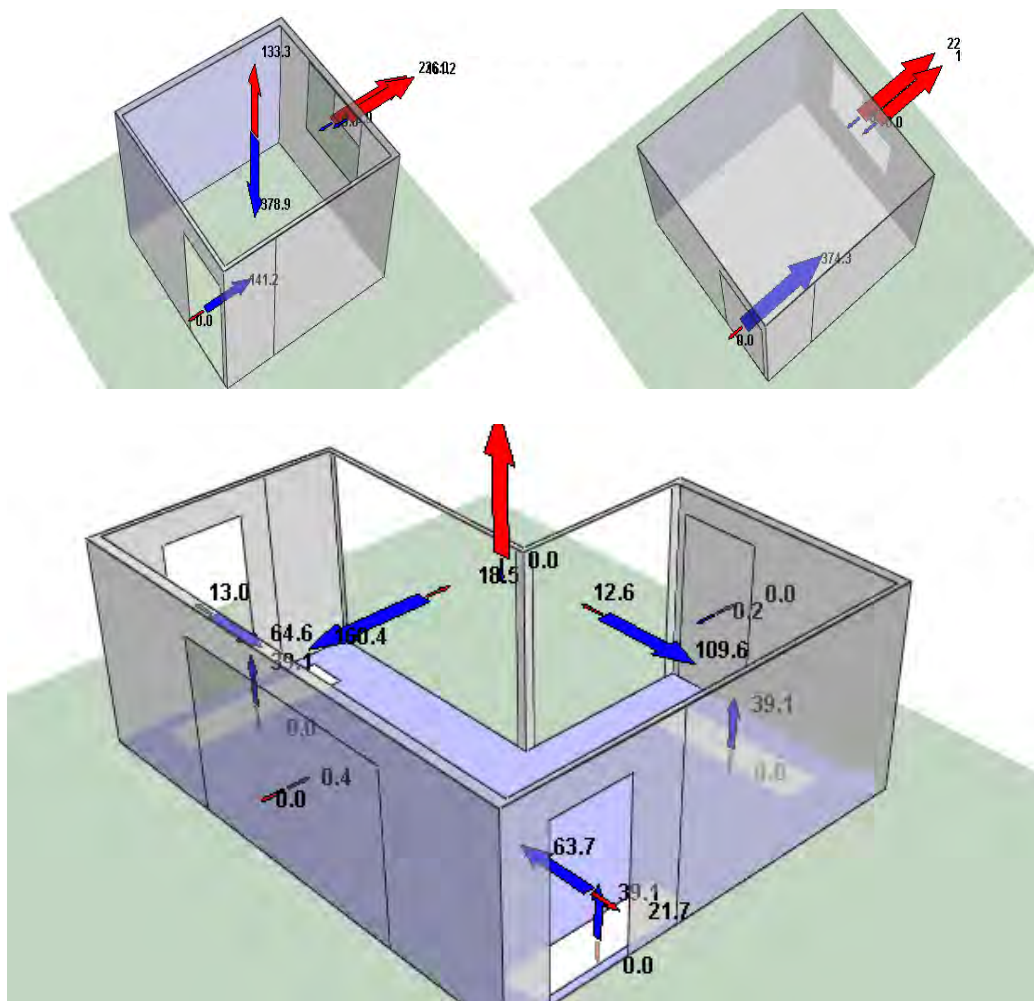
Le retrait du plafond des chambres afin de créer une connexion directe aux louvres du toit ne permet qu'une légère amélioration des conditions dans la chambre (5%).

Salon	<23	23-30	>30	Changement
Modèle de base	258	1785	467	
Toiture non isolée	257	1626	627	34%
Portes ouvertes	261	1904	345	-26%
Isolation augmentée - toiture	254	1819	437	-6%
Isolation augmentée - murs	258	1833	419	-10%
Addition de masse thermique	242	1984	284	-39%
Retrait du plafond	251	1772	487	4%
Augmentation des ouvertures - tous	269	1968	273	-42%
Augmentation des ouvertures - sol	263	1861	386	-17%
Vitré avec contrôle solaire	263	1826	421	-10%
Combinaison	280	1977	253	-46%

Chambre parentale	<23	23-30	>30	Changement
Modèle de base	731	3957	432	
Toiture non isolée	858	3721	541	20%
Portes ouvertes	736	3964	420	-3%
Isolation augmentée - toiture	718	3980	422	-2%
Isolation augmentée - murs	616	4116	388	-10%
Addition de masse thermique	373	4407	340	-21%
Retrait du plafond	984	3724	412	-5%
Augmentation des ouvertures - tous	844	3988	288	-33%
Augmentation des ouvertures - sol	739	3960	421	-3%
Vitré avec contrôle solaire	708	4026	386	-11%
Combinaison	843	4035	242	-44%

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT



L'amélioration suivante consiste à augmenter les ouvertures (les fenêtres sont considérées constamment ouvertes et la porte du salon est constamment ouverte à 40%). Les bénéfices sont considérables.

La quantité de louveres fixes dans les chambres et le salon pourrait être augmentée afin de reproduire ce phénomène. L'addition d'ouvertures au sol par le biais de grilles dans le salon donnant sous le plancher de la maison permet de réduire le nombre d'heures au-delà de 30°C de 17%. Cette solution s'avère d'autant plus efficace car elle permet d'utiliser l'effet de cheminée, l'air chaud ayant tendance à s'élever.

Enfin le simple vitrage standard est remplacé par un verre avec contrôle solaire (couche pyrolytique ou autres traitements similaires). L'amélioration est d'environ 10% pour la chambre et le salon.

La dernière itération est la combinaison de différentes améliorations: retrait des plafonds dans les chambres, augmentation des ouvertures des fenêtres et au sol, amélioration du vitrage. La réduction des températures élevées est de 30% et 9%.

Les améliorations sont également testées pour une orientation Ouest. Les variations sont similaires mais légèrement moins marquées du fait que les gains sont déjà réduits par rapport l'orientation originale sauf pour les gains internes qui de fait prennent un poids plus important et restent inchangés dans les différentes modifications de la maison. Ces mesures doivent être comparées à leur coût associé afin de déterminer leur viabilité.

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

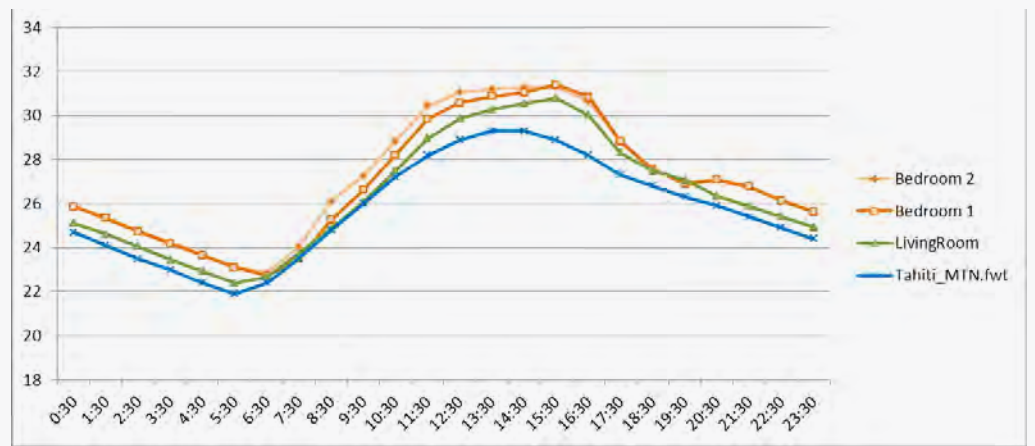
Capteurs dans le fare vs IES model

Le modèle IES utilise des données météorologiques déterminé par la localisation géographique et des données moyennes. Les conditions extérieures bien que légèrement différentes devraient avoir un impact limité sur l'étude comparative des améliorations, le but n'étant pas de prédire exactement les températures à un moment précis mais de comparer la performance des mesures appliquées.

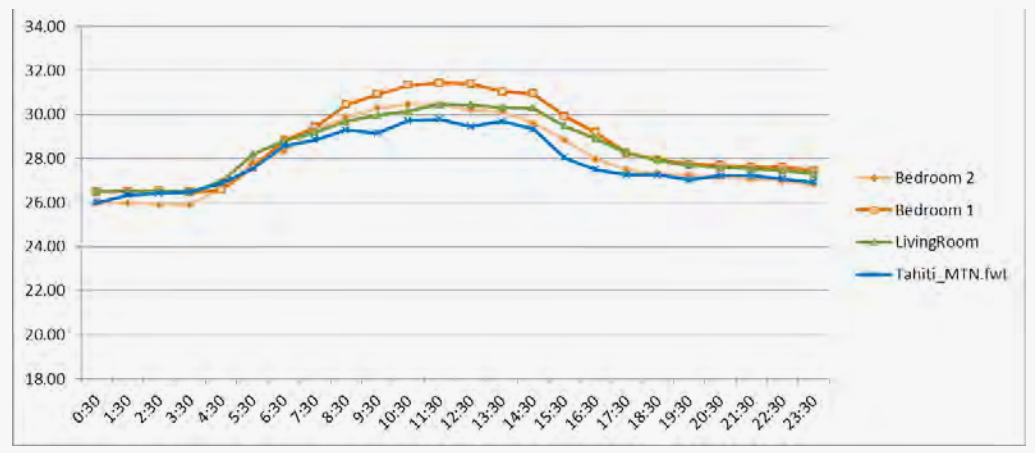
Les deux graphes ci-contre représentent deux journées différentes une sur IES et l'autre mesurée à partir des capteurs dans le fare. Les profils et comportement des pièces sont très similaires ce qui permet de vérifier que le modèle est assez proche de ce qui est observé sur le site.

Les températures de nuit sont légèrement inférieures dans le modèle mais encore dans le comparatif, ce qui nous intéresse ce sont les hautes températures.

Profils de température de IES - 8 Avril



Profils de température des capteurs - 5 Mars



● *Logements durables en Polynésie française*

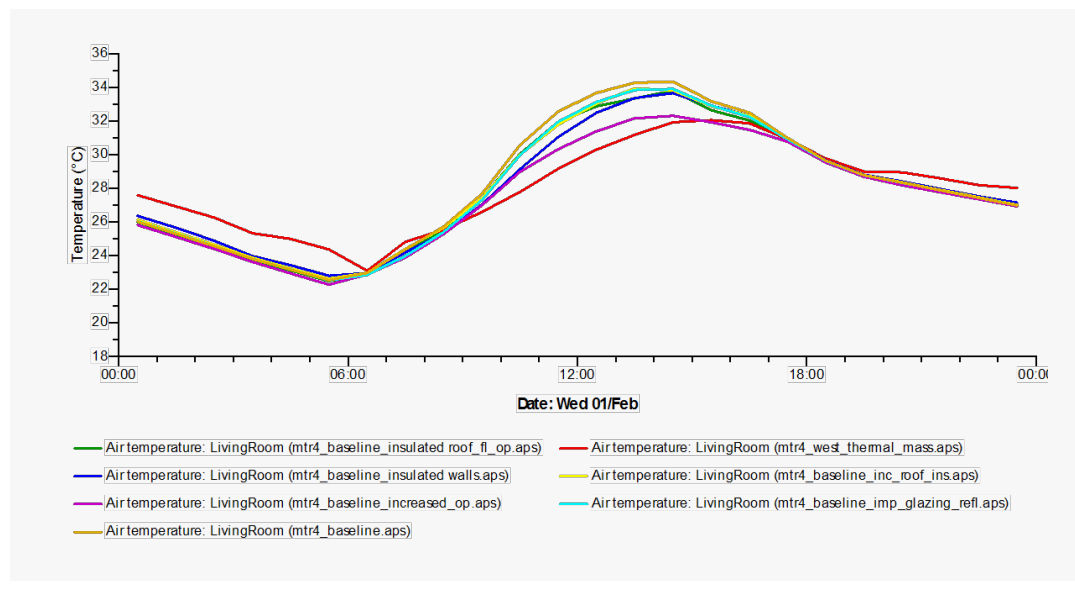
RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

Appendix:  
Les graphes de comparaison

Les améliorations de la chambre parentale et du salon pendant  
une journée chaude typique

**Chambre parentale - La comparaison des températures le 1er  
Février**



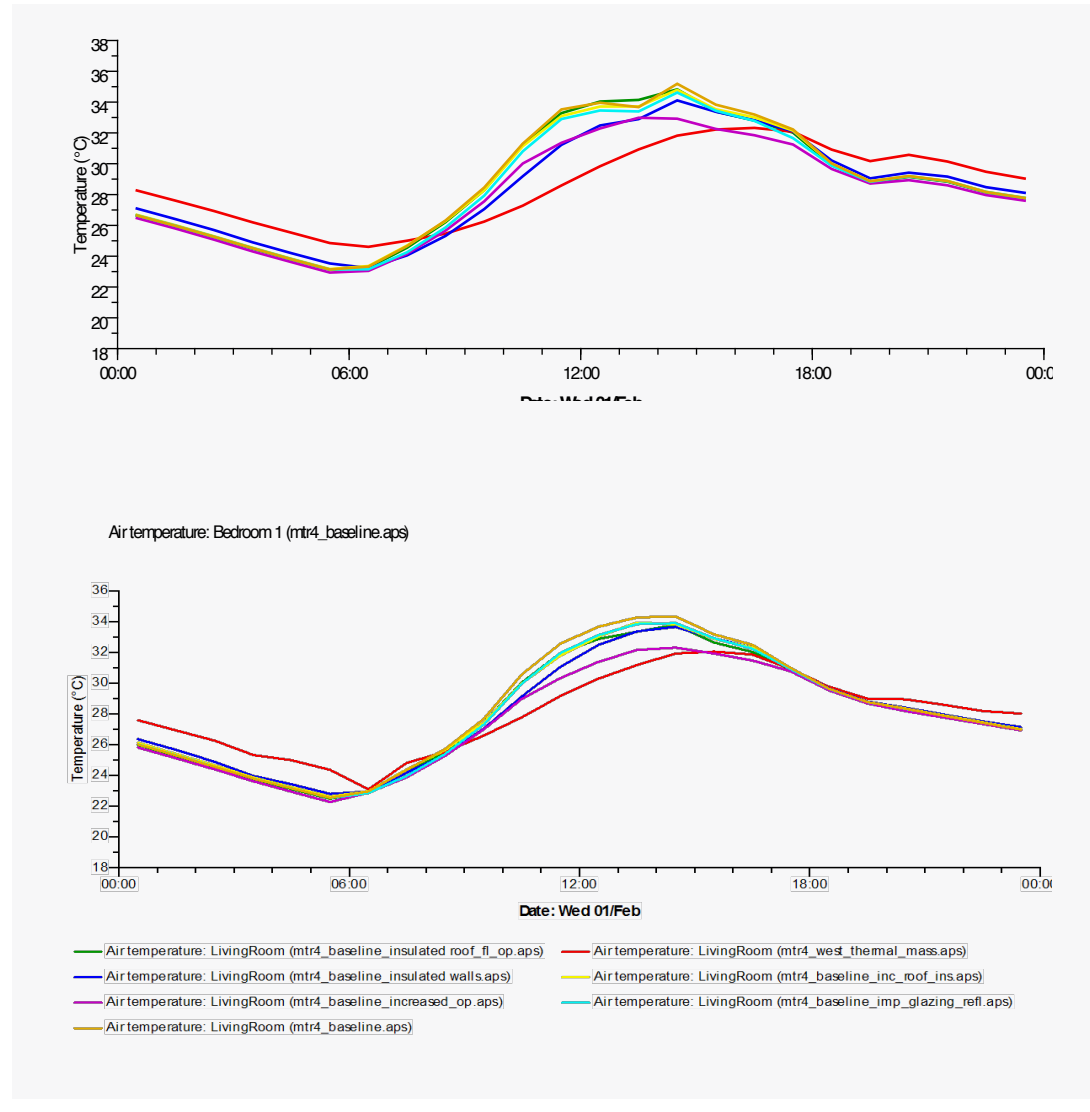


● Logements durables en Polynésie française

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

Salon - La comparaison des températures le 1er Février

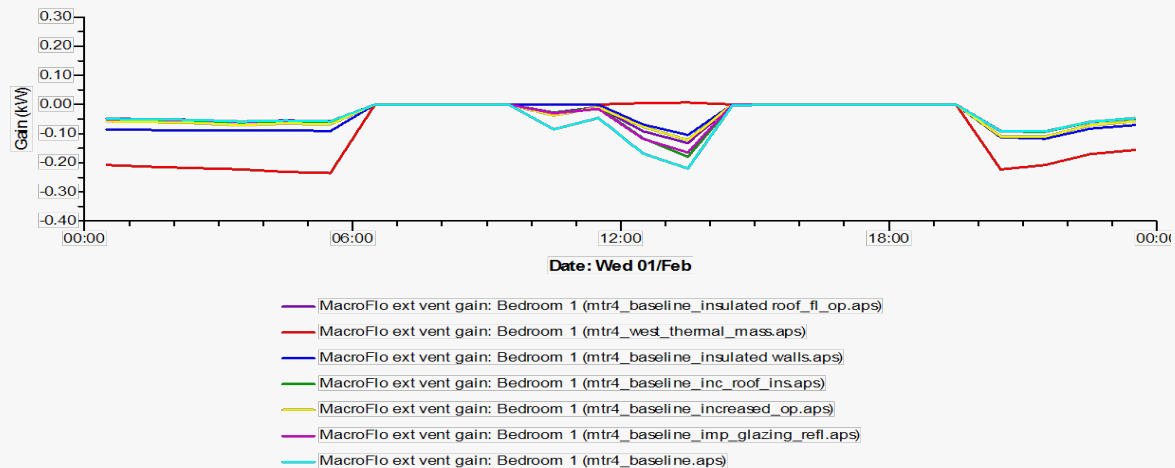


## ● Logements durables en Polynésie française

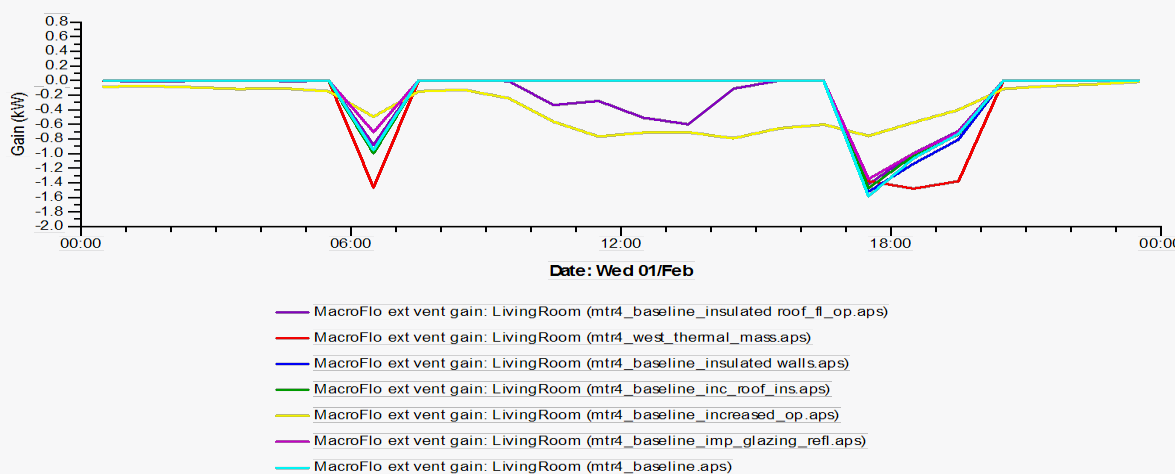
RÉPONSE THERMIQUE

&amp; CONFORT

Chambre parentale – Gain de flux d'air le 1er Février



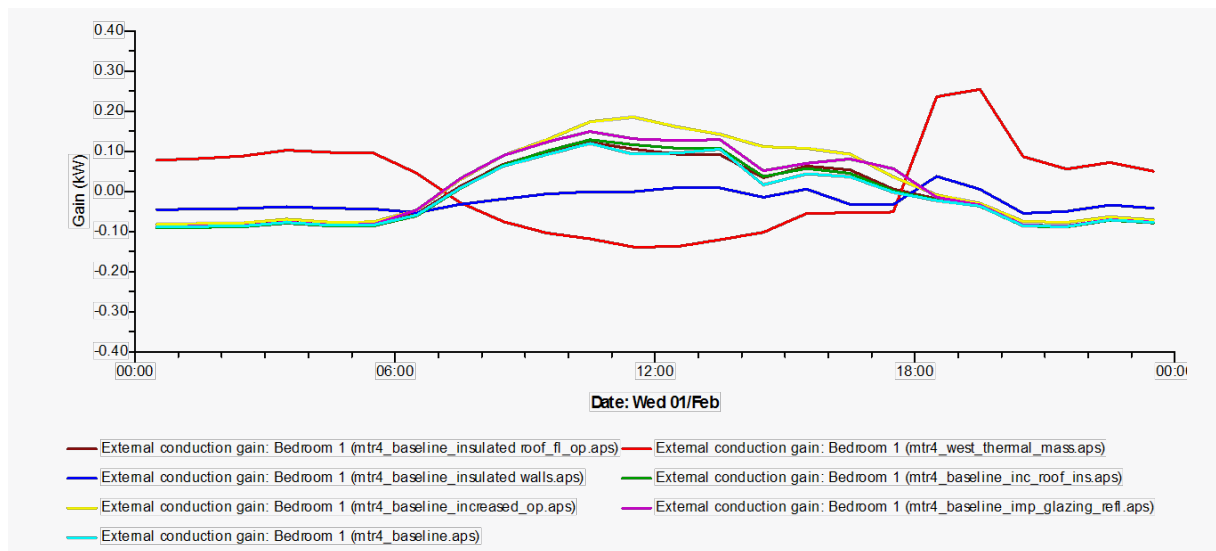
Salon – Gain de flux d'air le 1er Février



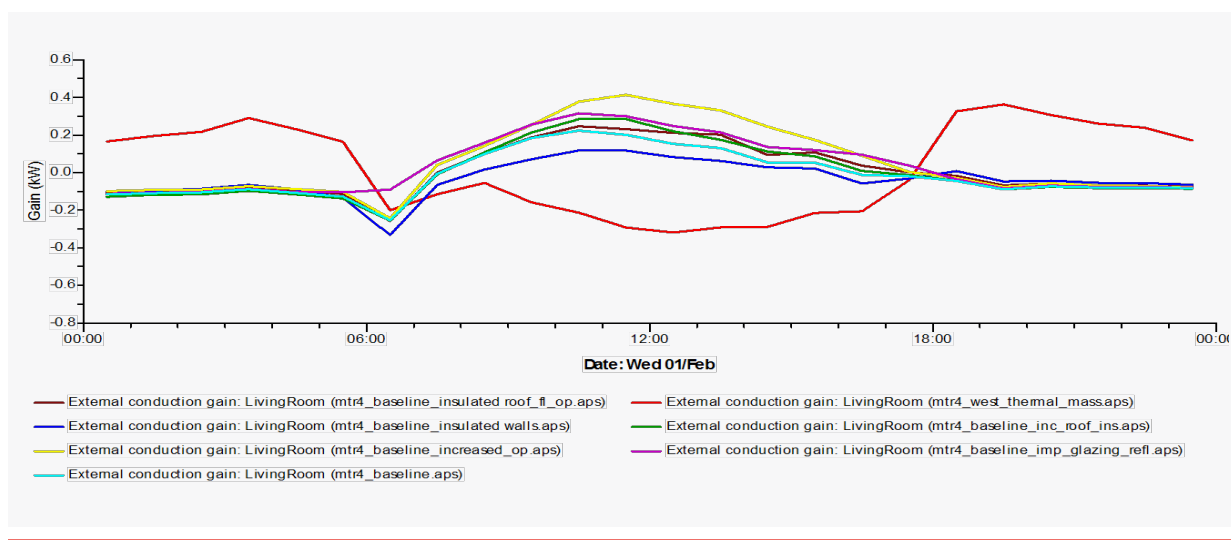
RÉPONSE THERMIQUE

&amp; CONFORT

Chambre parentale – Gain de conduction externe  
le 1er Février



Salon – Gain de conduction externe le 1er Février

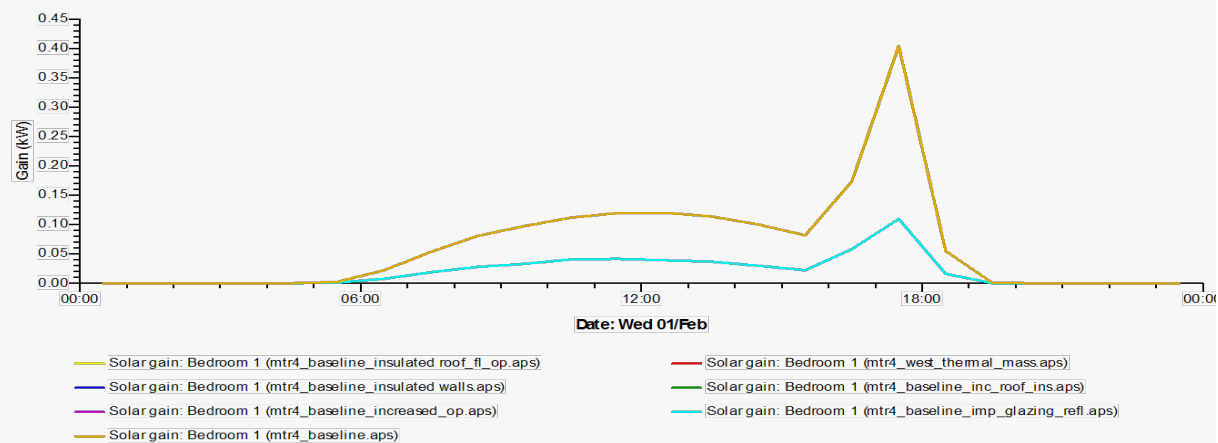


## ● Logements durables en Polynésie française

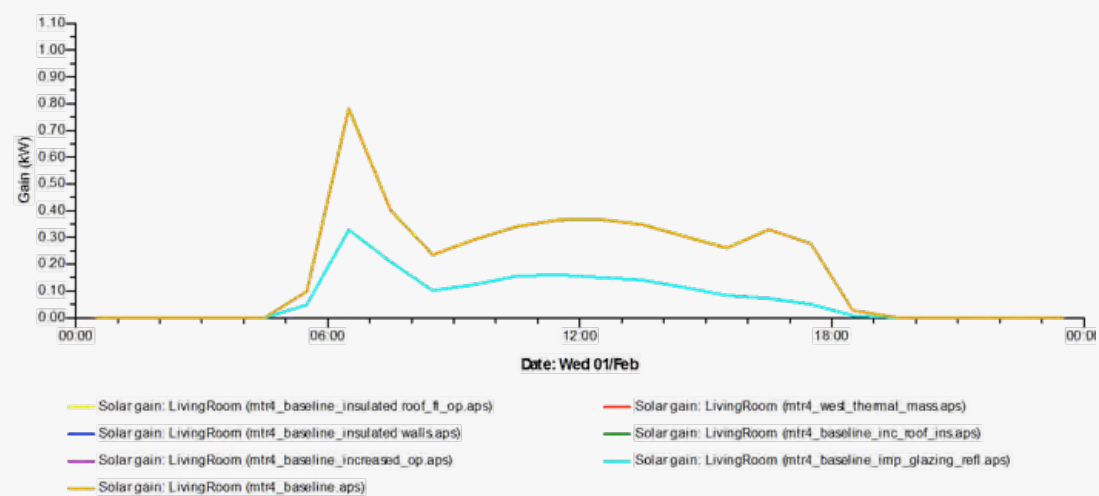
RÉPONSE THERMIQUE

&amp; CONFORT

Chambre parentale – Gain solaire le 1er Février



Salon – Gain solaire le 1er Février



- *Logements durables en Polynésie française*

RÉPONSE THERMIQUE

& CONFORT

## ÉVALUATION DU CONFORT

### Critères de confort

Afin d'adopter une logique dans les simulations, l'équipe, en évaluant la notion de confort, utilise les recommandations de l'ASHRAE comme critères de base.

Pourtant la réflexion sur le confort évolue.

Des études empiriques avaient montré que les approches existantes de la notion du confort basées sur la théorie de l'équilibre de la chaleur n'expliquaient pas la gamme de températures trouvée confortable par des usagers dans les bâtiments dont la température intérieure est variable, i.e., qui se présente dans un habitat ventilé naturellement<sup>1</sup>.

L'adaptation prend en compte la façon dont les habitants utilisent les moyens de contrôle en leur possession.

De multiples facteurs interviennent.

Il s'agit d'un processus non absolu régi par le besoin d'éviter l'inconfort, le désir de faire des économies d'énergie, la difficulté d'ouvrir la fenêtre etc.<sup>2</sup>

Le concept du confort adaptatif a informé étroitement nos propositions.

Ce modèle 'adaptatif' est basé sur les expériences de terrain des gens dans leur environnement quotidien.

Il reconnaît que notre sens thermique fait partie d'un mécanisme qui contrôle la température de notre corps.

Par ailleurs, dans la continuité de ce mécanisme physiologique si un changement thermique se produit une personne réagira simplement de façon à restaurer ce confort.

<sup>1</sup>- Brager, G. S., & de Dear, R. J.

Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions, 104(1), 1-18. (1998)

<sup>2</sup>- Arens, E., Xu, T., Miura, K., Hui, Z., Fountain, M., & Bauman, F. S. A Study of Occupant Cooling by Personally Controlled Air Movement. Energy and Buildings, 27, 45-59. (1998).



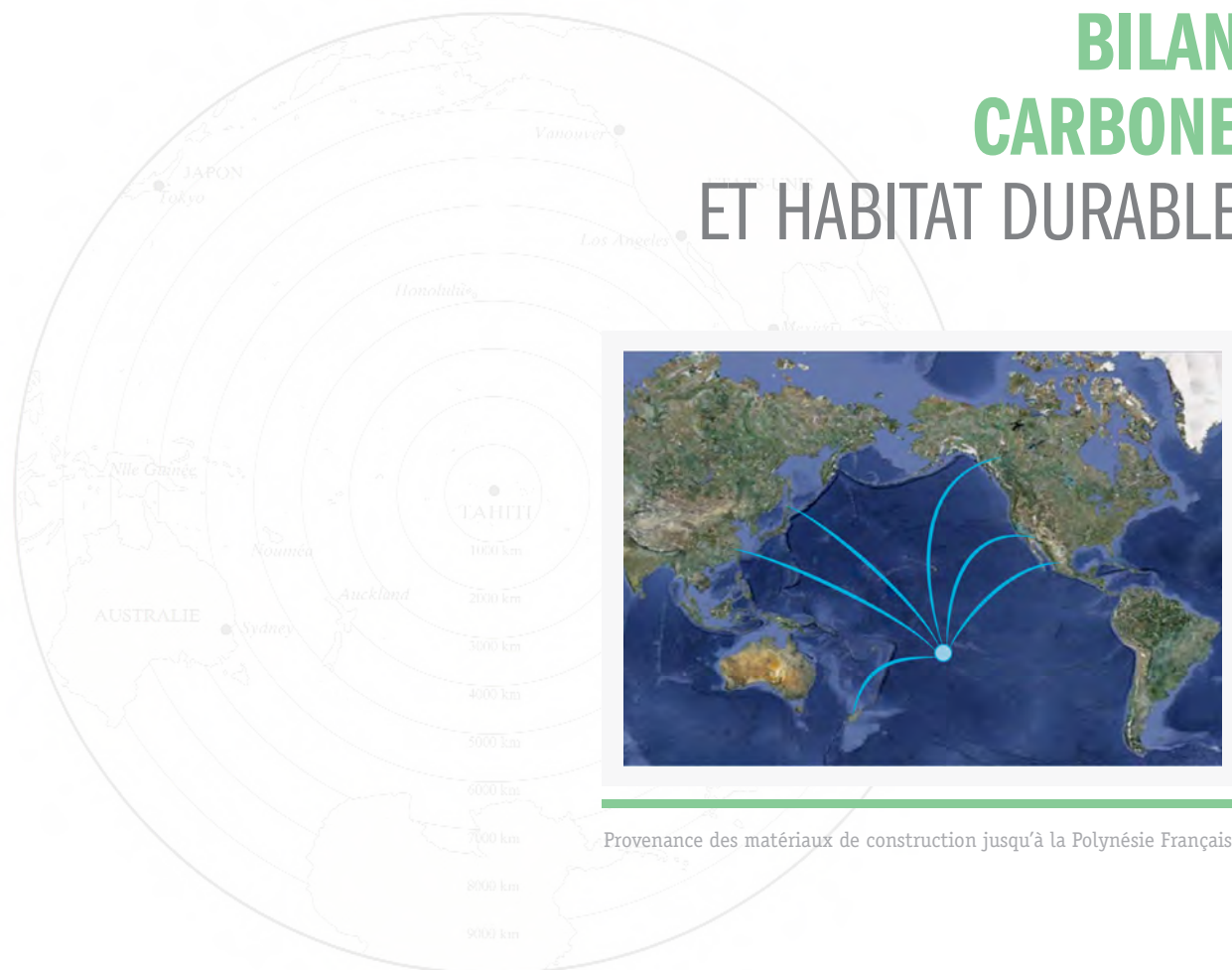
*Il est d'une grande importance d'avoir la sensation de pouvoir adapter son environnement - le pouvoir de contrôler notre confort.*



BILAN CARBONE &amp;

HABITAT DURABLE

# BILAN CARBONE ET HABITAT DURABLE



## Problématique

Dans « Notre avenir à tous », rédigée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU (1987) le développement durable est défini comme "un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations à répondre aux leurs."

Ainsi on s'engage dans un processus de changement dans lequel l'utilisation des ressources, la cible des investissements et l'orientation du développement technologique sont amenés à une plus grande cohérence par rapport aux besoins d'aujourd'hui et de l'avenir.

Cela correspond à une nouvelle conception de l'intérêt public appliquée à la croissance économique et reconsidérée à l'échelle mondiale afin de prendre en compte tous les aspects environnementaux et sociaux.

Ainsi, dans le contexte d'une planète globalisée, tous sont encouragés à entreprendre des audits énergétiques et à adopter des normes de construction qui réduisent les gaz à effet de serre.

Outre le bénéfice économique inhérent à une baisse de consommation énergétique pour la Polynésie Française, la conception et construction de meilleurs bâtiments améliorera considérablement le confort des occupants, réduira l'utilisation de l'eau, consolidera l'identité culturelle et diminuera l'impact négatif sur l'environnement.

Cette section considère le programme fare OPH dans le contexte du développement durable dans la construction en Polynésie Française.

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

## Introduction: Logements et développement durable

En raison de la croissance de l'urbanisation dans les Iles de la Société et la pénurie de logements abordables résultant, le gouvernement de la Polynésie Française compte mettre l'accent sur le développement des logements.

L'écart entre le revenu moyen d'une famille et le coût moyen d'une maison est dû principalement au coût élevé des terrains et aux coûts associés à l'importation des matériaux de construction. Dans ce contexte, le fare OPH commence à être perçu par la population à revenu moyen comme une alternative possible grâce à sa commercialisation effective à un coût raisonnable par l'OPH depuis 1995. Environ 150 sont vendus en moyenne par an. De plus le FEI construit de son côté une version du OPH sur les îles extérieures (environ 100 par an).

En conséquence la mise en oeuvre actuelle des projets OPH contribue fortement à l'activité de l'industrie du bâtiment. Il est envisageable de renforcer la filière de vente des fares comme moyen de défrayer les coûts des fares subventionnés.

L'OPH a pour mandat de fournir des logements à faible coût et ce autant que son budget annuel lui permet. Donc, la question essentielle est de savoir comment réduire les coûts de manière à permettre l'intégration d'éléments de meilleure qualité tout en fournissant un nombre maximum de fares.

Ceci se divise en deux parties :

Le coût des matériaux et le coût de construction propre.

La procuration des matériaux est gérée directement par OPH sur Appel d'Offre. Les entreprises de construction sont sélectionnées séparément également sur Appel d'Offre.

Ces deux composants-ci qui affectent le coût d'un fare répondent aux impératifs différents. La reconnaissance de ces impératifs différentes fera partie intégrante de la réflexion du rôle joué par le OPH dans le développement durable en ce qui concerne l'industrie du bâtiment.

## Objectifs

- ▶ Identifier la place du programme gouvernemental OPH dans un processus de développement durable.
- ▶ Calculer l'empreinte carbone d'un fare OPH.
- ▶ Evaluer d'autres pistes de recherche pour baisser l'empreinte carbone d'un fare OPH.
- ▶ Répondre aux objectifs gouvernementaux de recherche d'une indépendance énergétique et matérielle à long terme en ouvrant un dialogue sur l'utilisation de nouveaux matériaux et technologies disponibles localement.
- ▶ Formuler des recommandations pour développer des foyers à bon rendement énergétique et sains, tout en respectant et même en résolvant les problèmes environnementaux.

## Méthologie

En considérant un fare OPH comme cas d'étude, nous avons extrapolé l'échelle des quantités et l'impact des processus courants pour l'industrie du bâtiment dans le territoire (cette procédure ne prend pas en considération les questions urbanistiques relatives aux groupements de OPH dans des lotissements).

Notre étude s'appuie sur des entretiens avec des entrepreneurs locaux et de réunions d'information avec le conseil consultatif de l'OPH.



Estimation du nombre de demandes de permis de construire en Polynésie Française 2006\*.



Estimation du nombre de demandes de permis de construire en Polynésie Française 2009\*.

- ▲ Représente 10 Fares OPH OPH
- Représente 10 autres maisons

\*Obtenus du département de l'urbanisme de Papeete.



## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

## CALCUL DE L'EMPREINTE CARBONE LIÉE AU OPH4\*

## Introduction

Les régions insulaires sont confrontées à un niveau élevé de vulnérabilité aux effets du changement climatique et, récemment, les responsables politiques se sont fortement intéressés à la planification de stratégies économiques de réduction des émissions de carbone pour les micro-États insulaires en développement. Lors de l'élaboration de stratégies d'atténuation, ou visant à promouvoir l'utilisation de matériaux locaux, il est souvent utile d'en comprendre les effets indirects sur différents secteurs de l'économie. Nous nous intéresserons ici aux logements pour les ménages à faibles revenus en Polynésie française et aux émissions de gaz à effet de serre qui y sont relatifs. Nous présentons un cycle de vie basé sur une technique comptable pour évaluer l'empreinte carbone du ménage type en OPH4 parallèlement à ses variations. Les résultats soulignent la portée que pourraient avoir des changements de matériaux qui réduiraient significativement l'empreinte de ce modèle de logement. Il existe actuellement un certain nombre de limites et de développements possibles liés à cette méthode et nous aborderons leur potentiel futur dans la partie finale.

## Méthodologie

Le modèle s'appuie sur une évaluation du cycle de vie (ECV) pour obtenir un calcul approximatif des émissions de gaz à effet de serre (GES) durant l'extraction, le traitement, le transport et l'utilisation des divers matériaux nécessaires à la construction d'un OPH.

Nous ne prenons pas en compte des conséquences associées à l'occupation comme la consommation en électricité et en eau ou la gestion des déchets. En raison de nombreuses données insuffisantes, nous définissons le total de l'empreinte carbone du foyer comme la somme des émissions relatives à la production

et au transport des matériaux. Nous obtenons des facteurs d'émission (équivalent en gCO<sub>2</sub>/tonne de matériau) et utilisons les quantités spécifiques de chaque matériau nécessaire telles qu'elles sont indiquées par Acomalis.

Le tableau 1 détaille les principaux matériaux que nous incluons dans l'évaluation.

Les facteurs d'émission sont issus de l'outil d'ECV des intrants-extrants économiques de Carnegie Mellon. L'évaluation du cycle de vie des intrants-extrants économiques (EIO-LCA) est une méthode qui consiste en une procédure mathématiquement définie utilisant des données économiques et environnementales pour déterminer les effets du changement de l'extrait d'un seul secteur. La méthode peut s'appliquer à tout modèle économique défini par les transactions entre les divers secteurs. Le modèle 2002 des prix d'achat basés sur un système de référentiel a été utilisé. Ce modèle permet à l'utilisateur de choisir parmi toute une variété de secteurs économiques, qu'il s'agisse de grands secteurs ou de secteurs particuliers. Le modèle procure ensuite une estimation, pour un secteur donné, des émissions en GES liées à un niveau déterminé d'activité économique dans ce secteur.

Par exemple, les émissions de GES liées à la fabrication de tuyaux en plastique depuis la génération de courant en passant par la fabrication de produits pétrochimiques et les différents types de transport.

Vous pouvez consulter dans la Figure 1 un exemple d'extrait à partir du modèle EIO-LCA. Ces estimations devraient être validées à l'avenir étant donné qu'elles correspondent à l'échelle macroéconomique et se rapportent à des données de 2002. Elles sont utiles en tant qu'estimations pour comparaison, mais ne peuvent servir de facteurs d'émission spécifiques au contexte polynésien.

Matériau	Éléments dans un MTR IV
Aluminium	Grille de ventilation du toit
	Huisseries de portes en verre
	Encadrements de fenêtres
	Persiennes
Pin des Caraïbes	Terrasse
Céramique	Équipements de salle de bains
Béton	Fondations
Cuivre	Plomberie intérieure
Douglas taxifolié	Charpente
	Ossature des planchers
	Ossature des murs
Câbles électriques	Électricité
Fibrociment	Revêtements de sols
	Revêtements muraux intérieurs
Verre	Portes en verre (portes d'entrée)
	Fenêtres
Mélamine	Armoires
Peinture	Peinture du toit
	Isolation du toit
	Peinture des murs
Plastique	Revêtements de sols
Contreplaqué	Panneaux muraux extérieurs
	Portes extérieures
	Portes intérieures

Tableau 1 : les groupes de matériaux évalués

\*Cet axe de la recherche a été élaboré par R.Shirley

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

Nous basons nos estimations pour les facteurs d'émission du cycle de vie sur des carburants tels que le diesel, l'essence et les méthodes de transport utilisées, y compris les transports aériens sur courte et longue distances, les pétroliers d'eau profonde (pour les transports internationaux), les petits pétroliers (pour l'acheminement au niveau local) et le transport par camion. Les facteurs d'émission (équivalent gCO<sub>2</sub>/tonne-km) lors de transports aériens et internationaux sont issus principalement du World Resource Institute, et sont utilisés parallèlement aux estimations des méthodes locales de transport routier. Des données plus fiables spécifiques aux prix des carburants en Polynésie pour des transports par voies terrestre et aérienne devraient être obtenues. Presque tous les matériaux utilisés pour les OPH proviennent de l'extérieur de la Polynésie française. Nous avons interrogé de nombreux entreprises pour déterminer la provenance des divers matériaux (par société, pays et éventuellement par port). Nous avons ensuite calculé la distance de transport en fonction des diverses routes empruntées, tant au niveau local qu'international.

La combinaison de ces facteurs procure un facteur d'émission en équivalent gCO<sub>2</sub>/tonne pour le transport.

Pour chaque source d'approvisionnement en matériaux, nous appliquons la formule générale (où FE est le facteur d'émission):



	Sector	Total t CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> Fossil t CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> Process t CO <sub>2</sub> e	CH <sub>4</sub> t CO <sub>2</sub> e	N <sub>2</sub> O t CO <sub>2</sub> e	HFC/PFCs t CO <sub>2</sub> e
	Total for all sectors	1420	1180	64.4	108	38.1	22.0
221100	Power generation and supply	415.0	409.0	0	1.12	2.54	2.63
325211	Plastics material and resin manufacturing	217.0	217.0	0	0	0	0
325110	Petrochemical manufacturing	158.0	132.0	18.3	7.56	0	0
325190	Other basic organic chemical manufacturing	151.0	135.0	0	0	15.5	0
211000	Oil and gas extraction	110	31.0	20.2	58.9	0	0
324110	Petroleum refineries	78.9	78.6	0	0.244	0	0
484000	Truck transportation	22.2	22.2	0	0	0	0
325310	Fertilizer Manufacturing	20.7	5.12	6.92	0	8.62	0
486000	Pipeline transportation	20.3	9.30	0.025	11.0	0	0
331110	Iron and steel mills	18.8	7.09	11.6	0.114	0	0

Figure 1 : GES utilisés pour 1 million de dollars (US) d'activité économique lors de la fabrication de tuyaux et de raccords de tuyaux en plastique

$$EC \text{ Fare OPH} = \sum \text{matériaux Quantité totale (tonnes)} * (FE \text{ de fabrication} + FE)(\text{équivalent gCO}_2\text{-2/tonne})$$

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

## Résultats

Nous effectuons ce calcul pour chaque OPH en fonction des quantités indiquées par Acomalis. Nous parvenons à la conclusion que les principaux contributeurs à l'empreinte carbone des OPH sont le PVC, le verre, le béton et les métaux. L'empreinte carbone totale d'une OPH4 est d'environ 49 tonnes alors que celle d'un OPH4 avec les modifications résultantes des études thermiques est de 59 tonnes, ce qui est significativement plus lourde lorsque l'on extrapole au nombre de fares construits chaque année.

Nous observons que les différences observées dépendent principalement des quantités de verre et de béton utilisées.

Dans l'ensemble des versions modélisée, les émissions relatives aux matériaux de construction représentent environ 95 % de l'empreinte alors que celles des transports comptent pour les 5 % restants.

La OPH4 présente une surface de 78 m<sup>2</sup> avec 27m<sup>2</sup> de terrasse pour la version trois chambres (F4) et de 85 m<sup>2</sup> de terrasse pour la version à quatre chambres (F5).

Ces empreintes représentent 644 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> et 694/kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> respectivement. L'empreinte du OPH 4 se situe en-dessus de la fourchette des équivalents 400 – 500 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> que l'on retrouve fréquemment dans les études concernant les maisons individuelles de petites surfaces aux États-Unis et au Royaume-Uni . Pourtant les fares OPH sont bien plus simples que celles construites aux États-Unis et au Royaume-Uni\* donc les améliorations dans l'empreinte devront être envisageables.

*\*Les frais de transport ne représentent pas une part importante de l'empreinte. Cela peut également signifier que les facteurs d'émissions doivent être réexaminés. Quoiqu'il en soit, si l'on se base sur nos estimations approximatives et étant donné que 300 à 400 OPH pourraient être construits annuellement cela représenterait une empreinte totale très importante.*

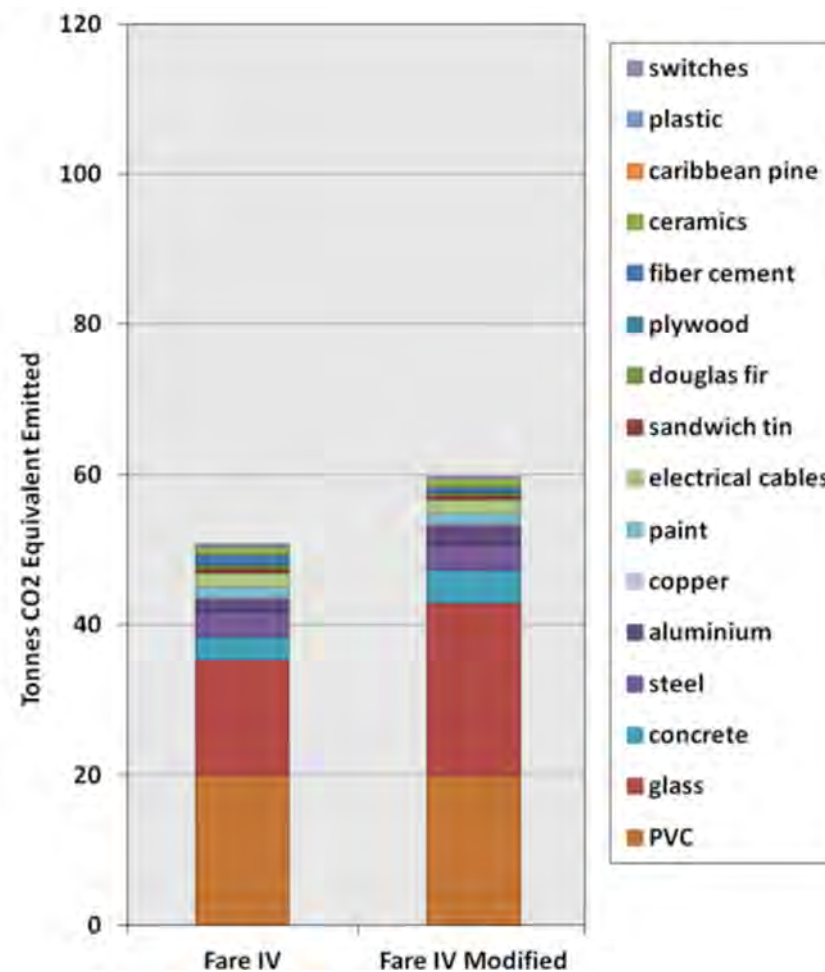


Figure 2 : empreintes carbone des modèles de OPH

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

Cette étude présente certaines limites comme cela a été évoqué dans la partie consacrée à la méthodologie. Les facteurs d'émission sont généralisés. Nous ne prenons pas en compte l'éventualité de substitution de différentes ressources. L'étude ne prend également pas en compte d'autres effets indirects tels que l'utilisation des ressources en eau ou les conséquences économiques comme l'emploi.

Sous sa forme actuelle, il ne doit être utilisé que pour des motifs de démonstration et pour souligner l'utilité d'une future modélisation au moyen de données contextuelles appropriées.

Le modèle pourrait donc être potentiellement développé.

## Conclusion

Nous avons effectué l'estimation de l'empreinte carbone des fares de type OPH 4, en nous basant sur les émissions associées aux matériaux utilisés pour la construction ainsi que sur celles résultant de leur transport vers les îles. Les émissions liées aux matériaux de construction représentant 95 % du total. Nous estimons que le OPH4 modifié pour les fins thermiques représente une augmentation importante de son empreinte carbone. Le OPH 4 non-modifié présente l'opportunité d'une réduction significative des émissions.

La grille de calcul présentée ici n'en est qu'à sa phase d'élaboration mais elle procure déjà un aperçu comparatif. Ce type d'analyse constitue un outil utile pour l'éducation et la sensibilisation du public tout en fournissant des indications pertinentes s'agissant des économies d'énergie pouvant être réalisées dans le secteur du logement en Polynésie française. Cela peut se révéler important afin de déterminer quelles sont les stratégies publiques permettant de réduire le plus efficacement les émissions de carbone et, pour y parvenir, de définir les aspects du changement dans la construction et l'approvisionnement en ressources.

Material	Poids (tonnes) Fare IV	Poids (tonnes) Fare IV modifié	Poids (tonnes) Fare V	Poids (tonnes) Fare V charpente local	Fare IV			Fare IV Modified		
					Emissions Factors		Total (tonnes CO2eq)	Emissions Factors		Total (tonnes CO2eq)
					Embodied (tonnes CO2eq)	Transportation (tonnes CO2eq)		Embodied (tonnes CO2eq)	Transportation (tonnes CO2eq)	
sandwich tin	0,450	0,450	0,414	0,414	0,481	0,009	0,49	0,481	0,009	0,49
douglas fir	10,520	8,103	6,204	0	0,000	0,432	0,43	0,000	0,333	0,33
aluminium	0,200	0,292	0,144	0,144	1,799	0,004	1,80	2,627	0,006	2,63
plywood	1,690	1,605	1,611	1,611	0,000	0,090	0,09	0,000	0,086	0,09
PVC	0,086	0,086	0,035	0,035	17,078	0,008	17,09	17,078	0,008	17,09
fiber cement	1,390	0,700	0,000	0,000	1,218	0,074	1,29	0,613	0,037	0,65
glass	0,450	0,675	0,279	0,279	16,286	0,009	16,30	24,428	0,014	24,44
ceramics	0,350	0,350	0,195	0,195	1,092	0,031	1,12	1,092	0,031	1,12
steel	3,074	3,100	2,940	2,940	3,289	0,064	3,35	3,316	0,065	3,38
concrete	23,920	41,220	26,220	26,220	2,228	0,833	3,06	3,840	1,435	5,27
caribbean pine	2,110	2,110	15,193	21,397	0,000	0,001	0,00	0,000	0,001	0,00
plastic	0,107	0,107	0,587	0,587	0,180	0,006	0,19	0,180	0,006	0,19
light bulbs	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
electrical cables	0,058	0,058	0,058	0,058	1,897	0,005	1,90	1,897	0,005	1,90
switches	0,004	0,004	0,004	0,004	0,007	0,000	0,01	0,007	0,000	0,01
paint	0,320	0,320	0,280	0,280	1,405	0,029	1,43	1,405	0,029	1,43
melamine	0,135	0,135	0,035	0,035	0,000	0,007	0,01	0,000	0,007	0,01
copper	0,002	0,002	0,002	0,002	0,039	0,000	0,04	0,039	0,000	0,04
glass fibre insulation	0	0,067	0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
bamboo	0	0,000	0,225	0,225	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
<b>TOTAL tonnesCO2 EMISSIONS FROM MTR</b>							<b>49</b>			<b>59</b>

Détail estimatif du poids des matériaux - fare OPH4 F4

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

**RÉDUIRE LE BILAN CARBONE DU OPH4**

Le fait de réduire la quantité de matériaux nécessaires et d'encourager la croissance de l'industrie du bois locale permet l'amélioration de la durabilité environnementale et économique. Les maisons sont actuellement conçues à la base de Douglas Fir importé des États-Unis ou de la Nouvelle Zélande.

En raison des impacts d'énergie incarnés importants attribués aux matériaux de la structure du bâtiment et du coût économique et environnemental élevé que représente l'importation du bois, il est fondamental de trouver des solutions structurelles.

**Évaluation Structurelle**

Cette section est basée sur une étude effectuée par C. Miller<sup>3</sup> à UCB.

L'objectif est d'analyser la viabilité de deux solutions :

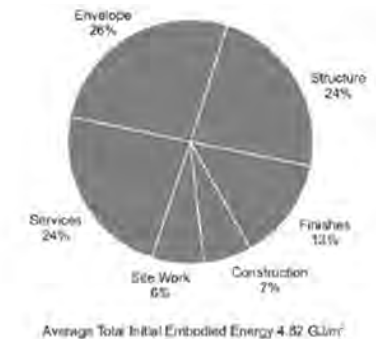
- Réduire les quantités de bois en mettant en œuvre une armature optimisée.
- Le remplacement du Douglas Fir importé par du Pin des Caraïbes local.

Après avoir calculé le poids mort, la surcharge et la charge du vent utilisant le National Design Specifications for Wood Construction, il a été établi que le Southern Pine (une évaluation approximative des propriétés mécaniques du Pin des Caraïbes) serait un substitut valable du Douglas Fir.

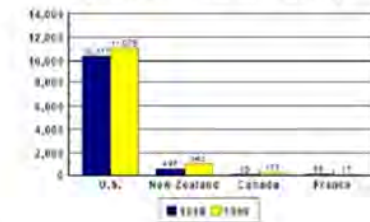
Le standard de conception actuel est de placer des poutrelles et des poteaux de 12 po ou 16 po au centre afin de limiter la flèche du panneau de particules de gypse qui a tendance à se déformer entre les points d'attache et la structure rigide.

Bien qu'il soit habituel de limiter l'espacement des poutrelles et des poteaux de manière à favoriser la flexibilité du panneau de particules, l'industrie accepte maintenant un espacement de 24 po au centre de façon à réduire la quantité de matériaux utilisée tout en maintenant une apparence correcte des murs.

Ainsi, des calculs structurels ont été effectués pour déterminer le comportement du bâtiment conçu avec ces espacements plus grands en prenant en compte le poids mort, la surcharge et la charge du vent spécifiques à la Polynésie Française.



**The Competition: Softwood Lumber Imports by French Polynesia 1998-1999**  
(in thousands \$ F.A.S value)



<sup>3</sup> - Bioclimatic Kit House in Moorea, French Polynesia: A Structural Assessment.

Catherine Miller, University of California, Berkeley 2009.

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

Par ailleurs, de façon à réduire le volume total de bois nécessaire, l'étude Miller vise à réduire la taille des membres en utilisant des poteaux de 2x4 à la place de poteaux de 4x4 ou 3x3, lorsque c'est possible.

Les valeurs approximatives des poids morts ont été fournies par le Wood Frame Construction Manual.

Les charges ont été calculées à l'aide de l'US Building Code et le National Design Specifications for Wood Construction for One to Two Story Dwellings.

Les calculs structurels se sont concentrés sur les éléments verticaux de la ferme et des murs extérieurs.

Une vitesse de vent de 150 mi/h a été utilisée pour calculer la charge du vent ce qui correspond à la catégorie : Débris transportés par le vent.

Après avoir déterminé la vitesse de base du vent, un facteur d'Importance de 1 (habitation résidentielle), un facteur topographique de 1 et une catégorie d'exposition C (régions plates et ouvertes souvent frappées par des ouragans) ont été appliqués.

Ces informations ont permis de déterminer les pressions ou les charges escomptées dans les diverses parties de la maison.

En assignant des pressions différentielles de charge, le porte-à-faux le long du faitage supérieur de la maison a été inclus en tant qu'avant-toit.

Cela est très important dans la mesure où les charges escomptées sont beaucoup plus importantes pour les porte-à-faux / faitages que pour les murs ou les portions de toit.

Pour remplacer avantageusement le Douglas Fir par du Pin des Caraïbes, les capacités de charge ont été calculées à la fois pour le Douglas Fir et pour le Southern Pine, ce qui a permis de déterminer qu'au minimum, la quantité de Douglas Fir peut être réduite.



*Nota Bene: En vue de recherches futures, les calculs structurels ont été conçus de manière à ce que les facultés de flexibilité, de tension et de compression du Pin des Caraïbes local, une fois officiellement déterminées, son adéquation peut facilement être vérifié si ces capacités sont suffisantes ou non en fonction des charges en présence.*

● *Logements durables en Polynésie française*

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

Pour déterminer la charge maximale, les charges de vent ont été vérifiées à la fois en direction transversale et verticale. En raison des vents forts escomptés, ainsi que du poids mort et des surcharges prévus, ce sont la charge axiale de la ferme et les membres des murs extérieurs qui supportent la tension primaire.

Simultanément, en raison des charges de vent, les éléments sont sujets à des forces de courbure importantes. Malgré ces charges, la ferme est capable de supporter à la fois les forces de traction et de courbure, indépendamment les unes des autres, avec de simples membres (4x4) (à la fois pour le Douglas Fir ou Southern Pine) plutôt qu'avec les vingt-six membres actuellement utilisés (mélange de poteaux de 2x4, 3x4 et 4x4).

Cependant, lorsque les forces de traction et de courbure s'exercent simultanément sur la ferme, Southern Pine se comporte correctement mais la charge sur le Douglas Fir est légèrement au-delà de sa capacité.

Lorsque l'on ajoute des membres (2x4) pour remplir les exigences en matière d'espacement, les forces de courbure et de traction décroissent par rapport à une structure comportant seulement trois membres (4x4). Ainsi, le comportement devrait correspondre parfaitement à la capacité de la ferme.

Pour la conception des murs extérieurs, l'espacement se fait à 24 po du centre. Par ailleurs, pour aller dans le sens d'une diminution du volume de bois employé, l'étude utilise quatre 4x4 et douze 2x4 sur le petit côté du bâtiment ainsi que cinq 4x4 et quatorze 2x4 sur le grand côté du bâtiment.

Cela représente une économie considérable par rapport au modèle original qui utilisait 28 et 32 membres (respectivement, pour les petits côtés et les grands côtés) constitués d'un mélange de 2x4, 3x4 et 4x4. Avec cette armature ajustée, les murs extérieurs se comportent bien en cas de tension, de courbure et lorsque ces deux forces sont combinées, que ce soit avec le Douglas Fir ou Southern Pine.

Grâce à une restructuration structurelle, le volume des matériaux de la ferme a pu être réduit de 42 %, les éléments verticaux le long du faite du toit de 39 % et les murs extérieurs de 45 %. La réduction volumétrique totale de bois est de 43 %. (Fiche de calcul en Annexe).

Recommandations:

- *Revoir le design structurel du fare OPH4 en vue d'une réduction du bois.*
- *Poursuivre une démarche d'acquisition directe des fournitures de construction.*
- *Étude future: bilan des bénéfices d'une procédure de préfabrication de certains éléments du fare OPH.*

*Nota Bene: L'élément le plus coûteux de la maison est l'armature en pin d'Oregon ou de Douglas Fir et la charpente représente 20% du coût de tous les matériaux.*

*Le fait de réduire la quantité de matériaux nécessaires et d'encourager la croissance de l'industrie du bois locale permet l'amélioration de la durabilité environnementale et économique du fare OPH.*

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

## Considérations achats et fabrication

L'utilisation de matériaux importés du CEE contribue largement à l'empreinte carbone du fare OPH. Certains de ces matériaux ne sont pas disponibles localement, alors que d'autres comme le bois, le contreplaqué, les panneaux en fibrociment pourraient être l'objet d'une procuration locale.

Paradoxalement, il coûte quand même 30% moins cher d'importer les matières premières par rapport aux alternatives produites in situ. Par ailleurs la fiabilité de la production locale est insuffisante<sup>4</sup>.

Cette section examine deux facteurs économiques qui impactent sur le coût des matières premières du fare OPH : l'instauration de l'achat direct et la rationalisation des méthodes de production. Les efforts pour réduire le coût d'un fare OPH devraient s'orienter vers l'économie et l'encouragement d'une industrie locale en incorporant plus de matériaux de qualité dans le fare OPH.

## Acquisition directe

La politique d'achat de l'OPH permet de faire une acquisition directe des matériaux de construction du fare OPH. Il faudrait restructurer la procédure de l'offre public d'achat procédure. Selon notre analyse, cela permettrait une économie de 20% par rapport aux matériaux importés aujourd'hui de la Nouvelle Zélande, les Etats Unis et l'Australie<sup>5</sup>. Certes, il faudrait faire attention aux postes de conditionnement, stockage, assurance et documentation qui en l'état actuel des choses sont sur le bilan profit et pertes des agents et devraient être intégrés dans le budget de l'OPH.

Les procédures qui devraient être directement assumées par l'OPH.

<sup>4</sup> -Estimation donnée par le conseil technique de l'OPH

<sup>5</sup> -Idem

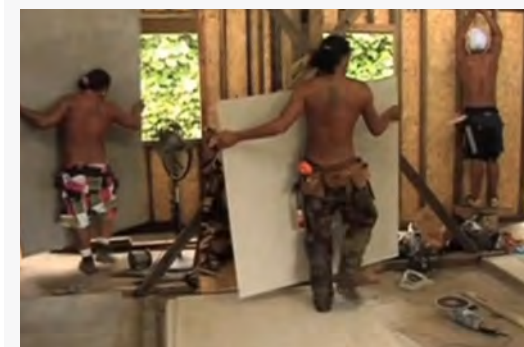
## Rationalisation des méthodes de production

La solution pour un habitat durable et à prix modéré doit tenir en compte et trouver des réponses aux coûts très élevés des matériaux et l'obstacle des prix de transport. La préfabrication en région de certains éléments pourrait à terme aider la réduction des quantités.

OPH peut assumer un rôle directeur dans le développement durable par le transfert des savoirs et la réduction des matériaux. L'économie réalisée sur les matériaux pourrait être réintégrer dans le budget et aider au développement des industries locales.

Avantages de la préfabrication à petite échelle:

- *Matériaux utilisés de manière plus efficace, sont plus abrités des intempéries, peuvent être réutilisés dans la chaîne des matériaux.*
- *Conditions de travail améliorées et possibilité d'ouverture d'ateliers en région pour une économie d'énergie.*
- *Qualité de la construction améliorée quand les éléments sont manufacturés dans un environnement contrôlé.*
- *Production contrôlée pourrait permettre la réduction des quantités par une optimisation des solutions structurelles et la réduction de la nécessité de redondance.*
- *La manufacture des éléments composants devient plus prévisible et donc sert à construire plus de structures résistantes aux cyclones.*
- *La préfabrication peut promouvoir le transfert du savoir-faire vers les personnes (les femmes incluses) non-qualifiées.*



*Nota Bene : Contrôle de Qualité : Il a été indiqué que la documentation peut être falsifiée pour faire passer des produits inférieurs aux exigences de l'OPH. La création de laboratoires à Tahiti pourrait répondre à ce problème.*



- *Logements durables en Polynésie française*

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

Désavantages de la préfabrication à petite échelle:

Les effets négatifs d'une méthode de préfabrication à petite échelle peuvent être aussi bien culturels qu'économiques.

- *La préfabrication normalement fait appel à moins d'ouvriers sur site.*
- *Il fait baisser le coût de mise en oeuvre pour l'OPH mais aussi les revenus des entrepreneurs qui dépendent de la construction traditionnelle pour vivre.*

Dans ses procurations par appel d'offre, l'OPH a démontré une attention particulière au groupement de lots gérables en nombre de fares de manière à faciliter la participation de petits entrepreneurs de Moorea et Tahiti.

Nous recommandons donc un système mixte plutôt qu'un kit standardisé car cela permettrait à l'OPH d'envisager seulement la préfabrication de certains éléments clés comme les panneaux muraux, ou les éléments structurels prédécoupés.

Une analyse du coût de cette procédure dépasse les propos de cette étude mais devrait être poursuivi dans une étude ultérieure.



*Nous recommandons un système mixte plutôt qu'un kit préfabriqué, car cela permettrait à l'OPH d'envisager seulement la préfabrication et donc, du contrôle de qualité de certains éléments clés. Ceci laissera les utilisateurs envisager de construire l'habitat leur même, s'il le désirent.*

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE



## RECHERCHE DE MATÉRIAUX LOCAUX

## Problématique

L'objectif de ce chapitre est d'examiner les opportunités d'intégrer les matériaux durables dans la construction en Polynésie Française.

Le point de départ de cette recherche était de poser la question comment intégrer les matériaux locaux dans la construction d'un fare OPH.

L'analyse de l'investigation a mené le projet dans une direction plus large à comprendre les principes clés de la durabilité. Étude complète menée par Meryman Anderson et Porsche (UCB) en Annexe<sup>6</sup>.

## Objectifs

- ▶ Identifier les technologies adaptées au lieu.
- ▶ Quantifier les indicateurs environnementaux.
- ▶ Inclure le contenu de l'énergie incarnée (EEC), gaz de serre (GHG) et émissions de transports.
- ▶ Analyse du coût.
- ▶ Utiliser les informations schématiques disponibles pour comparer les produits existants avec ceux proposés.
- ▶ Développer des plans de faisabilité schématique.
- ▶ Suggérer d'autres pistes de recherche de matériaux.

<sup>6</sup> - Sustainable Building Materials in French Polynesia  
Meryman H., Anderson J., Porsche K.  
University of California, Berkeley 2007

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

## Les filières considérées et éliminées

### Palm Oil Fuel Ash - ajout cimentaire

L'extraction de l'huile de palme se fait à partir du fruit, coprah, du palmier à huile. Normalement, le processus d'extraction est alimenté par l'électricité; mais si l'électricité n'est pas disponible on peut brûler les déchets du palmier à huile pour en faire du carburant. Le processus est le suivant: brûler les déchets fait bouillir l'eau, qui génère de la vapeur, alimente des turbines et crée une source électrique. Les cendres qui restent palm oil fuel ash (POFA), sont de l'ordre de 5% du poids de la matière solide originale.

A l'instar d'autres produits cendrés (i.e. Laitier de haut fourneau et les cendres volantes), POFA peut être utilisé comme ajout cimentaire grâce à ses propriétés pozzolaniques. Il est démontré que POFA diminue l'expansive réactive dans une les réactions alkali-silica si fréquent dès leur structures en bétons.

A Tahiti, les fruits du cocotier sont utilisés pour produire de l'huile de noix de coco. On espérait donc qu'un processus similaire puisse fonctionner et que les cendres issues des incinérations de la rafle auraient aussi des propriétés pozzolaniques.

Malheureusement le seul producteur tahitien d'huile de noix de coco utilise de l'électricité pour alimenter son usine d'extraction et donc ne fabrique pas de cendres.

## L'utilisation de résidus

L'utilisation de résidus lignocellulosiques issus de l'industrie agricole et agro-alimentaire locale permet d'obtenir des matériaux à forte valeur ajoutée.

Ces fibres permettent d'améliorer la performance structurelle du ciment avec une matière première peu coûteuse.

Les propriétés chimiques et physiques de chacun de ces matériaux influencent la rhéologie, de vitesse de prise, l'affaissement, la cinétique de l'hydratation et la microstructure du ciment et du béton.

« Coir fiber » (aussi connu sous le nom de bourre de coco) est très facilement disponible en Polynésie Française.

Néanmoins, on manque d'informations sur la cohérence et le contrôle de la qualité de ces ajouts cimentaires et leurs propriétés techniques. Il est donc impératif d'engager les différentes parties concernées dans le processus de validation de toutes les étapes de notre étude.

Pour l'instant les fares en kit utilisent des panneaux de ciment extérieurs de 0.5 and 0.125 inch épaisseur respectivement. L'utilisation de fibre dans le panneau moins épais ne serait pas possible et effectivement son intégration même dans le panneau plus épais serait difficile. Nous avons conclu que cette technologie ne serait pas une manière efficace de contribuer au développement d'une industrie soutenable de bâtiment dans la Polynésie Française.

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

## Produits plastiques recyclés

### Panneau composite en polymère.

Le panneau composite en polymère est composé de divers déchets plastiques tels le polypropylène, polystyrène, et le polyéthylène. Cette technologie servir pour la production de panneaux intérieurs utilisés dans la construction de logements à prix abordables. D'autres additifs incluent le noir de carbone pour l'absorption des rayons UV et magnésium hydroxyde comme retardant ignifuge.

Les bénéfices principaux de cette technologie sont son cout abordable, l'utilisation de moulage compression comme processus de transformation mécanique qui consomme moins d'énergie que la transformation par la chaleur, et la consommation d'un produit de déchet comme matière de base.

Néanmoins, les quantités de matière première ne justifient pas une application dans le domaine du bâtiment.

### Carreaux de ciment en plastique recyclé.

Les déchets plastiques peuvent être valorisés dans les carreaux de ciments utilisés pour les sols de cuisines et salles de bain. Les déchets plastiques utilisés par cette technologie sont parmi les recyclables les plus communs: LDPE (faible densité en polyéthylène), HDPE, and polystyrène et de petites quantités de PET (Polyéthylène Téréphtalate). Les recherches de Khatwa et al ont évalués plusieurs formules en variant le rapport déchet- sable pour déterminer le mélange optimal pour service et propriétés mécaniques. Ces déchets plastiques provenaient de landfill. Néanmoins, il est plus facile d'utiliser les plastiques divertis de la chaine de recyclage. Le carrelage a faible densité et basse absorption hydratative. Sa résistance aux abrasions est 70% plus importante par rapport à la norme de carrelage ciment.

Néanmoins, les quantités de matière première ne justifient pas une application dans le domaine du bâtiment, même si on peut considérer des applications ad hoc.

## Three-Dimensional Engineered Fiberboard

Une société américaine, United States Forest Products Laboratory (FPL) fait depuis des décennies de la recherche appliqué sur le bois, les fibres de papier et d'autres matières agricoles dans le but de leur transformation en matériau de construction.

Récemment le FPL a publié des rapports visant à introduire un nouveau system d'engineered fiberboard. Ce produit peut prendre diverses formes. Des plaques plates ou ondulées sont combinées pour créer un module mural rigide mais fin. Les plaques et parties moulées sont fabriquées par un procédé qui peut accommoder la plupart des ressourcés en bio fibres. Néanmoins, une étude approfondie sur les fibres de cocotier devrait être entrepris.

Le vrai enjeu concernant three-dimensional engineered fiberboard est le niveau élevé d'humidité en Polynésie Française, qui se situe bien au-delà du niveau optimal de 35 à 55% pour un environnement intérieur.

Pendant la saison humide, de novembre jusqu'en avril, l'humidité se situe entre 80 à 90%. Pendant la saison sèche, entre mai et octobre, le niveau d'humidité baisse mais demeure un aspect important pour la performance structurelle de tout matérielle.

Par ailleurs, le fait que l'utilisation de la climatisation n'est pas généralisée dans l'habitat aggrave ce problème. Un échantillon de three-dimensional engineered fiberboard emmené en Polynésie Française pour subir l'environnement tropical s'est dégradé rapidement au cours d'une seule semaine, avec perte de forme et de force.

D'autres facteurs ayant des conséquences sur la durabilité sont les termites et l'eau stagnante. Par conséquent, three-dimensional engineered fiberboard a été éliminé dans notre repérage de matériaux durables.

● *Logements durables en Polynésie française*

BILAN CARBONE &amp;

HABITAT DURABLE

	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Industry	1633	1989	2292	2471	2326	2653
Municipality	0	492	627	924	1065	821
Residential	1241	1935	2474	3039	2920	3102
Total	2874	4416	5393	6434	6311	6576

Quantité de matières recyclables  
(papier carton, bouteille en plastique, aluminium)<sup>7</sup>.



## Le recyclage en Polynésie Française

L'utilisation de matières recyclées offre des possibles solutions pour la Polynésie Française. Un tel système de recyclage pourrait réduire les importations en privilégiant la manufacture de matériaux de construction à partir de déchets valorisés.

Par ailleurs ce système aurait comme bénéfice supplémentaire la réduction, voir élimination de transports qui aujourd'hui sont employés pour envoyer les recyclables polynésiens à l'étranger pour leur traitement. Les matériaux plastiques sont aussi connus pour la performance efficace en tant que matériel de construction. Malheureusement, la transformation de déchets recyclés en matériaux de construction ne s'est pas révélé approprié pour plusieurs raisons.

L'inconvénient majeur de tel système est la quantité limitée de déchets recyclables en Polynésie Française. Même si le total paraît important (~ 7000 tonnes) c'est répartie entre cinq catégories: papier, carton, bouteilles en plastique, aluminium et étain. Quand l'unique catégorie de valorisation, Société Environnement Polynésien, a été sollicitée, celle-ci a répondu que la PF ne produisait pas suffisamment de déchets pour envisager un programme de ce genre. À présent, le système de recyclage en PF demande le stockage de déchets valorisables pour une longue durée, afin d'en collecter une quantité suffisante pour remplir un cargo. Les frais de transports sont payés par le pays qui collecte, ce programme reste à un état très primaire, et la vision régionale demande de développer le recyclage plus loin que Tahiti et Moorea.

Ces déchets recyclables sont triés et expédiés en Nouvelle-Zélande et d'autres pays. Apparemment, puisqu'il n'existe pas de contrat à long terme, de nouveaux contrats sont négociés chaque fois que le plastique polynésien arrive à destination, laissant le gouvernement relativement dépendant de changements imprévus.

<sup>7</sup> - Idem

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE



## L'Industrie Forestière en Polynésie Française

Actuellement, l'industrie du bâtiment en Polynésie Française est en partie dépendante sur le bois importé des Etats Unis et du Canada. Les maisons en kit à Moorea et Tahiti contiennent des quantités importantes de Sapin de Douglas et d'autres pins. Nous avons fait des recherches sur deux essences locales afin de trouver un bois de substitution.

### Pin des Caraïbes

Le pin des Caraïbes est déjà exploité sur une petite échelle en Polynésie Française. L'OPH n'utilise pas le stock local de pin des Caraïbes (sauf pour les terrasses des fares) en raison, selon leur expérience, de la mauvaise qualité et de l'approvisionnement incertain.

Pourtant, dans les environnements où la pérennité est critique, ces matériaux se sont révélés bien adaptés en Polynésie Française. Si jusqu'à récemment la filière de bois structurel était limitée, il connaît actuellement une croissance dans ses capacités.  
Ex: nouvelle scierie ouverte aux Marquises.

Le remplacement du Douglas Fir par le Pin des Caraïbes renforcera le développement de cette industrie locale tout en réduisant le fardeau environnemental et économique de l'importation.

Il faudrait pouvoir identifier et mettre en application certaines améliorations de l'industrie locale du bois afin de poursuivre cette option.

- *Logements durables en Polynésie française*

BILAN CARBONE &amp;

HABITAT DURABLE

## Local Agrégations

L'importance est ici soulignée, de l'introduction dans le processus, la mise en place d'un de laboratoire local habilité d'agréer la qualité des matériaux majeurs de la construction.

Sous de conditions correctes, il pourrait y avoir suffisamment de matériel local. Un fare OPH actuel nécessite 16 mètres cube de bois structurel donc, maximum 8.000 mètres cube de bois par an, et comme vu précédemment ce volume pourrait être réduit. Deux scieries sont actuellement subventionnées par le SFR et reçoivent des aides pour assurer une meilleure qualité de production. La qualité et l'approvisionnement, une fois évalués, pourront être assurés sous l'égide de ce nouveau programme.



Bois local utilisé pour les terrasses d'un fare OPH

## Bois de Cocotier

Les plantations de cocotier existent depuis toujours en Polynésie Française, avec leurs réserves d'arbres à maturité, déjà prêts à l'emploi

L'abondance de cocotiers est vu par certains comme une source viable de matériel de construction qui en outre créerait des emplois dans les atolls.

Le bois de cocotier est cependant peu utilisé commercialement dans la construction de bâtiments en raison d'une densité qui rend son travail très difficile. Le bois de coco est un matériau de construction traditionnelle aux Fidji, aux Philippines et à Tahiti. Un programme est en cours de discussion entre le SFR/Fidji dans le cadre d'un programme de partage des connaissances industrielles en Polynésie

Due au nombre de contraintes qui existent dans l'immédiat, cette direction n'a pas été poursuivie dans cette étape du rapport.

D'autres bois existent mais sont mieux adapté à l'artisanale.

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

## Le Bambou

Le bambou est souvent utilisé comme matériau de construction sous les Tropiques en raison de sa légèreté et sa résistance, plus importante que celle des bois tendres, d'autant plus que sa croissance est rapide sur tous les sols tropicaux. On sait que le bambou peut être rendu résistant aux parasites, à la putréfaction et aux termites.

Pour certaines applications, ces matériaux organiques ne s'avèrent pas assez durables. Toute utilisation sera conditionnée aux tests de résistance en milieu réel. Aussi, le coût du bambou en Polynésie Française n'est pas comparable à celui du produit à bas prix à Bali, par exemple.

Des recherches plus poussées seraient nécessaires au plan architectural et économique avant d'en déterminer l'applicabilité de ce matériau qui présente pourtant des pistes intéressantes.



## Analyse écologique d'un produit de construction durable

Le concept des matériaux durables pour les îles présente une opportunité unique de créer des emplois et métiers locaux et durables.

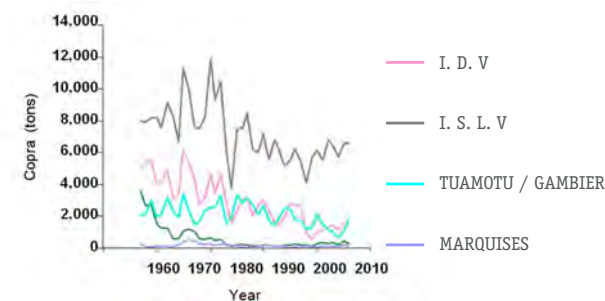
Au fur et à mesure que la migration vers les centres urbains, augmente la volonté de permettre le maintien des communautés locales dans les archipels est devenue un défi continu.

Une des sources principales d'emploi pour de nombreux gens dans ces îles éloignées est la production de copra, qui est fortement subventionnée par le gouvernement. Comme les prix des terrains ont augmentés de façon significative dans les secteurs urbains et touristiques, les grandes plantations de noix de coco sont moins rentables.

La diminution dans la production de copra dans les autres archipels a été moins radicale; mais la production montre un déclin significatif depuis les 40 dernières années.

Donc, de trouver un usage profitable d'un produit dérivé du noix de coco prouverait d'être instrumental dans la relance de cette industrie.

Le prix de marché mondial pour le copra est de l'ordre de 20 fcp/kg, mais en Polynésie Française le taux est vers 100 fcp/kg). Malgré les subventions, la production de copra dans tous les groupes d'île a montré 40 ans le déclin significatif sur le passé.





## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

**Introduction:**

Plusieurs systèmes de construction de panneaux ont été considérés. De toutes les technologies évaluées, un panneau de construction en particulier semblait le plus pertinent pour la construction en Polynésie Française : le "coir binderless board" un produit fabriqué à partir des cosse de noix de coco, qui selon nos investigations et discussions semblaient d'être suffisamment promettant de poursuivre une étude préliminaire.

A sa base, ceci représente une technologie relativement mûre. La technologie est bien-établi et un bon soutien technique et administratif est disponible. La première étude de faisabilité pour une production à grande échelle d'un système similaire a été exécutée en Sri Lanka dans 1978.

La version la plus récente est issue d'une subvention des Nations Unies via le Fond Commun des Commodités, le produit "coir binderless board" a été ainsi développé par le laboratoire d'Agrotechnology dans Wageningen, Pays-Bas.

Les Nations Unies ont l'intention de rendre disponible cette technologie à tous les pays producteurs de noix de coco. Actuellement des fabriques sont prévues aux Philippines et en Indonésie. A partir de ces derniers, sont prévus des ateliers de transfert de technologie.

La technologie scientifique est très simple et élégante. Les noix de coco sont environ 35% fibre de coco (ou cosse) relatives à leur poids (voit la Figure 2). Ceci est une matière hétérogène composée d'à peu près 30% fibre et 70% de moelle mélangé.

La moelle est riche en lignin qui quand chauffé sous pression devient une lieuse forte et stable qui ressemble du raisin.

Les fibres naturels montrent une force qui dépasse celle de l'acier (par masse). Donc, le coir contient deux des éléments nécessaires à un panneau de construction dense et fort.

Le Coir est séché et moulu afin de produire des fibres d'une certaine gamme de longueur. La matière résultante est formé dans les moules aux dimensions souhaitées.

Après, y sont appliquées la chaleur et la pression pour les lier.

Une variété de densités peuvent être créée par le même équipement, simplement en contrôlant la température, le temps sous- pression et la prise.

La force maximum est atteinte avec une température de 180°C. Le temps sous-pression et la prise se sont montrés moins critiques (entre 300-750 kN et 3-30 minutes respectivement pour un usage extérieur.

Un panneau à la densité basse (1050 kg/m<sup>3</sup>) convient pour les intérieurs, pendant que celui d' haute densité (1350 kg/m<sup>3</sup>) est suffisamment robuste et durable pour un usage extérieure.

Un seul inconvénient des panneaux d'haute-densité est qu'ils requièrent un pré-perçage et ne peuvent pas être cloués.

Ceci est similaire à plusieurs panneaux de fibre sur le marché. Pendant que ceci rajoute bien une étape, il ne représente pas une connexion aveugle et donc reste une mise en œuvre assez simple. Cette étape pourrait aussi être mécanisée.

(Voir Fare Bioclimatique: Préfabrication)



1 - Bourre: coir & pith

2 - Peau

3 - Coquille

4 - Copra

● **Logements durables en Polynésie française**

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

Product and source area	Product density kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> E by volume kg CO <sub>2</sub> E/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> E by mass kg CO <sub>2</sub> E/kg
Plywood (avg.)	518	332	0,64
Pacific NW	480	235	0,49
South East	555	429	0,77
OSB	651	780	1,3
Total Average	562	481	0,92
Coir Board using diesel ***	1,356	157	0,12
Coir Values as % of avg	241%	33%	13%
Coir board using coconut oil	1,356	0	0

Emission data for imported engineered woods and coir boards

Emissions\* as CO<sub>2</sub> Equivalent (CO<sub>2</sub>E)\*\* for US manufactured Plywood and Oriental Strand Board (OSB) and local COIR Board

\*Does not include transportation to or within French Polynesia

\*\*Does not include biomass combustion, CO, SO<sub>2</sub>

\*\*\*0.75 kg of CO<sub>2</sub> /KWh

1. Includes everything involved with acquiring raw materials, transportation to manufacturing unit, and all operations in manufacturing. Gate refers to the gate of the factory.

### « Coir Binderless board »

Coir “Binderless” Board a été identifié par nos recherches comme le matériel durable le plus adapté pour la Polynésie française. Il est fabriqué en pressant la cosse de la noix de coco. Actuellement, ces enveloppes (cosses) sont considérées comme un déchet, et sont brûlées pour en disposer.

Le bilan carbone bénéficierait d’une terminaison de cette pratique. Un petit pourcentage des cosses est utilisé en medium pour l’horticulture aussi.

L’Intergovernmental Panel for Climate Change le considère carbone-neutre, de brûler la biomasse durable, mais d’utiliser les enveloppes au lieu de les brûler représente une forme de séquestre de carbone..

### Comparaison aux bois composites

Coir “Binderless” Board compare favorablement sur les termes écologiques aux bois composites actuellement importés en Polynésie Française. Tableau 3 démontre la comparaison des émissions de GHG pour les bois composites et Coir “Binderless”. Pour ce dernier il y a deux scénari possibles: l’un suppose que le gazole alimente le processus de production, tandis que l’autre scénario utilise 100% d’huile de noix de coco. Même le système à gazole émet seulement 13% du GHGs attribués aux panneaux importés (lorsque compare par poids). Lorsque l’on comparé par le volume, le pourcentage d’émissions moyens saute jusqu’à 33% qui reflète la plus haute densité du Coir “Binderless” Board. Ceci est principalement due au fait que 100% de la matière première de ce-dernier consiste des déchets.

Comme pour les totales de GHG, le contenu d’énergie incarné (CEE) du Coir “Binderless” Boards est fortement plus bas que celui du contre-plaqué ou du bois stratifié (OSB).

Puisque Coir “Binderless” Boards sont faits à partir des produits de déchets, leur CEE est entièrement compris de l’énergie du processus de fabrication. Le contre-plaqué et OSB comprennent des larges quantités de ressources non renouvelables dans leurs

lieuses, tandis que le Coir “Binderless” Boards en utilise aucune. En comparaison par le poids, le Coir “Binderless” a seulement 5% de la CEE attribué aux panneaux importés, Lorsqu’on les compare par le volume, le pourcent monte à 11%, qui reflète sa plus haute densité.

(Plan d’implémentation détaillé en Annexe)<sup>8</sup>.

### Recommandations

- *Mise en place d’un pôle local de testing et agrégation du bois local permettant son usage courant.*
- *Proposer un nouveau partenariat avec UCB pour la mise en œuvre future programme de test végétal à l’échelle pilote du matériel proposé et de trouver des champions et des partenariats durables.*

<sup>8</sup> - Idem

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

## Matériaux de Toiture

### Pandanus

Un toit végétal est le signe iconique en Polynésie. Il nous présente également une solution climatique astucieuse.

A cause des pressions économiques induites par l'industrie du tourisme, le pandanus est devenu cher pour l'habitant moyen. Peu de couvreurs locaux maîtrisent les connaissances ce qui fait qu'un toit en pandanus est relativement coûteux par rapport à un toit en tôle.

Aussi, le fare OPH étant l'option la moins chère qui se présente aux résidents qui recherchent un logement durable à terme, l'utilisateur d'un fare OPH demande des matériaux qui sont peu coûteux à l'entretien et qui pourront durer plus longtemps que le pandanus, qui doit être remplacé tous les 6 à 8 ans.



### Toit métallique

Même si par sa conception actuelle le OPH peut rester inconfortable au quotidien, en cas de forte chaleur notamment, il reste porteur des valeurs symboliques du statut de permanence du logement dans les classes défavorisées.

Il est probable que le toit métallique, mal ventilé, soit la source de la plus grande partie de la chaleur excessive qui règne dans un fare OPH. Il est aussi la partie de la maison qui engendre le plus désagrément à l'intérieur par le bruit des pluies et à l'extérieur par son aspect dans le paysage (le panneau sandwich très isolé à amélioré l'hygiène phonique).

Cependant, le toit métallique simple est extrêmement bon marché à produire et à installer en Polynésie.

Pour maintenir à court terme le coût actuel, soit 69 000\$, il faudra donc économiser sur d'autres aspects de la conception si nous voulons remplacer le matériau de la toiture ou compliquer sa conception.

Il est difficile de concurrencer les toits métalliques dans une perspective de bas prix de revient.

*Le fare OPH étant l'option la moins chère qui se présente aux résidents qui recherchent un logement durable à terme, l'utilisateur d'un fare OPH demande des matériaux qui sont peu coûteux à l'entretien et qui pourront durer plus longtemps que le pandanus qui doit être remplacé périodiquement 6 à 8 ans.*



Les bardeaux en bois de fer (aito) forment une alternative plus coûteuse que nous pensons ne pas devoir négliger. Le bois de fer est également répandu en Polynésie française, et très difficile à couper et à travailler.

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE



## CONSIDÉRATIONS DU SITE ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

### Problématique

L'industrie du bâtiment est unique dans sa capacité à promouvoir le développement en adressant les besoins humains, stimulant l'investissement et en créant de l'emploi.

Une politique exemplaire dans le secteur de l'habitat peut concerner des objectifs sociaux aussi bien que l'efficacité énergétique et la diminution des émissions de gaz à effet de serre. Le code du bâtiment peut être un outil dans une politique de développement durable puisque ce sont les pratiques de construction inappropriées qui impactent de manière négative sur le sol, l'eau et les autres ressources naturelles y inclus l'intégrité du paysage.

Nous soutenons que le programme de faire OPH pourrait véhiculer une nouvelle vision du bâti dans la Polynésie Française, permettant aux urbanistes et ingénieurs de reconsidérer l'industrie locale du bâtiment et l'intégration de pratiques durables dans un programme de développement.

### Objectifs

- ▶ Identifier les problèmes environnementaux qui peuvent être réduits ou résolus par des directives de planification.
- ▶ Définir des principes urbanistiques pour améliorer l'intégration du bâti dans l'environnement urbain et le paysage naturel.
- ▶ Résumer les codes du bâtiment pour les meilleures pratiques de construction.

### Méthodologie

En utilisant des directives inspirées par l'Agence de Protection Environnementale EPA des Etats Unis et leur code de qualification des eaux, nous proposons quelques principes pour une pratique minimum (BMP) de la construction.

C'est un domaine où l'OPH peut être très influent en mandatant des pratiques BMP dans les offres publiques: Les paramètres concerneraient l'implantation, l'orientation, le paysagisme et la restitution of du site.

En utilisant les préconisations définies dans le 401 Water Qualifications Certification pro-forma, on évoque les pratiques les plus communes pour éviter l'érosion du sol et une description succincte de leurs effets.

Toutes les mesures possibles ne sont pas décrites.

*Nota Bene: Les lotissements OPH et d'autres ensembles de OPH ne seront pas examinés dans ce rapport qui se limite à l'examen du faire individuel. Nous signalons néanmoins qu'on y trouvera un domaine fertile de recherche en urbanisme durable et production positive d'énergie, et qu'une étude à ce sujet serait souhaitable.*

## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

## Introduction

Le tourisme est un secteur de développement qui fait une contribution importante à l'économie représentant à peu près 25% du PIB du pays aujourd'hui, dont le potentiel de croissance n'est pas épuisé.

La croissance dans ce marché tend vers un tourisme qui souligne des expériences écologiques et culturelles dont les attractions touristiques principales sont les ressources naturelles et culturelles d'un pays<sup>9</sup>.

L'investissement international dans le tourisme se trouve lié avec les concepts architecturaux basés sur une notion des images reçues de la Polynésie.

Ce sont principalement l'image exotique et les perceptions des touristes de la société hôte qui déterminent les environnements construits pour le tourisme.

La convenance de telles structures, leur qualité esthétique et l'implication sur l'environnement peuvent être discutables, mais pour cette étude le constat simple des influences réciproques entre les logements de l'habitant des conceptions et matériaux respectives convient.

Les environnements périphériques aux installations touristiques: les villes, les logements, souvent définit largement par les fares OPH, répondant aux autres aspects socio-culturels et aux autres exigences économiques, et donc ne peuvent plus aujourd'hui se permettre l'utilisation des mêmes matières qualitatives.

On voit donc, dans le paysage résultant, une dichotomie paradoxale : la construction touristique, le plus souvent fait recours aux matériaux naturels et une construction basée tantôt sur l'architecture et des méthodologies traditionnelles pendant que les logements visibles, habitats des peuples locaux (dont les fares OPH) reflètent souvent une pauvreté de matériaux et techniques de construction.

Donc, vue la prolifération de fares OPH, dans les paysages urbains et naturels, une réflexion à leur intégration s'impose, afin d'éviter des impacts visuels défavorables.

Des guidelines sur l'implantation aideront à ne pas contribuer à nuire aux vistas et au caractère unique du paysage.

La modernisation du fare OPH, le sujet de ce rapport, visera de cette façon à arriver d'une façon sensible, sans nostalgie, mais qui conserve la qualité d'intégration dans un site que l'on observe dans l'architecture indigène.

Outre l'implantation d'un habitat, son orientation vers le soleil et le vent, sa sensibilité envers son environnement immédiat et les traits du site qui crée le microclimat, - tous sont essentiels dans le design passif, d'un habitat confortable et sain.



<sup>9</sup> - Sustainable Tourism in Moorea: Opportunities for Ecological and Cultural Preservation and Education  
Boutillier, S., Duane, T. - University of California, Berkeley, 2008

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE



### Meilleures pratiques pour la construction d'un fare OPH

Toute discussion à propos de la construction durable doit tenir en compte l'impact sur l'environnement des activités de construction eux-mêmes. Du point de vue de l'entrepreneur, plus vite il exécute, plus il réduit ses coûts de main d'œuvre, et plus vite il peut entreprendre un nouveau chantier.

Cependant, le déblaiement effectué lors de la construction peut être une cause significative de l'érosion si les Meilleures Pratiques pour la Construction (BMP) ne sont pas respectées.

Même si l'érosion elle-même ne cause pas localement d'importants dégâts, la migration sédimentaire peut créer des problèmes pour l'eau et les zones humides loin du site.

Par exemple, le sédiment dû à l'érosion peut avoir des effets néfastes en apportant par exemples des polluants qui impactent la flore et la faune jusqu'aux récif corallien.

Les directives suivantes décrivent une série de procédures BMP simples et pratiques à respecter pendant la construction.

En rendant ces directives intégrales à l'Appel d'Offre, aussi bien que des conditions d'approbation du projet, OPH peut garantir que l'environnement reçoive la réponse suffisante nécessaire à freiner toute dérégulation des ressources précieuses.

▶ 1. « L'accès à la construction, l'entrée vers le site, les trajets de construction, les zones de stationnement des équipements et toutes les surfaces vierges doivent être stabilisés avec du gravier ou une végétation temporaire. »

▶ 2. « Le candidat doit implanter des bonnes pratiques de gestion pendant la construction pour minimiser l'érosion et la migration de sédiments en dehors du site. Pour ce faire, il peut recourir à un enrochement, à des paillis, à des bottes de foin, à un envisage ou à d'autres systèmes. Toutes les surfaces de terrain doivent être stabilisées avant l'achèvement du projet. »

▶ 3. « Réaliser le nettoyage et les mesures du terrain, la préparation du site (couper, combler, et mesurer, pièges à sédiments, barrières, déviations, canalisations, durcissement de surface) après avoir installé les sédiments principaux et les mesures de contrôle des écoulements, puis installer des mesures de contrôle supplémentaires en fonction de la progression des mesures. »

▶ 4. « Nettoyer les zones d'excavation et de destruction, marquer les arbres et les zones tampons pour les préserver. »

▶ 5. « Désigner sur le site, une zone de récupération des déchets depuis laquelle aucun écoulement ne peut rejoindre directement un cours d'eau. »

▶ 6. « S'assurer d'une élimination correcte des graviers superflus. Endiguer et nettoyer immédiatement les déversements accidentels avec de la sciure ou un autre matériau absorbant. »

▶ 7. « Mettre en place toutes les mesures nécessaires pour atténuer les écoulements d'eaux pluviales provenant des surfaces imperméables de la construction (toit, bitume, pont, etc...). »

▶ 8. « Avant l'achèvement, tous les matériaux extraits doivent être stabilisés de manière permanente avec une couverture végétale. Cela peut inclure des arbres, des arbustes ou un recouvrement du sol. »



## BILAN CARBONE &amp;

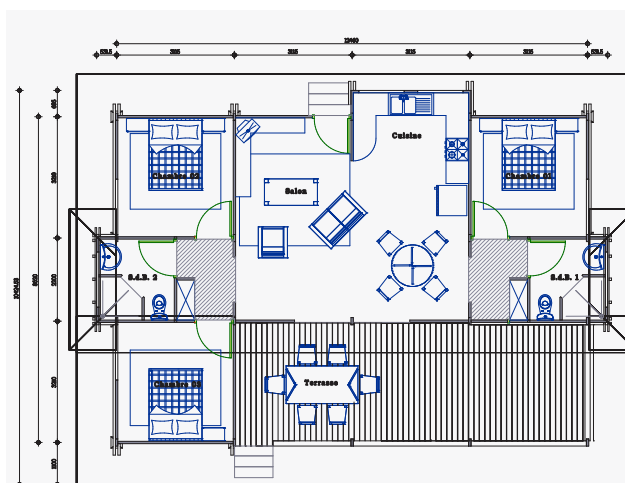
## HABITAT DURABLE

## Un chantier pédagogique

Pendant sa construction, le chantier du fare OPH4 sur le site de la station Gump à Moorea a servi de chantier pédagogique. La mise en œuvre et l'assemblage du fare OPH4 a servi comme une démonstration en plein air et à taille réelle, avec le but de familiariser les entreprises de construction locales et des artisans/constructeurs des questions concernant le nouveau modèle aussi bien de démontrer les pratiques et méthodes durables évoquées ci-dessous.

Le site fait partie du centre pédagogique Atitia et son jardin botanique consacré à la biodiversité des plantes médicinales de Polynésie Française. C'est un lieu d'échange culturel qui reçoit les résidents de Moorea, d'autre public, des chercheurs internationaux, et de nombreux visiteurs et étudiants. Ultérieurement, le choix de ce site permettra également de placer une version bioclimatique prochaine génération dans une situation climatique très similaire, afin de pouvoir effectuer une comparaison aussi précise que possible.

Il est recommandé de construire la prochaine génération sur le site et l'équiper avec des sondes afin de faire des comparaisons. Pour approfondir la diffusion de ses leçons, et sensibiliser le public et les entreprises aux questions de durabilité, il faut faire de ce site un lieu exemplaire d'exposition des questions de développement durable.



- **Logements durables en Polynésie française**

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

## Considérations avant la construction d'un fare OPH sur un site

### Problématique

Les fares OPH représentent entre 30 et 40% de la construction d'habitations à Moorea et Tahiti et ils ont un impact visuel sur le paysage encore largement plus important que les résidences plus couteuses qui plus souvent sont cachés derrière des écrans paysagés.

### Principes généraux pour la Polynésie Française

La configuration optimale pour toute considération thermique est une construction rectangulaire ayant sa face longue orientée nord-sud. Une variation jusqu'à 15-20 degrés du nord magnétique n'a que peu d'effet sur la performance thermique d'un bâtiment de taille modeste. Si l'ombrage est suffisant, toute orientation peut être utilisée efficacement pour un éclairage lumière du jour.

Actuellement le fare OPH mesure 10.4m x 13.5m, ce qui correspond à une forme adéquate, mais puisque les sites varient une orientation optimale n'est pas toujours réalisable ce qui résulte dans des conditions de confort thermique intérieures très variables.

Le fare devrait aussi être positionné sur le site de manière à capter toutes les brises.

Quand on se retrouve dans un cas de conflit entre une orientation optimale solaire ou celle qui s'adapte aux vents dominants d'un site, c'est souvent l'optimum solaire qui est adopté.

Néanmoins, pour des bâtiments de faible hauteur dans un climat comme celui de Tahiti où l'on retrouve des angles de soleil très aigus, la ventilation sera plus influente sur les conditions intérieures que l'insolation. Ainsi, les orientations par rapport aux courants venteux devraient prendre précedence par rapport aux considérations solaires.

*Nota Bene: Il est possible de compenser pour une mauvaise orientation en redessinant l'enveloppe du bâtiment et la distribution interne des pièces. Ce sujet sera évoqué dans un chapitre ultérieur.*

*(Voir Chapitre IV)*

### Objectifs

- ▶ *Proposer des actions et des critères pour améliorer l'intégration du fare OPH dans le paysage.*
- ▶ *Proposer des principes aisément applicables pour une prise de décision quant à l'implantation du Fare OPH.*
- ▶ *Projets futurs : analyse et recommandations pour promouvoir le développement durable en lien avec le projet de plusieurs fares dans un habitat groupé.*

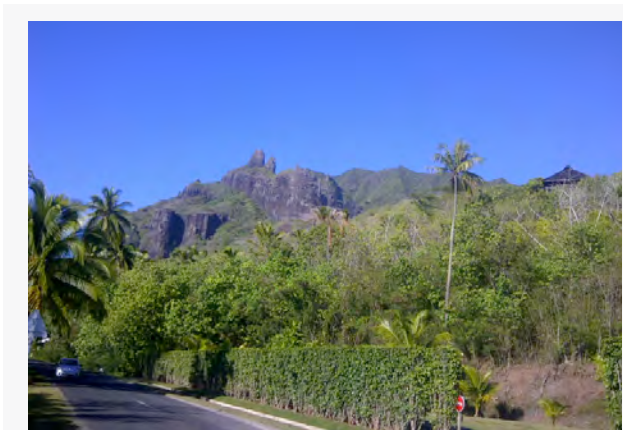




## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE

## L'implantation du fare OPH: les Impacts environnementaux et visuels



Souvent, la construction des fares se fait sur des terrains moins couteux, loin des routes, et dans des vallées. Le prix du terrain fait que les constructions sont de plus en plus éloignées des centres urbains.

On retrouve une urbanisation fragmentaire et peu harmonieux. Ce rapport considère les étapes à franchir pour arriver à une intégration meilleure des sites.

Afin de limiter les impacts visuels et préserver le paysage intact, il faut concentrer le développement dans les secteurs urbains actuels ou dans les groupements 'vertes' pour que les grandes étendues d'espace ouvert restent intouchés.

Les constructions en bordure de la route doivent être limitées et un accès piéton et les divisions de propriété végétales devraient être encouragés.

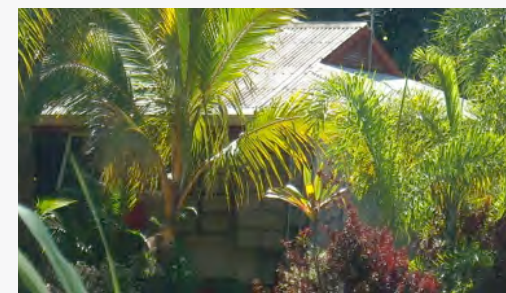
## Plantations et restitution du site

L'humidité de l'air associée à la chaleur modérée et aux fortes chutes de pluie à Moorea et Tahiti favorisent la croissance de la végétation nécessaire pour reconstituer rapidement un site après une construction. En plus de freiner l'érosion du sol, la couverture végétale présente l'avantage thermique de réduire la radiation réverbérée et, par conséquent, le réchauffement de la surface du sol.

Pendant, une couverture végétale tend à créer un gradient de vent plus élevé qu'une surface nue et peut ainsi restreindre le mouvement de l'air près du sol.

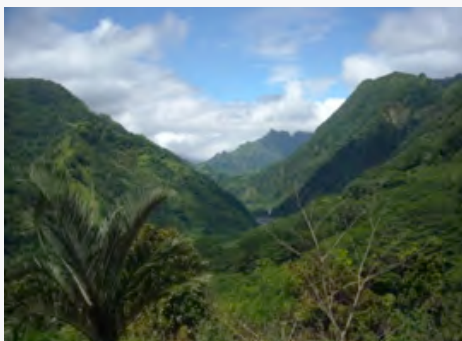
Le OPH est construit sur pilotis évitant ainsi l'air stagnant ou circulant lentement au niveau du sol tout en captant les mouvements d'air de plus grande vitesse. Toute plantation au sol après une construction doit se faire de façon à ne pas diminuer cet avantage ce qui serait le cas si la couverture végétale était plantée trop haut du côté des brises dominantes du site.

*Nota Bene: les directives devraient être de tirer parti de toutes les interventions sur site pour éradiquer les mauvaises herbes potentiellement dangereuses telles que le **Miconia** qui est reconnu comme une menace sérieuse pour la flore et la faune locales à Hawaï et en Polynésie française. Si cette mauvaise herbe se trouve sur un site de construction, elle devrait être éradiquée du sol. En ce qui concerne les plantes à déclaration obligatoire, toute prolifération doit être signalée auprès du conseil municipal.*



## BILAN CARBONE &

### HABITAT DURABLE



## Orientation et les principes climatiques

### Problématique

L'orientation et la configuration d'un fare dans un site sont importantes en raison de leur influence sur la quantité de radiation solaire atteignant les murs et les toits, la profondeur à laquelle la lumière du jour peut pénétrer, ainsi que sur la performance des bâtiments ventilés naturellement en déterminant si et jusqu'à quelle étendue vont entrer les vents dominants dans les espaces de vie.

Pourtant, le choix de l'orientation sur un site donné n'est pas toujours ouvert et c'est alors le jugement avisé qui doit déterminer le meilleur positionnement du logement aussi bien que les éléments compensatoires à prévoir.

### Introduction : microclimats et topographie

Les îles volcaniques polynésiennes comme Moorea et Tahiti sont montagneuses avec les sommets accidentés, les vallées étroites et profondes, les littoraux peu étendus, un sol fertile et une végétation dense.

Le climat des îles est le reflet de l'interaction de sa latitude, la rudesse de sa topographie, de l'océan qui l'entoure, et des vents qui les brassent. Alors que les alizés sont relativement constants au-dessus de l'océan, les trajectoires des vents à travers les montagnes et vallées deviennent tout-à-fait complexes et créent des microclimats divers. Bien que la température au niveau de la mer reste relativement constante, la configuration irrégulière du terrain sur Tahiti et Moorea provoque des variations marquées de la vitesse de vent, de la couverture nuageuse et de la pluviométrie d'une localité à l'autre.

*Nota Bene: Il est possible d'obtenir des informations utiles par une enquête de proximité.*

## Objectifs

- ▶ Identifier les cas représentatifs aussi bien que les meilleures réponses associés aux conditions des sites trouvés à Moorea et Tahiti.
- ▶ Proposer des lignes directrices simples concernant l'implantation d'un fare OPH.
- ▶ Proposition d'une étude future : Renforcer les avantages et opportunités de durabilité liées aux interactions de plusieurs fares planifiés ensemble.

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

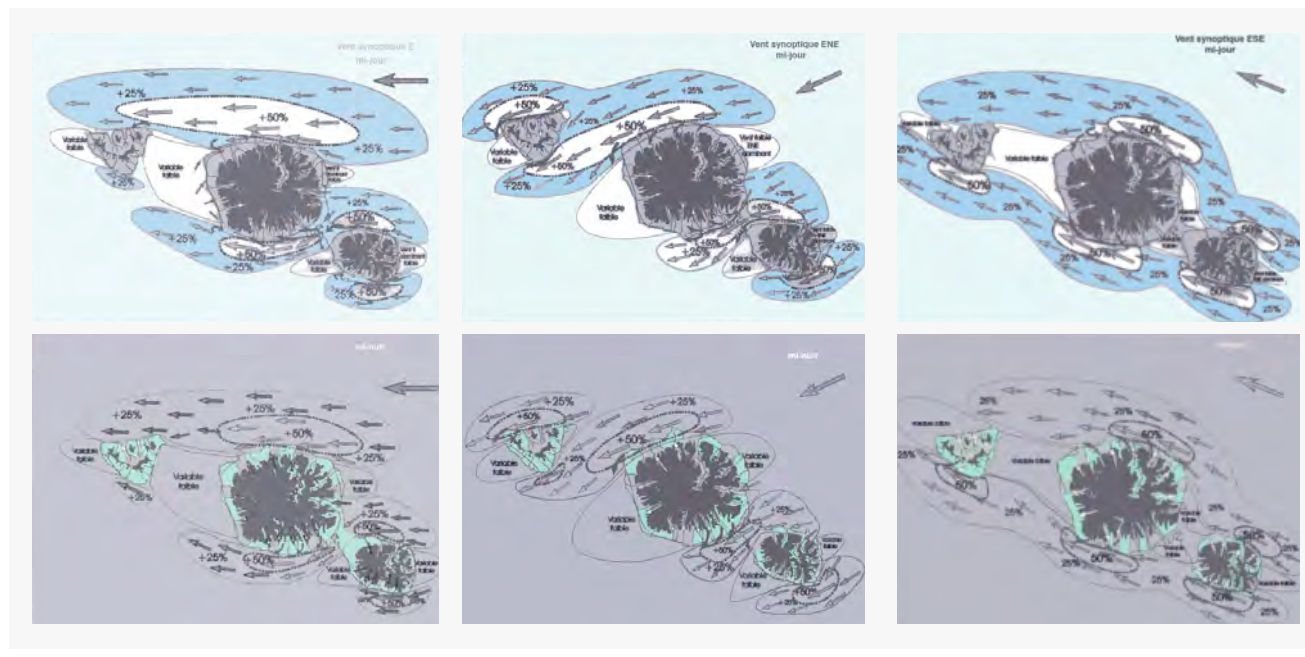
Exemples de cas

Le site du prototype OPH4 est un bon exemple de microclimat. Sur la côte au fond de la Baie de Cook à Moorea, le site est protégé du vent dominant de l'est. Par conséquent les vents sont décalés et vient du nord-est (de la bouche de la Baie) pendant le jour mais il vient des directions opposées (de la colline) la nuit.

A Tahiti, il est souhaitable de réduire la surface murale, et tout spécialement les surfaces vitrées faisant face à l'est et à l'ouest.

Ces orientations reçoivent de longues périodes d'exposition solaire et sont difficiles à protéger de façon efficace.

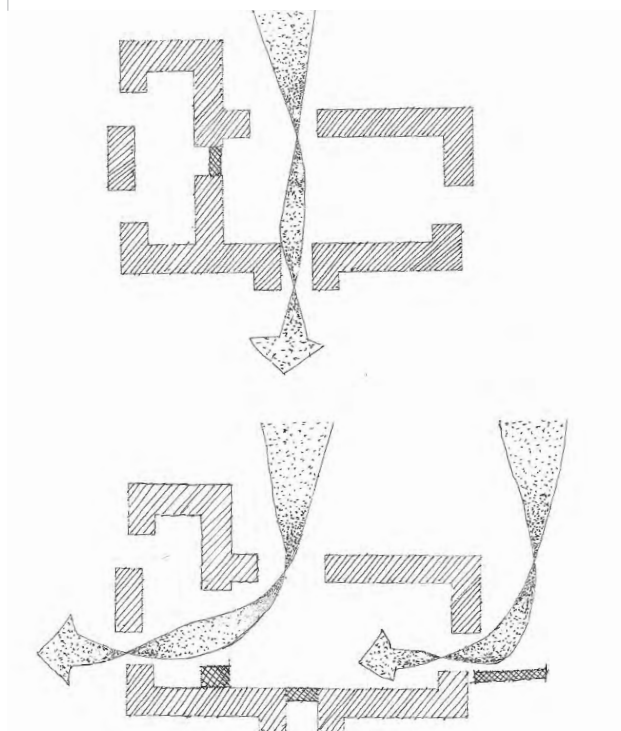
De cette façon, les sites où les vents dominants soufflé de l'est donc pose un conflit entre le souhait d'éviter les angles basse du soleil en réduisant les ouvertures et le besoin de larges ouvertures pour faire entrer les vents rafraichissants.



Le vent dominant aux Iles du Vent est de l'est-sud-est, mais une fois que l'on parte de la côte, d'autres facteurs jouent sur l'orientation des vents.

BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

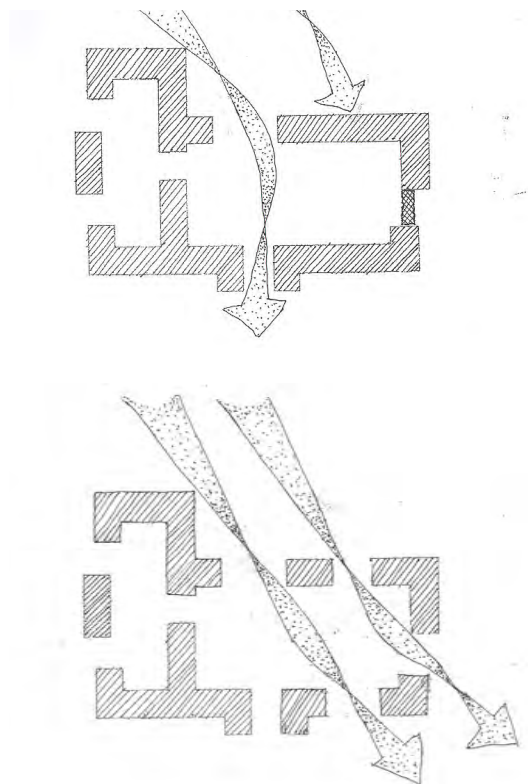


Un vent approchant à 90° a une efficacité moindre de 15 à 20%.

La circulation d'air est meilleure lorsque les ouvertures ne se trouvent pas en face, mais plutôt désaxées l'une de l'autre.

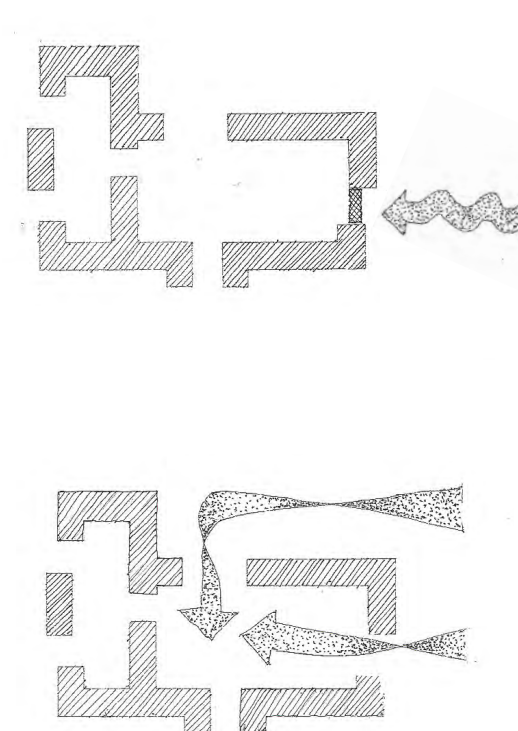
Les conditions de ventilation optimale sont réalisées par des ouvertures sur les murs adjacents.

Une variation de 10 à 20 degrés par rapport à la perpendiculaire n'altère pas la ventilation du bâtiment de façon significative.



Lorsque la direction d'attaque du vent dominant fait un angle de 45° avec le bâtiment, l'ouverture de passages sur les murs opposés donne les meilleures vitesses moyennes et la meilleure distribution globale du courant d'air dans l'espace considéré.

Une variation de 10 à 20 degrés par rapport à la perpendiculaire n'altère pas la ventilation du bâtiment de façon significative.



Un vent parallèle aux ouvertures produit une ventilation entièrement dépendante des fluctuations de direction, et reste pour cette raison d'effet très incertain.

Un vent dominant venant de l'est ou de l'ouest pose un conflit entre: faire entrer les brises pour rafraîchir et protéger du soleil rasant et du gain thermique.

Une variation de 10 à 20 degrés par rapport à la perpendiculaire n'altère pas la ventilation du bâtiment de façon significative.

● *Logements durables en Polynésie française*

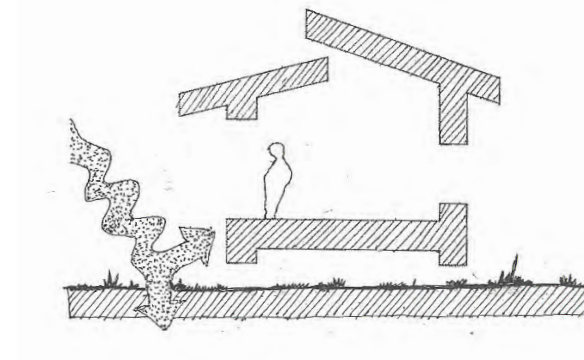
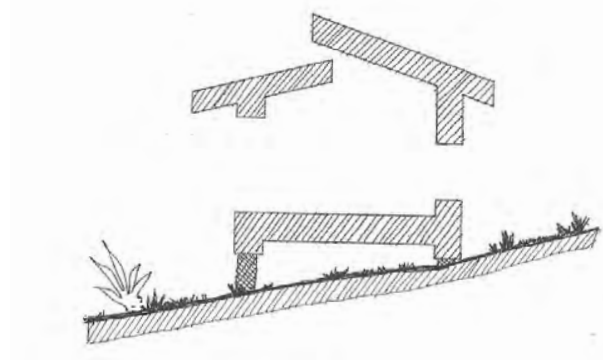
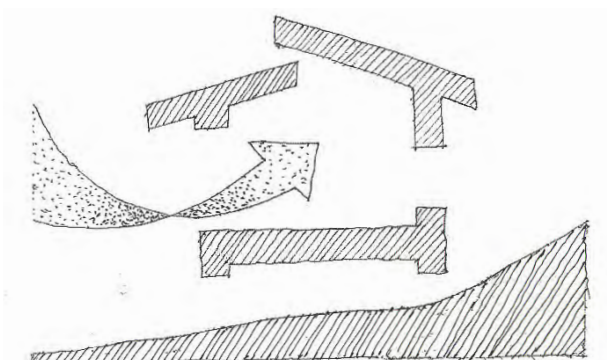
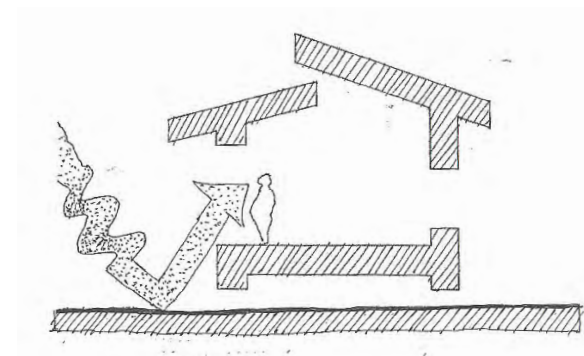
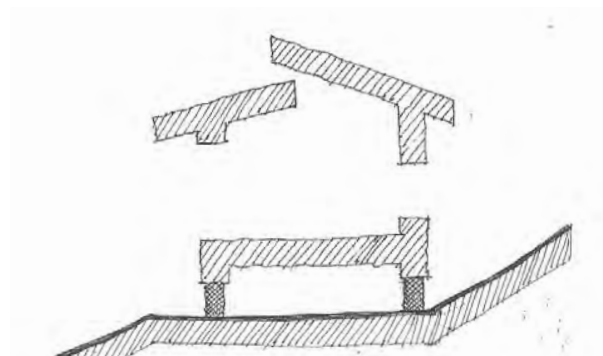
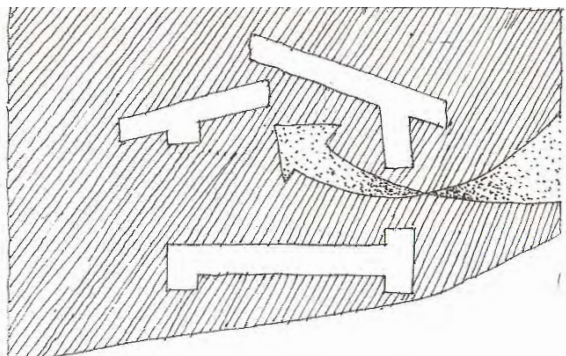
BILAN CARBONE &

HABITAT DURABLE

Le **huppé** est le nom de ce vent qui descend des pentes la nuit et un fare bioclimatique passif bien conçu pourrait en profiter du huppé pour balayer et évacuer la nuit, la chaleur accumulée pendant la journée.

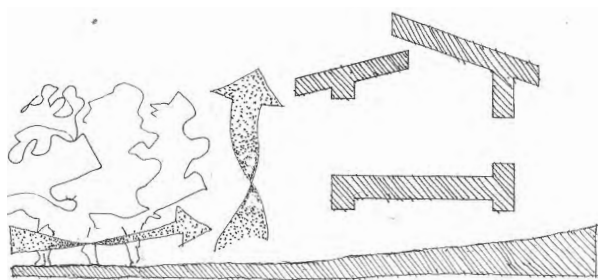
Construisant sur un flanc de coteau, un logement devrait s'adapter en servant des pilotis sur pour protéger l'accès visuels et les angles de vue.

La surface, soit-elle naturelle ou industrielle, sa réflectivité, perméabilité et température pourrait améliorer ou nuire le confort thermique.



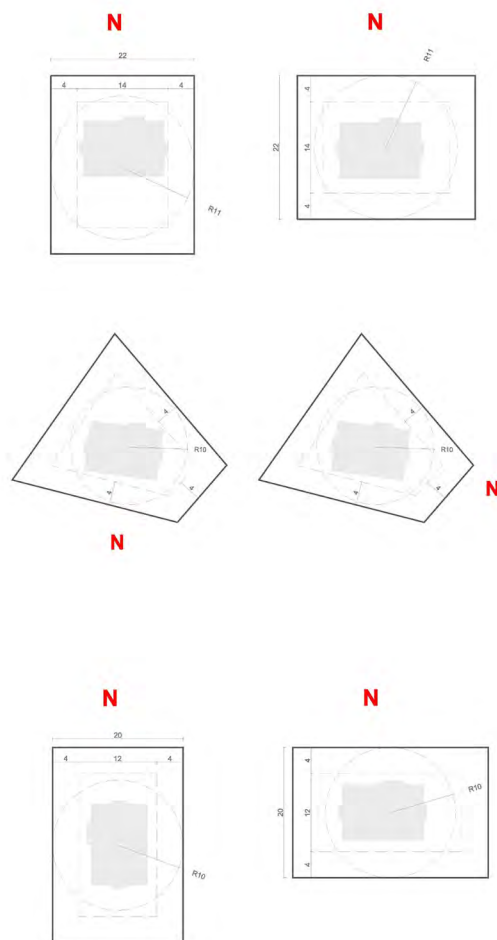
## BILAN CARBONE &amp;

## HABITAT DURABLE



Incorporer au possible les plantes et arbres existantes et indigènes dans la réflexion de l'implantation du fare.

Les objets comme des arbres, clôtures, murs etc. peuvent influencer le mouvement de l'air ou produire des ombres et peuvent ainsi créer des subdivisions avec des aspects climatiques particuliers.



## Contraintes associées à la taille et la configuration d'un lot typique

La taille et la forme de la propriété peuvent limiter la liberté de l'orientation en construisant les fares OPH.

La superficie constructible minimale sur Moorea est 800m<sup>2</sup>.

Sur Tahiti, un lot constructible peut mesurer 500m<sup>2</sup>.

Analyse graphique des contraintes posés sur la liberté d'orientation par la confluence des retraits mandataires et un lot de taille minimale.

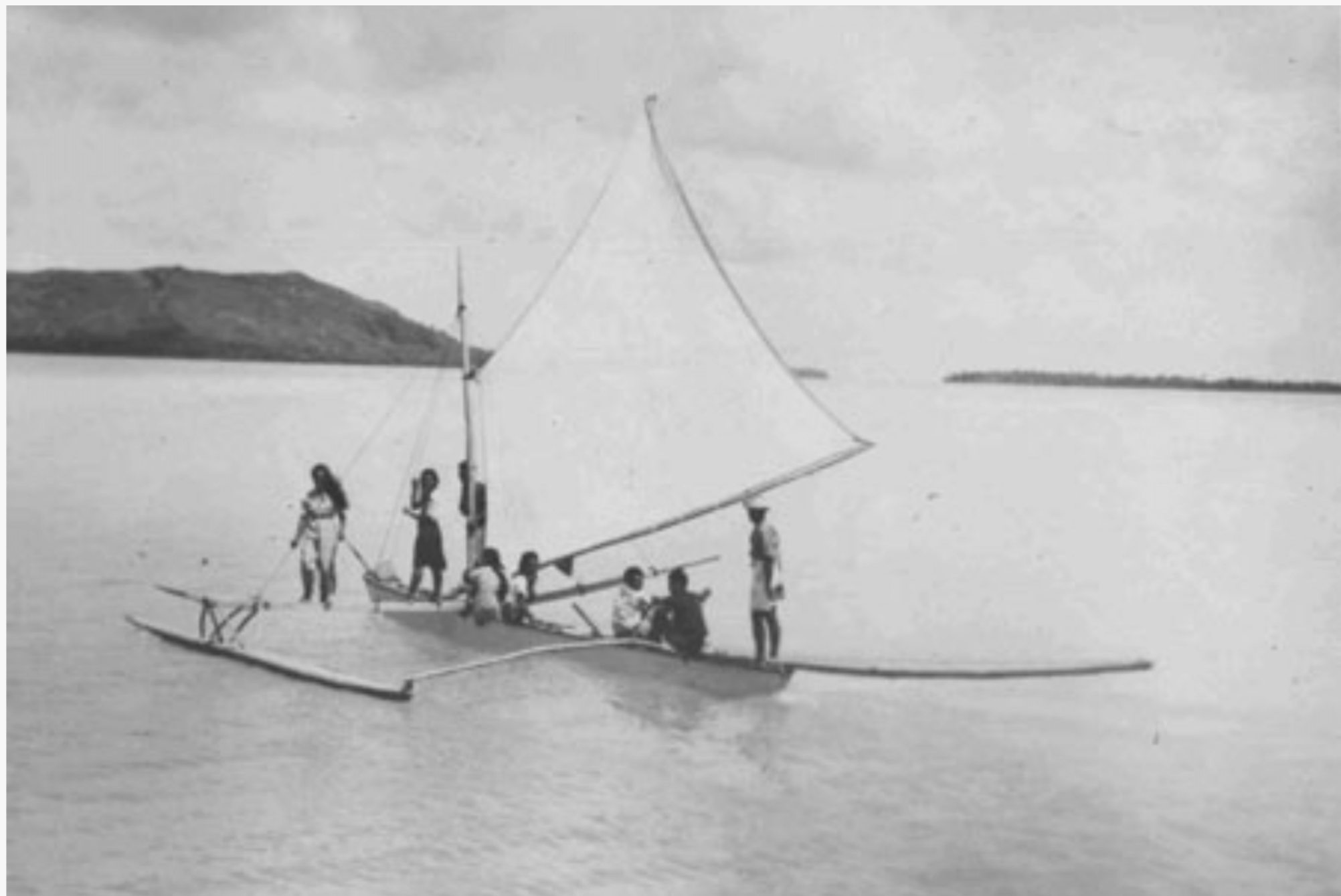
## Recommandations

Au soutien des fins durables, OPH pourrait rédiger et publier un Mode d'Emploi et guide de l'intégration dans un site.

Les considérations de groupements ou de lotissements de fare OPH présentent les questions environnementales, à la fois plus complexes et plus riches d'opportunités d'actions durables (réseaux d'électricité autonomes, transport, mutualisation de gérance de déchets sanitaires) aussi bien que l'optimisation des interactions d'ombrage et mouvement d'air).

On recommande qu'une étude future penchant sur une investigation ses lotissements fare OPH, se construisent sur la base de cette recherche ci-compris, sur un fare individuel.

Il devrait être envisagé d'étendre cette étude, dans une prochaine étape, à comprendre des conditions globales et variées des cinq archipels en ce qui concerne les logements durables.



DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE

## DURABILITÉ CULTURELLE

### Problématique

La directive planning est un des outils importants pour réaliser des objectifs sociaux liés à la santé, la sécurité et l'accessibilité. En outre, les codes sont de plus en plus utilisés pour réaliser d'autres objectifs, par exemple, la croissance.

Une politique de construction durable reconnaît la nécessité d'un capital culturel. Toutes les polices d'une telle politique partagent l'objectif (cœur) à améliorer la qualité de vie de ses habitants. Elle est par définition une politique de bénéfices collectifs.

Ainsi faut-il aussi impliquer toute la communauté et adopter des stratégies et des dispositifs qui améliorent la visibilité de critères sociaux, qui concernent directement l'identité civique, la valorisation auprès des jeunes et le multiculturalisme.

Le fare OPH fait partie du paysage polynésien et de ses habitants. Il porte des valeurs symboliques du statut de permanence de logement.

Ainsi une version durable du fare créerait-elle un lien fort entre les valeurs culturelles de la communauté aussi bien qu'à un savoir architectural ancestral.

L'enjeu est aujourd'hui suffisamment important.

A l'issue de nos échanges avec les anciens et d'autres membres de Te Pu Atitia ; deux observations sont plus nettement ressorties.

Premièrement, la transmission des valeurs culturelles aux générations futures en Polynésie Française est en péril, ce qui amène la crainte que des communautés individuelles puissent céder leur identité culturelle, leurs traditions et langues aux idéaux dominants européens.

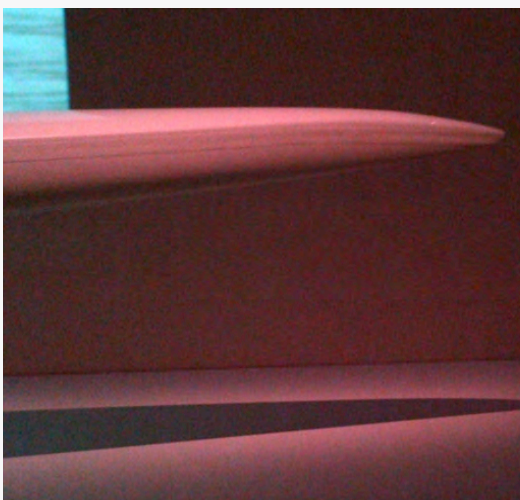
Le concept actuel du fare OPH ne saisit pas l'opportunité d'intégrer un sens de continuité et par sa configuration ne reflète pas les usages et modes de vies locales et régionales.

Deuxièmement, les habitants des îles ont historiquement pris bon avantage des conditions climatiques et des matériaux locaux, créant des habitats confortables et imaginatifs.

C'est cette intelligence architecturale qui peut et doit être employée pour définir et développer l'architecture future de Polynésie Française, tout particulièrement dans sa composante résidentielle.

*Le défi était de mettre en avant la protection de la santé culturelle, l'histoire et les connaissances locales, en identifiant les aspects qui y sont pertinents dans un fare d'habitation moderne.*

*Ceci n'implique point un pas en arrière vers le passé, mais bien un pas en avant vers l'avenir- à travers une nouvelle lecture de la tradition qui utilise des techniques et technologies nouvelles qui s'offrent à nous aujourd'hui.*





- **Logements durables en Polynésie française**

DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE

## Objectifs

- ▶ *Identifier avec la concertation des anciens, les aspects pertinents d'un fare d'habitation Polynésien.*
- ▶ *Mettre en avant, la protection de la santé culturelle, l'histoire et la culture des connaissances locales.*
- ▶ *Résumer les discussions et échanges entreprises autour du fare OPH.*

## Méthodologie

Nous avons engagé un dialogue pendant une année pour apporter les données culturelles qui manquent dans la conception actuelle du fare OPH.

Les membres de l'Association ont également entrepris 60 sondages auprès des utilisateurs de OPH sur Moorea, Tahiti et Haapiti.

Un travail de photo-journalisme a été entrepris sur Tahiti et Moorea. Les photos sont analysées afin d'identifier, à travers un regard sur les moyens utilisés de transformer les fares OPH certains besoins et directions à suivre dans la proposition d'un fare durable.

Les réponses sont rédigées et les points saillants ont été incorporés dans la proposition schématique (Voir chapitre IV).

## Extraits de la Charte de la Durabilité Culturelle (référence):

- *Protéger l'héritage culturel et local d'un lieu de la mondialisation et des forces du marché.*
- *Voir le design durable comme un composant de la durabilité culturelle en soutenant l'identité culturelle pour assurer que le passé fait partie du présent et profitera à l'avenir.*
- *Reconnaître l'importance des symboles et le rôle des arts dans l'ouverture de la conscience et l'intérêt dans la durabilité.*
- *Préserver la connaissance indigène et des pratiques traditionnelles par la garde de mémoires vivantes, la célébration de l'histoire.*
- *Encourager des organisations locales et des résidents à prendre un rôle actif dans des décisions communautaire.*
- *Impliquer la jeunesse dans des programmes éducatifs sur les questions culturelles et environnementales dans la perspective d'une vision de l'avenir optimiste et durable.*

- *Logements durables en Polynésie française*

DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE

## CONTINUITÉ ET MÉMOIRE

A l'issue de nos échanges avec les membres de Te Pu Atitia, des opportunités d'intégrer un sens de continuité culturelle se sont présentées.

La notion étant qu'en incorporant même quelques traces culturelles dans la conception du fare OPH, on provoque la possibilité d'un partage entre générations.

Plus précisément, les éléments de l'habitat se transforment en incitation à parler, à se souvenir, à enseigner.

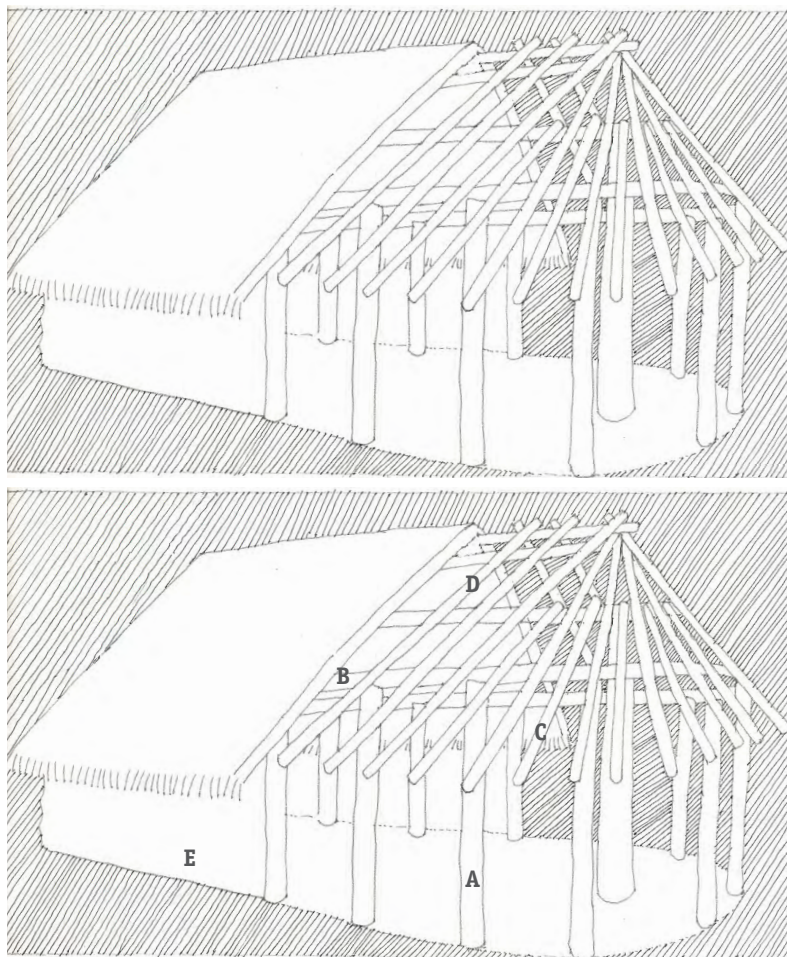
Un certain nombre de sujets étaient récurrents :

- *Le rôle métaphorique des membres structurels d'un fare tahitien.*
- *La vie quotidienne et sa réflexion dans les modules (fares dédiés) que comprend un habitat traditionnel.*
- *Le mariage du symbolique et de la fonctionnalité climatique du toit tahitien.*
- *Les mesures traditionnelles, le corps humain et le sens d'un lieu.*
- *L'importance du vent dans la culture polynésienne.*



DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE



Charpente d'un *fare pote'e*

D'après Catherine Oliac  
Fare Tahiti: Habitat traditionnel de Polynésie,  
Parenthèse édition Ed. Ch. Gleizal, 2000.

## Métaphore structurelle

Chacun des composants structurels d'un fare tahitien possède une symbolique particulière. L'architecture traditionnelle est un véritable symbole de l'organisation de la société.

Pour des raisons économiques, il est impossible de retraduire une charpente traditionnelle dans le fare OPH, mais on peut garder la trace de cette forte métaphore et de l'intelligence de la matière qui y est associée, en la rendant visible, voire mettre en valeur certains des composants structurels et ainsi en rendre une lecture plus claire.

Le système structural du fare elle-même présente une grande opportunité. Dès nos premiers échanges sur l'architecture, les anciens nous ont fait comprendre la force symbolique que véhicule une charpente traditionnelle.

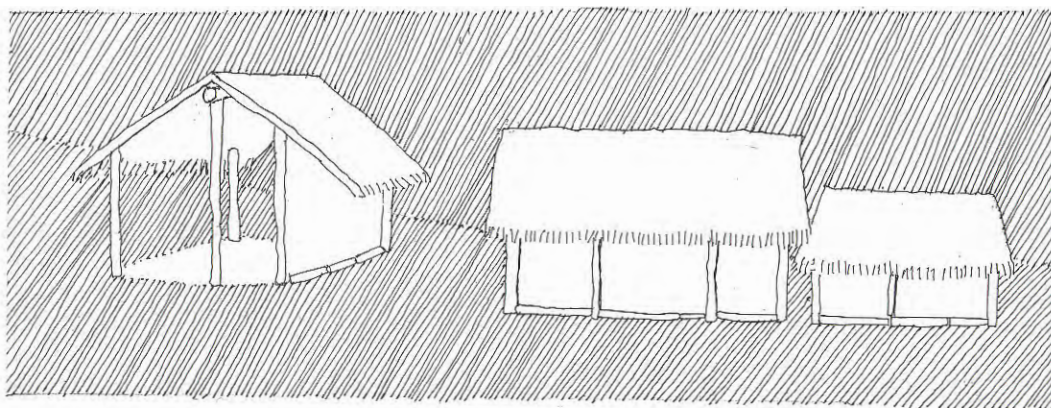
Ce n'est pas moins que la métaphore d'une société :

- A - Les poteaux **Poume'Tua** représentant les parents.
- B - La poutre qui les rejoint **Rape** : la communauté (panne sablière).
- C - Petites poutres du toit **Aho** : les enfants (chevrons).
- D - Grandes poutres du toit **Aho Me Tua** : les anciens
- E - Et enfin le poteau central **Tupuna** représente les ancêtres (poteau maître).

De cette façon, ce sont les enfants et les anciens qui littéralement lient les adultes aux ancêtres.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE



*fares tutu* - la maison où on fait la cuisine.

D'après Catherine Oliac  
Fare Tahiti: Habitat traditionnel de Polynésie.

## Modules de Vie

### Introduire dans le fare OPH une attention au mode de vie et une mémoire culturelle

Les Tahitiens ne vivaient pas sous un seul toit qui abritait la salle à manger, le salon, la cuisine, la chambre à coucher. Chaque activité domestique avait son fare propre.

L'esthétique de ces îles privilégie les rapports formels d'une qualité de l'ouverture plutôt que d'enfermement.

Il existait des maisons pour dormir *fare ta'oto*, pour faire la cuisine *fare tutu*, pour prendre le repas *fare tama'ara'a*, et d'autres fares selon les moyens de la maisonnée, pour faire le *tapa* ou protéger les pirogues.

Cette modularisation perdue aujourd'hui dans beaucoup de maisons des îles, et exprime à la fois, une préférence culturelle et l'intelligence climatique d'éloigner les sources de chaleur des espaces de vie, tout en permettant aux mouvements d'air d'entourer librement des unités.

Pour des raisons économiques et de faisabilité, un système complexe de volumes modulaires ou de formes composées ne fonctionnera pas, vue l'économie d'échelle qui permet à OPH de fournir autant de fares OPH. En addition, la nécessité actuelle de sécuriser les fares font que les superficies de matières augmenteraient d'une façon trop importante.

Pourtant, l'objectif est de pouvoir introduire dans le concept même du fare OPH, une attention au mode de vie tahitien et à sa mémoire culturelle.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE



## Le Toit - un rôle de protecteur

L'exposition insulaire à des angles très verticaux d'ensoleillement a donné au toit tahitien sa fonction d'élément protecteur essentiel. C'est l'élément le plus présent et iconique dans l'environnement construit en Polynésie.

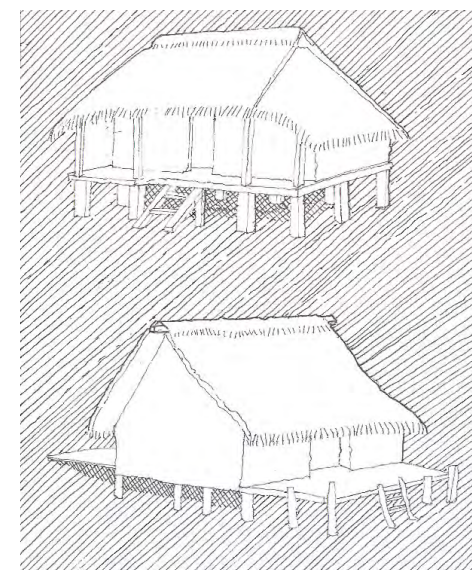
Le toit traditionnel tahitien qui recouvre de nombreuses habitations traditionnelles de l'île incorpore, pour la ventilation, des aérations sous les pignons du toit avec de hauts plafonds, et de larges surplombs pour l'ombrage. Le toit est recouvert de feuilles de pandanus, ou d'autres matières végétales comme le niau soutenu par des poteaux libres.

Le poteau qui soutient la poutre maîtresse retient la signification la plus importante. Ces longues 'tuiles' cousues à la main fournissent une bonne isolation et inertie sous des vents forts.

Un des objectifs dans la conception du prototype sera de maintenir les traces de ses rôles multiples du toit – celui de fonction et du symbole.

Nous concentrerons nos efforts sur l'amélioration du toit.

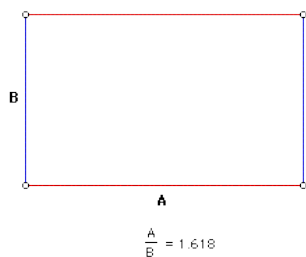
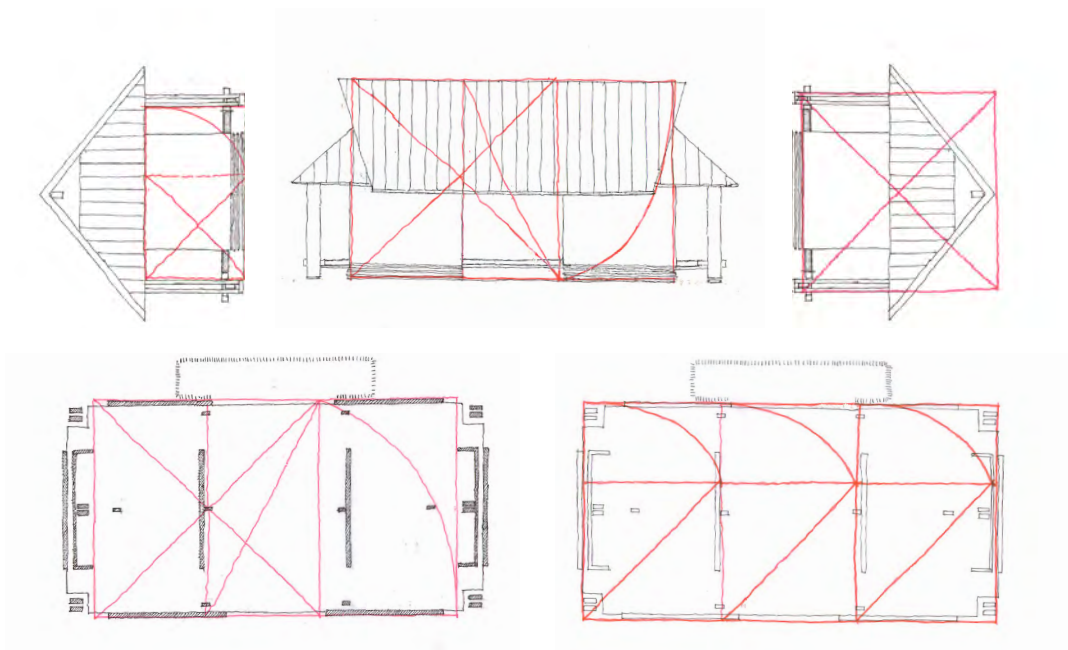
Les Polynésiens réclament à travers la reconnaissance du fare OPH le rôle symbolique et thermique du toit tahitien avec ces majestueuses pentes importantes qui résistent aux cyclones et ces avancées rafraichissantes.



Le fare taupée, maison à double toit avec auvent, et le fare hau pape avec toiture à deux pentes sont les formes d'habitation les plus simples. Les armatures de sous-pente sont rattachées à la poutre principale par des encoches à intervalles réguliers. L'extension du toit forme un petit auvent en surplomb.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE



Proportion et mesure

Le système de la mesure métrique est pratique et bien sûr incontournable dans l'échange commercial et dans certains documents de construction. Pourtant, naissant d'une abstraction, il ne présente plus aucun rapport à l'échelle humaine, comme le réussissent bien des systèmes de mensuration traditionnelle.

Les systèmes traditionnels tel que celui de Tahiti, ont évolué à partir d'un rapport direct avec le corps humain, qui grâce à ceci retient des proportions entre ses unités qui sont senties comme plus harmonieuses.

En tahitien, **Tia Pana** est l'unité qui correspond à la distance entre la pouce et l'index. **Eta Eta** est la portée des bras, **Ave** est la longueur d'un pied comme dans le système anglais.

Au vu des variations observées entre les individus, ces systèmes finissent par s'établir en conventions.

Donc, alors qu'il n'est pas question de se passer du système métrique dans une construction moderne, un habitat pourrait toujours se réjouir des atouts d'un système traditionnel si l'on le traduit en 'rapports' harmonieuses et humaines, au lieu de dépendre des unités de mesure elles-mêmes.

Le corps humain est un enjeu souvent corrélé à celui du nombre d'or, par exemple. La première corrélation est dans les dimensions du corps humain et puis dans les rapports entre ces dimensions. Une simple démarche auxiliaire dans cette étude consiste à rester réceptif à l'opportunité fonctionnelle de pouvoir également intégrer ce niveau subtil de mesure humaine dans le concept de l'habitat.

*Nota Bene: On notera que le bois structural des fares OPH, aujourd'hui provenant des pays anglophones comportent des mesures en pouce et en pieds.*

## DÉVELOPPEMENT DURABLE

## &amp; CULTURE

## LE VENT DANS LA CULTURE DE LA POLYNÉSIE

Ressentis comme une force invisible, les vents exerçaient des pouvoirs sur le corps humain et sur le processus de la culture. Ils font partie intégrante de la cosmogonie polynésienne\*\* jusqu'à aujourd'hui, où ils continuent d'avoir de l'influence sur les usages et pratiques quotidiens.

Navigateurs d'exception, les polynésiens sont parmi les premiers à avoir couvert des distances aussi longues sans instrument de navigation et sur des vaisseaux uniquement conçus en matière végétale<sup>10</sup>.

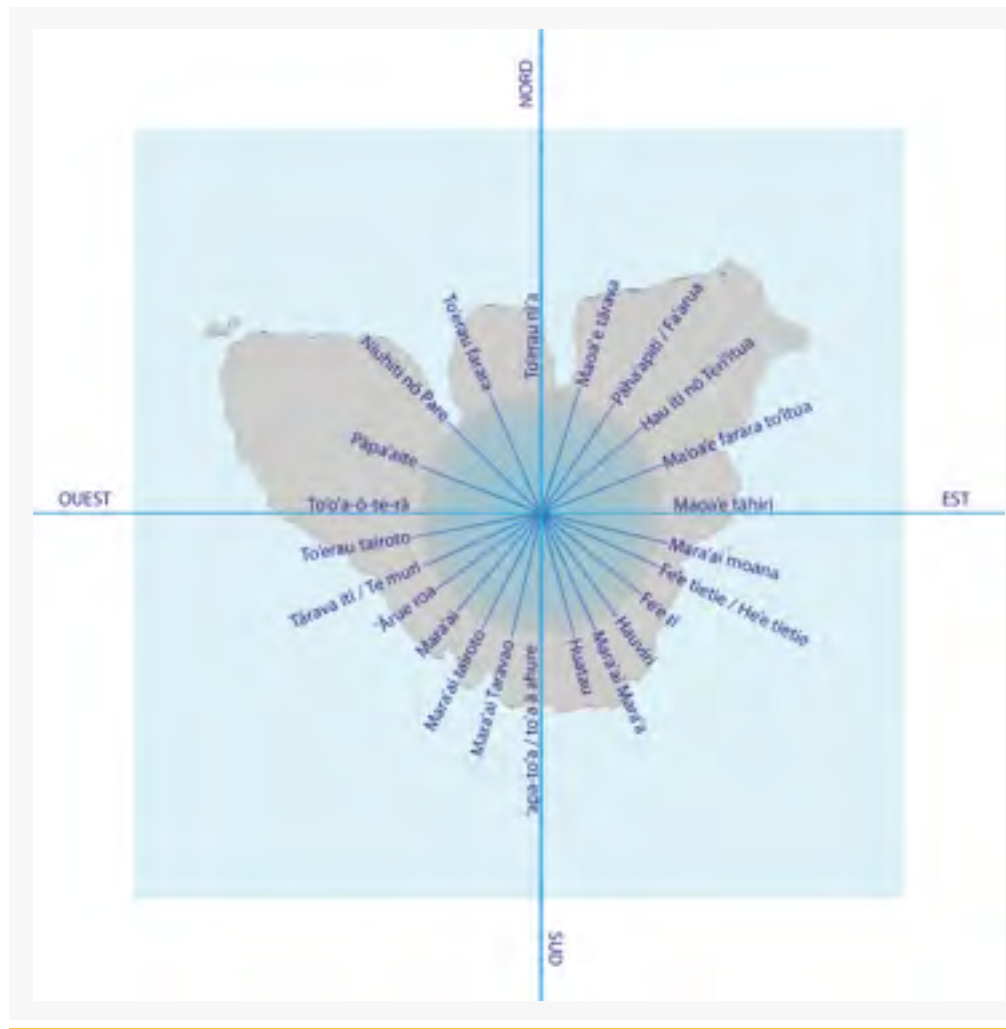
Les connaissances sur la navigation des anciens Polynésiens étaient fondées sur l'observation et l'interprétation de leur environnement : les mouvements de la lune, des étoiles, des courants et des vents. Maîtriser la mer, c'était en grande partie, connaître les vents, leurs qualités, leurs forces, leurs spécificités, leurs dangers<sup>11</sup>.

Dans les mythes polynésiens, le vent serait messenger, un dieu, ou la voix qui porte le cantique des amants éloignés.

Les expressions et les dénominations (Voir ci-dessous) telles qu'on les trouve dans la culture tahitienne sont indicatrices de l'éventail des idées imagées et subtiles du vent, qui font de lui, symboliquement, métaphoriquement, et fonctionnellement un riche champ d'expérience humaine.

Parallèlement aux notions poétiques du vent, c'est une culture qui a fait preuve d'une perception profonde des subtilités des vents variés avec lesquels on vit. On en nomme, on en reconnaît les traits et les qualités.

Dans la construction traditionnelle, le vent devient un élément clé de la conception d'un fare. Il y est invité de façon réfléchie par les détails de sa toiture et par le choix de son orientation.



DÉVELOPPEMENT DURABLE

&amp; CULTURE

## Noms des Vents tahitiens

### ***Apo'o mata'i***

Rose des Vents.

### ***Apato'erau***

Nord (la partie des grandes fraîcheurs).

### ***To'erau ni'a***

Vent du nord, qui amène les pluies aux grandes fraîcheurs.

### ***Maoa'e farara to'erau***

Vent de NNE, où le beau temps prédomine, il souffle et éloigne le vent du nord.

### ***Päha'apiti / Fa'arua***

Vent de NNE, violent et tourbillonnant.

### ***Hau iti nö Teri'itua***

Vent de NE, vent violent attribué au ari'i nui (grand chef) du district de Hitia'a sur la côte est de Tahiti

### ***Maoa'e tärava***

Vent d'ENE où le beau temps prédomine, vent constant et régulier.

### ***Hiti'a-ö-te-rä***

Vent d'est (lever du soleil).

### ***Maoa'e tähiri***

Vent d'E où le beau temps prédomine avec une légère brise.

### ***Mara'ai moana / Mara'ai tahu-ä-reva***

Vent d'ESE soufflant dans une direction unique et venant de l'océan / Vent d'ESE soufflant dans une direction unique et qui embrase les cieux.

### ***Fe'e tietie / He'e tietie***

Vent d'ESE, froid et sifflant dans plusieurs directions.

### ***Fe'e ti***

Vent de SE, sifflant avec force.

### ***Hauviri***

Vent de SE, violent et tourbillonnant.

### ***Mara'ai Mara'a***

Vent de SSE de la subdivision de Mara'a (limite entre Pā'ea et Papara), soufflant de manière régulière et constante.

### ***Huatau***

Vent de SSE, soufflant très fort et durant une longue période

### ***'Apa-to'a / to'a ä ahurei***

Sud (la partie sud) / vent du sud de la cheffesse ahurei (du clan des teva de tahiti).

### ***Mara'ai Taravao***

Vent de SSO, soufflant en continu depuis le district de Taravao, isthme de la presqu'île de Tahiti (Teva-i-Tai).

### ***Mara'ai taioto***

Vent de SSO soufflant en continu, prenant naissance sur les eaux du lagon.

### ***Mara'ai***

Vent de SO, soufflant en continu.

### ***Ärue roa***

Vent d'OSO, puissant et dont le bruit provoque un écho qui porte très loin.

### ***Tärava iti / Te muri***

Vent d'OSO, constant, doux et soutenu / Vent qui naît à l'Ouest.

### ***To'erau taioto***

Vent d'OSO d'une grande fraîcheur et qui prend naissance sur les eaux du lagon.

### ***To'o'a-ö-te-rä / To'erau rahi / To'erau ti'a***

Vent d'ouest (le coucher du soleil) / Grand vent frais fort d'une grande fraîcheur.

### ***Päpa'aite ou Päfa'aite***

Vent d'ONO, constant et soufflant dans deux directions.

### ***Niuhihi nö Pare***

Vent de NO qui laisse un sillage dans le ciel, vent qui se lève dans le district de Pare (Pirae, côtes septentrionale de Tahiti).

### ***To'erau farara***

Vent de NNO, froid et soufflant par rafales.





## DÉVELOPPEMENT DURABLE

## &amp; CULTURE

**La place du Vent dans la mythologie tahitienne**

« *O Rā-tā'iri te metua tāne, o Te-muri te metua vahine, fānau mai ra tā rāua matahiapo o Maa'e-ra'i-aneane, ei ari'i nō te mau mata'i ato'a.* »

**Rā-tā'iri** (soleil-qui frappe/tape) était le père, **Te-muri** (le temps invisible) la mère, ils donnèrent naissance à leur aîné nommé **Maa'e-ra'i-aneane** (vent du nord-est qui éclaircit le ciel), il était le « roi » de tous les vents.

« *He'e te tua o Pāfa'aite ; he'e te tua o Mara'amu/Mara'ai ; he'e te tua o Ha'apiti 'oia o Fa'arua ; a he'e te tua o To'erau-mā-ra'i-moana mai ra.* »

Puis vint **Pāfa'aite** (vent du nord-ouest, vent constant qui souffle dans deux directions) ; naquit ensuite **Mara'amu/Mara'ai** (vent du sud qui souffle en continu) ; après il y eut **Ha'apiti** dit **Fa'arua** (vent du nord-est, violent et tourbillonnant) ; enfin, naquit **To'erau-mā-ra'i-moana** (vent du nord, aux fraîcheurs du grand beau temps).

« *Te rahi ra te hu'ahu'a i tai, mama mai nei i uta o taua To'erau-mā-ra'i-moana 'aihumahuma ra.* »

La mer du lagon est moutonneuse, c'est le vent du nord aux fraîcheurs du grand beau temps qui souffle très fort, qui naît dans l'intérieur des terres.

Les vents qui soufflent à travers un espace donné invariablement apportent des changements dans la vie sociale.

A cette fin, se rajoute la sensibilisation vers cet élément porteur en Polynésie de grandes valeurs symboliques.

Adapter son domicile quotidiennement aux changements des vents, pourrait être considéré par une famille comme une continuité culturelle et représente une opportunité de partage.

Il s'impose donc de prendre en considération cet élément dans toute sa dimension lorsqu'on réfléchit à une conception d'un habitat pertinent.

« *Maîtriser la mer, c'était en grande partie, connaître les vents, leurs qualités, leurs forces, leurs spécificités, leurs dangers.* »

*Eric Cont, Tereraa, Voyages et peuplement des îles du Pacifique.*

*Ces expressions telles que l'on les trouve dans la culture tahitienne sont indicatrices de l'éventail des idées imagées et subtiles du Vent, qui font de lui, symboliquement, métaphoriquement, et fonctionnellement un riche champ d'expérience humaine.*



DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE

## Photo-journal des Fares et les Adaptations des Utilisateurs

*Un tour en voiture des Iles du vent met en relief les desiderata des habitants concernant leur fare OPH, leur lieu de vie.*

*Quelques modifications récurrentes se cristallisent: création d'espaces extérieurs plus grands, compensation des orientations non idéales, souhait de personnaliser la maison.*



DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE



DÉVELOPPEMENT DURABLE

& CULTURE



### Constats

De toutes les modifications apportées aux fares OPH par les utilisateurs, trois éléments apparaissent de façon récurrente :

- *La terrasse n'est presque jamais suffisamment ample. On assiste à la création de larges espaces couverts à l'extérieur.*
- *Les utilisateurs sont astucieux en inventant les dispositifs pour créer de l'ombre lorsque l'orientation du fare n'est pas idéale.*
- *La personnalisation du fare OPH par les utilisateurs amène du positif au paysage et du plaisir à l'habitant.*

### Réponses architecturales envisageables

Dans les capacités d'un fare durable à mieux prévoir la façon de vivre des utilisateurs comme le traduisent les modifications constatées, on propose:

- *Une terrasse qui pourrait s'étaler facilement.*
- *De garder une forme simple qui permet le rajout de arpentées d'une façon rationnelle.*
- *D'intégrer dans la forme même du fare durable, la notion de l'adaptabilité de l'habitat.*

### Recommandations

- *Mettre en avant la protection de la santé culturelle, l'histoire et la culture des connaissances locales, Dans la section IV on propose quelques moyens d'intégrer dans le fare OPH leur expression logique.*
- *Etablir un politique de fare OPH durable qui est axé sur trois dimensions du développement durable : la dimension économique, la dimension sociale, et la dimension environnementale.*

Ceci afin d'encourager l'échange entre les communautés et les décideurs en fournissant des occasions et des expériences qui peuvent inspirer un discours productif.

Ainsi le fare OPH devient plus qu'une simple construction écologique et exemplaire: il assume pleinement son rôle d'outil pour l'impact environnemental et social.

A titre d'exemple: une exposition, une série de conférences, des réunions pour favoriser un retour de la communauté.



VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

# VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

## Introduction

Naissant de l'analyse des résultats sur le OPH4, dans les trois sections précédentes, un cahier de charge pour une conception encore plus durable du fare OPH a pris forme.

Pour la cohérence, cette proposition de projet bioclimatique se penchera sur les trois divisions étudiées dans les sections ci-dessus: le Confort Thermique, le Développement Durable et la Durabilité Culturelle, en appliquant à chacune d'elles une approche modifiée par l'objectif révisé.

Il est cependant important de noter, dans l'esprit du précepte moderniste qui valorise l'utilisation d'une « économie de moyens » pour parvenir au succès du concept, que chaque élément du concept proposé applique les principes des trois catégories dans leur ensemble.

Cet objectif est simplifié par le fait que ce précepte « d'économie de moyens » met en forme en général des principes architecturaux autochtones, et que ce sont ces principes qui font l'inspiration du nouveau concept du fare.

Encore une fois, afin de faciliter la nomenclature, la proposition intégrée sera nommée OPH5.

*Nota Bene: des analyses comparatives des empreintes thermiques et carbone feront partie du dernier chapitre.*

## Objectifs généraux

- ▶ Incorporer au projet intégré, toutes les améliorations recensées et les connaissances acquises par l'analyse du fare OPH4.
- ▶ Sur la base de ce nouveau mémoire, proposer un concept de design pour commentaires et remarques.
- ▶ Avec l'incorporation de ce qui précède, élaborer une prochaine génération du fare bioclimatique pour construction sur le site Atitia.

## Méthodologie

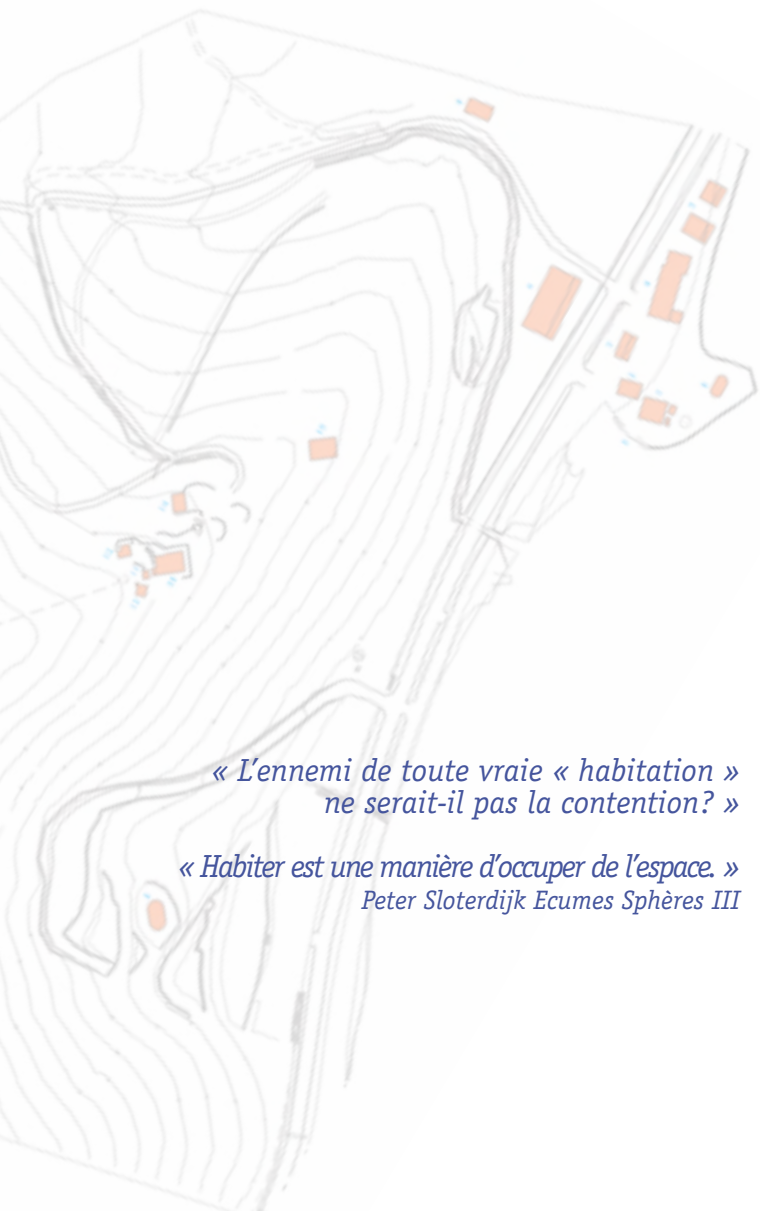
Le nouveau cahier de charge continue l'objectif que le OPH4 s'est fixé, qui est d'augmenter le confort thermique sans avoir recours aux moyens mécaniques.

Toutefois, l'interaction entre l'utilisateur et la maison sera valorisée. L'exploitation des brises naturelles et la connaissance de l'utilisateur des finesses climatiques locales seront un élément majeur dans ce nouveau cahier de charge.

L'intention est d'organiser une conférence publique pour avoir des réactions de la communauté quant à la pertinence et la viabilité des éléments les plus subjectifs du concept.

« L'ennemi de toute vraie « habitation »  
ne serait-il pas la contention? »

« Habiter est une manière d'occuper de l'espace. »  
Peter Sloterdijk *Ecumes Sphères III*



- *Logements durables en Polynésie française*

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

### Le nouveau cahier des charges comprend :

- L'intégration par les utilisateurs fare OPH, à travers une conception flexible, des avantages grandissants de la notion du confort adaptatif.
- La réconciliation des notions de 'kit' (universel) et de 'bioclimatique' (spécifique au site).
- Minimiser l'énergie intrinsèque du projet par la réduction de la quantité de matériaux nécessaires à l'aide des éléments suivants :

*L'optimisation / rationalisation de la structure pour résister aux cyclones.*

*La modularisation de tous les éléments constitutifs, sur la base de tailles standards pour réduire les déchets.*

*La limitation au minimum du nombre des éléments différents de construction, notamment entre les versions T4 et T5.*

- Utiliser les réductions de coût et les économies d'échelles présentés ci-dessus pour :

*Ajouter au projet les finitions qualitatives.*

*Introduire une infrastructure bioclimatique, telle que le chauffage solaire de l'eau et la conservation de l'eau.*

*Permettre l'utilisation progressive des matériaux locaux.*

*Promouvoir l'industrie locale et l'emploi*

- Réduire la quantité d'éléments importés en réduisant, dans le nouveau design, les éléments qui nécessitent l'importation tels que les fenêtres à guillotine.

- Permettre une meilleure intégration des projets dans le paysage par le biais de formes plus simples.
- Faciliter la mise en œuvre des ajouts de terrasse ou des agrandissements.
- Incorporer des matériaux plus naturels.
- Intégrer des éléments qui favorisent la personnalisation du projet pour éviter l'uniformité.
- Réduire la superficie de la construction afin de minimiser la dégradation du site.
- Conserver une attention au mode de vie en :

*Tenant compte des modifications et des ajouts faits par les participants au projet fare OPH.*

*Permettre aux réponses des utilisateurs d'informer l'organisation de la maison.*

- Intégrer la mémoire culturelle par :

*L'expression franche du système structurel de base.*

*L'organisation de l'espace en séparant ses différentes utilisations.*

*L'attention sur l'importance symbolique de la toiture.*

*L'utilisation des rapports proportionnels humains.*

- Créer des opportunités pour les transferts de compétences par un nouveau regard sur les méthodes de construction, telles que le préfabrication, ou la réintroduction de l'artisanat traditionnel.

*Nota Bene: en même temps que des solutions potentielles sont identifiées au cours de cette phase de conception, on évaluera la performance énergétique et ses effets sur les conditions environnementales internes au fare par simulation informatique.*

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**STRATÉGIE N°1 : FLEXIBILITÉ DES SYSTÈMES MURAUX EN FONCTION DE LEUR ORIENTATION****Réconciliation des concepts « KIT » et « Bioclimatique »**

Il faut en prélude à cette étude reconnaître le fait qu'il existe dans notre cahier de charge, pour ce concept d'un fare OPH bioclimatique, deux notions apparemment contradictoires.

Il doit en effet avant tout être un « KIT » qui suggère, pour des raisons d'une économie d'échelle, une certaine universalité ou du moins, une généralisation et une notion de préfabrication, alors que « BIOCLIMATIQUE » amène vers une notion intégrant plus de spécificité.

Pour le meilleur résultat thermique possible, un projet devrait répondre étroitement à chaque site spécifique avec ses conditions microclimatiques. Mais dans le cas présent d'un fare OPH, tous les sites destinés à l'accueillir ne permettraient pas forcément une orientation idéale.

Dans le concept du bon rapport qualité/prix d'un fare KIT standardisé où il est difficile de connaître toutes les configurations du site rencontré, deux possibilités se présentent :

- Créer un prototype qui puisse faire face à tous les types d'orientation.
- Ou:
- Créer une modularité sensible.

OPH a exprimé le souhait d'éviter un système modulaires ou de formes composées, donc la proposition se limite aux formes et éléments les plus simples.

La réconciliation des concepts « KIT » et « BIOCLIMATIQUE » représentera la confluence de deux concepts importants: d'une part l'intégration de la notion du confort adaptatif, c'est à dire prenant en compte la subjectivité des habitants et le besoin pragmatique de l'adaptation aux sites variés, et d'autre part l'influence des microclimats.

**Autonomie de l'orientation**

Un système de macro-composants conçus en « murs » permettrait une autonomie par rapport à l'orientation.

La clef d'une bonne protection solaire et d'un ombrage efficace est d'intercepter la chaleur à l'extérieur du bâtiment.

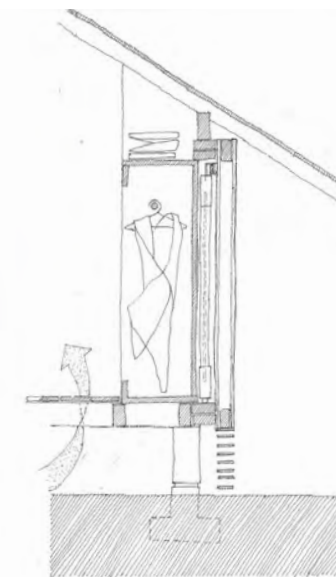
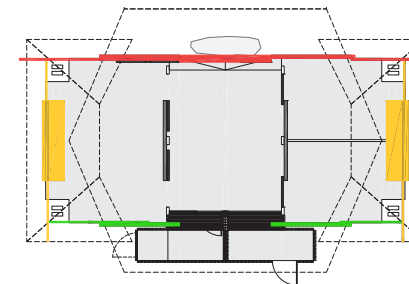
Les surplombs et rebords de toit du fare OPH actuel protègent efficacement du soleil vertical de la mi-journée, particulièrement sur la face nord, mais ont peu d'effet protecteur sur les ouvertures des façades est et ouest.

À travers les analyses thermiques du OPH4, chaque surface (mur) de la version V du bâtiment a été conçue de façon à procurer une combinaison optimale de caractéristiques capables à la fois de réduire le gain thermique et de satisfaire à d'autres objectifs de conception.

*Nota Bene: Les systèmes de protection solaire pour fenêtres individuelles, tels que les films et revêtements appliqués sur le vitrage, n'ont pas été envisagés ici en raison des implications économiques coûteuses, favorisant ainsi de préférence les technologies simples peu onéreuses tels que les écrans et/ou protections verticales extérieures qui possèdent un bon rapport qualité-prix.*

**Une réponse flexible mais économique**

La proposition actuelle s'impose à se limiter à un strict minimum d'éléments différents. Elle répond aux préoccupations telles que le maintien d'un coût de matériel et de construction bas, en conservant la forte résistance aux cyclones.



Le dressing contribue à la qualité isolante de ce composant



VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**Système de murs composites se composent chacun selon les besoins optimaux d'une orientation spécifique.**

L'orientation d'un bâtiment détermine la quantité de radiation solaire atteignant les murs et les toits, et la forme du bâtiment détermine à son tour la profondeur à laquelle la lumière du jour peut pénétrer.

Chaque surface du bâtiment conçu en « murs » déclinés procure une combinaison de caractéristiques capables à la fois de réduire le gain thermique et de satisfaire à d'autres objectifs de conception; isolation, capteurs de vent, lumière du jour etc...

Tout en gardant une forme simple, le fare peut s'adapter aux configurations de site qui ne permet pas toujours une orientation idéale, ni pour le soleil, ni pour le vent. Dans la plupart des cas, la ventilation aura le plus grand effet sur les conditions internes du fare.

Donc, on pourrait présumer que l'orientation vers les vents dominants devrait prendre précedence sur celle des considérations solaires.

L'approche choisie tend à satisfaire les deux contraintes : les critères de la ventilation et du contrôle solaire, en introduisant une flexibilité de configuration.

Ces éléments sont conçus de façon à réduire toute perte de matériel, en faisant appel à ossature bois à des composants aux dimensions standards, disponibles, avec les sections de bois couramment commercialisées\*.

*\*Cette technique consiste à fabriquer en atelier des panneaux complets (y compris l'électricité, revêtements). Le montage est rapide et le coût réduit.*

*Cependant, le montage ne nécessite pas une fabrication en usine par des industriels, on ne veut pas exclure toute formule d'auto construction.*

Elément	Principes bioclimatiques	Schémas	Description
<b>MUR NORD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si les surfaces vitrées sont protégées des angles du soleil verticaux, l'isolation supplémentaire n'est pas nécessaire.</li> <li>• Requier une protection horizontale.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 panneaux contreplaqué 15mm</li> <li>• 3 panneaux Smartpanel 1m22 x 2m44 sur structure bois.</li> <li>• Sert de contreventement longitudinal de la charpente.</li> <li>• 1 volet vitré côté séjour</li> <li>• 1 volet plein côté chambre.</li> <li>• Les volets pleins est-ouest servent de protection solaire et/ou capteurs de vent.</li> </ul>
<b>MUR EST OUEST</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forte isolation pour arrêter les flux thermiques conducteurs et radiants.</li> <li>• Les angles bas du soleil exigent une protection verticale.</li> <li>• Inviter les vents dominants.</li> <li>• Minimum de surface vitrée.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 panneaux contreplaqué 15mm</li> <li>• 3 panneaux Smartpanel 1m22 x 2m44 sur structure bois.</li> <li>• Sert de contreventement latéral de la charpente.</li> <li>• 2 volets pleins.</li> <li>• Les volets servent de protection solaire et/ou capteurs de vent.</li> </ul>
<b>MUR SUD INTÉRIEUR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrant important permmissible.</li> <li>• Protégés du soleil direct, donc isolation supplémentaire pas nécessaire.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 panneaux contreplaqué 1m22 x 2m44 sur structure bois.</li> <li>• Sert de contreventement de la charpente.</li> <li>• 2 volets pleins adaptés au module appenti.</li> <li>• Les volets sud servent de capteurs de vent</li> </ul>

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

### Le Confort Adaptif dans le Fare OPH5

Le potentiel complet de cette proposition de fare dépend d'un éveil sensible de la part de l'habitant. Le rapport entre la configuration des ouvertures du fare et du microclimat que présente son site (par exemple, la direction changeante des vents ou l'angle de pénétration du soleil) devrait faire l'objet d'une attention particulière.

Un tel concept requiert une implication importante de la part de l'utilisateur. Selon l'usage des pièces, le fare V permet d'adapter les ouvertures pour créer la circulation d'air requise.

L'incorporation, dans la vie domestique, de tels concepts bioclimatiques constituent un pas important vers la sensibilisation du public aux principes de la durabilité

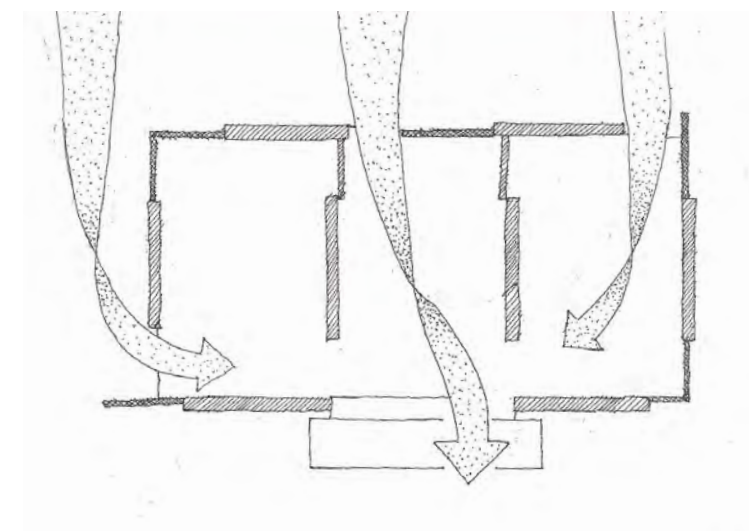
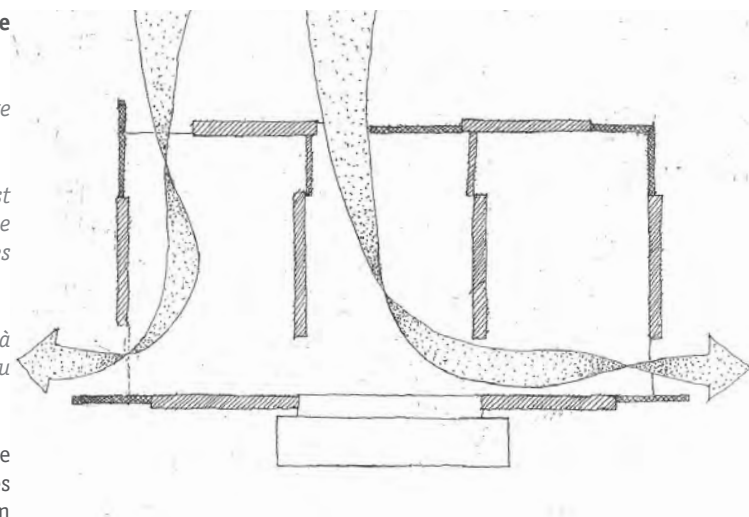
*« Une des exigences fondamentales du confort est la variation ».*

*« La conduite adaptative n'implique pas simplement une évitement de l'inconfort, mais que la réponse active à la variation thermique puisse amener du plaisir positif ».*

### Exemples des adaptations de configuration que permet le concept du fare OPH5:

- Un vent approchant à  $90^\circ$  à une efficacité moindre de 15 à 20% que celui à  $45^\circ$ .
- Lorsque la façade la plus longue du bâtiment est perpendiculaire à la direction du vent, les conditions de ventilation optimale sont réalisées par des ouvertures sur les murs adjacents.
- Une variation de 20 à 30 degrés par rapport à la perpendiculaire n'altère pas la ventilation du bâtiment de façon significative.

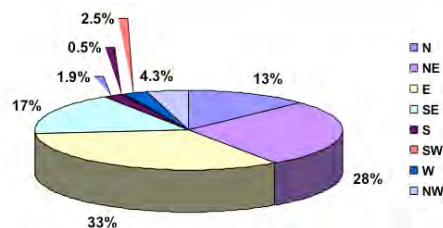
Le **Huppé** ventiler la maison la nuit en sens inverse du flux normal. Le fare OPH5 permet d'adapter les ouvertures pour créer la circulation requise selon l'usage des pièces.



## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

## Les Vents

Bien que la direction du vent change de manière significative pour les microclimats locaux (en raison de nombreuses baies, arêtes, collines, vallées, et des ravins qui bordent ces îles volcaniques), et change dans certains cas d'une île à l'autre, les données disponibles indiquent des vents dominants d'est et de nord-est.



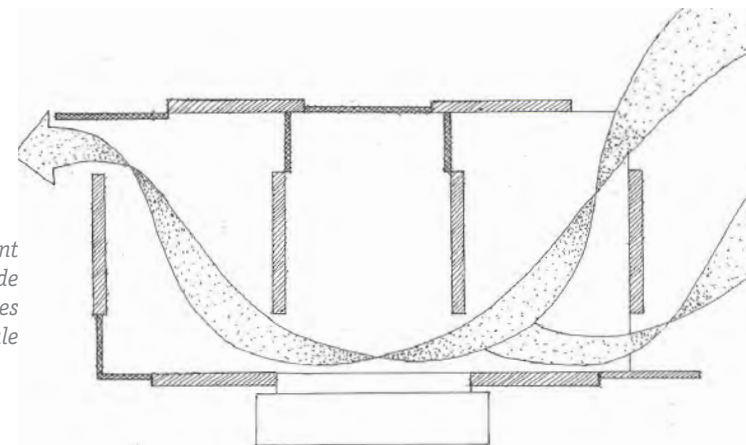
Direction vents (hour in range)	Direction du vent dominant (hour in range)	Direction du vent (hour in range)
270° 45' E of N 2,149	45-135° E of N 5,484	135-270° E of N 1,127

Les vents soufflent à une vitesse modérée. La vitesse moyenne du vent est de 9 km/h soit 2,5 m/s. Entre 11 h et 15 h, lorsque le vent est critique pour ventiler naturellement la chaleur du milieu de journée, au cours d'une année moyenne, il souffle :

- 42% du temps à moins de 9 km/h
- 45% du temps entre 9 et 16 km/h
- 13% du temps à plus de 16 km/h

Bien que les fluctuations anémométriques à travers la Polynésie Française puissent être significatives sur un jour dit, les données et tendances météorologiques réelles se superposent aux données présentées ici.

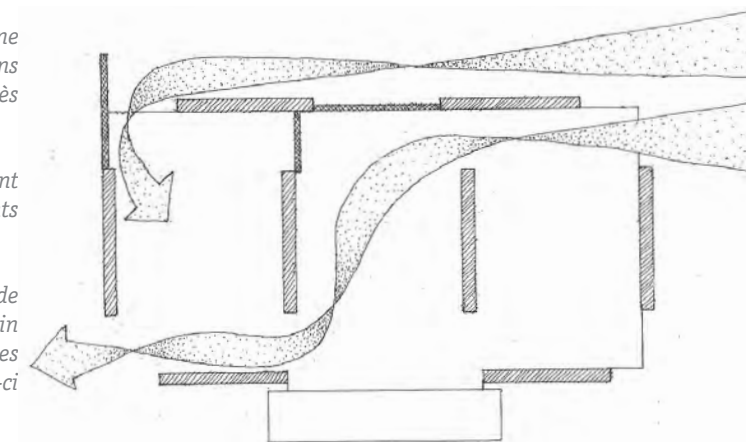
- Lorsque la direction d'attaque du vent dominant fait un angle de 45° avec le bâtiment, l'ouverture de passages sur les murs opposés donne les meilleures vitesses moyennes et la meilleure distribution globale du courant d'air dans l'espace considéré.



- Un vent parallèle aux ouvertures produit une ventilation entièrement dépendante des fluctuations de direction, et reste pour cette raison d'effet très incertain.

Pour faire face à cela, les volets du fare V agissent comme capteurs de vent pour compenser les vents non idéaux.

*Nota Bene:* Les zones où les vents alizés soufflent de l'est par exemple, posent un conflit entre le besoin de réduire les ouvertures afin d'éviter les angles pénétrants du soleil et le besoin d'élargir celles-ci afin d'inviter les brises rafraîchissantes.



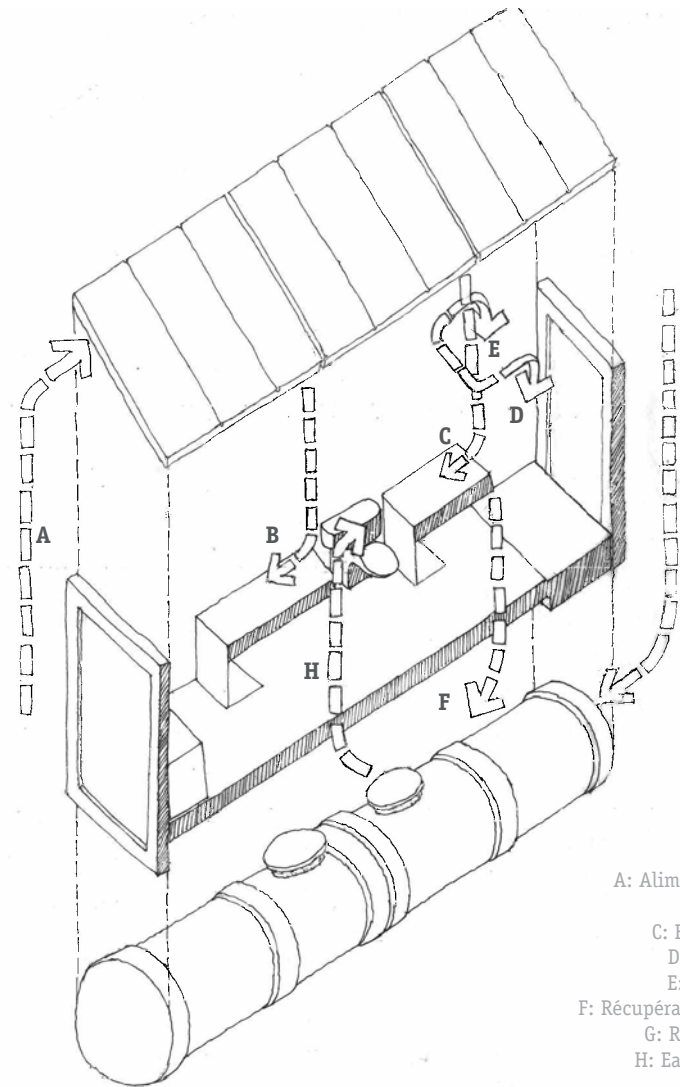
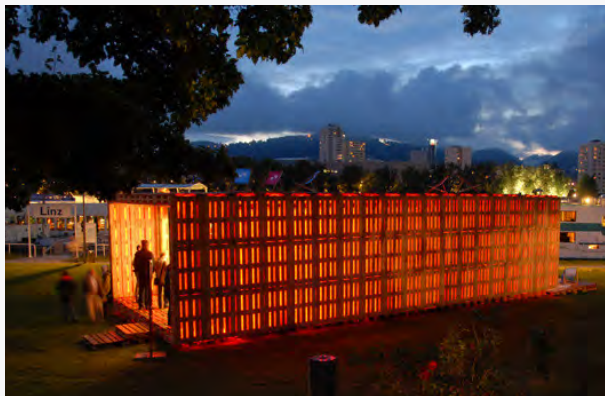
VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**STRATÉGIE N°2 : CONFIGURATION AUTOUR D'UN "NOYAU" TECHNIQUE**

En séparant un noyau technique, on crée ainsi un système qui organise les espaces en fonction de leurs besoins différents en refroidissement, en lumière et en ventilation, permettant ainsi de réduire la consommation énergétique et d'améliorer le confort thermique.

Extraction de la chaleur et l'humidité peut être faite d'une manière rapide et aisée.

Les espaces générant de la chaleur et de l'humidité telles que la cuisine, la salle de bains et les espaces équipés en machines sont placés du côté de la maison située sous le vent pour éviter les odeurs et le gain de chaleur latent dû au taux d'hygrométrie élevé qui règne dans cette zone.



Circuit d'eau OPH5

- A: Alimentation eau du chauffe-eau solaire
- B: Eau chaude vers évier cuisine
- C: Eau chaude vers lavabo salle de bain
- D: Eau chaude vers douche intérieure
- E: Eau chaude vers douche extérieure
- F: Récupération des eaux grises (évier, douche)
- G: Récupération de l'eau de pluie filtrée
- H: Eau récupérée vers la chasse d'eau WC

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**Infrastructures bioclimatiques**

En utilisant un noyau technique préconstitué, on réduit les coûts et les quantités en raison de :

- *Facilité d'installation.*
- *Centralisation des pièces humide et de l'infrastructure bioclimatique.*
- *Facilité du branchement aux systèmes de réchauffement solaire de l'eau.*
- *Facilité la conservation de l'eau de pluie.*
- *Réduction de mètres linéaires de canalisations.*
- *Séparer les fonctions d'éclairage de vue de celles des ouvertures d'entrée et de sortie d'air. (meilleur rapport qualité/prix).*

Des modules séparées par fonction s'inscrivent à une démarche de durabilité culturelle par :

- *Le souhait récurrent dans les sondages effectués.*
- *Une geste vers le principe traditionnel polynésien de l'organisation qui sépare les modules de vie par fonction.*
- *L'intégration des pièces d'eau extérieure, qui est un élément adapté à la façon de vivre. (eg. rinçage avant d'entrer dans les espaces de vie, etc.)*

**Récupération d'eau**

Une source alternative d'approvisionnement de l'eau représente un avantage financier et environnemental. Le système proposé ci-contre économise entre 150 et 200 litres d'eau par jour, soit 20 à 25% de la consommation journalière d'un fare en Polynésie Française. L'eau grises de la douche et du lavabo est pré filtrée et évacuée vers une cuve semi-enterrée qui est équipée avec un injecteur désinfectante automatique. Ensuite elle est pompée vers le lieu d'utilisation, le réservoir chasse-d'eau du wc..

L'eau des toitures:

Pour réduire des risques sanitaires, cette eau serait destinée aux usages extérieurs eg., le jardin, lavage de véhicules, etc. En parallèle, l'eau de pluie est drainée par la couverture du toit vers les gouttières. Elle descend à travers des gouttières où elle est pré-filtrée des matières organiques et atterrit dans une deuxième cuve.

**L'eau chaude sanitaire**

Une chauffe-eau solaire simple comportant 6m<sup>2</sup> de panneaux\*\* fournira 300L de l'eau chaude par jour. Un système hybride assure l'eau chaude lors des jours couverts. Ceci représente au minimum 30% d'économie sur la consommation mensuelle d'électricité par rapport au chauffe-eau électrique\*.

Basé sur les hypothèses d'usage domestique suivants:

Une famille de 4 personnes par jour:

*cuisine/boire: 30L*

*vaisselle: 40L*

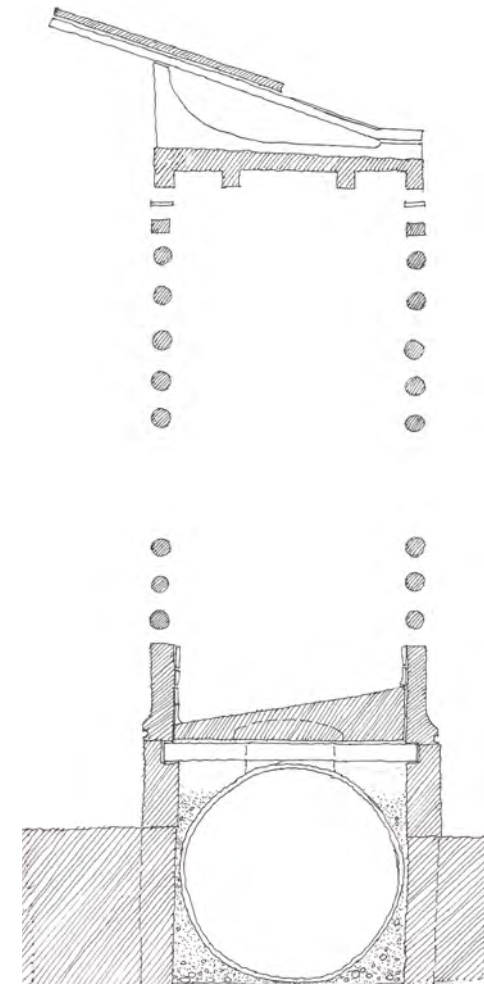
*douches (10): 400L*

*wc: 150L*

*machine à laver: 60L*

*lavage voiture: 200L*

\*Le soleil se trouvant au dessus de 30° pendant 7 à 9 heures par jour selon la saison, permet de localiser efficacement, les panneaux directement en dessus des lieux d'usage.



Coupe schématique du noyau technique

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**STRATÉGIE N°3 : ÉVOLUTION FONCTIONNELLE SELON LES ADAPTATIONS EFFECTUÉES PAR LES UTILISATEURS**

Une soixantaine de sondages ont été réalisés à Moorea et Tahiti par les membres de l'association Te Pu Atitia. Ces renseignements ont été pris en compte pour la réévaluation du dessin fonctionnel du prototype.

Parallèlement, un reportage photographique sur les fares OPH et les modifications faites à ceux-ci a été réalisé sur les deux îles. Ceci a pu orienter les directions pour mieux adapter la conception du fare aux modes de vies actuels.

Certains éléments ont été intégrés dans le nouveau concept du fare, en prenant instruction des modifications et extensions que les habitants ont effectué à leurs fares au fil du temps.

Parallèlement, les réponses d'évaluation des habitants ont informé la nouvelle organisation des espaces proposés.

Nos premières observations se regroupent autour de la question des espaces extérieurs. La majorité des fares voient :

- *Un agrandissement de la terrasse et la création d'autres espaces extérieurs couverts.*
- *Une modification de l'ombrage de la terrasse.*
- *La personnalisation de l'extérieur du fare*

Une deuxième série de constats, à travers des sondages, se regroupe autour des sujets suivant :

- *Une appréciation du sens de permanence et chez soi qu'apporte un fare OPH.*
- *Le souhait d'une séparation des pièces humides.*
- *Une organisation moins fermée correspondrait mieux à la façon de vivre.*
- *Les matériaux, comme le fibrociment qui provoque problèmes de santé ou la colle du linoléum qui encourage des termites, seront à éviter.*
- *Un désir pour plus de séparation privée entre l'espace de vie et les chambres.*
- *La chaleur interne amène souvent à dormir sur la terrasse.*

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE



- **Un agrandissement de la terrasse et la création d'autres espaces extérieurs couverts.**

Une terrasse située plus proche du sol permet moins de constriction comme telle, tout en permettant son agrandissement plus facilement aussi bien éventuellement que celle de sa toiture. Économie des gardes de corps; plusieurs options sont ouvertes aux utilisateurs pour agrandir le plancher.

Le OPH4, version F5 présente actuellement une réduction de la superficie de la terrasse de 27m<sup>2</sup> (F4 à 27m<sup>2</sup>), pendant que le F5 accueille des familles encore plus grandes que fait le F4.

- **Une modification de l'ombrage de la terrasse.**

La terrasse dégagée du volume de la maison devient ouverte sur trois cotés donc les méthodes personnalisées de l'ombrage si ça s'avère nécessaire sont encouragées; stores en bambou, végétation.

- **La personnalisation de l'extérieur du fare.**

Afin d'apaiser l'uniformité, la proposition incorpore dans la structure même, des éléments permettant d'encourager la personnalisation de l'extérieur de la maison avec certains éléments (portes, poteaux) que présentent des zones prêtes à recevoir des décorations de surface (tissus, tapas, paillassons) ou intégrale (motif teinté à l'encre).

- **Une appréciation du sens de permanence et chez soi qu'apporte un fare OPH.**

Il faut maintenir des matériaux pérennes. Ultimement, la durabilité est très liée à la longévité ; la structure doit s'auto-corriger par rapport au climat comme aux ouvrages et résister aux infestations des termites.

- **Le souhait d'une séparation des pièces humides.**

Création du noyau technique et des pièces d'eau extérieures.

- **Éviter des matériaux, comme le fibrociment qui pourraient provoquer des problèmes de santé ou la colle du linoléum qui, sous la chaleur, ramolit le substrat et encourage les termites.**

Il est proposé de servir des économies pour remplacer le linoléum et le fibrociment par du bois un matériau écologique et sain, qui participe à la réduction d'effet de serre et à la diminution de la pollution.

- **La chaleur interne amène souvent à dormir sur la terrasse.**

Les chambres du fare OPH5 peuvent s'ouvrir jusqu'à ressembler à une terrasse de nuit.



## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**STRATÉGIE N°4 : ACCEPTATION D'UNE TYPOLOGIE PRINCIPALEMENT ÉTABLIE SELON LE TOIT ET L'EFFET DE CHEMINÉE POUR LE CAS CLIMATIQUE DU "PIRE SCENARIO."**

La situation la plus difficile à gérer pour assurer le confort thermique, sans recours à une climatisation mécanique, est le rafraîchissement du fare pendant la saison la plus chaude et en conditions de vent nul, sous la pluie lorsque la maison est fermée.

L'objectif de la Stratégie 4 serait de créer du mouvement d'air en attirant l'air frais du dessous de la maison par les courants différentiels.

**Encourager la flottaison d'air par la chaleur accumulée dans le toit.**

L'exposition insulaire à des angles très verticaux d'ensoleillement et la manque de variation de température entre le jour et la nuit a donné au toit en Polynésie, une fonction essentielle de protection solaire.

A peu près 80% du gain solaire des maisons tahitiennes arrive à travers le toit. Cette chaleur solaire doit être entièrement bloquée avec un système fortement isolant.

Toutefois, la stratégie 4 vise à utiliser cette chaleur. Elle profite de la chaleur accumulée en haut de la maison de façon à tirer l'air frais d'en bas et de dissiper l'air chaud en haut.

Plusieurs hypothèses de façon à renforcer le différentiel entre le toit et le bas ont été modélisé\*.

La performance énergétique et ses effets sur les conditions climatiques environnementales internes au fare, ont été évaluées par simulation informatique\*\*.

Cependant, le modèle étant complexe, sa simulation restera en attente d'une vérification d'hypothèses au travers de l'expérimentation empirique d'un prototype construit.

*\* Placer une barrière radiante contre le panneau intérieur pour créer une zone de chaleur et ajouter une isolation dans le cas où la réduction de volume ou de frictions l'imposent.*

*\*\*La durée de rétention de chaleur dans un fare fermé (ie, première pluie) le délai pour que le fare se rafraichisse naturellement.*



## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

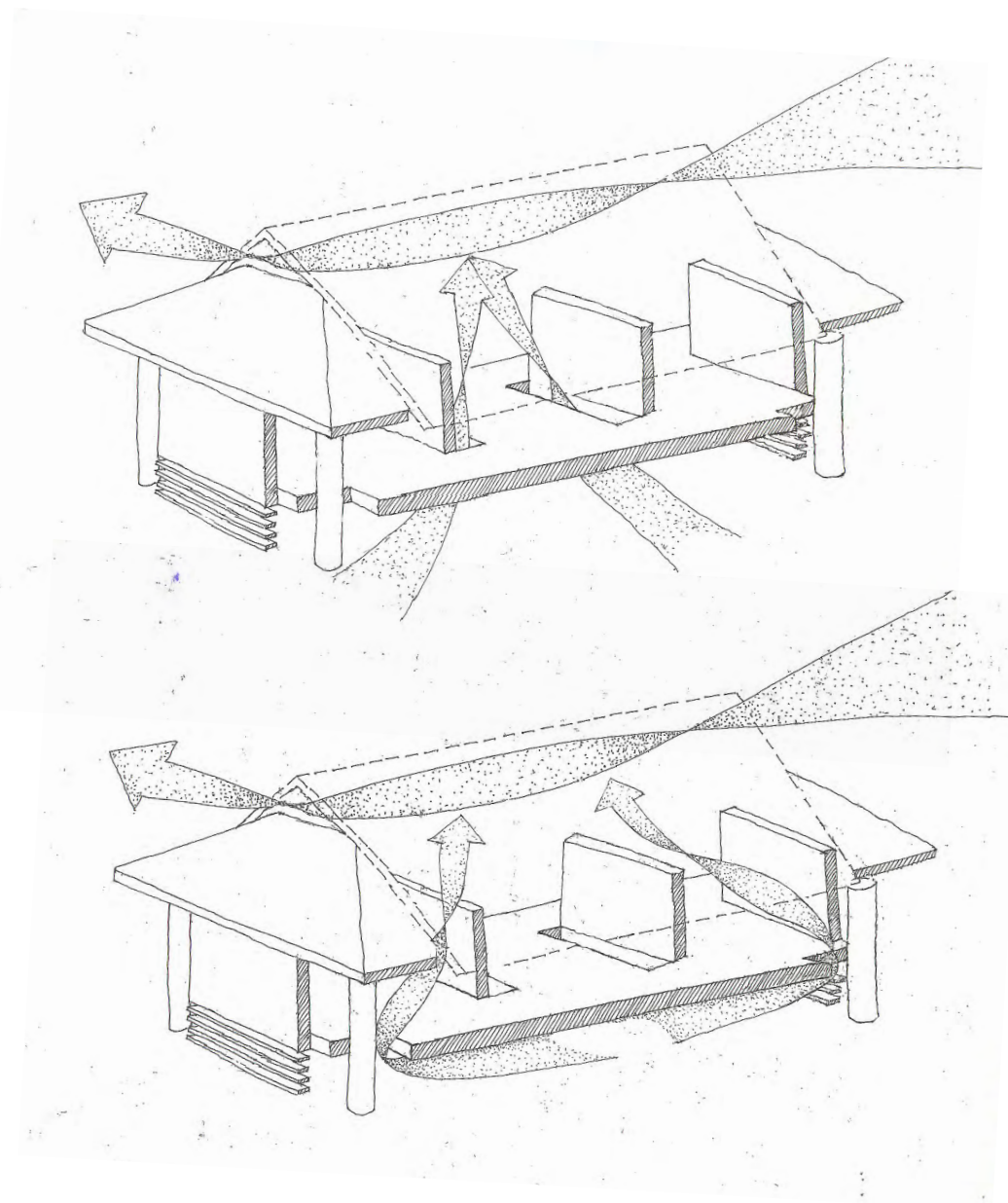
La configuration interne influence le potentiel d'aération par courants d'air.

La taille relative des ouvertures de l'entrée et de sortie de l'air est le facteur le plus important pour déterminer l'efficacité du refroidissement par circulation d'air.

Pour une bonne ventilation, il est souhaitable d'avoir une vitesse supérieure de l'air avec le flux distribué parmi toutes les parties occupées d'une pièce.

La manipulation des tailles respectives des ouvertures du sol et de l'**outeau** permet d'influencer la vitesse du mouvement d'air.

Lorsque la maison est fermée (absence la journée, fortes pluies) la zone de basse pression, l'air chaude accumulée vers le toit, tire vers le haut l'air frais de forte pression.



VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

### Outeau

La réintroduction d'un **outeau** au niveau de l'arête - la ventilation traditionnelle d'un toit - associée aux ouvertures dans le plancher, a montré une significative amélioration du mouvement d'air à travers la zone du plafond sous des conditions de faible vent.

On attribue ce résultat à une « flottabilité » thermique due à l'effet de cheminée, plus efficace sous les conditions d'air stagnant qui accompagne une surchauffe sous toit.

Le rajout d'un **outeau** au toit a montré une augmentation plus significative de mouvement d'air à travers l'espace toiture sous conditions de vent minimal.

La bouyance thermique/effet de cheminée semble être plus effective sous conditions de vent minimal, lorsqu'il y a une accumulation de chaleur sous le toit.

	Low Wind (1.8 km/h)		High Wind (25.8 km/h)	
	Baseline	Roof Vent	Baseline	Roff Vent
Roof Space (ACH)	0.185	0.66	2.15	2.37

Taux de ventilation/ par rapport au rajout de 'outeau'

	No Clouds, No Wind (%)			No Clouds, High Wind (%)		
	Séjour	Espace toit	Chambre	Séjour	Espace toit	Chambre
Outeau	14.0	39.4	11.8	1.4	4.9	1.4
Surface toit	9.3	25.9	7.8	9.7	27.2	7.6
Ouvertures augmentées	12.3	1.0	16.3	9.1	0.6	12.0
Total	27.0	48.4	25.6	17.6	30.5	16.8

Réduction en température pour modifications comme pourcentage du delta température intérieure /extérieure .

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**STRATÉGIE N°5 : RECONSIDÉRATION DU SYSTÈME DE CONSTRUCTION, VERS UNE RE-CONCEPTION GLOBALE**

Dans la Section II, l'analyse du coût des matériaux qui constituent le fare OPH actuel, associé à une analyse structurale nous a permis, d'envisager des économies importantes dans la charpente du fare.

Cette économie de structure doit obligatoirement être accompagné d'un contrôle étroit de la qualité de la mise en oeuvre.

La recherche principale associée à la Stratégie 5, se penchera sur la rationalisation de la structure entière aussi bien que sur le composant esthétique du fare, qui comprendra :

- *Simplification du concept anticyclone afin de permettre la minimalisation des redondances structurelles.*
- *Dissociation de la structure porteur des murs de clôture\* qui permet de casser la notion de boîte percée en ouvrant les quatre coins de la maison.*
- *Augmentation de l'économie d'échelle en limitant le nombre d'éléments nécessaires et réduction du bilan carbone par la réduction littérale de l'empreinte du bâtiment.*
- *Un regard sur chaque élément reconnaissant deux axes de réflexion : l'élément dans son contexte physique et l'élément dans son contexte culturel et esthétique.*

\*Les panneaux fixes servent de contreventement de l'ossature.

La nouvelle conception du système structurelle permettra un contrôle sensible du confort thermique. Le fare ouvre vers tous les vents et les changements de direction des vents.

En ce qui concerne le développement durable :

- *Les formes plus simples résultant des nouveaux préceptes structureaux permettent une intégration plus discrète des fares dans le paysage.*
- *En se limitant à 2 les types de membres structureaux permettent de créer une économie d'échelle.*
- *Diminuer la quantité d'éléments importés dans le nouveau modèle en réduisant les éléments qui nécessitent l'importation.*
- *Limiter la quantité totale des matériaux nécessaires peut réduire le problème de capacité et permettre l'usage progressif du Pin des Caraïbes et ainsi favoriser l'industrie locale.*
- *La fabrication de certains éléments dans une situation contrôlée nous permet de contrôler la qualité et ainsi réduire le facteur de sécurité et ainsi la redondance de structure.*

Il est possible de faire pré fabriquer en atelier une bonne partie de l'enveloppe de la maison : la charpente pré-coupée et pré-percée, les panneaux de contreventement. Ceci facilitera également le contrôle de la mise en oeuvre.

Le résultat amènera vers une durabilité culturelle par la suivant:

- *La modification du rapport mur/structure porteur révèle l'expression visuelle de la structure qui permet un lien avec sa signification symbolique (l'ouverture à la transmission orale).*
- *Les poteaux étant porteurs au lieu des murs permettent une ouverture maximum de l'espace qui s'inscrit à la mode de vie à la fois, actuelle et traditionnelle.*
- *La forme optimale d'un toit anticyclone correspond plus à des formes traditionnelles à quatre pentes.*
- *Les économies sur le prix de revient de la structure pourront alimenter le budget dédié à la qualité des matériaux.*

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

### Principes Paracyclones

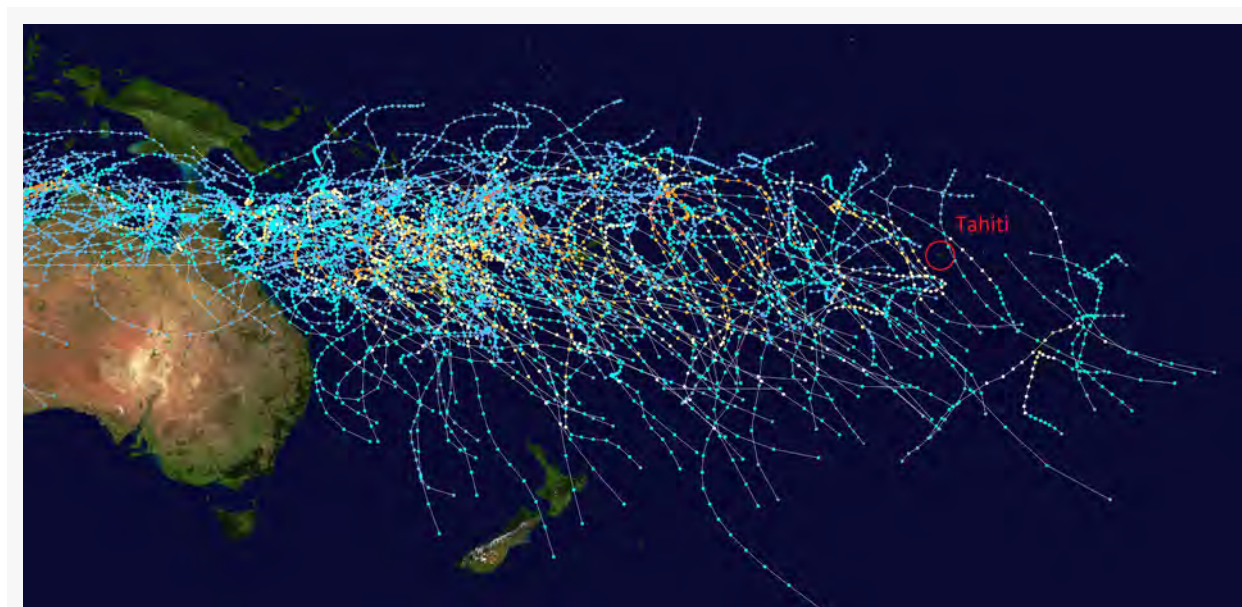
La «raison d'être» du fare OPH: Maison Territoriale de Reconstruction, ses origines, se rapporte à la magnitude des dégâts causés pendant la saison des cyclones de 1982-83.

La perte des domiciles était en partie due à la succession rapide de tempêtes violentes, mais les effets ont également été étendus par le manque de préparation et la pauvreté.

Ceci est illustré dans la non-observance des règles basiques de sécurité dans l'industrie du bâtiment à l'époque.

Aujourd'hui, le gouvernement de la Polynésie Française a mis en place des codes de construction appropriés concernant la résistance aux cyclones des bâtiments. Aussi, les fares OPH originaux se sont prouvés aptes à bien résister aux tempêtes ultérieures.

Cependant, les fare OPH3 et 4 ont subi quelques modifications de forme et de toiture configurations qui vont à l'encontre des règles de base paracyclones.



VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

*Le meilleur rapport coût-efficacité d'une construction paracyclone est entièrement lié à l'observance de quelques principes simples et basiques.*

L'optimisation passant par la forme même de la structure évite la nécessité de compenser par plus de structure.

L'hypothèse est donc que le respect des principes de bases paracyclone dans le concept global du fare, permettra une réduction de matériaux et ainsi du coût.

La forte capacité de levage due à la basse pression des vents rapides peut être mitigée en baissant la pression sous le toit pour tirer vers le bas.

Analyse structurelle éléments de la structure.

Hors toiture et fenêtres, une structure resitera d'habitude aux vents jusqu'à 160 km/h, néanmoins si celle-ci se révélait mal conçue la structure pourrait souffrir de dommage très coûteux lorsque les vents atteignent 200 à 240 km/h.

Aspects favorables	OPH4 F5	OPH4 F4	OPH5 F5	OPH5 F4
Forme compacte et régulière (éviter les «U» ou «L»)				
Aménagement symétrique des ouvertures et des murs				
Toiture raide à quatre pentes (entre 20 et 30%)				
Discontinuité des appentis et moins de 2/3 de la hauteur				

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**CALCUL DE L'EMPREINTE CARBONE LIÉE AU OPH5****Introduction**

L'étude dans le Chapitre II sur les émissions de gaz à effet de serre liées aux matériaux de construction du sur le fare OPH 4, a révélée un certain nombre de directions d'amélioration qui réduiraient significativement l'empreinte de ce modèle de logement.

Les résultats soulignent la portée que pourraient avoir certains matériaux, tels que le verre et le PVC, sur l'empreinte du fare OPH.

Le concept du fare OPH version 5 vise à réduire l'utilisation de ces matériaux par trois voies importantes :

- *en centralisant toute la distribution d'eau du ménage = réduction de la tuyauterie à un minimum.*
- *en séparant la fonction 'vue' de la fonction 'air' = réduction significative de l'utilisation de verre.*
- *en éliminant la nécessité des faux plafonds en PVC et limitant l'utilisation du béton aux fondations.*

Egalement, la version OPH5 réduit la quantité de bois structurel par 40 pourcent. Malgré la portée moindre sur les émissions CO2 qui peut avoir le bois par rapport aux matériaux ci-dessus, ceci représente une réduction non-négligeable et aurait une bénéfice supplémentaire si cette réduction réduction permettrait recours aux fournisseurs locaux.

**Méthodologie**

Le modèle s'appuie sur les mêmes bases du celui du Chapitre II (Merci de Voir Chapitre II. Pour une description complète de la méthodologie employée R. Shirley ): une évaluation du cycle de vie (ECV) pour obtenir un calcul approximatif des émissions de gaz à effet de serre (GES) durant l'extraction, le traitement, le transport et l'utilisation des divers matériaux nécessaires à la construction .

Nous ne prenons pas en compte des conséquences associées à l'occupation comme la consommation en électricité et en eau ou la gestion des déchets. En raison de nombreuses données insuffisantes, nous définissons le total de l'empreinte carbone du foyer comme la somme des émissions relatives à la production et au transport des matériaux.

Due au stade débutant de développement de ce projet, nous effectuons ce calcul pour OPH5 en fonction des quantités estimées par Acomalis.

**Résultats**

Nous parvenons à la conclusion que la réduction des principaux contributeurs à l'empreinte carbone des OPH : le PVC, le verre, le béton a réduit considérablement l'empreinte d'un fare, extrapolée. L'empreinte carbone totale d'un OPH5 est d'environ 33 tonnes qui est significativement plus faible que celles du OPH4 à 48 et 57 tonnes. Nous observons que les différences observées dépendent principalement des quantités utilisées dans les divers modèles de OPH. La OPH5 utilise une quantité dix moins de verre de du PVC que la OPH4, et moins de béton du OPH4 modifié, qui explique la différence d'empreinte carbone.

La OPH5 présente une surface de 78 m2 avec 16 m2 de terrasse pour les deux versions 3 chambres (F4) et 4 chambres (F4) Ces empreintes représentent 320 d'équivalent kgCO2/m2 pour la version OPH 5.



VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

Conclusion

Nous avons effectué l'estimation de l'empreinte carbone des maisons de type OPH en nous basant sur les émissions associées aux matériaux utilisés pour la construction ainsi que sur celles résultant de leur transport vers les îles.

Une comparaison intégrale de l'empreinte 'ménagère' des versions de fare, devrait donc prendre en compte l'intégration du chauffe-eau solaire et de la récupération de l'eau, présente dans la version 5, qui représentent respectivement, une économie d'électricité estimée à 50 pourcent et une économie d'eau estimée à 25 à 30 pourcent.

Nous estimons que la OPH5 présente une réduction significative des émissions par rapport à la OPH4. Les empreintes des OPH4 et OPH5 sont respectivement de 890 et 337 équivalent kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Les émissions liées aux matériaux de construction représentant 95 % du total. La grille de calcul présentée ici n'en est qu'à sa phase d'élaboration mais elle procure déjà un aperçu comparatif. Ce type d'analyse constitue un outil utile pour l'éducation et la sensibilisation du public tout en fournissant des indications pertinentes s'agissant des économies d'énergie pouvant être réalisées dans le secteur du logement en Polynésie française. Cela peut se révéler important afin de déterminer quelles sont les stratégies publiques permettant de réduire le plus efficacement les émissions de carbone et, pour y parvenir, de définir les aspects du changement dans la construction et l'approvisionnement en ressources.

Monahan, Powell (2011). An Embodied Carbon and Energy Analysis of Modern Methods of Construction in Housing: A case study using a lifecycle assessment framework. Energy and Buildings Vol 43 pg 179 = 188

Heiskanen, E., Johnson, M., Robinson, S., Vadovics, E. and Saastamoinen, M. (2010) Low-carbon communities as a context for individual behavioural change. Energy Policy, Vol 38, Issue 12, December 2010, pg 7586 - 7595

Junhua, Y and Ying, H. (2011). The Analysis of Correlation between Urban Residents Behaviour and Low-carbon Economic Development. Energy Procedia, Vol 5, 2011, pg 1762-1767

OPH5

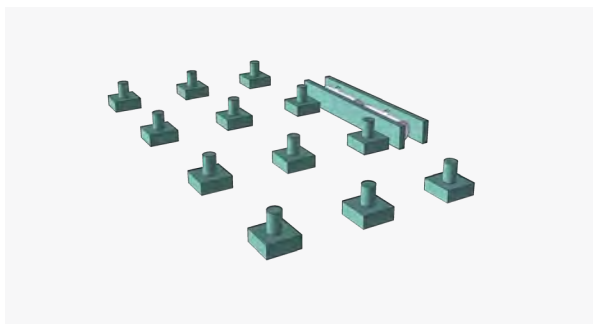
Material	Poids (tonnes) fare OPH4	Poids (tonnes) OPH4 modifiée	Poids (tonnes) OPH5 modifiée	Poids (tonnes) OPH5 modifiée charpente	Fare OPH4			Fare OPH4 Modifiée		
					Emissions Factors		Total (tonnes CO2eq)	Emissions Factors		Total (tonnes CO2eq)
					Embodied (tonnes CO2eq)	Transportation (tonnes CO2eq)		Embodied (tonnes CO2eq)	Transportation (tonnes CO2eq)	
sandwich tin	0,450	0,450	0,414	0,414	0,481	0,009	0,49	0,481	0,009	0,49
douglas fir	10,520	8,103	6,204	0	0,000	0,432	0,43	0,000	0,333	0,33
aluminium	0,200	0,292	0,144	0,144	1,799	0,004	1,80	2,627	0,006	2,63
plywood	1,690	1,605	1,611	1,611	0,000	0,090	0,09	0,000	0,086	0,09
PVC	0,086	0,086	0,035	0,035	17,078	0,008	17,09	17,078	0,008	17,09
fiber cement	1,390	0,700	0,000	0,000	1,218	0,074	1,29	0,613	0,037	0,65
glass	0,450	0,675	0,279	0,279	16,286	0,009	16,30	24,428	0,014	24,44
ceramics	0,350	0,350	0,195	0,195	1,092	0,031	1,12	1,092	0,031	1,12
steel	3,074	3,100	2,940	2,940	3,289	0,064	3,35	3,316	0,065	3,38
concrete	23,920	41,220	26,220	26,220	2,228	0,833	3,06	3,840	1,435	5,27
caribbean pine	2,110	2,110	15,193	21,397	0,000	0,001	0,00	0,000	0,001	0,00
plastic	0,107	0,107	0,587	0,587	0,180	0,006	0,19	0,180	0,006	0,19
light bulbs	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
electrical cables	0,058	0,058	0,058	0,058	1,897	0,005	1,90	1,897	0,005	1,90
switches	0,004	0,004	0,004	0,004	0,007	0,000	0,01	0,007	0,000	0,01
paint	0,320	0,320	0,280	0,280	1,405	0,029	1,43	1,405	0,029	1,43
melamine	0,135	0,135	0,035	0,035	0,000	0,007	0,01	0,000	0,007	0,01
copper	0,002	0,002	0,002	0,002	0,039	0,000	0,04	0,039	0,000	0,04
glass fibre insulation	0	0,067	0	0	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
bamboo	0	0,000	0,225	0,225	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
<b>tonnes CO2 d'Emissions totales du fare OPH</b>							<b>49</b>			<b>59</b>

Fare OPH5			Fare OPH5 Charpente local		
Emissions Factors			Emissions Factors		
Embodied (tonnes CO2eq)	Transportation (tonnes CO2eq)	Total (tonnes CO2eq)	Embodied (tonnes CO2eq)	Transportation (tonnes CO2eq)	Total (tonnes CO2eq)
0,443	0,009	0,45	0,443	0,009	0,45
0,000	0,255	0,25	0,000	0,000	0,00
1,296	0,003	1,30	1,296	0,003	1,30
0,000	0,086	0,09	0,000	0,086	0,09
6,950	0,003	6,95	6,950	0,003	6,95
0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
10,097	0,006	10,10	10,097	0,006	10,10
0,608	0,017	0,63	0,608	0,017	0,63
3,145	0,062	3,21	3,145	0,062	3,21
2,443	0,913	3,36	2,443	0,913	3,36
0,000	0,009	0,01	0,000	0,013	0,01
0,990	0,031	1,02	0,990	0,031	1,02
0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
1,897	0,005	1,90	1,897	0,005	1,90
0,007	0,000	0,01	0,007	0,000	0,01
1,230	0,025	1,25	1,230	0,025	1,25
0,000	0,002	0,00	0,000	0,002	0,00
0,039	0,000	0,04	0,039	0,000	0,04
0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,00
<b>31</b>			<b>30</b>		

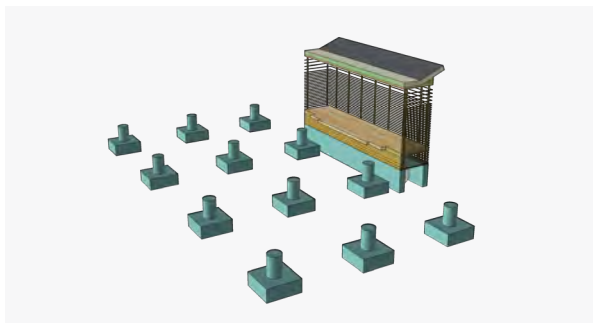


## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

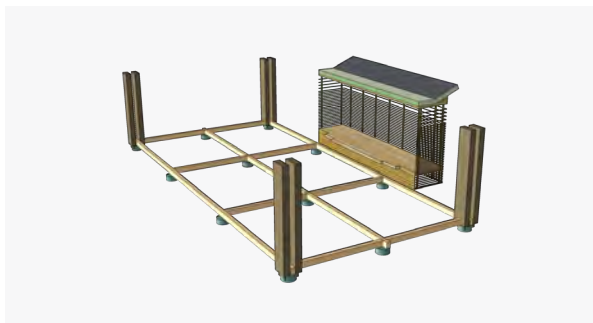
### 1 Fondement du noyau technique et plots des poteaux



### 2 Pose de la caisse des matériaux de la superstructure



### 3 Dépose progressive des matériaux



### 4 Mise en place poteaux et membrane latérale



### 5 Fixation des panneaux de contreventement



### 6 Assemblage de la charpente



### 7 Toiture



1. Le nombre de fondations est réduit de 20 à 16 plus le fondement du noyau technique avec les attentes pour l'alimentation.

2. Les matériaux de construction arrivent sur site dans un caisson dont le volume respecte le gabarit routier de transport.

3. Ce caisson une fois vidé des éléments de la construction, devient la structure préfabriquée pour le module des pièces humides. Il s'agit d'un simple branchement.

4. Pour une bonne résistance aux cyclones, chaque élément de la superstructure est lié jusqu'aux fondations.

5. Les « murs » composés agissent en planches de contreventement faisant partie intégrale de l'optimisation de la structure.

6. Les éléments de la charpente sont pré-perçés. Ceci permet de vérifier facilement que le nombre de connexions soit respecté.

7. Le toit est montré ci-dessus en panneau sandwich métallique. Un toit en matière végétale ou en bois est envisageable avec certaines adaptations de la charpente. (Voir Recommandations)

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**Aspect visuel du fare**

La synthèse entre tradition et modernité est une autre approche des techniques d'architecture et de construction. Elle vise à une intégration plus harmonieuse dans le paysage.

Ce type d'intégration dans le paysage ne peut pas sur le plan pratique et sur le plan de l'authenticité, conduire à une réutilisation pastiche du vocabulaire traditionnel. Les formes sont plutôt définies par les techniques de construction ce qui est le fruit d'une construction optimisée (sans imitation du traditionnel).

*Cette démarche architecturale met en avant un mode de conception où les gens, la communauté, la culture, la nature et les matériaux deviennent une partie intégrante de la construction durable.*



## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

### Module technique

Le module de la cuisine/salle d'eau peut également être construit plus éloigné de la maison si désiré.

Dans sa place ci-contre, la cloison permet d'agrandir la cuisine en rajoutant un plan de travail perpendiculaire (voir pointillé)

Ceci permet de séparer le WC de la salle d'eau, sans pour autant l'ouvrir directement dans le séjour. (voir pointillé)

Les murs sont conçus en poteaux de bambou sur structure bois avec grillage anti-insecte. Le sol et les plinthes sont en carrelage. L'espacement des poteaux horizontaux est modulé de façon à répondre aux besoins fonctionnels (espacé pour lumière, vue, ventilation ; rapprochée pour la discrétion)

Les stores translucides protègent des fortes pluies.

### Espaces de vie

La terrasse qui se situe au niveau du sol, ainsi que la douche extérieure, laissent à l'utilisateur la possibilité de s'étaler sans la contrainte d'un garde de corps.

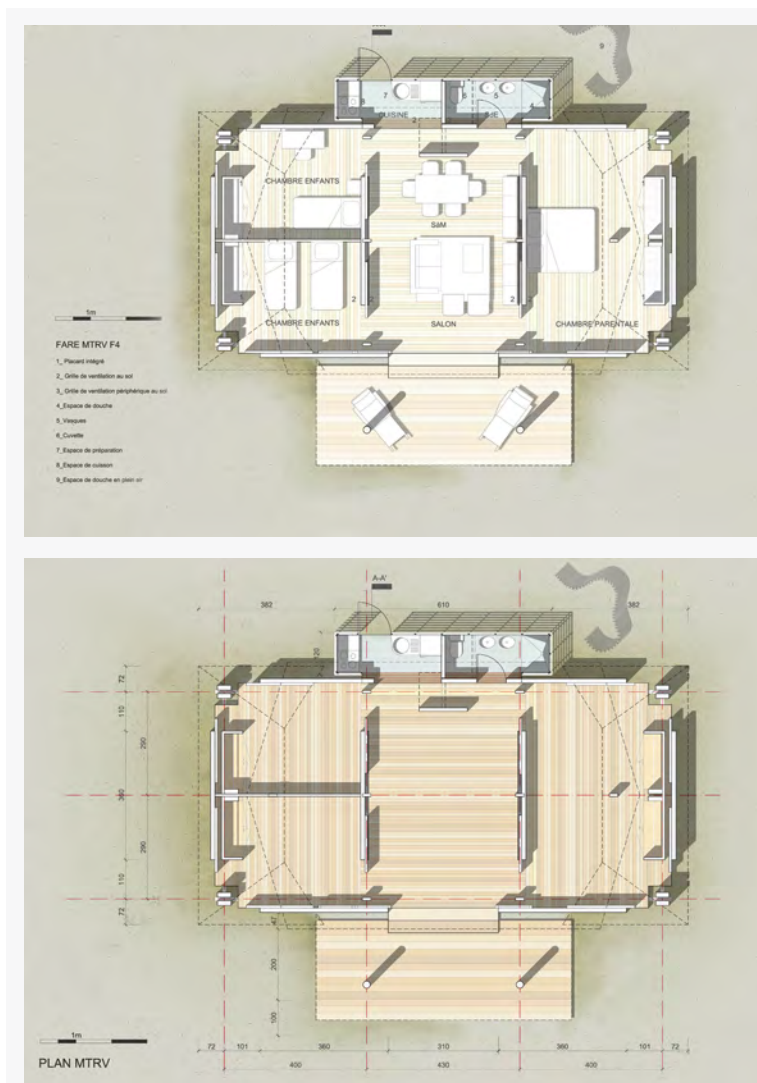
L'espace intérieur est moins clos grâce à l'ouverture des angles sur l'extérieur. Les quatre poteaux d'angles sont équipés d'un système verrous qui relie les deux volets en cas d'absence.

*Nota bene : En temps cyclonique, les angles sont assujettis aux forces de vents importantes. L'utilisateur averti met en place des mesures de sécurité, comme le renfort les angles par des connexions en acier supplémentaires. Les poteaux et volets sont équipés des attentes nécessaires.*

### Finitions

Les économies obtenues grâce à la réduction des quantités de matériaux ont permis l'introduction du parquet et des plinthes en Pin des Caraïbes local au sol à la place du linoléum. Les grilles dans le plancher sont équipées d'écrans anti-insecte.

La section des volets permet, sans perturber leur fonctionnement, une application de matière décorative ou une personnalisation graphique.



- *Logements durables en Polynésie française*

## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

L'expression franche de la structure et la mise en valeur des quatre poteaux d'angles peuvent devenir des incitations à parler des métaphores structurelles qui fondent l'architecture en Polynésie Française.

La configuration des volets coulissants encourage la personnalisation de la maison. Les zones en retrait sont aptes à recevoir des décorations de surface (tissus, tapas, paillassons) ou intégrées (motifs teints à l'encre).



## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

## Réponses Thermiques du Fare OPH5\*

L'étude suivante a pour but d'analyser la performance du prototype du fare OPH5, de la comparer aux résultats de l'analyse du fare OPH4, et de proposer des possibles améliorations. Le prototype du fare OPH5 fait l'objet d'une analyse complète dans sa configuration de base.

La configuration de base reprendre les caractéristiques (type et propriétés des matériaux, profils journaliers) du OPH4, afin de rendre fiable la comparaison entre les deux études.

A partir des simulations, deux types de résultats sont présentés:

- La fréquence des températures regroupées en 3 classes (inférieures à 23 degrés, entre 23 et 30 degrés et supérieures à 30 degrés) sur toute l'année.
- Les profils horaires de températures extérieure/intérieure, la décomposition des différents gains (internes, solaire, conduction, ventilation naturelle) au cours d'une journée typique chaude et ensoleillée (1er Février) et d'une journée nuageuse.

## Orientation

Les graphes ci-contre représentent le pourcentage du nombre d'heures occupées dans les 3 fourchettes de températures. Les résultats sont présentés pour le salon et la chambre parentale.

Les différentes orientations n'ont pas une grande incidence sur les températures registrées pour le salon, ce qui s'explique par la localisation du salon au milieu du fare OPH5 et par la présence d'un auvent qui protège le salon. Les différentes orientation ont une incidence plus importante sur les températures registrées dans la chambre parentale : l'orientation sud présente le moins d'heures au-dessus de 30 degrés (-13% par rapport à l'orientation nord).

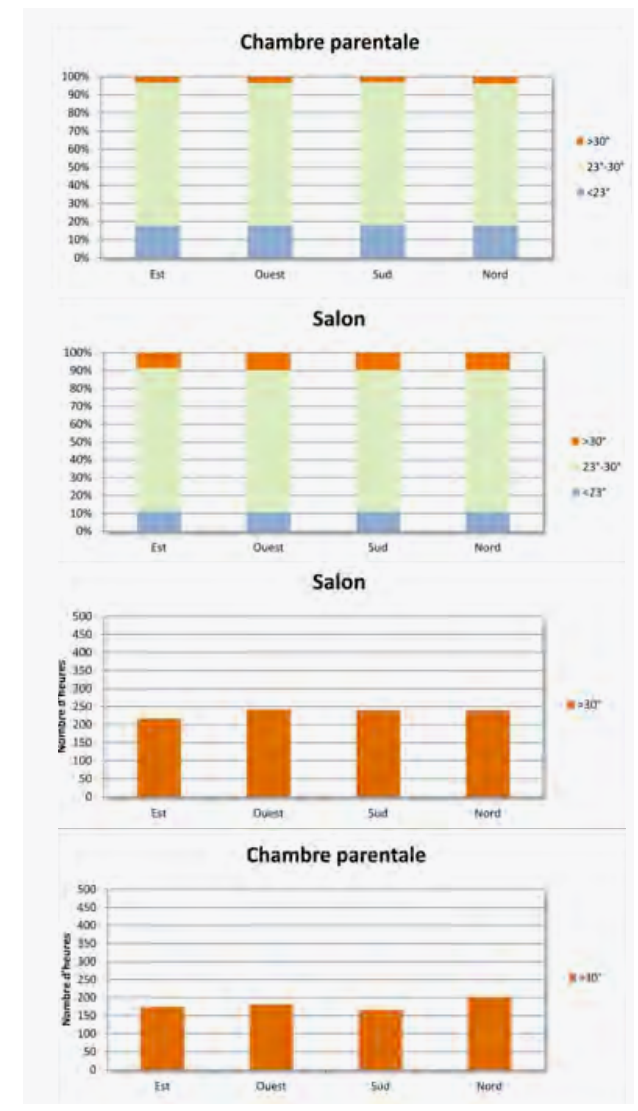
Les graphes suivants montrent la décomposition des différents gains pour chacune des orientations.

Les gains internes du salon ne se produisent, en semaine, qu'en matinée puis en soirée. Pendant ces périodes la baie vitrée avec porte d'entrée est également considérée ouverte. La température intérieure est proche de la température extérieure. La présence d'ouvertures permanentes à bas niveau (ouvertures sur le plancher) permet d'avoir à l'intérieur du fare OPH5 une ventilation naturelle même lorsque les autres ouvertures sont fermées. L'absence presque totale de fenêtres dans le OPH5 (toutes les ouvertures sont configurées comme des panneaux coulissants non vitrés) permet de réduire au minimum les gains solaires pendant la journée.

Ceci peut expliquer une température interne du OPH5 très proche à la température externe pendant toute la journée, ce qui permet d'éviter l'augmentation rapide de température qui a été registré pour le OPH4.

La comparaison entre les résultats des simulations sur le OPH4 et le OPH5 met en évidence comme ce dernier, même utilisant les mêmes matériaux et les mêmes profils, a réussi à optimiser les effets de la ventilation naturelle et à réduire les apports extérieurs.

Le nombre d'heures d'inconfort (température >30°) enregistrés dans le OPH5 est considérablement inférieur celui enregistré dans le OPH4 (entre -30/40%).



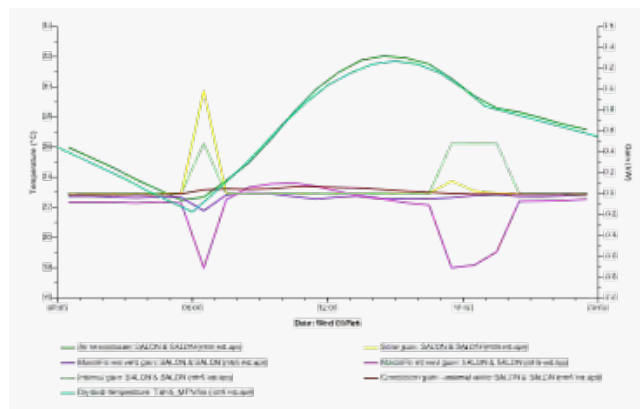
\*Étude menée par Alessandra Mecchia et Moana Reynau.

VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

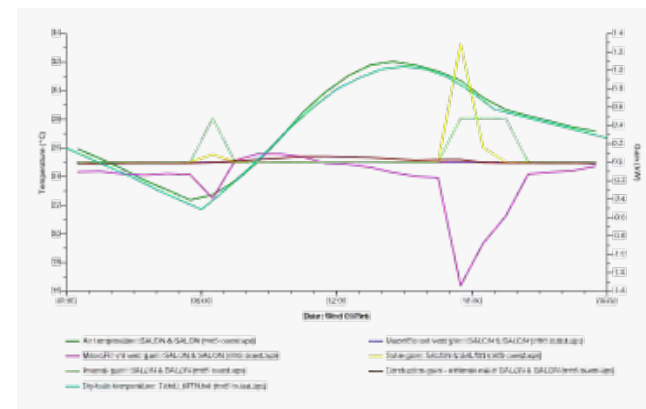
**SALON : profile des gains pour chaque orientation**  
1 février (journée typique chaude et ensoleillée)

Le graphe ci-contre montre la température intérieure du salon dans les quatre orientations. Aussi pour le OPH5 il y a peu de différence entre les différents cas, surtout aux heures occupées (matin et soirée).

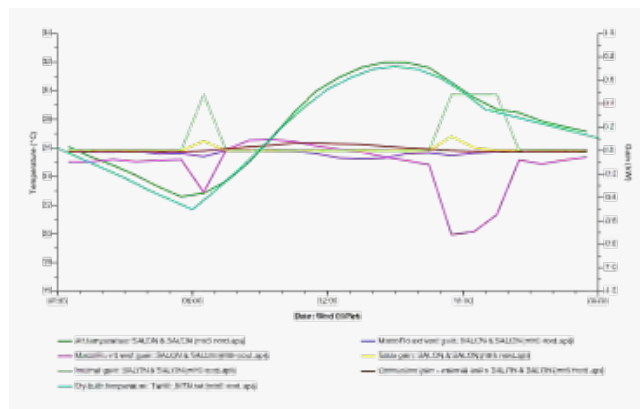
**Est (donnée de référence)**



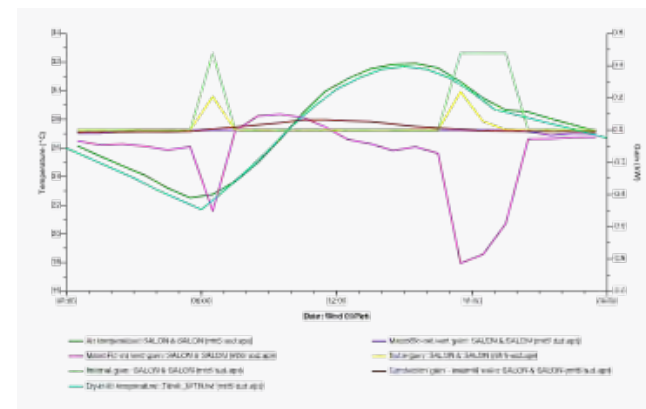
**Ouest**



**Nord**



**Sud**



## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

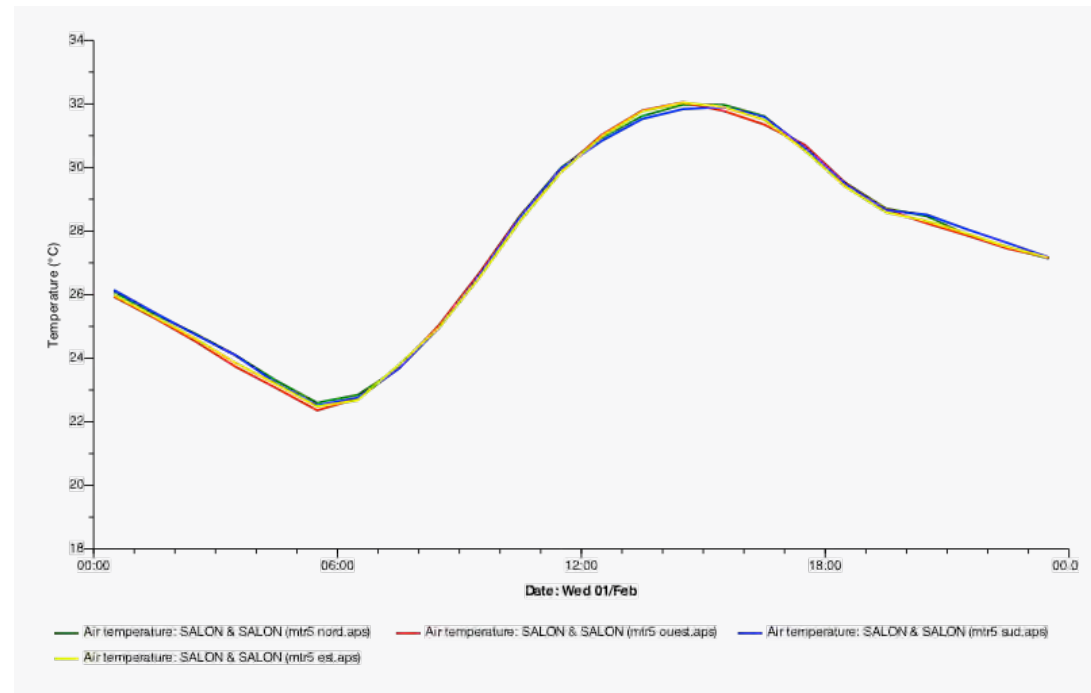
**SALON : comparaison des températures pour chaque orientation**

1 février (journée typique chaude et ensoleillée)

Pour la chambre parentale, les gains solaires sont très réduits, par contre les gains de conduction sont plus importante que pour le salon.

La chambre étant en périphérie de la maison, elle est plus exposée en fonction de l'orientation.

La présence d'ouvertures dans le plancher (en périphérie de la pièce) permet d'avoir une ventilation permanente, qui maintient la température intérieure proche de la température extérieure.



VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

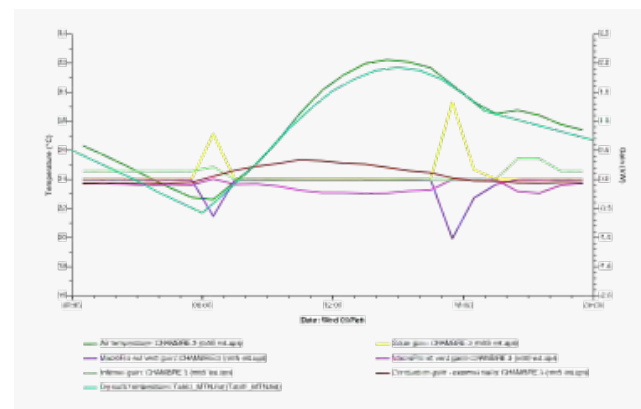
**CHAMBRE PARENTALE : profile des gains pour chaque orientation**

1 février (journée typique chaude et ensoleillée)

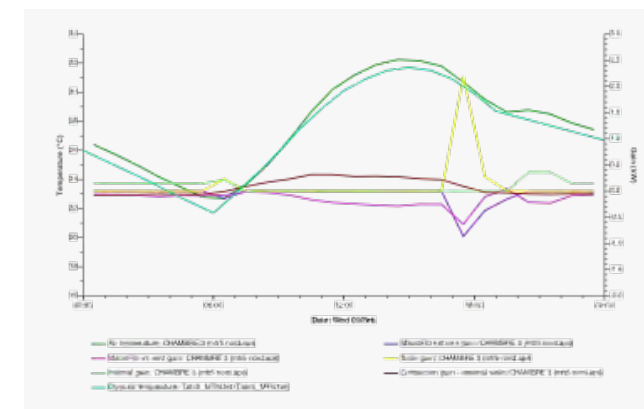
Les températures intérieures des différentes orientations de la chambre parentale sont très proches.

La présence d'une toiture avec un débord important et la présence d'une ventilation naturelle continue peuvent expliquer la basse incidence de l'orientation sur les simulations.

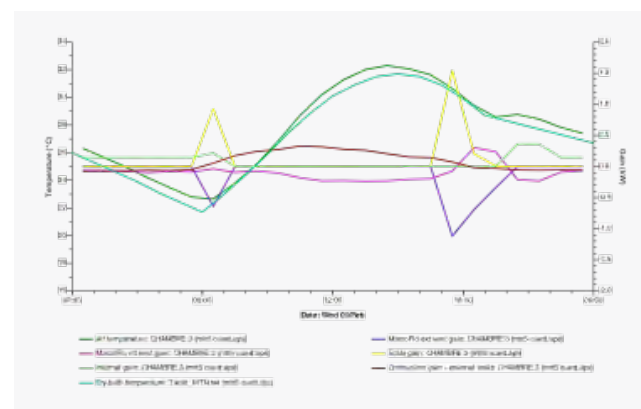
**Est (donnée de référence)**



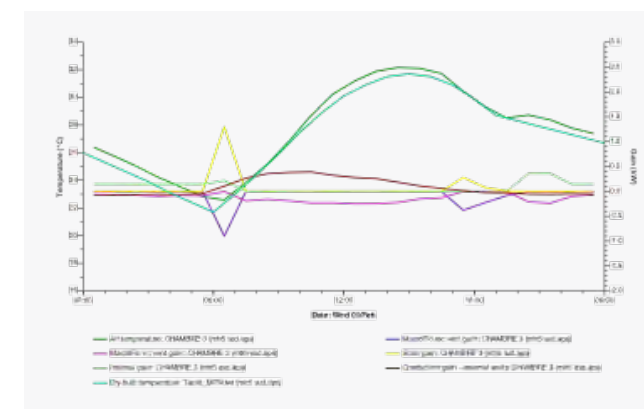
**Ouest**



**Nord**



**Sud**





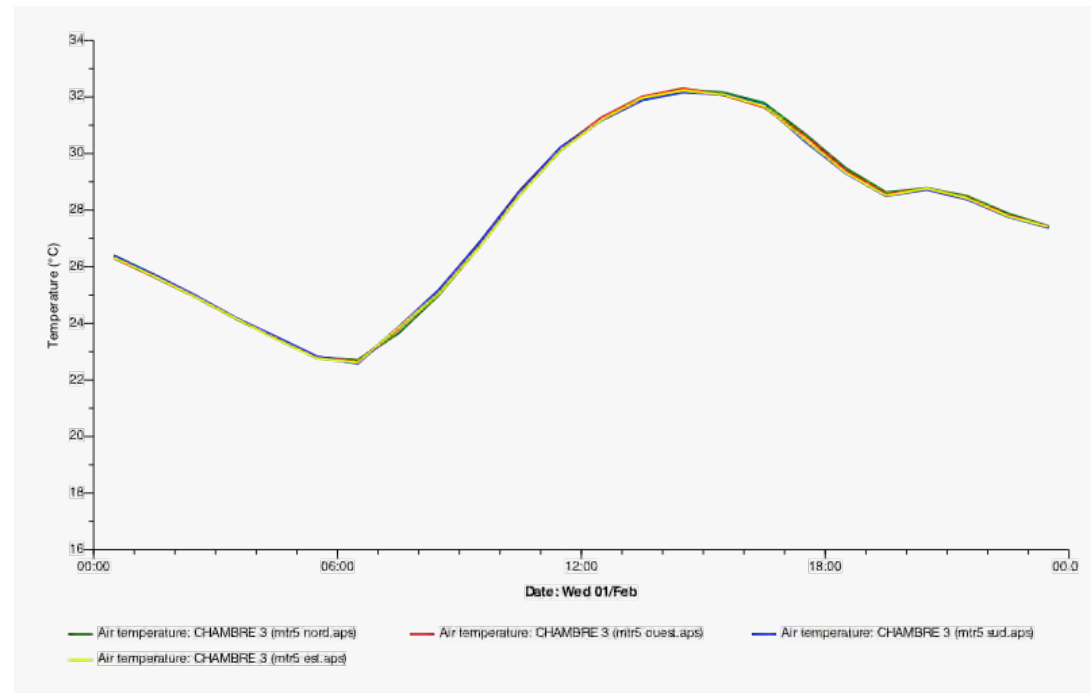
## VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

**CHAMBRE PARENTALE : comparaison des températures pour chaque orientation**

1 février (journée typique chaude et ensoleillée)

Les graphes ci-contre présentent les profils de gains et températures moyennes pour toute la maison. La température intérieure est toujours très proche à la température extérieure (différence < à 1°).

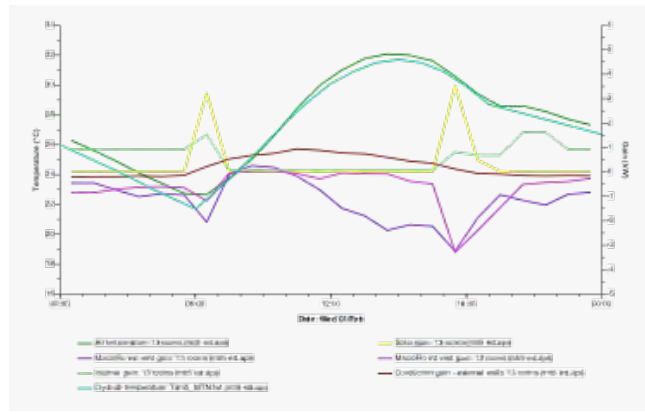
Par rapport aux résultats du OPH4, le OPH5 résulte globalement plus performant. Les principes de construction (réduction des surface vitrées, toiture avec débords, auvent) unis avec la ventilation naturelle permettent de réduire les effets des gains et de contrôler la température.



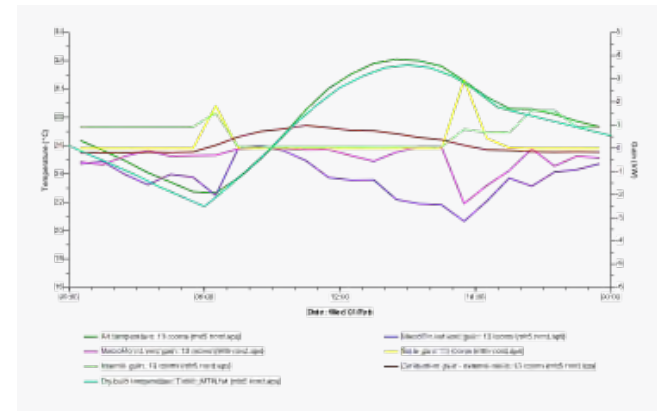
VERS UN FARE BIOCLIMATIQUE

OPH5: profile des gains pour chaque orientation  
1 février (journée typique chaude et ensoleillée)

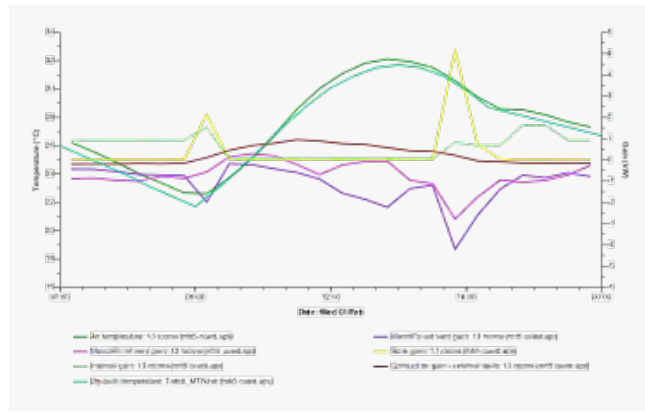
Est (donnée de référence)



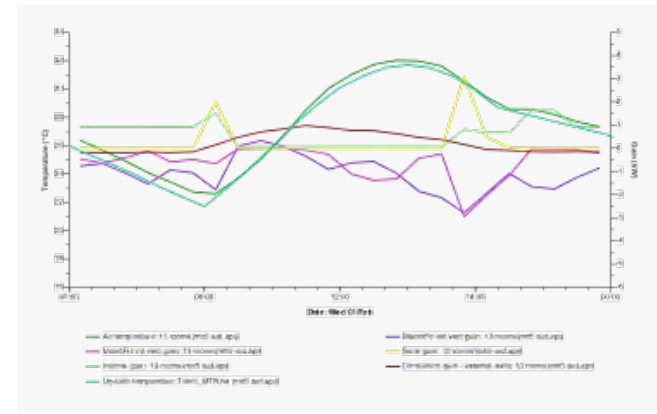
Ouest



Nord



Sud





## RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

**Résumé**

Le fare OPH représente une occasion exceptionnelle de promouvoir le développement durable en Polynésie Française

Cette étude a permis d'appréhender la complexité de la problématique du logement OPH sous différents axes : écologique, économique et culturel, et selon différents points de vue.

L'étude demandée par OPH se porte sur trois axes pour produire un fare OPH durable :

- *sa réponse thermique et son confort pour l'utilisateur*
- *son bilan carbone*
- *sa cohérence fonctionnelle et culturelle*

L'analyse thermique a démontré une efficacité due à l'introduction de certains éléments pour la construction du OPH4 prototype : Le panneau sandwich s'est montré très performant, ainsi que la ventilation du toit et l'introduction du grand volume d'air dans la pièce principale.

La recherche a également mis lumière sur l'impact que cela peut avoir sur le confort de l'habitant dans sa capacité de pouvoir adapter facilement et de façons multiples, son habitat par rapport au soleil et des brises disponibles.

Pour améliorer la performance thermique du OPH4, l'analyse a indiqué les éléments suivants comme étant les plus pertinents pour intégration :

- *agrandir la superficie de fenêtres par 50 pourcent*
- *utiliser un matériau à forte inertie thermique comme du béton pour le plancher*
- *incorporer aux endroits espacés dans le plancher, des grilles d'aérations (1.5 m2)*

Il a été démontré pourtant par la recherche subséquente, que ces modifications qui se portent sur les matériaux de construction (en augmentant les quantités de verre de du béton) auront eu pour conséquence une hausse significative de l'empreinte CO2 du fare.

OPH étant conscient que les caractéristiques thermiques ne sont qu'un aspect du contexte général du développement durable, a demandé une étude intégrale sur les modifications possibles. Ceci a orienté les recherches vers un regard plus approfondi.

Avec l'objectif d'améliorer à la fois la performance énergétique aussi bien que le bilan carbone du OPH4, l'étude nous a amené à revoir d'une façon intégrée le concept du fare bioclimatique.

La démarche était de maintenir les éléments efficaces du prototype IV, tout en étudiant des améliorations qui fonctionneraient sur tous les aspects de la durabilité. L'envergure de ces modifications s'avérait suffisamment importantes pour suggérer une version génération prochaine, fare OPH5.

Cette nouvelle version réduirait le coût des matériaux, et permettrait l'utilisation de ces économies pour renforcer la durabilité du fare aussi bien que d'y intégrer des finitions saines et de bonne qualité.

Les économies étant obtenues en grande partie par l'optimisation de la charpente structurelle. Celle-ci étant achevée en suivant de près les principes de base anti-cyclone et par la rationalisation de la construction. Il a néanmoins fallu prévoir le rajout de connexions en acier, suffisamment importante pour permettre l'intégration d'un chauffe-eau solaire ainsi qu'un système de récupération et réutilisation de l'eau.

De plus cela a permis l'amélioration des finitions intérieures.

## RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

L'optimisation de la charpente a également permis de faire d'autres économies importantes.

Par exemple, le toit à quatre pentes représente une superficie de toiture réduite et donc moins d'achat de panneau sandwich, également un élément couteux.

La structure allégée a permis une réduction des tailles de fondations.

L'empreinte CO2 a été très favorablement impactée par la réduction de verre, permise par des larges volets coulissants.

Le bilan carbone, par la réduction continue de matériaux de haut coefficient en émissions, a été également été réduit par l'intégration du concept d'un noyau technique centralisé.

Ceci a eu pour effet aussi, un bénéfice thermique en écartant les sources de chaleur.

Cette séparation des espaces par fonction correspond également aux modes de vie des locaux et à l'organisation des maisons traditionnelles.

Le résultat des sondages auprès des utilisateurs et des reportages visuels ont décelés des besoins et desiderata fonctionnels auxquels une nouvelle version du fare OPH pourrait s'adapter.

Aux bénéfices de l'étude, les membres de l'Association Te Pu Atitia, ont accompagné les chercheurs pendant la durée de l'étude, ainsi amenant une perspective culturelle aux réflexions sur la durabilité.

Avec leur concertation, le besoin critique de garder une mémoire dans le concept de l'habitat s'est manifesté.

La version proposée représente une tentative de distiller, sans romanticisme, l'esprit réel de l'habitat traditionnelle en Polynésie, les éléments saillants ressorties de nos échanges avec les membres, comme l'importance symbolique de la charpente, les connaissances ancienne sur la ventilation naturelle

Il est attendu que les propositions qui émanent de cette étude permettront une évolution au bénéfice des familles polynésiennes : le fare OPH durable.

Ci-dessous nous identifions les étapes prochaines, qui avec les ressources disponibles pourraient permettre une mise en œuvre, tout en laissant la porte ouverte aux solutions pluridisciplinaires et évolutives.

Les tableaux suivants font la synthèse des résultats pour une nouvelle génération de fare OPH5 durable :

- *tableau comparatif des performances thermiques*
- *tableau comparatif des bilans carbone*
- *tableau comparatif des couts*

*Nota bene : les paramètres de natures culturelles ou sociales étant plus subjectifs ne font pas l'objet des tableaux comparatifs.*

*Le retour de la communauté, lors des conférences publiques sera la mesure de la pertinence des propositions élaborées à ces sujets.*

RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

Tableaux comparatifs

Coûts comparatifs

23 pourcent du coût total des matériaux de construction pour le OPH4 est pris dans le bois structurel. 35 pourcent est dans la couverture.

La concentration a donc été portée à ces deux éléments pour trouver les économies importantes.

Au même temps, l'impact de l'énergie incarnée (émissions CO2), le plus important parmi les matériaux utilisés se trouve dans le verre, le béton et le PVC.

Les éléments constituants du fare ont donc été repensés.

Par ce deux contraintes, le nouveau cahier de charge a pris forme, en gardant en vue le maintien du coût de revient.

*Nota bene : On considère que le coût de mise en œuvre serait comparable ou moindre, avec les économies du temps sur le site étant équilibrées par le coût de main d'œuvre et de l'expertise dans la préfabrication de certains éléments.*

QUANTITATIF COMPARATIF : Matériaux Fare - Type F4		OPH4		estimatif		estimatif	
		Total H.TVA	U	OPH4 Modifié	Total H.TVA	U	Total H.TVA
<b>1 FERS A BETON POUR FONDATIONS</b>							
Ensemble du ferrillage (plots)	Ens	20	Ens	20	Ens	12	
Ensemble du ferrillage (fondations linéaires)						12	
Dalle en béton			m2	71			
<b>TOTAL LOT</b>		<b>31 900</b>			<b>127 600</b>		<b>36 500</b>
<b>2 CLOUS, 3 BOULONS, 4 PLATINES, 5 VIS</b>							
<b>TOTAL LOT</b>		<b>347 840</b>			<b>347 840</b>		<b>347 840</b>
<b>6 BOIS</b>							
2x4x variés	U	227	U	213	U	227	
2x6x	U	102	U	84	U		
2x8x						227	
2x12x	U	21	U	14	U		
3x4x	U	118	U	112	U		
3x6x	U	90	U	13	U		
3x8x	U	20	U	20	U		
3x8x	U	40	U	8	U		
3x12x	U	4	U	4	U		
4x4x	U	30	U	31	U		
4x6x	U	22	U	14	U		
4x8x	U	13	U	6	U		
4x10x	U	10	U	2	U		
<b>TOTAL LOT</b>		<b>972 968</b>		<b>953 468</b>			<b>583 484</b>
<b>7 BOIS LOCAL</b>							
PIN DES CARAIBES		30	m2	30	m2	85	
Bambou					m2	28	
<b>TOTAL LOT</b>		<b>168 992</b>			<b>168 992</b>		<b>499 810</b>
<b>8 CONTREPLAQUÉS &amp; PANNEAUX DE FIBRES</b>							
PANNEAUX EXTERIEURS: SMARTPANEL 1,22 x 3,05 m - ép. 12 mm	U	43	U	42	U		
PANNEAUX INT. EN FIBRES + SILICATES: Parement int. 1,22 x 2,70 m-ép 9 mm	U	36	U	36	U	36	
PANNEAUX EXTERIEURS: SMARTPANEL 1,22 x 2,35 m - ép. 15 mm	U	20	U		U	46	
PANNEAUX INTERIEURS CONTREPLAQUE 1,22x2,35 - ép. 15mm	U		U		U	24	
PANNEAUX INT. EN FIBRES + SILICATES/Parement intérieur 1,22 x 2,70 m ép 9 mm	U	27	U	26	U		
PLANCHER - PANNEAUX FIBRES + SILICATES/Parement int. 1,22 X 2,44m-ép. 20mm	U	30	U	29	U		
<b>TOTAL LOT</b>		<b>508 246</b>		<b>503 039</b>			<b>432 503</b>
<b>9 PLAFOND EN PVC</b>							
<b>TOTAL LOT</b>		<b>65 540</b>		<b>65 540</b>			<b>5 243</b>
<b>10 MENUISERIE BOIS - BLOCS PORTES</b>							
BLOC PORTE EXTERIEUR - 1,02 x 2,10 m							
Bloc porte à vantail standard de 930 x 2040 mm à clé - Ouverture droite	U	1	U	1	U	1	
BLOC PORTE INTERIEUR - 1,02 x 2,10 m							
Bloc porte à vantail standard de 930 x 2040 mm à clé	U	3	U	3	U	1	
Bloc porte à vantail standard de 930 x 2040 mm à condamnation	U	2	U	2	U		
Serrurerie + Accastilage					Ens.	1	
<b>TOTAL LOT</b>		<b>83 400</b>		<b>83 400</b>			<b>185 800</b>
<b>11 MENUISERIE BOIS</b>							
<b>TOTAL LOT</b>		<b>12 700</b>		<b>12 700</b>			<b>84 650</b>
<b>12 APPAREILS SANITAIRES ET ACCESSOIRES</b>							
Ensemble lavabo - robinetterie eau froide/eau chaude	U	2	U	2	U	1	
Ensemble WC	U	2	U	2	U	1	
Ensemble douche + dispositif et complexe d'étanchéité	U	2	U	2	U	1	
Ensemble évier eau froide / eau chaude (120 x 60 cm)	U	1	U	1	U	1	
Miroir	U	2	U	2	U	1	
Stors							
<b>TOTAL LOT</b>		<b>73 520</b>		<b>73 520</b>			<b>57 760</b>
<b>13 REVETEMENT DE SOLS ET PLINTHES</b>							
Revêtement de sols.	m2	71	m2	71	m2		
Carrelage	m2	22	m2	22	m2	12	d
Plinthes en bois					ML	60	
<b>TOTAL LOT</b>		<b>76 000</b>		<b>76 000</b>			<b>42 383</b>
<b>14 MENUISERIE ALUMINIUM</b>							
Ensemble porte coulissante , serrure avec clés de 1,415 x 2,10 m	U	2	U	2	U	2	
Ensemble châssis coulissant de 1,39 x 1,29 m + imposte persiennée	U	4	U	4	U		
Ensemble châssis ouvrants Aluminium de 1,39 x 0,39 m	U	2	U	2	U	6	
Ensemble châssis fixe persienné Aluminium	U	4	U	2	U	6	
Ensemble cloison de douche	U	2	U	2	U		
<b>TOTAL LOT</b>		<b>337 404</b>		<b>496 106</b>			<b>298 404</b>
<b>15 PEINTURE - TRAITEMENT DES CP</b>							
<b>TOTAL LOT</b>		<b>94 908</b>		<b>94 908</b>			<b>94 908</b>
<b>16 MATERIEL ELECTRIQUE</b>							
<b>TOTAL LOT</b>		<b>96 962</b>		<b>96 962</b>			<b>97 960</b>
<b>17 PANNEAUX ACIERS ISOLANT POUR COUVERTURE - ACCESSOIRES</b>							
Panneau sandwich Nervuré moyen (14 x 8000 mm)	m2	174,0	m2	174,0	m2	160,0	
Tôles ondulées prélaquées 2 faces (14 x 1150 mm)	m²	12,0	m²	12,0	m²	8,0	
<b>TOTAL LOT</b>		<b>1 630 494</b>		<b>1 630 494</b>			<b>1 466 244</b>
<b>18 INFRASTRUCTURE BIOCLIMATIQUE</b>							
panneaux chauffe-eau solaire					m2	6	300 000
réservoir de récupération d'eau					U	2	100 000
<b>19 ASSAINISSEMENT</b>							
<b>TOTAL LOT</b>		<b>83 500</b>					
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>4 584 374</b>		<b>4 730 569</b>			<b>4 633 469</b>

RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

	OPH4	OPH4 AMELIORE	OPH5
INCIDENCE DE L'ORIENTATION	Faible incidence de l'orientation sur le confort (l'orientation Ouest est la plus performante)		Très faible incidence de l'orientation sur le confort
GAINS SOLAIRES PENDANT LA JOURNEE	Présence de gains solaires pendant toute la journée (liée à la présence de fenêtres vitrées)		Faibles gains solaires pendant la journée (liée à l'absence de fenêtres vitrées et à la présence de panneaux pleins)
DIFFERENCE ENTRE Tint ET Text	Difference importante: Tint - Text = 2°C		Difference très faible: Tint - Text = <1°C
VENTILATION NATURELLE	Très faible: ne compense pas les gains internes		Optimisée: compense les gains internes
NOMBRE D'HEURES D'INCONFORT (Tint>30°C)			
ORIENTATION EST CONFIGURATION DE BASE			
SALON	467 HEURES (Tint > 30°C)		217 HEURES (Tint > 30°C)
CHAMBRE	432 HEURES (Tint > 30°C)		175 HEURES (Tint > 30°C)
ORIENTATION EST CONFIGURATION AVEC PORTE OUVERTE			
SALON		345 HEURES (Tint > 30°C)	
CHAMBRE		420 HEURES (Tint > 30°C)	
ORIENTATION EST CONFIGURATION AVEC MASSE THERMIQUE			
SALON		284 HEURES (Tint > 30°C)	204 HEURES (Tint > 30°C)
CHAMBRE		340 HEURES (Tint > 30°C)	171 HEURES (Tint > 30°C)
ORIENTATION EST CONFIGURATION AVEC OUVERTURES			
SALON		273 HEURES (Tint > 30°C)	
CHAMBRE		288 HEURES (Tint > 30°C)	
ORIENTATION EST CONFIGURATION AVEC TOUTES LES AMELIORATIONS			
SALON		253 HEURES (Tint > 30°C)	
CHAMBRE		242 HEURES (Tint > 30°C)	

Tableau comparatif des réponses thermiques

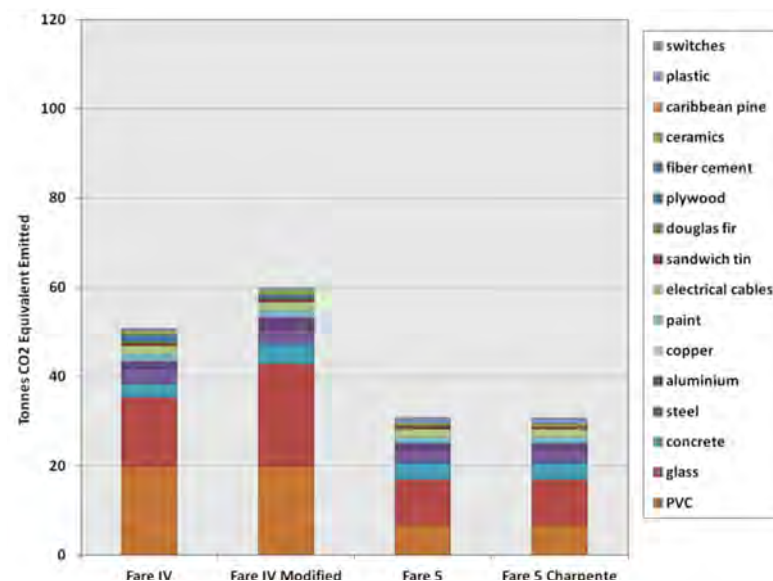


Tableau comparatif des émissions de CO2

## RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

### Recommandations

Cette étude a démontré des propositions qui maintiennent le cout visé, réduisent le bilan carbone des matériaux par 40%, présentent une économie potentielle d'eau de 30% et une économie potentielle en électricité de 40%.

Il est conseillé dans l'immédiat de repenser les dépenses par rapport aux économies potentielles.

- **Considérer l'intégration d'un toit naturel.**

Le panneau sandwich métallique remplit très bien son rôle de protection du gain solaire, mais à la longue la prolifération de toits métalliques risque de dénaturer le paysage, voire le patrimoine culturel.

Dans le cas du nouveau prototype :

La mise en place d'un système de prêt couvrant le coût du chauffe-eau solaire (rendu par les économies sur la facture EDF) pourrait payer l'intégration d'un toit en bois avec une couche de haute réflectivité - type LBNL « COOLROOF » ou idéalement un toit en pandanus (par deux, dans la vie du fare)

#### Dans l'immédiat :

- **Introduire l'acquisition directe**

La mise en place par OPH d'un politique de l'achat directe des matériaux de construction pour les fares pourrait réaliser une économie potentielle de 20%.

*Nota bene : Un laboratoire d'analyse pouvant agréer les matériaux sur le territoire faciliterait cette tâche et devrait faire l'objet d'une étude de faisabilité avec l'Université.*

- **Incorporer des BMP's**

Dès l'élaboration de l'Appel d'Offre aux entreprises de construction, exiger une gestion du chantier qui respecte des pratiques conseillées de manière à protéger contre l'érosion et gaspillage de l'eau.

- **Créer une Exposition Publique**

Organiser sur le site Atitia une exposition sur le fare durable et une ou des conférences publique, afin d'échanger sur les questions avec la communauté.

#### Prochaines étapes:

- Construire la génération prochaine du fare durable.

Sur le site de l'exposition ci-dessus, en réutilisant le système de monitorisation et étudier les réponses thermiques ainsi qu'avec la concertation du publique, la pertinence vers la durabilité culturelle du nouveau fare.

#### Etudes futures:

- **Étendre l'étude du développement durable aux lotissements OPH**

Sur le plan d'urbanisme durable, missionner une étude sur le planning, la mutualisation des services, des avantages bioclimatique du site, et la faisabilité d'y intégrer un système d'énergie positive.

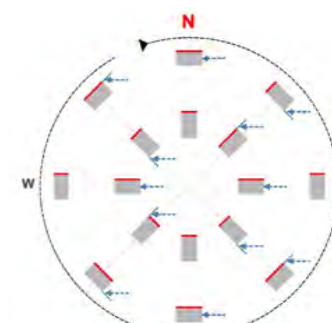
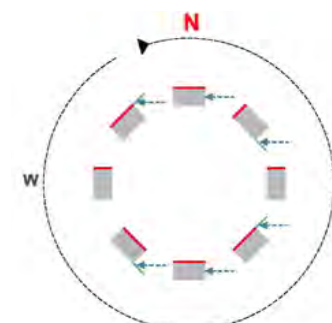
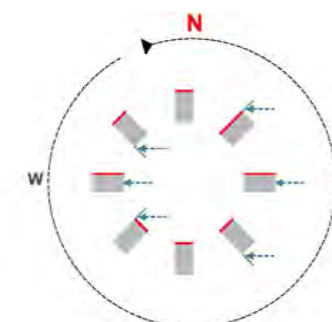
- **Étendre l'étude des logements durables aux autres archipels**

La Polynésie Française, entre des Marquises 9°S Australes, à 22°S, s'étale sur 9 lignes de latitudes avec donc les climats, usages et angles de soleil qui varient.

Une déclinaison rationnelle du fare durable est envisageable.

- **Élaborer en équipe pluridisciplinaire, une étude de faisabilité pour créer d'industrie locale de fabrication de matériau de construction durable**

Avancer les pistes de création des industrie locale (par exemple, panneaux de coir board, ou de bambou) pour l'utilisation dans le territoire et l'éventuelle exportation. Un partenariat comprenant OPH, l'université et les Ministères concernées peut être envisagé.





## BIBLIOGRAPHIE

### Bibliographie

Adebayo, A. Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries. Africa position paper, 2001.

Anderson, Meryman and Porsche. Sustainable Building Materials in French Polynesia. University of California Berkeley. 2007.

Arens, E., Xu, T., Miura, K., Hui, Z., Fountain, M. and Bauman, F. S. "A Study of Occupant Cooling by Personally Controlled Air Movement". Energy and Buildings, p. 27 and 45-59. 1998

ASHRAE Handbook: Fundamentals. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Atlanta, GA. p. 8.1-8.29. 2001.

Beaglehole, J.C. ed. The Journals of Captain James Cook on his Voyages of Discovery. University Press, Published for the Hakluyt Society. Cambridge, 1955.

Benton, C. C., Bauman, F. S. and Fountain, M. E. "A field measurement system for the study of thermal comfort" ASHRAE Transactions, p. 96 and 623-633. 1990.

Berger, X. "The pumping effect of clothing" International Journal of Ambient Energy. 1998.

Berglund, L. G. and Fobelets, A. P. R. "Subjective human response to low-level air currents and asymmetric radiation". ASHRAE Transactions, p. 93 and 497-523. 1987.

Bonnemaison, Joël. L'Arbre et la Pirogue. Éditions de l'Orstrom. Paris, 1986.

Bourcier, Romain, Lipoff, Marc and Shirley, Rebekah. Assessing Thermal Behavior of indoor environment using Wireless Sensor Network. University of California Berkeley, 2011.

Boutiller, S. and Duane, T. Sustainable tourism in Moorea: Opportunities for ecological and cultural preservation and education. University of California, Berkeley, 2008.

Brager, G., S De Dear, R. J. "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference" ASHRAE Transactions. p. 104 and 1-18. 1998.

Brager, G. S., De Dear, R. J. "Thermal adaptation in the built environment: A literature review". Energy and Buildings. p.27 and 83-96. 1998.

Brager, G. S., De Dear, R. J. "Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55". Energy and Buildings. p. 549-561. 2002.

Britton, R.R. Crawl Space Project Preliminary Results: A Field Study Comparison of Energy and Moisture Performance Characteristics of Ventilated vs Sealed Crawl Spaces in the South. Raleigh, NC. 2002.

Brown, Charles M., ed. "Towards Sustainable Islands: Approaches to attaining agroecosystem sustainability in the Caribbean and the Pacific Islands". Report on the Review and Research Planning Workshop. 2008.

Brown, C., Harper, B., Moore, T. and Parra, E. Sustainable Housing in French Polynesia. University of California, Berkeley ER 291 Report. 2006.

Caillot, Eugène. Les Polynésiens orientaux au contact de la civilisation. Paris, 1909.

Chang, Jing Sen : Bora Bora, les Services Urbains dans leur relation au Développement Urbain. Les Services Urbains Durables 2001-2003 Première Synthèse, le 2003 juin.

Charles, Kate E. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models. IRC Research Report, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa. 2003.

Cloin, Jan. Coconut Oil as a Biofuel in Pacific Islands. South Pacific Applied Geoscience Commission. 2006.  
<[http://www.unesco.org/csi/smis/siv/Forum/CoconutOilFuelPacific\\_JanCloin.pdf](http://www.unesco.org/csi/smis/siv/Forum/CoconutOilFuelPacific_JanCloin.pdf)>

Couts, Jeremy, Harper, Bret and Rutherford, Becky. French Polynesia: A Case Study for Solar Power Systems in the Pacific. University of California, Berkeley, 2001.

Darrigol, Oliver. Worlds of flow: A History of Hydrodynamics from the Bernoulli to Prandtl. Oxford University press, 2005.

Davis, M. P., Nordin N. A., Ghazali, M., Ghazali A. M. and Reimann, G. Thermal Comfort Housing for Malaysia, China and Arab countries. Collaboration between University Putra Malaysia and Technical University of Denmark, 2008.

DeBlieu, Jan. Wind: How the flow of air has shaped life, myth and the land. Shoemaker and Hoard, 2005.

## BIBLIOGRAPHIE

- Dodd, Edward. *Polynesia seafaring volume II: The ring of fire*. Mead and Company, New York, 1972.
- Doherty, T. J. and Arens, E. "Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models". *ASHRAE Transactions*. p. 1371-1385. 1998.
- Doumenge, J.P., Villenare, D. and Chapuis, O. *Agriculture, Food and Nutrition in Four South Pacific Archipelagos, New Caledonia, Vanuatu, French Polynesia, Wallis and Futuna*. CGPRT Centre. Jalan Merdeka Bogor, Indonesia, 1988.
- Edmonds, Margot and Clark, Ella E. *Voices of the Winds: Native American Legends*. Facts on File, 1989.
- Etude en strategie de developpement des archipels Iles Marquises + Etude technico-economique de l'exploitation du massif forestier de bois de pins du plateau de Tovii. Transtec/SPPE, 2002
- Fernanda, Carla, Teixeira, Barbosa and Labaki, Lucila C. *Evaporative cooling in tropical climate: case study of Campinas, Brazil*. School of Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, State University of Campinas, 2006
- Fountain, M. E. "Laboratory studies of the effect of air movement on thermal comfort: A comparison and discussion of methods". *ASHRAE Transactions*. p. 863-873. 1991.
- Frontczak, M. and Wargocki, P. *Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments*. (Building and Environment), 2010.
- Givoni, B. *Indoor temperature reduction by passive cooling systems*. (Solar Energy), 2009.
- Hollander, J., Simmons, M. and D Woods, Eds. *Annual Review of Energy*. Palo Alto, CA. Annual Reviews Inc. 1977
- Guerin, M. "The Flora of the atolls of French Polynesia" *Regional Technical meeting on atoll cultivation*. Pape'ete, Tahiti, April 1980.
- Haddon, A.C., Hornell, J. *Canoes of Oceania, Vol. I : The Canoes of Polynesia, Fidji and Micronesia*, Bernice Pauahi Bishop Museum Press. Honolulu, Hawai'i, 1991.
- Henry, Teuira. *Tahiti aux temps anciens*. Publication de la Société des Océanistes, Musée de l'Homme. Paris, 1988.
- Hot-humid climate case study for New Orleans, Louisiana. Building science corporation, 2006
- "Houses can resist hurricanes", US department of agriculture forest service research paper FPL 33. Southeastern forest experiment station, 1965.
- Hoyano, A., Asano, K. and Kanamaru, T. *Analysis of the Sensible Heat Flux from the Exterior Surface of Buildings using time sequential thermography*. (Atmospheric Environment), 1999.
- Humphreys, M., Nicol, J. "Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort". *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Atlanta, GA, 1998.
- Khatwa, M., Salem, H.G. and Hagggar, S.M. "Building Material From Waste". *Canadian Metallurgical Quarterly*, p 339-350. 2005.
- Kosny, J. and Kossecka, E. *Multi-dimensional heat transfer through complex building envelope assemblies in hourly energy simulation programs*. (Energy and Buildings), 2002.
- Kwong, Q. J., Tang, S. H. and Adam, N. M. *Thermal comfort evaluation of the enclosed transitional space in tropical buildings: Subjective response and computational fluids dynamics simulation*. Alternative and renewable energy laboratory institute for advanced technology, University Putra Malaysia, 2009.
- Lavondes, A. *La Culture Matérielle en Polynésie et les collections du Musée de Tahiti et des îles*. Thèse de troisième cycle en ethnologie à l'Université René Descartes Paris V. Paris, 1973.
- Leslie, Alfred and Tuinivanua, Osea. *Food and agricultural organisation of the United Nations regional office for Asia and the Pacific*. Bangkok, 2010.
- Levy, Robert I. *Tahitians: Mind and experience in the society islands*. University of Chicago, 1973.
- Luomala, Katharine. *Voices on the Wind: Polynesian myths and chants*. Bishop Museum Press, 1986.
- Miller, Catherine. *Bioclimatic kit house in Moorea, French Polynesia: A Structural Assessment*. University of California, Berkeley, 2009.
- Morrison, James. *Journal de James Morrison, second maître à bord de la Bounty*. Société des études océaniques. Pape'ete, 1966.

## BIBLIOGRAPHIE

Neyret, Jean. Pirogues océaniques. Association des Amis des Musées de la Marine, Palais de Chaillot. Paris, 1974

Norman, D. and Ngaire, D. French Polynesia: In Pacific Islands Yearbook. Angus and Robertson Publishers in association with Nationwide News Pty Ltd, Auckland, New Zealand. p. 142-193. 1989.

Porter, W.A. Vented vs Un-vented Attic Spaces in Florida's Hot-Humid Climate Presentation. Florida Building Commission Attic Ventilation Workshop. March 16, 2005.

Porter, W.A. and Hansen, S. Appropriate Elevated Flooring Systems for Hot-Humid Climate Regions. Presentation written for the ASABE Annual International Meeting, 2006.

Puettman, Maureen E. and Wilson, James B. "Life Cycle Analysis of Wood Products: Cradle-to-Gate of Residential Wood Building Materials" Wood and Science Fiber, 37 Corrim Special Issue. p 18-29. 2005.

Purdie, Niel H. Passive Design in the Pacific Environment. Connell Wagner Limited, Auckland. 2010.

Raynor, B. "Multipurpose trees for the atolls: Possibilities and preliminary recommendations". Journal of South Pacific Agriculture, p. 11-24. 1992.

Reboul, J-L. "Motu crops of French Polynesia". Regional Technical meeting on atoll cultivation. Pape'ete, Tahiti, April 1980.

Reddy, Alan C. A Macro Perspective on Technology Transfer. Quorum Books, p. 14. 1996.

Rose, W.B. "A review of the regulatory and technical literature related to crawl space moisture control. Recommended Practices for Controlling Moisture in Crawl Spaces" ASHRAE Technical Data Bulletin, Volume 10, Number 3. ASHRAE, Atlanta, GA. 1994

Smith, Ryan E. and Narayanamurthy, Shilpa. Prefabrication in Developing Countries: A case Study of India. University of Utah 2008

Sustainable Energies: Building the Future of the Islands. Island Solar Summit, Tenerife, Iles Canaries 1999.

The Adidas-Group. "CO2 Emissions from Transport and Travel," Sustainability Report – Environmental Impacts. 2007  
[www.adidas-group.com](http://www.adidas-group.com)

Toward Sustainable Islands: Approaches to Attaining Agroecosystem Sustainability in the Caribbean and the Pacific Islands. US department of agriculture, 1997.

Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. 1987.

**Websites**

Akbari, H., Berdahl, P., Levinson, R. Optical Properties of Pigments « National de Lawrence Berkeley National Laboratory. 2005-2006  
<<http://coolcolors.lbl.gov/LBNL-Pigment-Database>>.

California Air Resources Board AB32 Fact Sheet  
<[www.arb.ca.gov](http://www.arb.ca.gov)>

California Energy : « Making Solar Energy a Reality »  
<<http://www.dustnetworks.com>>.

« Electricité Solaire en Polynésie Française ». Fact Sheet fourni par EDT.(Electricité de Tahiti)

Environmental Protection Agency  
<<http://www.epa.gov/otaq/climate/420f05001.htm>>

French Polynesia World Factbook : Central Intelligence Agency  
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/fp.html>

« Fundamental Principles of Solar Energie » 5 May 2009  
<<http://zebu.uoregon.edu/1998/ph162/l4.html>>

Hindustan Prefab Limited Official Website  
<<http://www.hindprefab.com/english/index>>

MarketNewZealand The weekly e-news letter of the Australasian forest products industry professionals

## BIBLIOGRAPHIE

<[http://www.fridayoffcuts.com/dsp\\_newsletter.cfm?id=153#7](http://www.fridayoffcuts.com/dsp_newsletter.cfm?id=153#7)>

Minaean Habitat India Ltd. Official Website

<<http://www.minaeanindia.com>>

Ministry Council of Vanuatu : 2000. 'Une Vision de Vanuatu :100% Economie d'Energie Renouvelable'

<http://www.vanuatugovernment.gov.vu/energy%20statement.html>

Natural Resources Defense Council (NRDC). Efficient Wood Use in Residential Construction: A Handbook

<<http://www.nrdc.org/cities/building/rwoodus.asp>>

Partnership for Advanced Technology in Housing. Advanced Framing Techniques:Optimum Value Engineering

<<http://www.nrel.gov/docs/fy01osti/26449.pdf>>

Tahiti Tourisme

[www.Tahiti-Tourisme.pf](http://www.Tahiti-Tourisme.pf)

« The Special Case of Ceiling Fans »

<<http://gossamerwind.com>>.

United States State Department 2006 Labor Re-port

<<http://www.usinfo.state.gov>>

**Panneaux Coir : Bibliographie Sélectionnée (VOIR Meryman, Anderson et Porsche pour liste complète)**

Petrucci, et al. "Low-Cost Processing of Plastic Waste Composites." Polymer-Plastics Technology and Engineering. 2005. p. 865-869

Risseeuw, C. "The wrong end of the rope" Women coir workers in Sri Lanka. Thesis, Leiden University, The Netherlands. 1980

Sata, V., Jaturapitakkul, C. and Kiattikomol, K., "Utilization of Palm Oil Ash in high-strength concrete". Journal of Materials in Civil Engineering. Nov-Dec 2004. p. 623-628

Van Dam, Jan. "Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk, Part 2".Industrial Crops and Products an International Journal. March 2005

Van Dam, Jan. "Wet processing of coir—drying, bleaching, dyeing, softening and printing". CFC/FAO Techno-economic manual No. 6. 2002.

Shepard, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference, p517-524. 1968.

- *Logements durables en Polynésie française*

## L'ÉQUIPE

### Organisation et Participants

**Richard B. Gump South Pacific Research Station** de l'Université of Californie à Berkeley (**UCB**) a été missionnée à entreprendre cette étude dans le contexte d'une Convention de Partenariat par l'**Office Polynésien de l'Habitat (OPH)**.

*Une équipe pluridisciplinaire a été constituée et fortement soutenue par:*

**Dr. Neil Davies**, Directeur Exécutif  
Richard B. Gump South Pacific Research Station (**UCB**).

L'étude a été poursuivie avec l'étroite collaboration de:  
**Hinano Teavai-Murphy**, Présidente Association Te Pu Atitia.

*Nos interlocuteurs principaux au sein d'OPH:*

**Heitea Stein**, Chargée d'études hydraulique  
**Germain Teururahi**, Assistant technique Habitat dispersé  
**Vehi Bordes**, Responsable de la Cellule construction individuelle  
ont été d'une disponibilité appréciée et ont apportés des informations précieuses.

*Nos conseils techniques:*

**Dr. Michael Hamilton**, professeur et directeur Blue Oak Ranch Reserve, UCB  
**Dr. Alan Broad**, physicien  
ont amené leur expertise sur les sensors thermique et la mise en place d'un système intégré de monitorisation avec l'aide précieuse de **Frank Murphy**, Directeur Technique, Richard B. Gump Station Pacific Research Station.

*Nous avons également eu la grande chance de bénéficier des conseils de:*

**Daniel Kammen**, Directeur  
RAEL Renewable and Appropriate Energy Laboratory UC Berkeley

**Daniel Prull**, Ingénieur Fluides en Énergies Renouvelables et Principal Redhorse Construction.

### Équipe de recherche

**Madelaine Fava**, Directrice du projet  
Registered.Architecte, Ncarb, Dplg.

**Moana Reynau**, Ingénieur Fluides en Energies Renouvelables  
a piloté l'étude des analyses thermiques avec

**Alessandra Mecchia**, architecte, chercheuse ESA

**Hien Minh Vuong**, chercheuse, Candidate M. Arch, UCB

Alessandra Mecchia a également collaborée sur la proposition du nouveau prototype OPH5.

**Rebekah Shirley**, chercheuse, Candidate Phd Renewable et Appropriate Energies Laboratory UCB  
a développé la nouvelle matrice qui lui a ensuite permis de créer une Calculatrice Ménagère spécifique pour Tahiti et Moorea.

**Léa Soussi**, stagiaire.

*Nous n'aurions pas pu exécuter notre recherche sans les membres de Te Pu Atitia, surtout la famille MAONO, Taaroa, Etienne et Sherina, et les heures innombrables de Hinano Teavai-Murphy, qui nous ont généreusement guidés et partagé leurs connaissances et visions de l'habitat. Ils formaient une partie précieuse de l'équipe. Nous les en remercions sincèrement.*

## L'ÉQUIPE

*Nous remercions aussi tous les étudiants qui ont participé dans les studios et qui ont été intégrale à la création de ce rapport.*

Plusieurs équipes d'étudiants avec la bienveillance de **Professeur Gadgil Aschok** UCB ont participé chaque printemps à cette étude et leurs recherches ont fait les briques de construction du projet:

La première équipe qui a démarré le projet et dont l'implication et la curiosité ont été déterminantes, comprenait:

**Timothy Moore**, Building Science  
**Erika Parra**, Mechanical Engineering  
**Bret Harper**, Energy and Resources  
**Carrie Brown**, Building Science

La deuxième équipe a contribué les recherches de matériaux exemplaires:

**Helena Meryman**, Structural Engineering  
**John Anderson**, Structural Engineering  
**Kimberly Porsche**, Energy and Resources  
**Catherine Miller**, Structural Engineering

La troisième équipe a avancé la première étude climatique sur le OPH4 avec une base d'analyses thermique et fluide utilisant le logiciel Ecotect:

**Lauren Valdez**, Architecture  
**Nicole Walter**, Architecture  
**Greg Rulifson**, Civil Engineering  
**Kate Miller**, Structural Engineering

**Remerciements** à Neil Davies de son soutien tenace du projet, à Valentine Brotherson et à tout le personnel à la Richard Gump Station et à l'Université de Californie à Berkeley d'avoir facilité avec chaleur et hospitalité, les séjours et visites de notre équipe.

A tous nos interlocuteurs et contacts à l'administration SFR et de l'Urbanisme qui ont contribué généreusement des informations et l'expertise sur les problèmes industriels et urbains sur Tahiti et Moorea.

*Remerciements aux professionnels et sociétés qui ont généreusement prêtés leur soutien:*

Charles Egretaud, **Tae Pe Tai Uta**, Papeete  
 Emilie Baraton, **Concorde Hotels et Resorts**, Paris  
 Kurt Ossenfort, **Ossenfort Productions**, New York  
 Christophe Villeger, **Amocalis**, Paris  
 Andrew Hall, **Arups Engineering**, Londres  
 Gerhard Postel, **Postel/Preisse**, Avignon  
 Jean Charles Sellier, **Tropical Architecture**, Punaauia  
 Thomas Delafosse et Sylvain Borgarino, **Bandito**, Paris

*Enfin, remerciements de l'ouverture et des efforts de Heitea, Germain et Véhi et de l'OPH pour l'intégrité et volonté de poursuivre les intérêts et le bien-être de la communauté, les catalystes qui sont à l'initiative de cette étude.*

LOGEMENTS DURABLES  
EN POLYNÉSIE FRANÇAISE