



**HAL**  
open science

## **Validation expérimentale d'un code de modélisation thermique de bâtiments (CODYRUN). Une application en climat tropical humide.**

François Garde, Harry Boyer, Jean Brau, Jean-Claude Gatina

### ► **To cite this version:**

François Garde, Harry Boyer, Jean Brau, Jean-Claude Gatina. Validation expérimentale d'un code de modélisation thermique de bâtiments (CODYRUN). Une application en climat tropical humide.. Iiième Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois (CIFQ), 1995, May 1995, Sherbrooke, Canada. pp.1-6. <hal-00768576>

**HAL Id: hal-00768576**

**<https://hal.science/hal-00768576v1>**

Submitted on 22 Dec 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# VALIDATION EXPERIMENTALE D'UN CODE DE MODELISATION THERMIQUE DE BATIMENTS (*CODYRUN*) UNE APPLICATION EN CLIMAT TROPICAL HUMIDE

*François GARDE*

*Université de la Réunion - Laboratoire de Génie Industriel  
Electricité de France - Ile de la Réunion*

*Harry BOYER*

*Université de la Réunion - Laboratoire de Génie Industriel*

*Jean BRAU*

*INSA de Lyon. CETHIL - Equipe Equipement de l'Habitat*

*Jean Claude GATINA*

*Université de la Réunion - Laboratoire de Génie Industriel*

## RESUME :

CODYRUN, fruit d'une recherche commune entre L'INSA de Lyon et l'Université de la Réunion, est un logiciel multizone et multimodèle de simulation le comportement thermo-aéraulique de bâtiments. Parmi les différentes méthodes de validation, seule une validation expérimentale conduite suivant un protocole rigoureux conduit à une qualification indiscutable des modèles et du logiciel dans sa globalité. C'est cette approche, appliquée au cas de la thermique des bâtiments que détaille cet article. Après une présentation du logiciel, nous présentons le protocole de mesures effectuées sur un bâtiment représentatif de l'habitat réunionnais et les premiers résultats obtenus.

## 1. L'OUTIL CODYRUN

L'objectif de ce travail était de produire un code informatique performant de simulation thermique de l'habitat, regroupant des aspects conception et recherche, et adapté aux différents types de climats. Ce logiciel multizone et multimodèle, baptisé *CODYRUN*, intègre en particulier la ventilation naturelle et les transferts d'humidité. Les trois parties principales sont les modules de description du bâtiment, de simulation et d'exploitation des résultats. La description devant permettre de saisir un bâtiment quelconque, nous avons été amené à le décomposer en trois types d'entités qui sont des *Zones* (du point de vue thermique), des *Interambiances* (séparations entre zones, l'extérieur étant considéré comme une zone particulière) et des *Composants* (parois, vitrages, systèmes de traitement d'air, ...). Développé sur PC en langage C sous l'environnement Windows, le produit bénéficie de toute l'interactivité nécessaire à un outil de conception (Multi-fenêtrage, souris, ...).

Lors d'une simulation, un des aspects les plus intéressants est de proposer à l'expert thermicien le choix entre différents modèles physiques. La finalité peut être, pour un type de climat donné, de réaliser des études de sensibilité du logiciel à ces différents modèles pour choisir ceux à intégrer dans un outil de conception adapté. De même, fonction de l'objectif recherché lors de la simulation (suivi fin des températures ou estimation d'une consommation énergétique annuelle), il est aussi intéressant de pouvoir sélectionner les modèles mis en jeu. Dans la plupart des logiciels existants, le choix des modèles étant fait, leur application est globale à l'ensemble du bâtiment. Le caractère multizone et la modélisation détaillée des transferts aérauliques conduisent rapidement à des temps de calculs qui ne sont pas compatibles avec un outil de conception. Il nous est alors apparu intéressant de permettre, pour certains des phénomènes, une application sélective des modèles. Dans le cas de cette étude, nous verrons l'intérêt de cet aspect multimodèle lors de la validation.

Basé sur l'analyse nodale, le modèle thermique, noyau de la simulation, considère tout d'abord les équations de bilan thermique de chacun des noeuds de discrétisation des parois et des vitrages. Associées au bilan sensible du volume d'air, ces équations constituent l'équation matricielle d'état d'évolution de la zone, du type

Le couplage des zones entre elles est assuré grâce à un processus de connexion itératif. A chaque pas de temps, la résolution à l'aide d'un schéma aux différences finies implicites du système obtenu pour chacune des zones et les itérations de couplage entre les zones permettent de calculer l'évolution des températures et des puissances sensibles.

## 2. VALIDATION IN SITU DE CODYRUN

### 2.1 Données météorologiques à l'île de la réunion

L'île de la Réunion fait partie de l'archipel des Mascareignes, située dans l'ouest de l'Océan Indien au large de Madagascar. Sa superficie est de 2500 km<sup>2</sup> environ et elle se situe par 21°5 de latitude Sud et 55°1 de longitude Est. L'insularité et la latitude de ce département lui confèrent un climat de type tropical humide, caractérisé par :

### de faibles variations de températures (l'amplitude jour/nuit reste inférieure à 10°C pour une température maximale qui dépasse rarement 32°C).

### une forte humidité relative (la moyenne annuelle de l'hygrométrie est de l'ordre de 70%)

### un rayonnement solaire intense : le rayonnement global peut atteindre plus de 1000 W/m<sup>2</sup> par ciel clair et 600 W/m<sup>2</sup> par ciel couvert, d'où une contribution relativement importante du diffus.

### l'influence des alizés : ce vent souffle de secteur Est/Sud-Est surtout pendant la période de l'hiver austral (Juin à Octobre) et devient plus faible pendant les mois de Décembre à Mars qui sont par ailleurs les mois les plus chauds.

Le relief exceptionnel de la Réunion provoque également des spécificités climatiques propres à notre île. Ceci implique que le climat de l'île est modulé dans l'espace par deux autres paramètres :

### *l'altitude* : la température décroissant à raison de 0.7°C tous les 100m, il est à noter la présence de gel au dessus de 1000 mètres. Signalons aussi que la couverture nuageuse augmente généralement au fur et à mesure que l'on s'élève, l'ensoleillement dans les hauts n'atteignant parfois que la moitié de la valeur observée sur le littoral.

### *l'exposition au vent*: les massifs montagneux partagent l'île en deux. Nous avons en effet une côte au vent à l'Est, où l'on observe une forte nébulosité et d'importantes précipitations, et une côte sous le vent à l'Ouest, nettement plus ensoleillée et qui connaît des problèmes de sécheresse.

### 2.2 Choix du site

Le site que nous avons expérimenté se trouve dans la zone littorale Ouest. Nous avons volontairement choisi cette localisation pour plusieurs raisons : cette zone, comme nous venons de le décrire précédemment, se situe sur la côte Ouest et ne peut donc bénéficier des effets dus aux alizées. Les conditions météorologiques y sont non seulement les plus extrêmes, mais également les plus stables quant à la reproductibilité du système atmosphérique. Nous disposons donc d'un site idéal pour expérimenter un habitat soumis aux conditions climatiques les plus difficiles de l'île. De plus, la région littorale reste encore la région la plus peuplée de l'île, l'habitat que nous avons expérimenté constitue donc un élément représentatif de l'architecture réunionnaise contemporaine.

### 2.3 Description de l'habitat

L'habitat choisi est idéal pour une expérimentation in situ car bien isolé (peu de masques lointains), de configuration simple avec peu de pièces (Figure 1). La maison est constituée de deux chambres, avec cuisine, toilettes, salle de bain et varangue, de construction à structure légère. La varangue est le nom utilisé à la Réunion pour désigner une véranda. Elle est dans notre cas ouverte sur les côtés Nord et Est. Les parois sont en béton lourd de 15 cm et recouvertes à l'intérieur de lambris de 3 mm d'épaisseur. La toiture de la maison est un complexe tôle/lame d'air non ventilée/contreplaqué. Ce type de toiture est couramment utilisé à la Réunion en raison de son faible coût. La tôle est de couleur grise pour la partie de toiture située au dessus de la chambre 1, et de couleur rouge pour le reste de l'habitat. La toiture de la varangue est de la tôle simple de couleur grise.

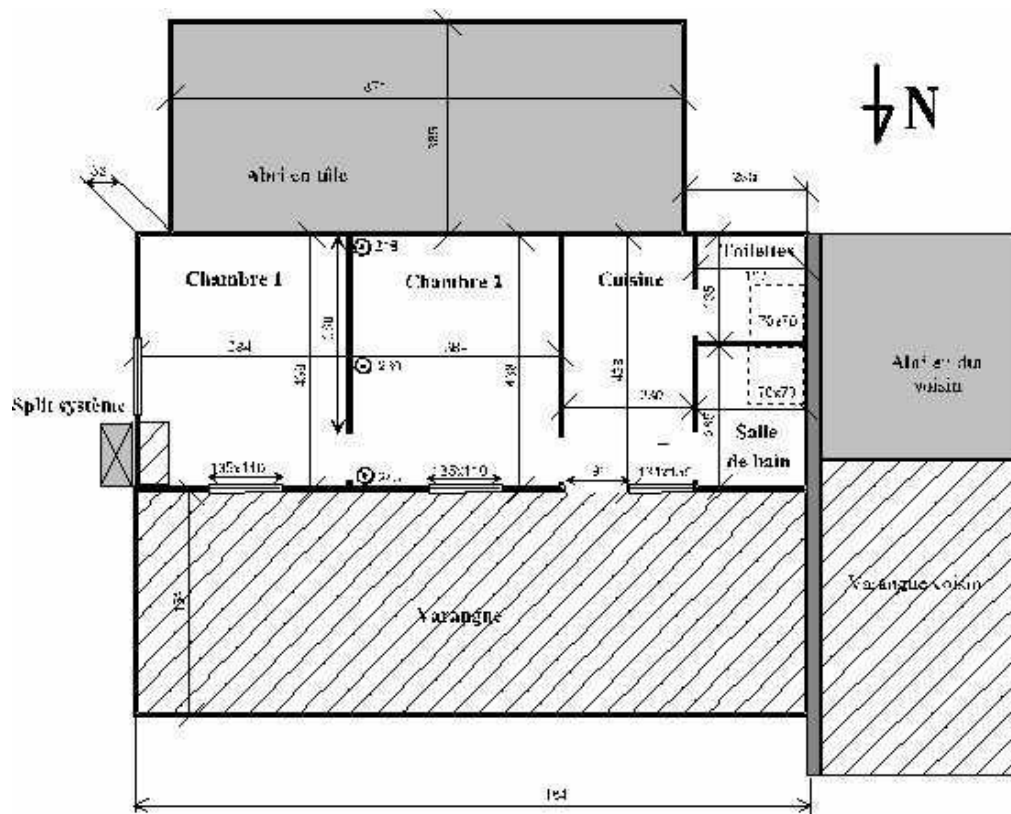


Fig 1 : Plan de la maison expérimentée in situ, et emplacement des capteurs

#### 2.4 Dispositif d'acquisition de données

Le coeur de notre système de mesure est une centrale d'acquisition de données autonome, de type Micrologger Campbell Scientific CS-21X. Cette technologie nous a permis de réaliser un dispositif portable en utilisant une structure d'acquisition de mesures de type arborescent. En effet, devant le nombre important de capteurs et la nécessité de les répartir sur le site à expérimenter, il s'avère indispensable de disposer de centres secondaires ou multiplexeurs de type CS-AM32, reliés à la centrale d'acquisition. Enfin, un micro-ordinateur portable peut être connecté à la centrale CS-21X via une interface optique, les échanges d'informations entre les deux appareils se faisant selon le protocole d'échange série RS-232C.

μ §

Fig 2 : Dispositif d'acquisition de données

Lors de nos expérimentations, nous avons mesuré au niveau des sollicitations externes la température extérieure, l'hygrométrie extérieure, l'ensolleillement global, la vitesse du vent et les températures de surfaces des toitures. Au niveau des paramètres internes, nous avons mesuré dans chaque pièce la température sèche d'air intérieur et la température de globe noir au moyen de thermocouples type T, situés à 1.50m du sol. Nous avons également mesuré les températures de surface des plafond et de sous face de la varangue. Ces mesures ont été effectuées à l'aide de sondes platine de contact. L'emplacement des capteurs est indiqué sur la figure 1. Les températures sont relevées toutes les minutes et moyennées sur une demi heure. Les mesures de vitesse de vent et d'ensolleillement sont effectuées toutes les dix secondes et moyennées sur une demi heure également. Les données sont ensuite enregistrées dans la mémoire de la centrale d'acquisition et récupérées via la liaison série RS232-C sur un portable PC. Elles peuvent ensuite être exploitées, traitées et analysées sous forme de fichier-tableur type EXCEL.

## 2.5 Protocole de mesures

La validation de CODYRUN se déroule suivant plusieurs phases expérimentales. Chaque phase aura pour but de valider un modèle bien précis. Ces différentes phases sont les suivantes :

- *Habitat passif (sans système de traitement d'air)*  
Expérimentation sur l'habitat, portes extérieures fermées, portes intérieures ouvertes (cas monozone)  
Expérimentation sur l'habitat tout fermé, portes intérieures et extérieures (cas multizone)  
Expérimentation tout ouvert
  
- *Habitat actif+(avec système de traitement d'air)*  
Expérimentation sur l'habitat tout fermé, l'intérieur comme l'extérieur  
Expérimentation sur l'habitat, extérieur fermé, influence des vitrages dans la chambre 1  
Expérimentation sur l'habitat, extérieur fermé, influence du renouvellement d'air dans la chambre1  
Expérimentation sur l'habitat, extérieur fermé, intérieur ouvert

Les premiers résultats présentés dans cet article concernent des expérimentations menées dans le cas monozone et multizone pour l'habitat passif. Cette première phase a pour but de valider le modèle thermique, pour nous permettre d'aborder ultérieurement l'aspect thermo-aérodynamique. Les expérimentations futures porteront sur un habitat actif, c'est à dire équipé dans une pièce d'un système de traitement d'air type split-système. Les données expérimentales seront ensuite comparées avec différents modèles de STA qui seront intégrés dans le code de calcul de CODYRUN.

## 3 COMPARAISON DES RESULTATS EXPERIMENTAUX AVEC CODYRUN

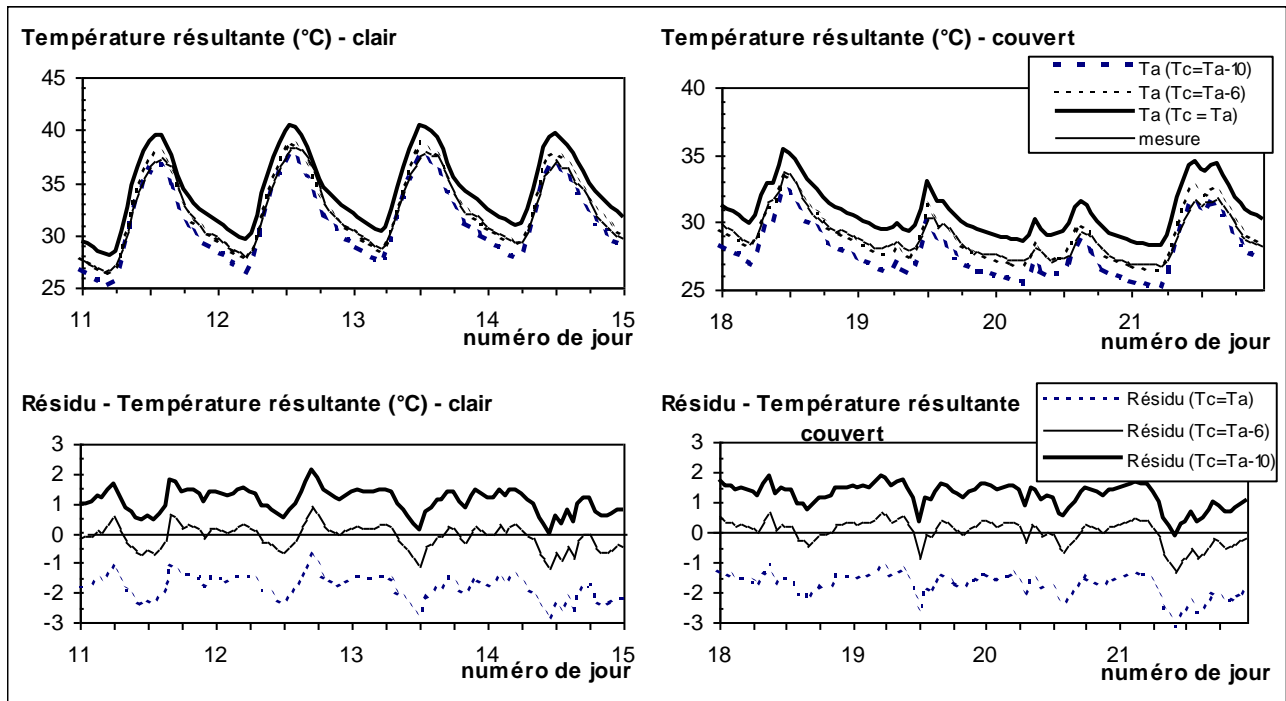
Nous allons comparer les résultats obtenus lors d'une période d'expérimentation de quatre jours, pour un habitat fermé sur l'extérieur, mais ouvert à l'intérieur. Nous allons dans ce cas considérer le bâtiment comme monozone, constitué des pièces intérieures à l'habitat. Les hypothèses suivantes ont été adoptées : température ambiante de la varangue égale à celle de l'air extérieur et absence de transferts avec l'abri en tôle, l'abri en dur du voisin et la varangue voisine.

La figure 4 montre que le modèle sous-estime la température d'air intérieur par rapport aux mesures. L'outil permettant de suivre l'évolution de toutes les températures du bâtiment, nous avons pu nous assurer de la cohérence des températures de surfaces extérieures du toit (par lequel se font la plupart des apports dans notre cas) et constater par contre un écart très important pour les températures de sous face du plafond. Pour notre toiture constituée d'une tôle extérieure, d'une lame d'air et de contre plaqué, la valeur  $\mu$  § utilisée pour la conductivité équivalente d'air ( $0.14 \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) est celle du DTU (Document Technique Unifié), prenant en compte conduction et convection dans la lame d'air. Dans notre cas, en climat tropical, en été et en plein soleil, les transferts de chaleur au travers de la lame d'air se font principalement par échanges radiatifs de grande longueur d'onde. Si nous

supposons ces échanges linéarisés à l'aide d'un coefficient  $h$ , les équations de bilan des noeuds de surface de par et d'autre de la lame d'air font intervenir des termes de conduction,  $\mu$  § et de rayonnement  $\mu$  §. Pour intégrer ces derniers, il suffit de considérer une nouvelle conductivité équivalente de l'air,  $\mu$  §, ce qui pour notre cas revient à

considérer une valeur de  $0.74 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

En utilisant cette dernière valeur pour la simulation, les courbes 5 et 6 sont obtenues et attestent d'une meilleure prise en compte des échanges. Nous notons que la plus grande partie des échanges thermiques se font par la toiture. Contrairement aux cas climats dits tempérés, les transferts thermiques dans l'habitat sous nos latitudes sont liés au rayonnement. Dans notre cas, la protection solaire est inefficace contre le rayonnement, les températures de plafond sont importantes, ainsi que les températures d'air à l'intérieur du bâtiment.



Cette simulation monozone nous a donc permis de "caler" le modèle du composant toiture. Nous avons mis à profit le caractère multimodèle de *CODYRUN* pour choisir dans cette paroi un modèle conductif détaillé, de manière à avoir accès aux températures de surface. D'une manière plus générale, cette phase peut nous permettre de modéliser plus finement certains composants complexes et de réduire les risques d'erreur dans les cas multizone, puis avec aéraulique, et ensuite avec ou sans système de traitement d'air.

Pour les deux courbes suivantes concernant le cas multizone, en conservant l'hypothèse d'absence de transferts avec les constructions accolées, le bâtiment a été modélisé en considérant 6 zones thermiques, constituées de chacune de ces pièces intérieures et de la varangue. Cette dernière zone a été prise en considération pour ne pas occulter les transferts radiatifs entre la sous face de la tôle et les parois verticales des pièces adjacentes (Chambre 1, Chambre 2, Cuisine et Salle de bain). Les résultats présentés concernent les températures intérieures d'air de la Chambre 1 et de la salle de bain, sur une autre séquence climatique de 24 heures.

Les courbes précédentes (Fig 7-8) attestent de la cohérence des résultats du module thermique multizone de notre code de simulation. Les écarts cependant observés proviennent vraisemblablement de la méconnaissance des paramètres thermophysiques des constituants (propriétés radiatives, conductives, mise en oeuvre des matériaux,...), ou encore de nos hypothèses de modélisation de l'habitat. Nous avons par ailleurs prévu de mener une campagne sur une cellule expérimentale de laboratoire afin d'affiner cette validation du code thermique.

#### 4 CONCLUSION

Nous avons vu que la validation expérimentale in situ souffre d'une connaissance imparfaite des caractéristiques thermophysiques de tous les composants de l'habitat. C'est l'une des raisons pour lesquelles nous menons nos expérimentations suivant un protocole systématique, de manière à isoler les phénomènes (thermiques,

aérauliques, transferts d'humidité), à les traiter successivement, pour ensuite pouvoir prédire finement le comportement de l'habitat. Dans une deuxième phase, lorsque le modèle thermo-aéraulique sera validé (à l'aide de l'analyse des signaux d'erreur), nous pourrons alors étudier l'habitat avec système de traitement d'air. Nous nous attacherons à l'étude des consommations énergétiques du système, un autre objectif de notre travail étant l'intégration au code de calcul *CODYRUN* de différents modèles de split-système et leur validation pour ainsi effectuer des prévisions détaillées suivant des scénarios climatiques types.

## **5 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

BECKER, R., PACIUK, M. "Experimental validation of TARP for prediction of overall performance under various heating patterns", *Energy and Buildings*, 20, 121-132 (1993).

BARONNET, F., "Etude thermique de l'habitat individuel à la Réunion". Thèse : Sci : Université de Paris VII, 182 p (1987).

BOYER, H., "Conception thermo-aéraulique de bâtiments multizones. Proposition d'un outil à choix multiples de modèles". Thèse : Sci. : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 248p, (1993)

BRAU, J., "Modélisation thermique des bâtiments. Validation des modèles de calcul par une méthode expérimentale en ambiance climatique simulée". Thèse: Sci: Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1980, 295p.

IRVING, A.D., "Validation of Dynamic Thermal Models", *Energy and Buildings*, n°10, p213-220 (1988).

Manuel d'utilisation de la CS-21X, Royaume-Uni: Campbell Scientific, (1986).

Manuel d'utilisation du développeur PC-208, Royaume-Uni: Campbell Scientific, (1986).

MILLET, F., "La mesure des températures", PYC Editions, (1984)