

PRESENTATION ET PERSPECTIVES DU LOGICIEL CODYBA.

Jean NOËL¹, Jean-Jacques ROUX² et Joseph VIRGONE²

¹ Ingénieur FreeLance (JNLOG) – 15 place Carnot 69002 Lyon

² CETHIL-ETB – INSA de Lyon – Bât. Freyssinet – 40 av. des Arts 69100 Villeurbanne

RESUME. Présentation du logiciel CoDyBa de simulation thermique d'un bâtiment en dynamique, et des développements scientifiques qui s'y rapportent. Perspectives à court et moyen terme.

MOTS-CLÉS : simulation, thermique, dynamique.

ABSTRACT. Presentation of CoDyBa software and of its scientific developments.

KEYWORDS : simulation, thermal, dynamic.

1. INTRODUCTION

Cet article brosse un état des lieux du logiciel CoDyBa de thermique du bâtiment, et des développements en cours qui s'y rapportent. La présentation est générale : pour plus de détails, on se reportera aux références, qui renvoient pour la plupart à des documents accessibles sur Internet.

2. PRESENTATION DE CODYBA

2.1. INTRODUCTION

CoDyBa est un outil sur PC de simulation des performances énergétiques des bâtiments. Il s'adresse aux bureaux d'études, aux organismes de recherche et d'enseignement.

Ce logiciel est utilisé pour analyser en dynamique les performances thermiques et hydriques d'un bâtiment soumis à des conditions climatiques variées. Il permet des études de chauffage et de refroidissement d'air et de ventilation, de choix de matériaux d'isolation, etc.

L'objectif principal de CoDyba est la prédiction de la consommation d'énergie et des amplitudes de variation de température et d'humidité. A cet effet, il détermine à un instant donné la puissance de chauffage ou de refroidissement nécessaire pour maintenir une consigne donnée, ou les températures intérieures quand le chauffage ou la climatisation deviennent insuffisants. L'humidité est traitée de la même manière.

CoDyBa s'adresse aux thermiciens, chercheurs, architectes, consultants HQE (bureaux d'études, fabricants, etc.), étudiants (thermique, énergétique, architecture). Une compréhension des phénomènes physiques n'est pas indispensable pour son utilisation, mais se révèle utile pour l'analyse des résultats. Un jour d'auto-formation est généralement suffisant pour la prise en main du logiciel.

De façon générale, le public visé est celui des non-experts en méthodes de simulation.

2.2. HISTORIQUE

2.2.1. *Le passé*

CoDyBa existe au CETHIL depuis 1985. En s'appuyant sur les algorithmes existants une refonte complète de l'existant a été entreprise en 1999 par Jean NOËL avec l'appui de Jean-Jacques ROUX.

La refonte avait pour objectif la mise au point d'un outil commercial "tout public", robuste, ergonomique, fiable, évolutif et scientifiquement à la pointe.

Les développements effectués de 1999 à 2003 ont débouché sur la version V6.3, diffusée auprès d'une trentaine d'utilisateurs. La version définitive V6.4 sera diffusée sous peu.

Cette version 6.4 reste malgré tout une version de transition entre l'ancienne version fondamentalement monozone (et multizone par assemblage de zones) et un outil où le bâtiment complet serait traité dans son ensemble, sans décomposition en zones thermique (c'est-à-dire sans modélisation de la part de l'utilisateur).

A noter que si CoDyBa a été financé initialement par ELF, pour la thèse de Jean-Jacques ROUX (Roux, 1984), et le passage sous Windows par une aide à l'industrialisation de l'INSA de Lyon, tous les développements ultérieurs se sont faits soit sur fonds propres de Jean NOËL, soit sur contrats avec des industriels. Aucun organisme d'Etat n'a aidé ni financé ni au développement.

2.2.2. *Le présent*

A partir de 2004, les efforts ont porté sur l'abaissement de la place mémoire nécessaire et sur le temps de calcul, ainsi que sur la validation systématique de CoDyBa. Ainsi le benchmark BESTEST (Judkoff et al., 1995) de l'Agence Internationale de l'Energie est passé avec succès. Une participation à de nouveaux benchmark (Judkoff et al., 2005) est en cours.

De plus des outils opérationnels annexes ont été développés pour tester les modèles qui seront intégrés à terme. En particulier : le maillage automatique de géométries parallélépipédiques quelconques (pour le traitement des ponts thermiques, voir KaLiBat et ArchiCube), le traitement fin de parois (pour la mise au point de nouveaux modèles de parois et le traitement de l'humidité, voir CoDyMur), un langage neutre permettant les échanges avec d'autres outils du commerce.

2.2.3. *Le futur*

De nouveaux modèles ont d'ores et déjà été introduits: protections solaires (stores vénitiens [Noël, 2004], etc.), aéraulique imposée (et prototype de l'aéraulique pression-débit), confort thermique. Les versions intégrant ces modèles seront commercialisées dans la version qui succédera à CoDyBa.

La prochaine version de CoDyBa, dénommée KoZiBu, devrait se réduire à une boîte noire (noyau de calcul), couplée à des outils du commerce, en particulier des outils de CAO.

2.3. DESCRIPTION DE CODYBA

2.3.1. *Les données de base*

En entrée, les données de base sont la géométrie du bâtiment et sa constitution : volumes d'air, murs (avec les matériaux et les paramètres de surface), fenêtres (et protections solaires). Les paramètres principaux sont : la météo, les charges internes (éclairage, personnel, équipement), régulateurs de température et d'humidité.

Chaque volume d'air peut contenir un nombre quelconque de régulateurs, avec leur propre puissance et consigne, et leur profil de mise en service (activité). Puissance, consigne et activité sont données heure par heure, pour un jour ou une semaine. Les régulateurs sont supposés avoir une efficacité parfaite. Les charges internes ont les mêmes caractéristiques.

En sortie, figurent pour chaque volume d'air les puissances sensibles et latentes nécessaires, la température d'air, la température radiante, l'humidité relative. Pour les surfaces, on obtient les flux solaires reçus. Par fenêtre sont fournis les flux solaires transmis et le coefficient g. Une sélection de ces sorties est possible pour éviter l'engorgement des fichiers de résultats. Les versions non commercialisées permettent de sortir toutes les variables internes.

2.4. LES EQUATIONS TRAITÉES

2.4.1. Les équations physiques et la modélisation

Le volume d'air est représenté par une température d'air, une température radiante et une humidité spécifique (Roux, 1984). Un modèle de mur simplifié (1R2C) est utilisé. Les flux solaires sont calculés à chaque pas en temps et supposés atteindre en premier le plancher et se répartir ensuite sur les autres parois par multi-réflexions. Les fenêtres sont maintenant considérées comme des boîtes noires intégrant des modèles de protections solaires (stores, écrans, masques, etc.).

2.4.2. La formalisation du problème

L'équation de base du système "CoDyBa" est la conservation de l'énergie pour un volume de matière :

$$\rho.C.Volume.\frac{dT}{dt} = \sum \text{Flux surfacique} + \sum \text{Flux volumique}$$

La modélisation adoptée consiste à représenter les volumes par des noeuds et les flux énergétiques par des arcs. Conceptuellement on aboutit au traitement d'un graphe valué. Cette décomposition en noeuds et arcs permet d'obtenir un nombre limité d'entités manipulées et donc l'efficacité optimale de méthodes de conception orientées objets (idem pour le langage, C++ avec hiérarchies de classes).

Cette représentation sous forme de graphe valué est adoptée pour les objets physiques que l'on manipule (murs, volumes d'air, chauffage, etc.) et également pour les entités utilisées dans les calculs : deux graphes distincts coexistent.

Par exemple les classes principales manipulées au niveau du graphe des objets du bâtiment sont :

Objet-Type (volume, surface, régulateur, charge interne).

Élément de réseau (ENET) : constituant élémentaire d'un Objet-Type.

Tables (toute donnée autre qu'un attribut, constantes ou fonction du temps, valeur unique ou liste de valeurs).

Matériau (revêtement, matériau de construction, verre, gaz, liquide).

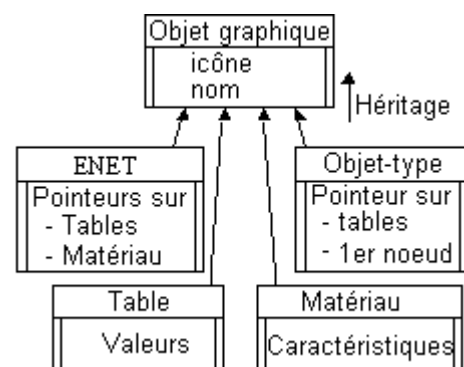


Figure 1 : Classes d'objets "bâtiment".

A noter que l'utilisation de composants informatiques du commerce a été abandonnée au profit de classes développées en interne, afin de garantir la maintenance et la rapidité d'exécution.

Numériquement, on obtient un système matriciel global dont la résolution se fait par une méthode itérative unique (Jacobi). La convergence de l'ensemble est ainsi obtenue une fois pour toute, indépendamment du nombre d'objets contenus. Une fois implémentée la programmation correcte de cette méthodologie, on peut rajouter autant d'objets du bâtiment que l'on veut en gardant les mêmes critères de convergence (seul le temps calcul et la place mémoire sont des fonctions directes de la taille de la géométrie).

Cette méthode numérique unique garantit la convergence. Enfin presque, car la résolution itérative introduit une notion de chemin de parcours qui conduit parfois à des cycles, qu'il est nécessaire de briser par des heuristiques.

A noter que CoDyBa n'est pas un logiciel "ouvert", c'est-à-dire que l'ajout de nouveaux modèles est fait par le concepteur. Mais cet inconvénient présente l'avantage de garantir des performances globales en évitant, par exemple, l'introduction de modèles à constante de temps hétérogènes (en effet, le pas en temps standard actuel varie de 5 minutes à une heure). Par contre, les Objets-Type se présentent comme des listes d'Eléments de réseau (ENET), qu'il est possible de modifier : ainsi l'utilisateur pourrait réaliser son propre objet, moyennant le respect forcé des règles imposées par le logiciel.

2.5. L'ARCHITECTURE DU LOGICIEL

2.5.1. L'Interface Homme-Machine (IHM) actuelle

En entrée, CoDyBa est structuré comme une boîte noire recevant des commandes et les exécutant.

L'Interface Homme-Machine (IHM) est basée sur l'assemblage de briques simples pour former un bâtiment complexe. Les objets de base sont présentés dans une palette et ajoutés au gré de l'utilisateur sur une représentation hiérarchique du bâtiment.

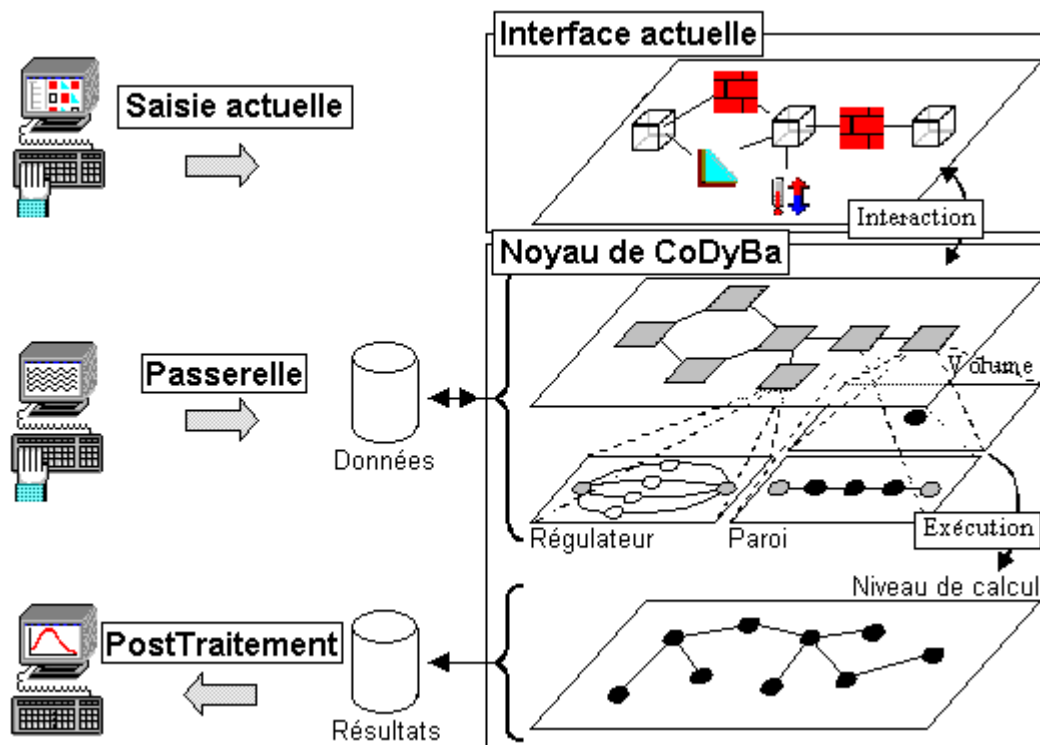


Figure 2 : mode de fonctionnement de CoDyBa.

Les sorties standard de CoDyBa sont des courbes (couples [temps, valeurs]), avec un certain nombre d'opérations de post-traitement (intégration temporelle, etc.). Ces courbes sont accessibles et traitables par leur représentation graphique, lesquelles s'insèrent dans le bâtiment comme des objets graphiques. Ces courbes sont exportables pour un traitement dans un tableur.

2.5.2. *Evolution probable de l'architecture du logiciel*

L'interface graphique d'entrées/sorties actuelle est destinée à disparaître au profit d'une série de passerelles avec d'autres logiciels.

Ainsi, le logiciel devrait disparaître en tant que tel et être remplacé par une boîte noire couplée à différents logiciels du commerce (CAO, etc.) par le biais de passerelles.

3. APPLICATIONS DE CODYBA

3.1. APPLICATIONS ACTUELLES

Les géométries traitées par les utilisateurs de CoDyBa dépasse rarement 10 zones thermiques. Cette limitation provient essentiellement du temps nécessaire aux saisies, et à l'analyse des résultats.

Néanmoins les études actuellement réalisées en interne portent sur des bâtiments de grandes tailles (plus de 200 zones thermiques). Le temps calcul n'étant plus un obstacle, l'attention est portée sur les outils permettant une définition rapide des données nécessaires.

La figure 3 ci-contre présente le type de bâtiment servant de test (11 volumes par étage, de 7 à 20 étages). La symétrie et la répétitivité des étages sont mises à profit pour des comparaisons entre résultats.



Figure 3 : Bâtiment de test.

A titre d'exemple, la figure 4 donne l'énergie de climatisation pour le bâtiment de 7 étages de la figure 3 pour le mois de juillet à Carpentras pour différents angles de rotation du bâtiment par rapport au sud.

On constate la forte influence de l'orientation.

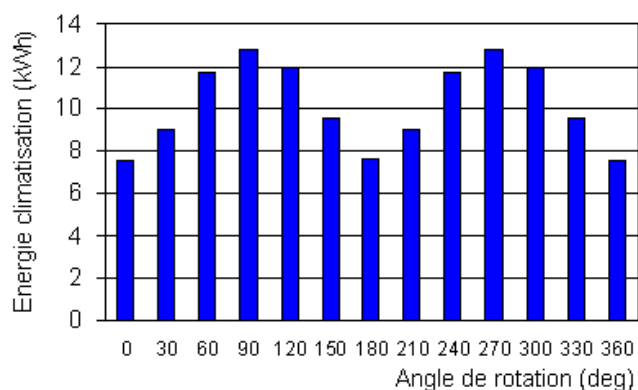


Figure 4 : Energie de climatisation du bâtiment de test.

3.2. DEVELOPPEMENT EN COURS ET PROTOTYPES

Parallèlement à CoDyBa, des prototypes de logiciels ont été développés, dans le but de tester de nouvelles fonctionnalités, qui seront implémentées selon les demandes des utilisateurs.

CoDyMur (Virgone et al., 2003) permet le calcul précis de la température dans une paroi 1D soumise à des sollicitations diverses sur ses faces. Il s'agit d'un logiciel pédagogique, utilisé également en interne pour la mise au point de modèles améliorés de paroi, en particulier pour les matériaux à changement de phase. Ce logiciel a été lancé par Joseph VIRGONE, qui, pour la comparaison avec l'expérimental, réalise actuellement une série de mesures sur la cellule d'essais MINIBAT du CETHIL.

ArchiCube (Noël, 2003; Virgone et al., 2003) est une application de manipulation de géométrie 3D conduisant soit à des calculs de thermique soit à l'obtention d'un système matriciel représentatif de la géométrie (par exemple un pont thermique), qui peut être intégré dans CoDyBa après une réduction de modèle. Un premier développement avait abouti au logiciel SYSLEY utilisé par EDF (Deque et al., 2001).

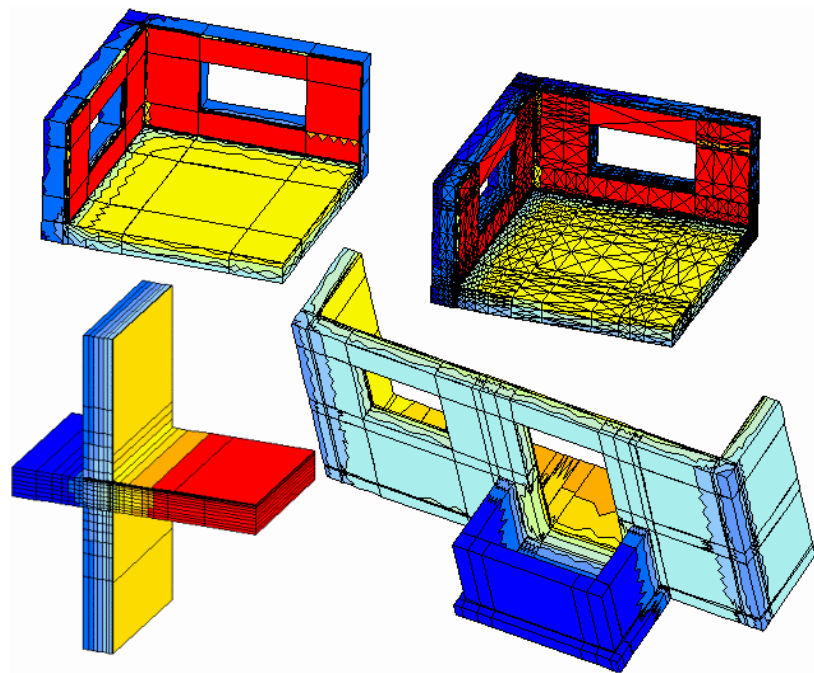


Figure 5 : exemple de géométries traitées par ArchiCube.

KaLiBat (Noël, 2003) est une calculette de coefficients Ψ de pont thermique 2D sur des géométries usuelles du bâtiment. Elle est basée sur le noyau d'ArchiCube.

Les méthodes numériques utilisées dans ces prototypes sont proches de celles de CoDyBa, de façon à permettre une intégration rapide.

A côté de ces fonctionnalités, un **langage neutre de commande** (Noël et al., 2001) a été mis au point dans le but de formaliser les échanges avec d'autres logiciels. Il s'appuie sur un langage neutre et une série de passerelles de lecture et de conversion des données d'autres logiciels (actuellement TRNSYS, voir [TRNSYS_IFC]). Ce langage est utilisé en particulier pour la définition des données d'un grand bâtiment résultant d'un empilement d'étages identiques (cf. paragraphe 3.1), et dans ce cas l'interface graphique amont se réduit à un éditeur de texte et des opérations de copier-coller.

4. CONCLUSION

CoDyBa est maintenant un logiciel bien au point. Le niveau atteint nous paraît correspondre à celui d'autres logiciels standard du marché (TRNSYS par exemple), au moins en ce qui concerne l'enveloppe du bâtiment.

L'étape suivante consiste à permettre l'utilisation immédiate de CoDyba par tous les thermiciens de bureaux d'études, alors qu'actuellement il demande encore un temps d'apprentissage et d'adaptation. La prochaine version, appelée **KoZiBu**, gardera le même noyau de calcul mais sera couplée avec des outils du commerce déjà utilisés par les bureaux d'études.

Dans le but d'étendre les capacités de cette famille de logiciels, une recherche tout azimut de partenariat est actuellement lancée.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Deque F., Noël J., Roux J.-J. (2001) « SYSLEY: an open tool for transient-state two dimensional heat transfer », *Building Simulation 2001*, Rio de Janeiro, Brazil, August 13-15, 2001.
http://www.jnlog.com/pdf/bs2001_edf.pdf
- Judkoff R., Neymark J. (1995) « International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method », *National Renewable Energy Laboratory*, Golden CO.
- Judkoff R., Neymark J. (2005) « Proposed IEA BESTEST MultiZone Conduction Cases: MZ320-MZ360 », IEA:SHC Task 34/ECBCS Annex 43, *National Renewable Energy Laboratory*, Golden CO.
- Noël J. (2003) « KaLiBat », <http://www.jnlog.com/kalibat1.htm>
- Noël J. (2004) « CoDyBa, Tests Paramétriques sur bâtiments de Taille Réelle », *JNLOG Report 0403*.
http://www.jnlog.com/pdf/codyba_samples_report_fr.pdf
- Noël J. (2004) « CoDyBa, BESTEST Qualification », *JNLOG Report 0401*.
http://www.jnlog.com/pdf/codyba_bestest.pdf
- Noël J. (2004) « Development of numerical shading devices models for the use in building thermal simulation », *JNLOG Report 0402*.
http://www.jnlog.com/pdf/blinds_report.pdf
- Noël J., Roux J.-J. (2001) « Présentation du langage de commande de CoDyBa. Application au cas d'une passerelle TRNSYS-CODYBA », *IVe Journées TRNSYS*, 2001.
http://software.cstb.fr/articles/TRNSYS_CODYBA.doc
- Noël J., Roux J.-J., Keilholz W. Bradley D. (2001) « Lien entre les logiciels SimCAD, TRNSYS et CoDyBa », *Ve Colloque InterUniversitaire Franco-Québécois*, Lyon, 28-30 mai 2001.
<http://www.jnlog.com/pdf/cifq2001.pdf>
- Roux J.-J. (1984) « Proposition de modèles simplifiés pour l'étude du comportement thermique des bâtiments », Thèse de doctorat, INSA de Lyon.
- Virgone J., Noël J. (2003) « ArchiCube et CoDyMur, logiciels de simulation des ponts thermiques et du comportement thermique d'une paroi en régime variable », *VIe Colloque InterUniversitaire Franco-Québécois*, Québec, 26-28 mai 2003.
<http://www.jnlog.com/pdf/cifq2003.pdf>
- TRNSYS_IFC
<http://www.iai-france.org/frame.php3?page=http://www.iai-france.org/projets/910-claire.html>