

BANCS D'ESSAIS DE LOGICIELS DE SIMULATION THERMIQUE

Bruno Peuportier¹

¹ Ecole des Mines de Paris, CEP, 60 Bd St Michel, 75272 Paris Cedex 06

RESUME.

Cette communication apporte une contribution à l'état des lieux en matière de validation des outils de simulation thermique des bâtiments. Plusieurs démarches sont présentées. Les cellules test permettent de comparer les résultats des simulations à des mesures. Les bancs d'essais permettent de faire varier de nombreux paramètres, et ainsi d'étudier la sensibilité des outils. Plusieurs tâches menées dans le cadre de l'Agence Internationale de l'Energie concernent ce sujet : la tâche 12 (bâtiments monozones), la tâche 22, et la tâche 34 (bâtiments multizones). Des activités de validation concernent également les données climatiques.

Une comparaison des outils français sur des cas plus représentatifs du contexte local (climat, techniques de construction) permettrait de mieux cerner les écarts entre les modèles. Ce type de travail répond aux exigences des utilisateurs qui souhaitent connaître le niveau de précision des outils qui leur sont proposés.

MOTS-CLÉS : bâtiment, simulation thermique, banc d'essais.

ABSTRACT.

This communication contributes in the state of the art concerning the validation of building thermal simulation tools. Several approaches are presented. Test cells allow simulation results to be compared with measurements. Benchmarks allow many parameters to be varied, and therefore the sensitivity of the tools to be studied. Several tasks within the International Energy Agency concern this topic : task 12 (monozone buildings), task 22, and task 34 (multizone buildings). Some validation activities are also performed concerning the climatic data.

A comparison of French tools for case studies corresponding to a local context (climate, construction techniques) would be useful to evaluate possible discrepancy between models. This activity corresponds to a demand from the users who wish to know the accuracy of the tools available on the market.

KEYWORDS : buildings, thermal simulation, benchmark.

1. INTRODUCTION

Les outils de simulation thermique permettent d'évaluer les besoins énergétiques et le niveau de confort thermique des bâtiments de manière plus détaillée que les méthodes simplifiées basées sur des bilans mensuels. Afin de démontrer leur avantage en terme de précision, plusieurs activités de validation ont été menées, en particulier :

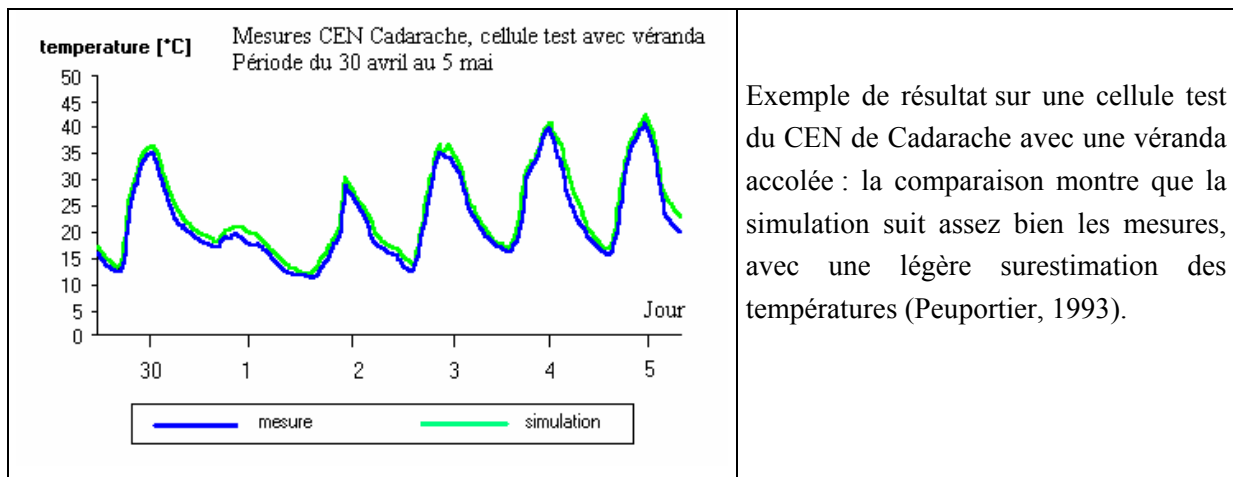
- des comparaisons par rapport à des mesures,
- des comparaisons inter-modèles, dans le cadre de bancs d'essais de logiciels,
- la comparaison des données climatiques utilisées.

Cette communication présente quelques exemples de telles activités, dans le but de contribuer à la réflexion concernant les limites de ces travaux antérieurs, et la proposition de nouvelles activités.

2. VALIDATION EXPERIMENTALE, CELLULES TEST PASSYS

La Commission Européenne a lancé dans les années 80 un programme de recherche, PASSYS, concernant l'énergie solaire « passive ». L'un des axes de ce programme a consisté à réaliser des cellules test dans plusieurs pays. Il s'agit de petits bâtiments instrumentés, situés en ambiance extérieure, dont la façade sud peut être démontée et remplacée par divers types de composants : par exemple, une façade standard avec une fenêtre, une façade avec véranda accolée, une façade avec isolation transparente par l'extérieur.

Le dispositif s'est avéré non pertinent pour répondre à l'objectif de départ : caractériser ces différents types de façades afin de déduire des paramètres synthétiques correspondant à des modèles simplifiés (par exemple un coefficient de déperdition et une ouverture solaire). Ce qui nous intéresse ici, c'est que ces bâtiments ont permis de collecter des données expérimentales adaptées à la validation des modèles. En effet, l'absence d'occupants évite certains phénomènes difficiles à quantifier (ouverture des fenêtres, apports internes etc.) et permet ainsi une comparaison plus rigoureuse entre les calculs et les mesures.

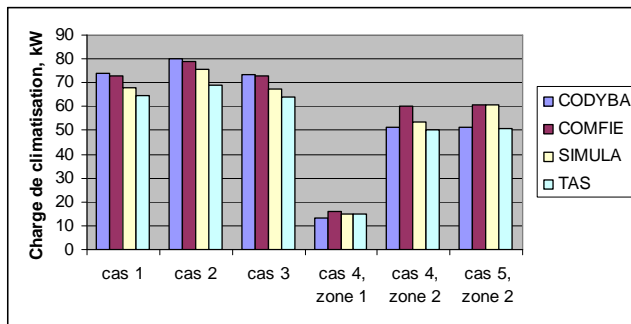


3. BANC D'ESSAIS DE L'AICVF

L'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie et EDF ont confié aux associations AICVF, AITF et ARMINES la réalisation d'un banc d'essais de logiciels pour le calcul des charges de climatisation (Brasselet, 1993). Une douzaine de logiciels ont participé à cet exercice, concernant un bâtiment bi-zones avec une zone très solarisée et une autre soumise à des apports internes variables, selon différents scénarios :

- cas 1 climatisation des deux zones à 21°C,
- cas 2 : prise en compte d'un vitrage en toiture de la zone 1,
- cas 3 : prise en compte de stores extérieurs,
- cas 4 : zone 1 climatisée à 25°C et zone 2 à 21°C,
- cas 5 : zone 1 non climatisée et zone 2 climatisée à 21°C.

Les résultats sont illustrés sur le graphe suivant.

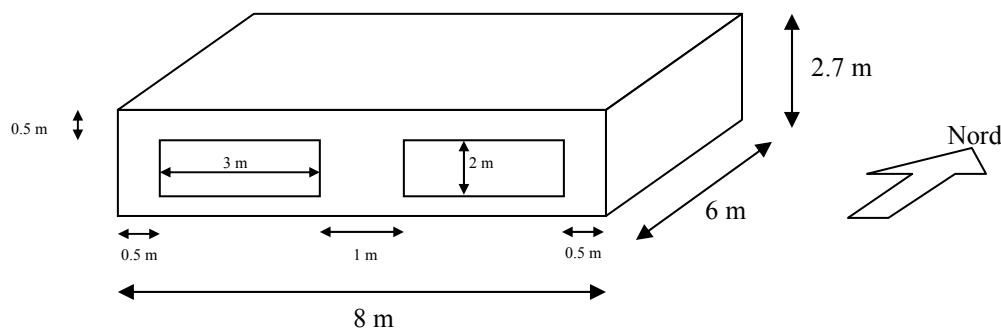


L'étude présente également une synthèse des principales hypothèses des modèles.

4. PROCEDURE BESTEST DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE

La tâche 12 du programme « chauffage et rafraîchissement solaire des bâtiments » a concerné la comparaison d'outils de simulation thermique des bâtiments. Elle a abouti à la définition d'une procédure de test appelée « Bestest » (Judkoff, 1995). La méthode de test définie dans la norme ANSI/ASHRAE 140-2001 est basée sur cette procédure, qui spécifie des protocoles pour évaluer les capacités techniques et les limites d'application des codes de calcul des performances thermiques des bâtiments et des équipements. Ce paragraphe présente les résultats de cette méthode appliquée au logiciel COMFIE-PLIADDES 2.1. Le test consiste à simuler une série de cas, et les résultats sont comparés à ceux d'autres logiciels du même type (par exemple TRNSYS, DOE-2, SERIRES).

Les différents cas sont décrits brièvement ci-dessous. Le cas de base correspond à un bâtiment de plain pied de surface au sol égale à 48 m^2 , de faible inertie (murs et sol légers), parallélépipédique ($8 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2.7 \text{ m}$), avec 12 m^2 de fenêtres orientées au sud. Le bâtiment est chauffé à 20°C et refroidi à 27°C , il est situé dans un climat sec et chaud (les données climatiques sont fournies avec la norme). La résistance thermique des murs est de $1.94 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, le taux de renouvellement d'air est de 0.5 volume par heure, les apports internes de chaleur sont de 200 W .



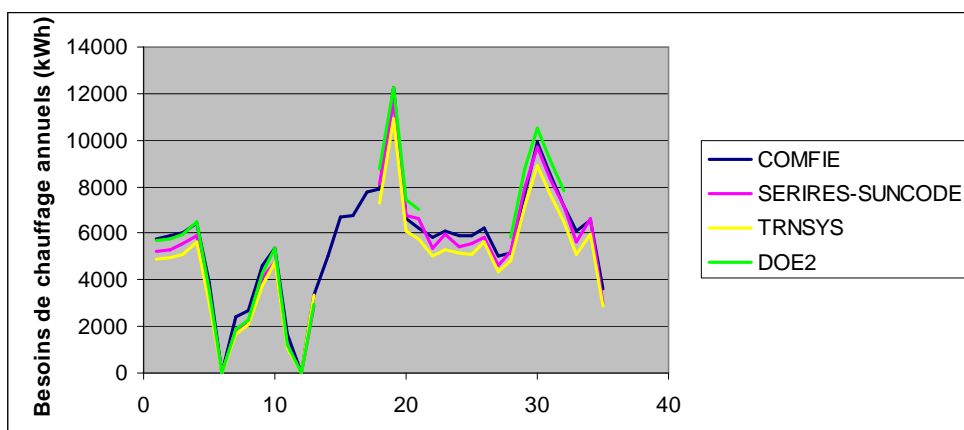
La sensibilité du logiciel est étudiée en faisant varier différents paramètres : l'orientation des fenêtres, la présence d'occultations, la température fixée par le thermostat, la ventilation nocturne, l'inertie thermique, l'ajout d'une véranda, les propriétés radiatives des murs, les infiltrations d'air et les apports internes de chaleur. Un scénario sans chauffage (évolution libre des températures) est également étudié.

Les différents cas sont synthétisés dans la liste ci-dessous.

- cas 600 : cas de base
- cas 610 : avec protection solaire (casquette au dessus des vitrages)

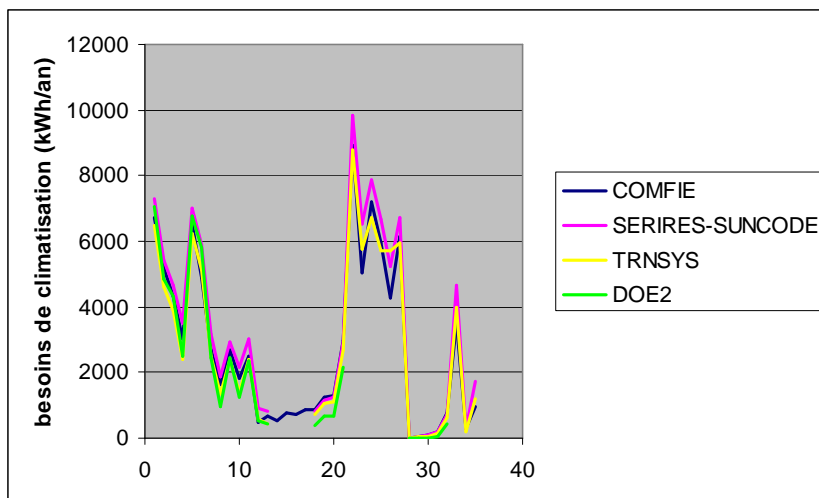
- cas 620 : les deux fenêtres sud sont remplacées par une fenêtre ouest et une fenêtre est
- cas 630 : = cas 620 (resp. 290 = 270 et 310 = 300) avec protections solaires au dessus des fenêtres
- cas 640 : réduction de la température de chauffage à 10° la nuit, de 23h à 7h.
- cas 650 : ventilation de nuit, chauffage arrêté et climatisation en marche le jour seulement,
- cas 900 à 950 : = cas 600 à 650 avec des murs lourds (10 cm de parpaings du côté intérieur) et une dalle béton (d'épaisseur 8 cm)
- cas 960 : = cas 600 avec une véranda accolée (8 m x 2 m x 2.7 m), de forte inertie,
- cas 600FF (resp. 650FF, 900FF, 950FF) : = cas 600 (resp. 650, 900, 950) sans chauffage ni climatisation (évolution libre)
- cas 220 : = cas 600 sans infiltration d'air, sans apports internes, fenêtres remplacées par des murs opaques, la consigne de climatisation est la même que celle de chauffage (20°C)
- cas 210 : = cas 220 (resp. 280 = 270, 440 = 600, 810=900) avec en plus l'émissivité des surfaces intérieures égale à 0.1 au lieu de 0.9
- cas 215 : = cas 220 avec en plus l'émissivité des surfaces extérieures égale à 0.1 au lieu de 0.9
- cas 200 : = cas 220, émissivité des surfaces intérieures et extérieures égale à 0.1 au lieu de 0.9
- cas 195 : = cas 200 (resp. cas 395 = cas 400) sans remplacer les 2 fenêtres par le mur, tout le mur sud a la même composition (inertie légère, résistance thermique égale à 1.94 m².K/W)
- cas 230 : = cas 220 avec un taux de renouvellement d'air de 1 volume par heure
- cas 240 : = cas 220 (resp. 420 = 410) avec des apports internes de 200 W
- cas 250 : = cas 220 avec l'absorptivité des surfaces extérieures de 0.1 au lieu de 0.6
- cas 270 : = cas 220 absorptivité des surfaces intérieures 0.9 et fenêtres conservées
- cas 300 : = cas 270, les deux fenêtres sud sont remplacées par une fenêtre ouest et une fenêtre est
- cas 320 : = cas 270 (resp. 400 = 220) avec une consigne de climatisation de 27°C
- cas 410 : = cas 400, mais le taux de renouvellement d'air est de 0.5 volume par heure
- cas 430 : = cas 420, mais l'absorptivité des surfaces extérieures est de 0.6
- cas 800 : = cas 430, avec des murs de forte inertie (10 cm de béton du côté intérieur)

Les résultats comparatifs concernant les besoins de chauffage annuels sont les suivants pour les différents cas numérotés de 1 à 36.



Les écarts entre les logiciels restent relativement faibles : en moyenne 10% par rapport à DEO-2 et SERIRES, 16% par rapport à TRNSYS, il faut noter que les écarts les plus importants en valeur relative correspondent aux plus faibles besoins. D'autre part la sensibilité aux différents paramètres est assez proche (à noter que certains logiciels ne calculent pas tous les cas).

En ce qui concerne les besoins de climatisation, les écarts sont du même ordre (15%) avec TRNSYS et SERI-RES, alors que DOE-2 donne des besoins beaucoup plus faibles que les autres logiciels pour les cas sans apports solaires et internes.

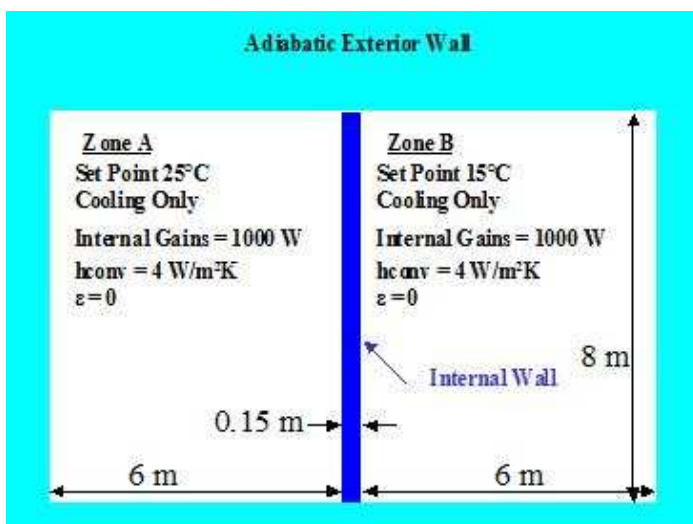


En ce qui concerne les cas en évolution libre, les températures moyennes et minimales sur l'année obtenues par COMFIE sont assez proches de celles évaluées par les autres logiciels, alors que les températures maximales sont un peu sous-estimées dans le cas d'une inertie faible : 62°C pour le cas 600FF, par rapport à 66°C TRNSYS et 70°C pour DOE-2. Mais les écarts constatés sur ces températures élevées ne sont pas forcément significatifs, dans la mesure où de telles situations de surchauffe ne sont pas vraiment rencontrées en pratique.

5. BANC D'ESSAIS EN MULTIZONES, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE

Le banc d'essais décrit précédemment n'a concerné qu'un bâtiment monozone. Une nouvelle tâche a été lancée récemment dans le cadre du programme « chauffage et rafraîchissement solaire des bâtiments » (tâche 34), conjointement avec le programme « Economie d'énergie dans les systèmes bâtiments et collectivités » (annexe 43) afin d'étudier les bâtiments multizones.

La première étape a consisté à vérifier la précision des calculs en régime permanent, par rapport à une solution analytique. Une configuration bi-zone est définie (cf. Figure ci-dessous).



La composition du mur entre les deux zones étant donnée ainsi que les apports internes dans chaque zone, il s'agit de déterminer les puissances de climatisation pour réguler la température de la zone A (resp. B) à 25°C (resp. 15°C). Plusieurs variantes sont ensuite comparées :

- émissivité des surfaces intérieures = 0,9 au lieu de 0,
- une troisième zone, à température flottante, est insérée entre les deux premières. Les logiciels doivent alors également calculer la température de cette zone en régime permanent.

Les résultats sont comparés à une solution analytique. Le test montre l'influence des coefficients d'échange superficiels considérés, qui peuvent être différents d'un outil à l'autre. Le test impose un coefficient d'échange convectif, de cette manière les résultats des différents outils sont très proches.

Une deuxième étape consiste à comparer les résultats de simulation à des mesures effectuées sur une cellule test de l'EMPA (Dübendorf, Suisse) montrée sur la figure ci-dessous.



Figure 1a Outdoor test facility with removable façade element.

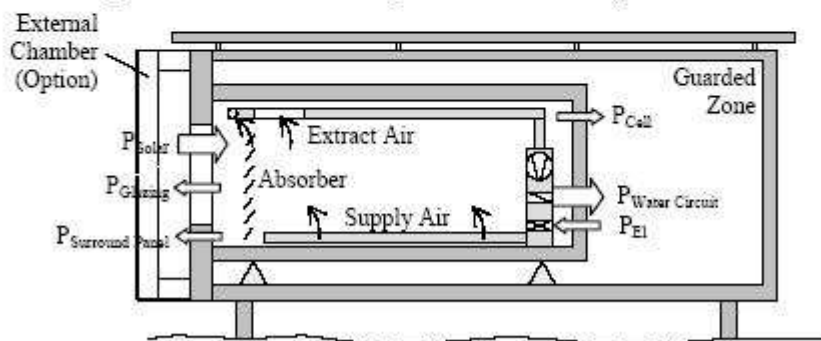
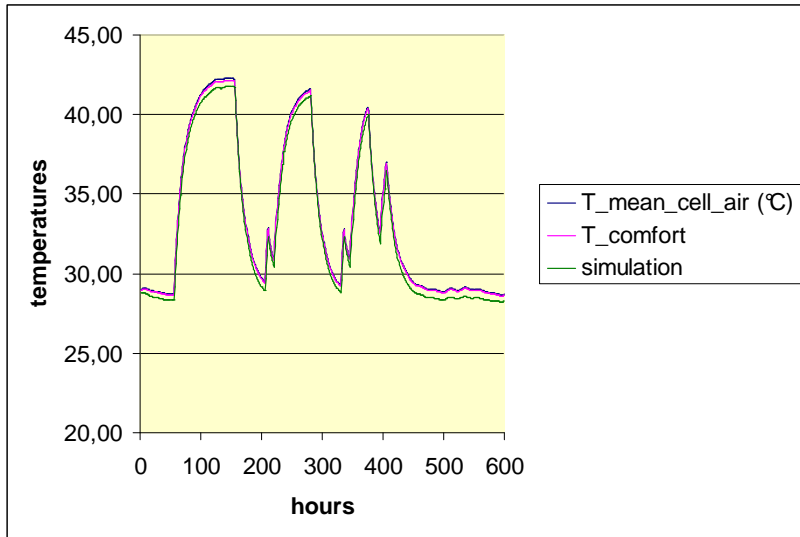


Figure 1b Diagram of test toom with an optional external chamber.

Une source de chaleur située dans la zone intérieure a été mise en marche de manière aléatoire : à l'arrêt pendant 55 heures, puis 100 heures de fonctionnement, arrêt de 50 heures et 5 heures de marche, etc. Les propriétés thermo-physiques et les conditions aux limites (zone gardée) étant données, des simulations ont été effectuées sur une période de 600 heures. La comparaison avec les évolutions de température mesurées (température de l'air et des surfaces) permet de vérifier la prise en compte du comportement dynamique du système par les modèles.

Dans l'énoncé, certaines propriétés physiques varient en fonction de la température. Une valeur moyenne a été considérée par la plupart des outils. Les résultats du logiciel COMFIE sont donnés ci-dessous à titre d'illustration.

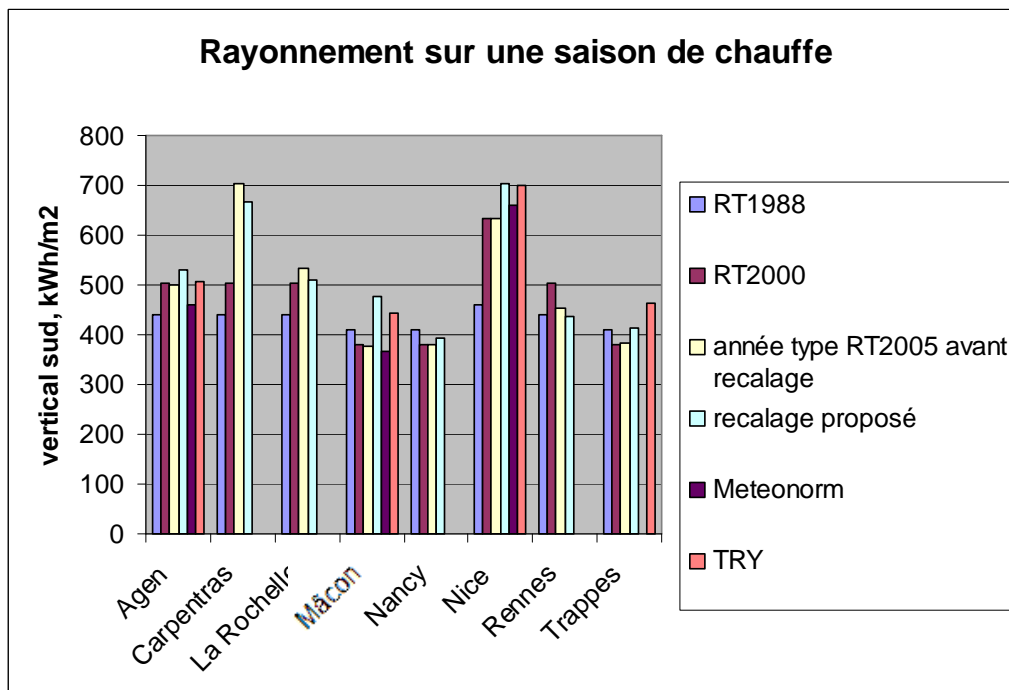


On constate une légère sous-estimation des températures : la différence $T_{simulation} - T_{confort}$ (température résultante) varie entre $-1,3^{\circ}C$ et $+0,2^{\circ}C$, avec une moyenne de $-0,4^{\circ}C$.

Les autres outils ayant participé à ce test sont : DOE 2 (USA), ENERGY PLUS (USA), ESP (Grande Bretagne), HELIOS, SIMBAD (France) et TRNSYS (USA).

6. DONNEES CLIMATIQUES

Une composante importante de la précision des évaluations est la pertinence des années types considérées comme représentatives des climats. Nous avons ainsi comparé pour 8 stations les années types préparées par le CSTB pour la réglementation thermique RT2005 à des mesures sur 20 ans de Météo France. La figure ci-dessous montre le rayonnement solaire vertical sud sur une saison de chauffe, évalué à partir de différentes années types et à partir des mesures Météo France.



En moyenne pour les huit stations, le recalage proposé, basé sur les mesures de Météo France et sur le service SODA¹ (Wald, 2002) en l'absence de mesures de rayonnement diffus ou direct, augmente le rayonnement vertical sud sur une saison de chauffe de 10% par rapport à la RT2000, de 20% par rapport à la RT1988, de 17% par rapport à la base suisse Météonorm.

7. CONCLUSIONS

Plusieurs bancs d'essais ont permis de comparer les outils de simulation thermique des bâtiments. Ces outils permettent de reproduire avec une précision relativement bonne (de l'ordre de 1°C) les évolutions de température mesurées sur des cellules test. Des écarts peuvent apparaître entre les outils en ce qui concerne les besoins de chauffage et de climatisation des bâtiments, mais les sensibilités aux principaux paramètres (enveloppe, équipements) sont analogues.

Une comparaison des outils français sur des cas plus représentatifs du contexte local (climat, techniques de construction) permettrait de mieux cerner les écarts entre les modèles. Par exemple, l'isolation par l'intérieur (technique typiquement française) pourrait être comparée à l'isolation par l'extérieur ou répartie. Une limite des bancs d'essais de l'AIE est que certains paramètres ont été harmonisés pour les tests (coefficients de transferts superficiels, données climatiques). Il serait intéressant de comparer différents logiciels sur un même bâtiment, sans ces adaptations. Certains aspects des modèles mériteraient un approfondissement, par exemple la variation du facteur solaire en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement et l'influence des masques n'ont pas été souvent abordées. La pertinence des normes CEN qui imposent un modèle de référence (CEN, 2003), pourrait aussi être étudiée. Ce type de travail répond aux exigences des utilisateurs qui souhaitent connaître le niveau de précision des outils qui leur sont proposés.

8. BIBLIOGRAPHIE

ANSI/ASHRAE Standard 140-2001, *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA. See Annex B5.

Brasselet J.-P., Domblides J.-P. et Marchio D. (1993), Banc d'essais comparatif de logiciels de calculs de charges hygrothermiques, rapport d'étude AICVF-AITF-ARMINES pour l'AFME et EDF

CEN (2003) prEN-ISO 13791, Performance thermique des bâtiments – Calcul des températures intérieures en été d'un local sans dispositif de refroidissement – critères généraux et méthodes de validation

CEN (2003) prEN-ISO 13792, Performance thermique des bâtiments – Températures intérieures en été d'un local non climatisé – Méthodes de calcul simplifiées

Judkoff, R. and Neymark, J.(1995), *International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*, NREL/TP-472-6231, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. Download address: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/6231.pdf> (PDF 13.8 MB)

Peuportier B. (1993) « COMFIE, Logiciel pour l'architecture bioclimatique, quelques applications concernant les vérandas », Journée technique GENEC (CEA), Cadarache

Wald L. et al (2002), [SoDa: a project for the integration and exploitation of networked solar radiation databases](#), Environmental Communication in the Information Society, International Society for Environmental Protection, Vienna, Austria.

¹ <http://www.soda-is.com/fr>