

DOCUMENTATION

Présentation du logiciel KoZiBu et de ses utilitaires

Référence : --	Date : 9 mars 2022	Révision : 1.04
Client : --	Prestataire : Jean NOËL (JNLOG) 15 place Carnot F-69002 Lyon Mobile : 06 07 60 88 42 Site : http://www.jnlog.com Mel : contact@jnlog.com	

L'offre de service de JNLOG s'articule autour du logiciel de Simulation Thermique Dynamique de bâtiment (STD) KoZiBu (successeur de CoDyBa).

Ce document présente les principales fonctionnalités de cet outil et les réalisations présentes ou à venir dans le domaine de la simulation thermique dynamique.

D'autres outils sont également disponibles pour des développements spécifiques ([ACB], [EDF], [KLB]).

Organisation du document :

- Le paragraphe I présente rapidement le logiciel **KoZiBu**.
- Le paragraphe II décrit les grandes **fonctionnalités du logiciel dans ses versions actuelles**.
- Le paragraphe III liste un certain nombre de **fonctionnalités en cours de développement**, certaines présentes dans des prototypes déjà opérationnels.
- Le paragraphe IV liste les **fonctionnalités en phase de prototypage**, notamment la saisie 3D assistée d'un bâtiment de grande taille et l'exportation vers un modèle de bâtiment **Modelica**.
- L'Annexe A présente le **détail de la modélisation physique**.
- L'Annexe B présente les **validations du logiciel**.
- L'Annexe C présente une perspective de saisie automatique des données.

I – PRESENTATION GENERALE DU LOGICIEL

I - 1 – OBJECTIF DU LOGICIEL

KoZiBu a pour objet la détermination des flux thermiques d'un bâtiment, pour l'optimisation des performances énergétiques.

Il permet d'estimer les puissances instantanées de chauffage ou de refroidissement nécessaires pour maintenir des consignes données, ou de calculer les températures lorsque le système de chauffage ou de refroidissement est insuffisant. Le traitement de l'humidité est identique.

Cet outil permet d'étudier des stratégies de chauffage et de climatisation, de conditionnement d'air et de ventilation, et l'influence des matériaux sélectionnés.

Il s'adresse aux bureaux d'études et aux organismes d'enseignement et de recherche.

I - 2 – HISTORIQUE

KoZiBu est le successeur du logiciel CoDyBa [CDB], développé avec l'aide de quelques chercheurs du CETHIL (Centre de Thermique de l'INSA de Lyon, [CET]).

Cet outil met en œuvre les équations habituellement utilisées en thermique du bâtiment (voir Annexe A).

Il a été validé sur de nombreux cas, tant numériques qu'expérimentaux (voir Annexe B).

I - 3 – MATERIEL REQUIS

KoZiBu fonctionne sur des PC ordinaires.

Pour des simulations annuelles, le temps de calcul est d'au plus quelques minutes pour une maison standard. Il peut monter jusqu'à une heure pour des simulations d'une centaine de zones thermiques.

I - 4 – DIFFUSION ACTUELLE

KoZiBu est utilisé par la **Délégation Générale de l'Armement (DGA)** pour des études thermiques de d'abris militaires, et de navires, en particulier les sous-marins du programme BARRACUDA.

La figure suivante présente un panorama des outils utilisés par la DGA Techniques Navals (Toulon).

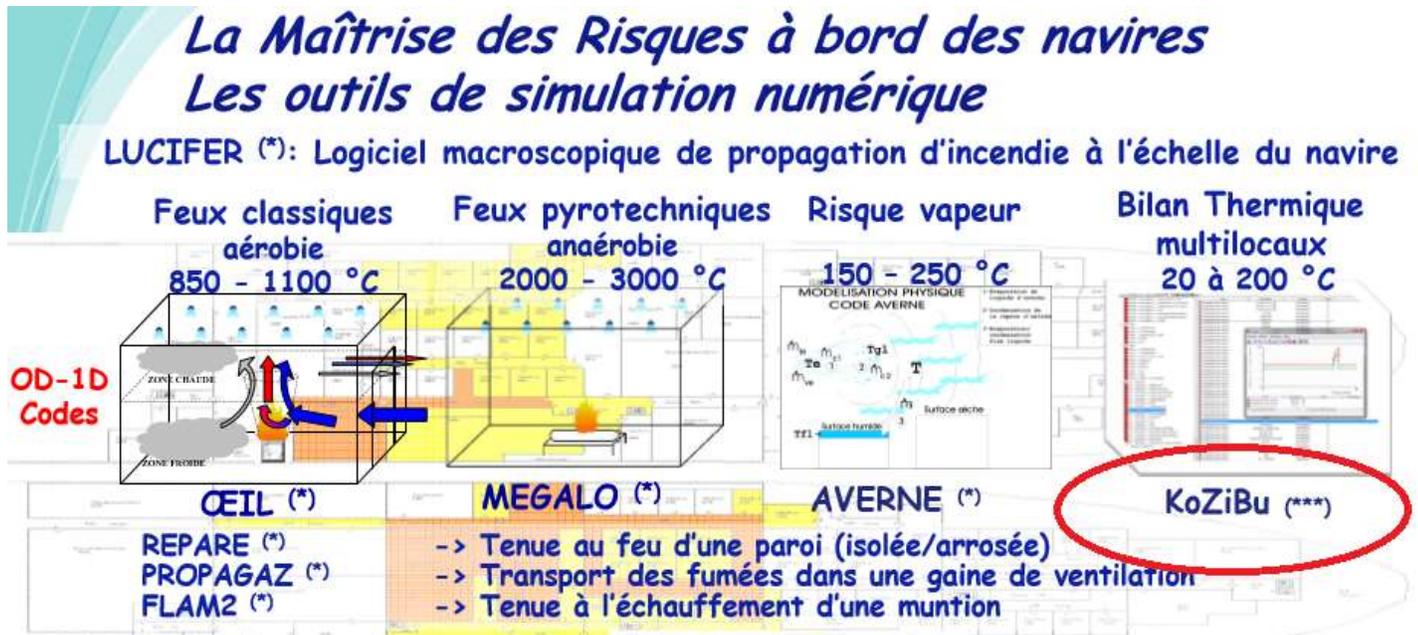


Fig. 1 : Présentation de Christine LALLEMAND (DGA Techniques Navales) à l'école thématique du CNRS 2015

II – PRESENTATION DETAILLEE DU LOGICIEL

Le bâtiment est décrit de façon précise et la géométrie est saisie à l'aide d'une interface graphique.

KoZiBu est basé sur l'assemblage de "briques" élémentaires pour représenter un bâtiment avec ses équipements. L'assemblage est réalisé de façon à minimiser la place mémoire et le temps de calcul. Les modèles physiques de KoZiBu sont ceux couramment admis, mais les algorithmes de calcul sont spécifiques

II - 1 – L'ERGONOMIE DU LOGICIEL

Les entités de saisie sont celles utilisées couramment par les thermiciens, tandis que les modèles de calcul sont traités de façon transparente.

Le bâtiment est décrit grâce à l'interface graphique, avec une arborescence semblable à celle de l'Explorateur de Windows.

A chaque "entité" est associée une **icône**, qui permet de la manipuler par des opérations de type "copier", "coller", "transférer".

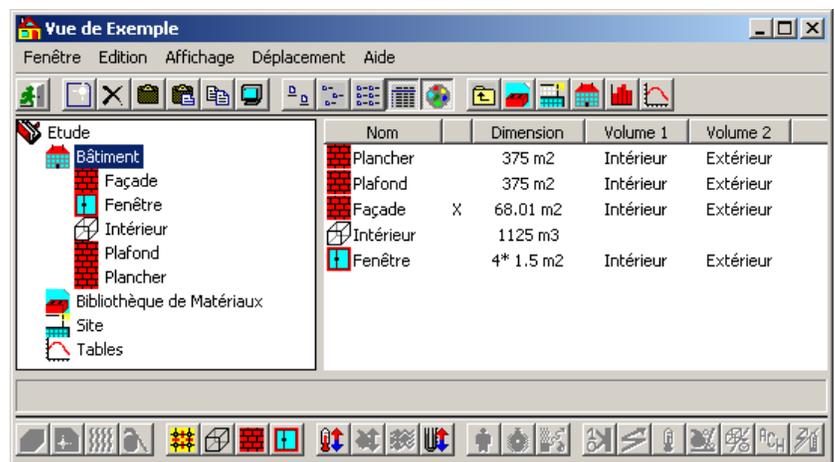


Fig. 2 : écran principal de KoZiBu

Les données de base sont la géométrie et la constitution d'un bâtiment :

- **parois** (avec les matériaux des couches et les paramètres de surface)
- **fenêtres** (possibilité de masques solaires)
- **volumes d'air**

Les paramètres principaux sont :

- **charges internes** (chaleur dégagées par l'éclairage, les personnels, les machines, etc.)
- **régulateurs** (puissance et consigne de température, d'humidité et de ventilation)
- **météo** (2000 fichiers météo sont disponibles, obtenus à partir de fichiers disponibles sur Internet), avec les informations suivantes :
 - Position du soleil (azimut et hauteur du soleil)
 - Température d'air
 - Température du ciel
 - Flux solaire horizontal (diffus et direct)
 - Humidité relative

Les charges internes et les régulateurs peuvent intégrer des **fonctions du temps**.

Le **calcul** est entièrement automatique.

Les **résultats** sont tracés rapidement ou exportés vers un traitement de texte.

Les données peuvent être exportées ou importées vers ou à partir de **bibliothèques**.

Le logiciel est disponible en français et en anglais (5 langues possibles).

II - 2 – LES SORTIES DU LOGICIEL

Des courbes peuvent être tracées pour permettre la comparaison de solutions différentes en fournissant des informations sur la consommation énergétique. Tous les graphes peuvent être exportés vers d'autres logiciels de tracé comme Microsoft Excel ou Word pour des tracés plus sophistiqués. L'utilisateur choisit des sorties graphiques pour chaque entité ou pour le bâtiment complet.

Les sorties graphiques suivantes sont disponibles (en tant que fonctions du temps) :

- Bâtiment : **puissances sensible and latente** (sommés des puissances des volumes d'air).
- Volumes d'air : **puissances sensible et latente**, température d'air intérieur, température résultante (moyenne de la température d'air intérieure et des températures de surface des parois), humidité relative d'air.
- Surfaces : **flux solaire absorbé direct et diffus, température de surface** (utile pour l'évaluation du confort thermique).
- Fenêtre : **flux solaire transmis direct et diffus, fraction d'ensoleillement, coefficient de transmission direct et diffus, coefficient global g direct et diffus**.
- Régulateurs : **puissance fournie**.

II - 3 – LA MODELISATION

Les modèles physiques de KoZiBu sont ceux communément admis :

- Chaque volume d'air peut contenir un nombre quelconque de régulateurs de température (chauffage/climatisation) ou d'humidité, avec leur propre **puissance** et **consigne**. En l'absence de régulation, la température et l'humidité évoluent librement.
- L'occupation des locaux est intégrée. Charges internes et régulateurs peuvent avoir des puissances ou des paramètres de contrôle fonction du temps (heure par heure, pour un jour ou une semaine).
- Prise en compte de la **température radiante moyenne**.
- **Modèle de paroi 1R2C**. Les données de la paroi sont les couches (matériau et épaisseur), azimut, inclinaison, etc. Prise en compte des coefficients d'absorption et d'émission pour chaque paroi.
- Calcul de la **température de surface** (parois et fenêtres), ce qui permet une évaluation du confort thermique (autrement très simplifié).
- La météo utilisée est heure par heure.
- **Protections solaires** de type "store" (stores vénitiens, etc.).

Les fonctionnalités suivantes ont été développées sans être intégrées dans toutes les versions commerciales :

- **Matériaux à changement de phase** (MCP) et lames d'air ventilées.
- **Indices de confort PPD et PMV** (méthodes de FANGER).
- **Aéraulique imposée** (débits entre volumes d'air).

Le détail des équations de bilans est présenté en Annexe A.

III – FONCTIONNALITES EN COURS D'ACHEVEMENT OU D'INTEGRATION

Les fonctionnalités présentées dans ce paragraphe sont déjà intégrées dans l'outil, mais ne figurent pas encore dans les versions diffusées.

Ces fonctionnalités sont les suivantes :

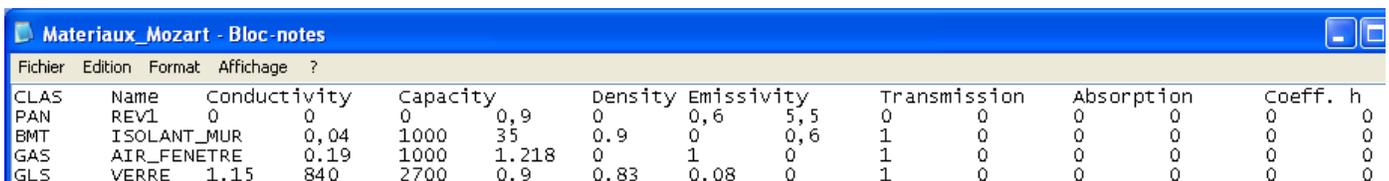
- Saisie de données de bâtiments à partir de **scripts**.
- Saisie de données géométries à partir de scripts, pour une **vue 3D du bâtiment**.
- **Simulation 1D d'une paroi en dynamique**.
- Le **confort thermique**.

III – 1 – LA SAISIE DE DONNEES DE BATIMENT A PARTIR DE SCRIPTS

Les scripts correspondent à des données présentées sous forme de liste, et assimilables par le logiciel à travers un utilitaire de conversion.

Les scripts figurent dans différents fichiers en fonction du type de données manipulées, chaque fichier correspondant à un type de données. Ainsi un fichier de données contient les données de description des matériaux, un autre celles des profils, etc.

La figure suivante présente un exemple de fichier de scripts "matériaux".



Fichier	Edition	Format	Affichage	?										
CLAS	Name	Conductivity	Capacity	Density	Emissivity	Transmission	Absorption	Coeff.	h					
PAN	REV1	0	0	0	0,9	0	0,6	5,5	0	0	0	0	0	0
BMT	ISOLANT_MUR	0,04	1000	35	0,9	0	0,6	1	0	0	0	0	0	0
GAS	AIR_FENETRE	0,19	1000	1.218	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
GLS	VERRE	1.15	840	2700	0,9	0,83	0,08	0	1	0	0	0	0	0

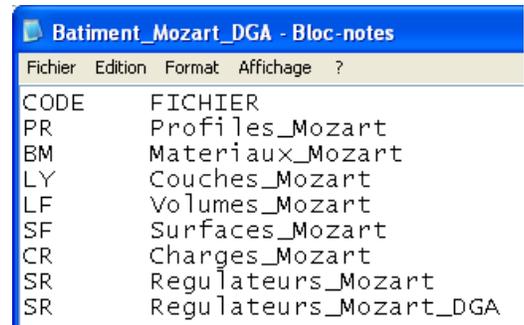
Fig. 3 : écran d'un exemple de scripts "matériau"

Un fichier de scripts peut être édité avec un éditeur de texte ou avec le logiciel Excel.

Chaque fichier de données comprend une première ligne d'en-tête pour définir les intitulés des colonnes, et ensuite par ligne une entité du bâtiment, avec ses données réparties dans les colonnes.

Les fichiers de données sont associés à un bâtiment à travers un « fichier de référence », qui contient les noms des fichiers à lire au cours de l'opération de lecture des scripts.

L'écran suivant présente un exemple de fichier de référence permettant de générer un cas de calcul correspondant à la maison "Mozart" de la typologie du CSTB.



CODE	FICHER
PR	Profiles_Mozart
BM	Materiaux_Mozart
LY	Couches_Mozart
LF	Volumes_Mozart
SF	Surfaces_Mozart
CR	Charges_Mozart
SR	Regulateurs_Mozart
SR	Regulateurs_Mozart_DGA

Fig. 4 : écran d'un exemple de scripts "matériau"

Cette fonctionnalité doit permettre à terme l'alimentation du logiciel en données issues d'un outil de CAO. L'interface actuelle de saisie, volontairement limitée, sera remplacée par celles d'outils spécifiques dédiés.

III – 2 – LA SAISIE DE DONNEES GEOMETRIQUES A PARTIR DE SCRIPTS

En même temps que les données classiques des éléments du bâtiment, peuvent être lues des données géométriques pour une représentation 3D du bâtiment : exemple ci-contre de la maison "Mozart" : cette fonctionnalité est opérationnelle.

Les données géométriques correspondent à des polygones associés aux différentes surfaces du bâtiment

Ce même fichier peut être lu plusieurs fois, avec chaque fois un positionnement différent de la maison.

Les figures suivantes présentent ainsi à gauche la lecture d'un seul fichier "Mozart" et à droite les lectures successives du même fichier, avec un positionnement différent. Pour ce dernier cas, le calcul reste bien évidemment possible, quel que soit le nombre de maisons saisi.

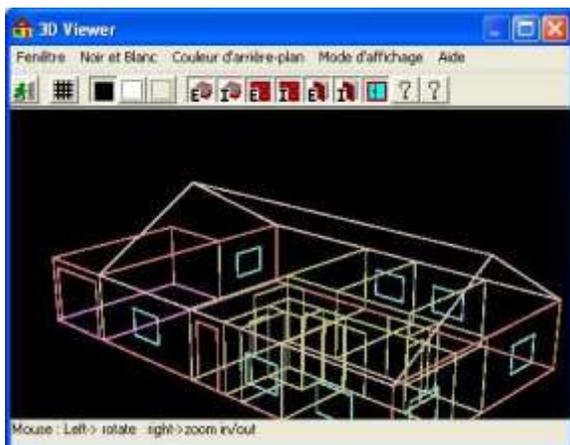


Fig. 5 : écran 3D de la maison "Mozart"

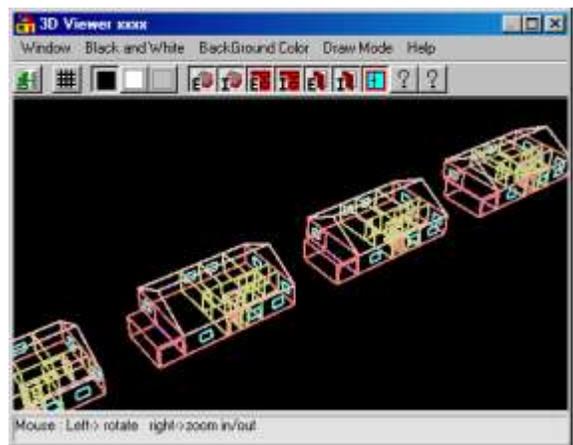


Fig. 6 : écran 3D de de plusieurs maisons "Mozart"

III – 3 – LE CONFORT THERMIQUE

Une méthodologie de définition du confort thermique est déjà développée. Elle consiste à utiliser la notation de FANGER (PMV et PPD) pour caractériser le confort d'un bâtiment, en supposant un certain type d'habitants et un comportement adaptatif.

III – 4 – L'EXPORTATION DE DONNEES D'UN CAS DE CALCUL KOZIBU

Cette fonctionnalité permet la définition de fichiers de scripts à partir des données d'un cas de calcul KoZiBu.

Elle est déjà développée et est en phase de test final.

III – 5 – LA SIMULATION DYNAMIQUE 1D D'UNE PAROI

Un outil spécifique a été développé pour la simulation thermique dynamique d'une paroi.

Cet outil fonctionne à partir d'une saisie de données identiques à celle de KoZiBu (la structure de données et les écrans des matériaux, parois, profils, etc., sont les mêmes).

L'écran principal (cf. figure suivante) permet d'accéder aux données du cas de calcul à l'aide des mêmes écrans que KoZiBu.

A noter que les menus et libellés peuvent être affichés en anglais ou en français (d'autres langues sont prévues mais non implémentées).

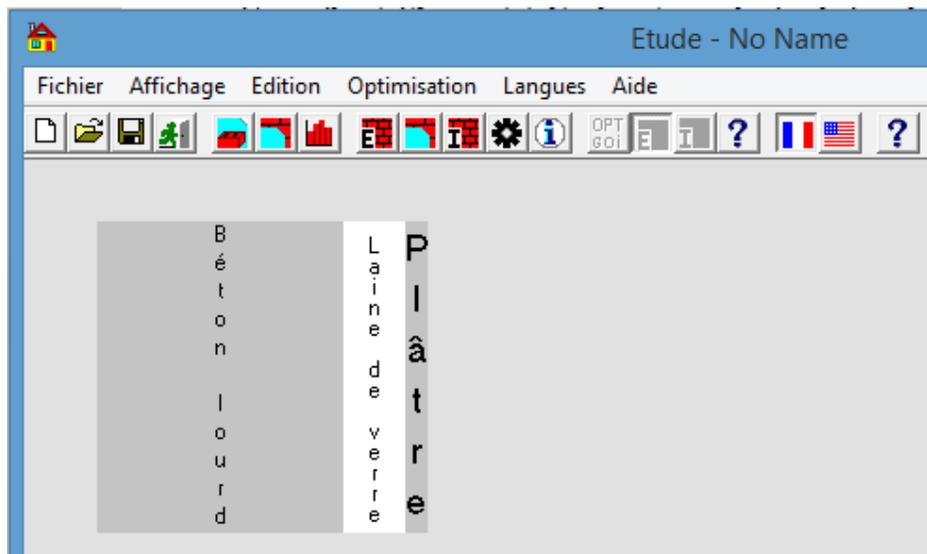


Fig. 7 : écran de présentation des données de l'outil de simulation 1D d'une paroi

L'écran suivant présente sur le graphe de gauche l'évolution des 2 températures de surfaces (en rouge et bleu) d'une paroi, et sur le graphe de droite l'évolution des flux sur ces deux surfaces.

Les deux blocs en bas et à droite donnent les résultats de calcul à chaque temps. Le bloc de boutons en bas et à gauche pilote l'évolution du calcul, que ce soit en continu ou en pas à pas.

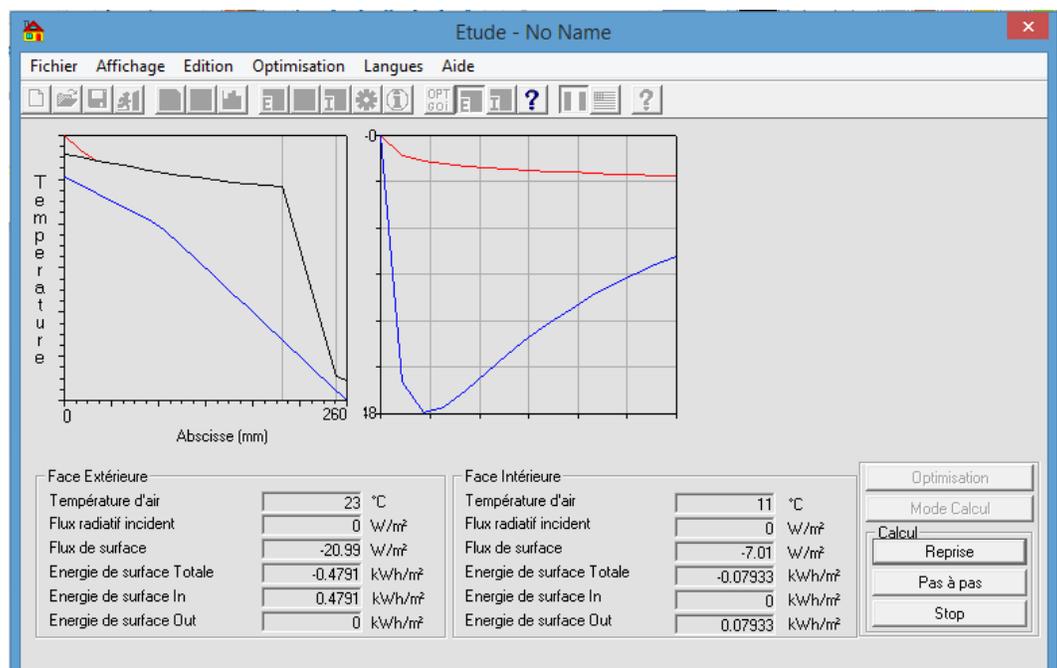


Fig. 8 : écran de calcul de l'outil de simulation 1D d'une paroi

III – 6 – L'UTILITAIRE KOZIBOX

Cet utilitaire correspond en fait à un outil indépendant, pouvant être utilisé comme un logiciel à part entière.

Le logiciel KoZiBox est un outil existant, devant être prochainement associé au logiciel KoZiBu en vue de définir rapidement un cas de calcul mono-zone : l'objectif est de réaliser automatiquement un cas de calcul par sélection d'éléments de bâtiment présents dans des bibliothèques.

KoZiBox permet de saisir en quelques clics la géométrie d'un bâtiment composée d'une seule zone thermique. Son écran principal est composé principalement de listes déroulantes, présentant un choix limité mais exhaustif d'éléments de l'enveloppe, de régulations (chauffage/climatisation/ventilation) et de météo.

Une option d'exportation permet de générer un fichier lisible par KoZiBu.

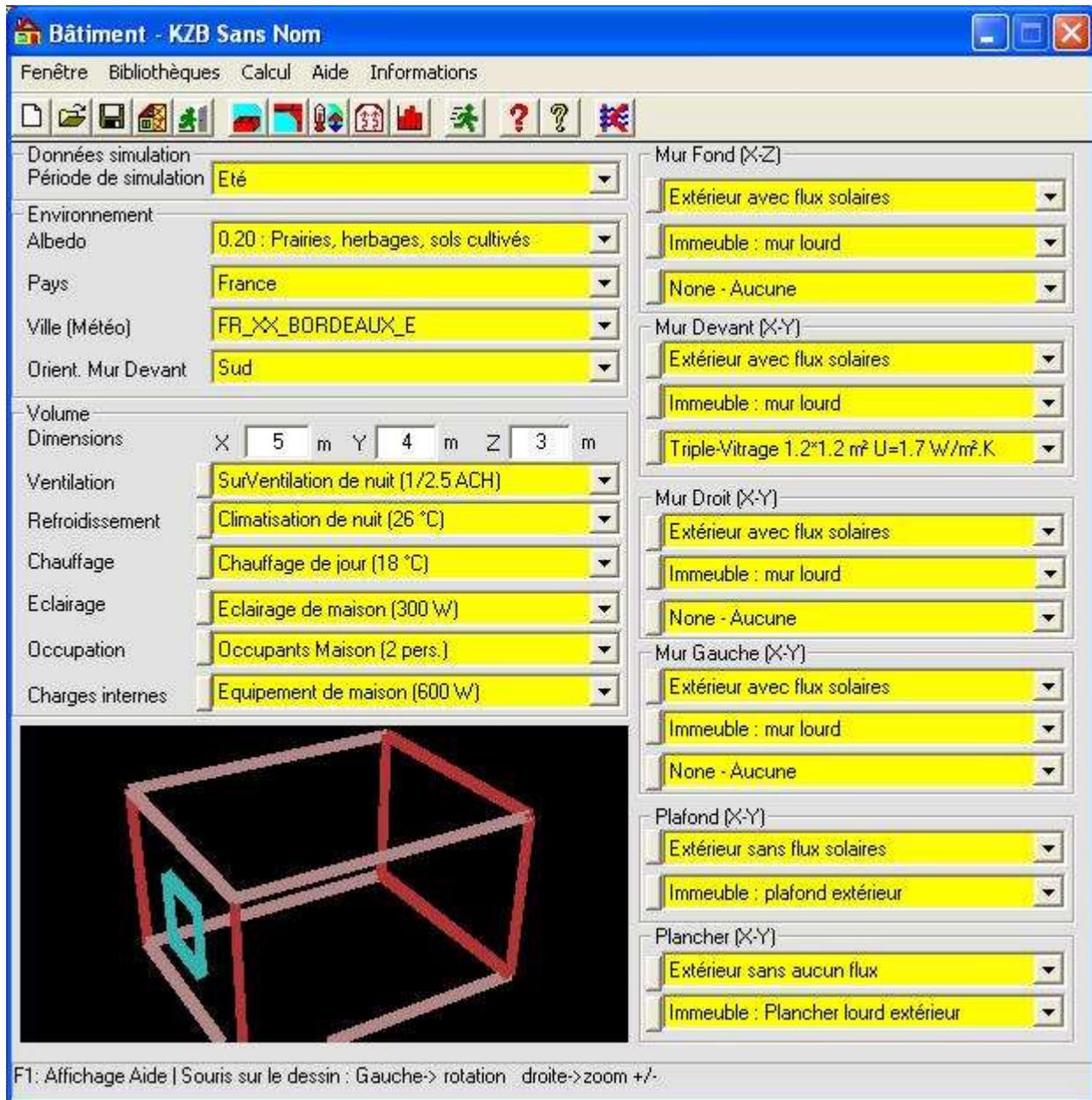


Fig. 9 : écran de génération d'une géométrie spécifique avec le logiciel KoZiBox

Très rapidement, la fonctionnalité d'exportation vers un modèle de bâtiment Modelica sera ajoutée à cet outil (intégrée pour l'instant dans le prototype KoZiBat).

IV – FONCTIONNALITES EN COURS DE PROTOTYPAGE

IV – 1 – L'UTILITAIRE KOZIBAT

IV – 1 – 1 – PRESENTATION

Cet utilitaire est destiné à la saisie rapide d'immeuble possédant une certaine répétition structurelle.

Il fonctionne comme l'outil KoZiBox, à la différence près qu'il permet une saisie multi-zones.

Une fonctionnalité d'exportation en cours de développement permet de générer un fichier "modèle" Modelica, qui peut être ouvert directement dans OpenModelica.

IV – 1 – 2 – FONCTIONNALITES

Cet outil possède 2 écrans principaux, l'un pour la saisie dimensionnelle de la géométrie et l'autre la gestion de la régulation des zones thermiques et du bâtiment dans son ensemble.

La saisie dimensionnelle se fait sur l'écran ci-dessous.

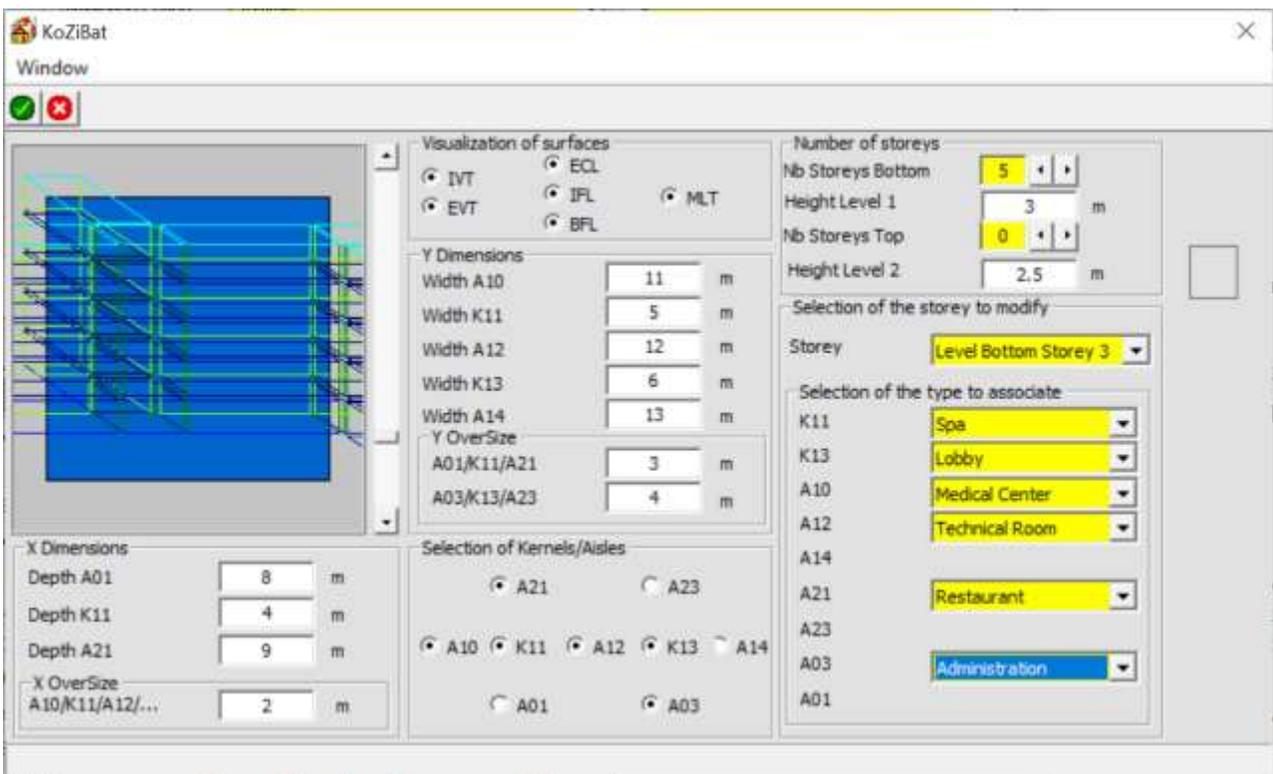


Fig. 10 : écran de saisie dimensionnelle de la géométrie

Il est possible de composer un plan 1D à partir des 9 formes prédéfinies (une autre configuration demanderait un peu de développement), de choisir le nombre d'étages, de sélectionner l'usage des formes retenues à partir d'une liste qui renvoie à une bibliothèque.

La saisie de la régulation des zones thermiques et du bâtiment dans son ensemble se fait sur l'écran ci-contre.

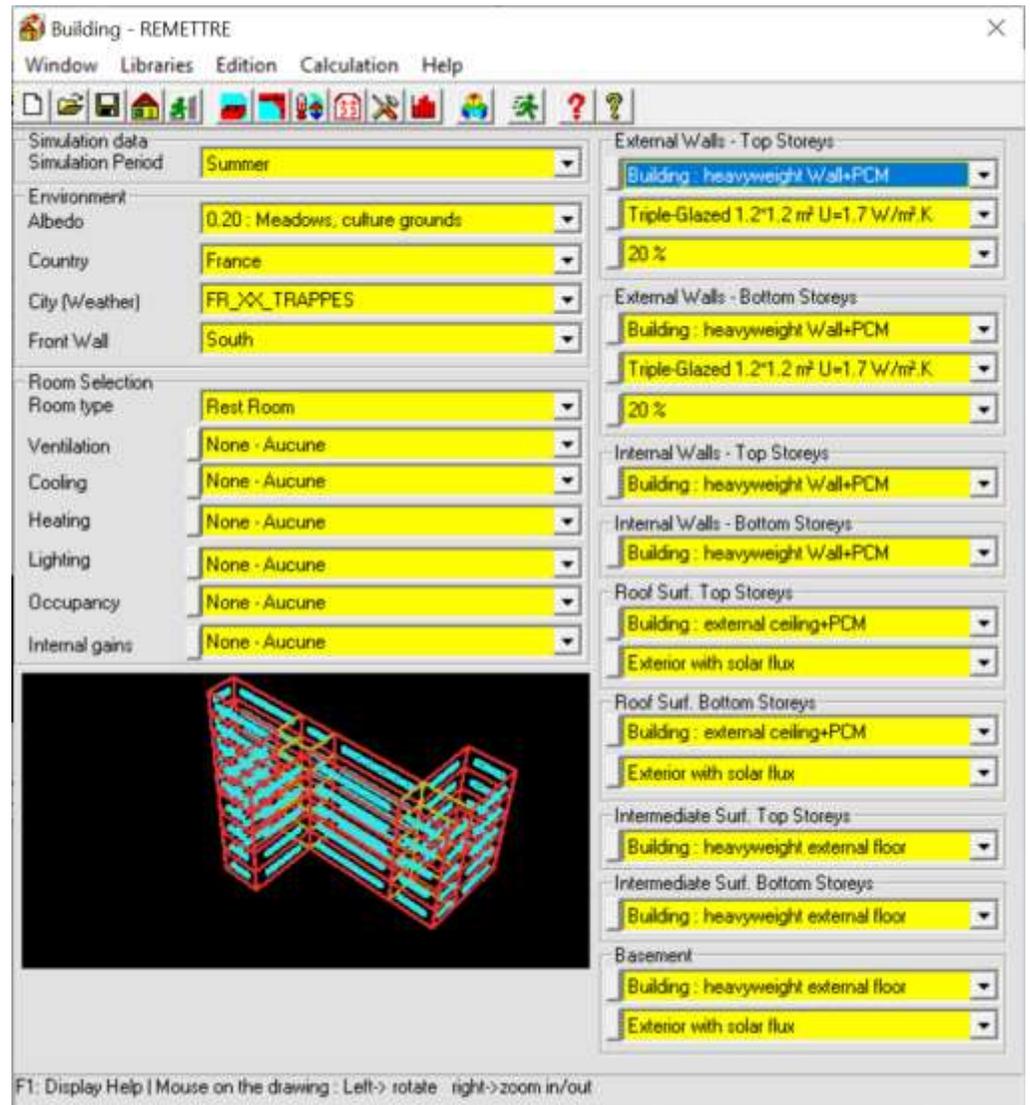


Fig. 11 : écran de gestion de la régulation des zones thermiques et du bâtiment dans son ensemble

L'outil KoZiBu possède une version "prototype" qui permet une manipulation à la fois des données 3D et des données usuelles de calcul, comme illustré sur la figure suivante.

La version prototype de KoZiBu permet de faire afficher les données à la fois sous forme de liste (comme la version de base) et également sous forme 3D.

La simulation est ensuite lancée comme avec la version de base.

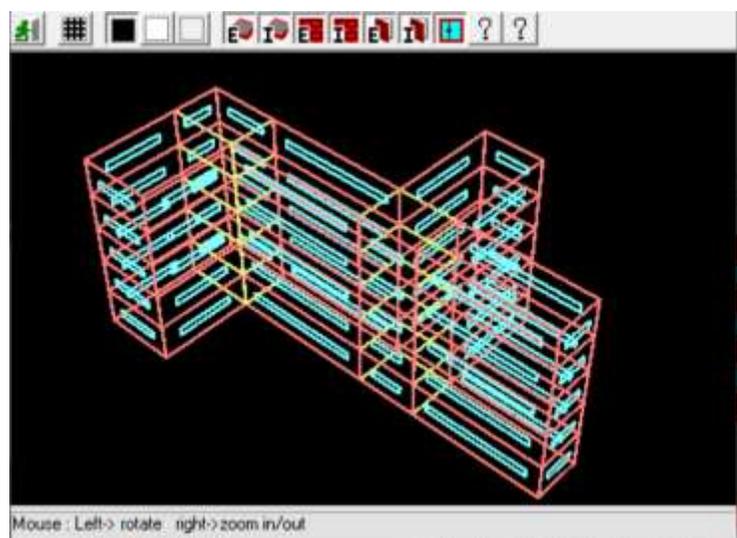


Fig. 12 : vue 3D "KoZiBu" de l'exportation créée par KoZiBat

IV – 2 – L'UTILISATION DU NOYAU DE CALCUL COMME BOITE NOIRE

Dans KoZiBu, le noyau de calcul est distinct de l'interface graphique. D'ailleurs les tests de validation sont effectués par boucle de ce noyau sur un ensemble de cas de tests, mis au point tout au long des développements.

L'écran ci-contre est celui de l'outil CoSiTool, développé pour la société LAFARGE, visant à mettre en avant l'effet de l'inertie, et donc du béton, dans le confort thermique.

Cet écran permet la saisie, et la définition d'un fichier d'échange contenant des commandes de pilotage du noyau de calcul pour l'exécution des calculs paramétriques à partir du noyau de calcul.

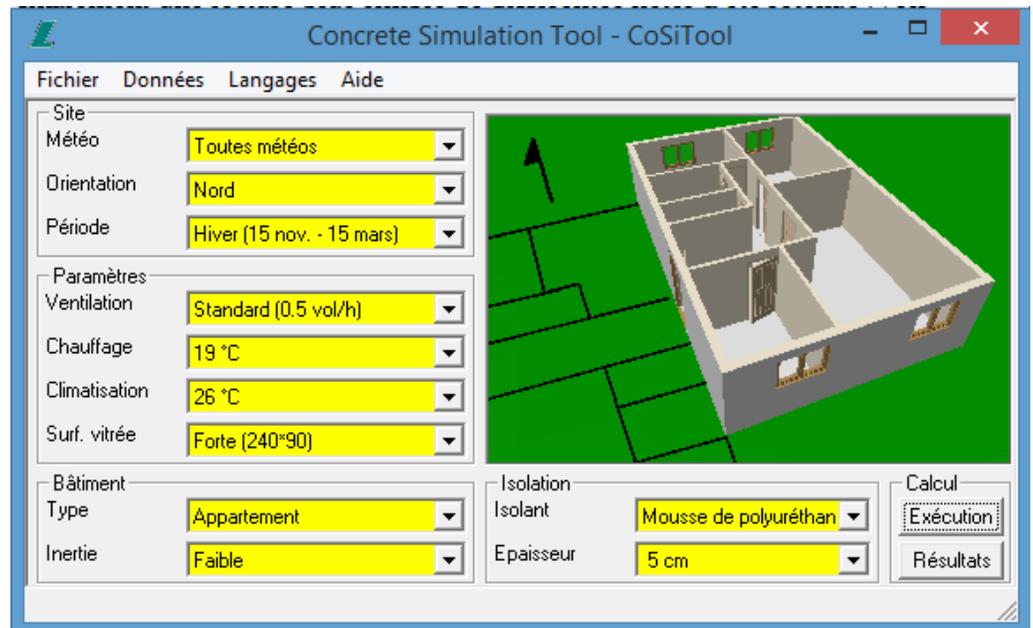


Fig. 13 : écran de saisie de l'outil CoSiTool

L'exécution du noyau de calcul se fait dans une fenêtre DOS, mais peut également se faire de façon invisible en arrière-plan.

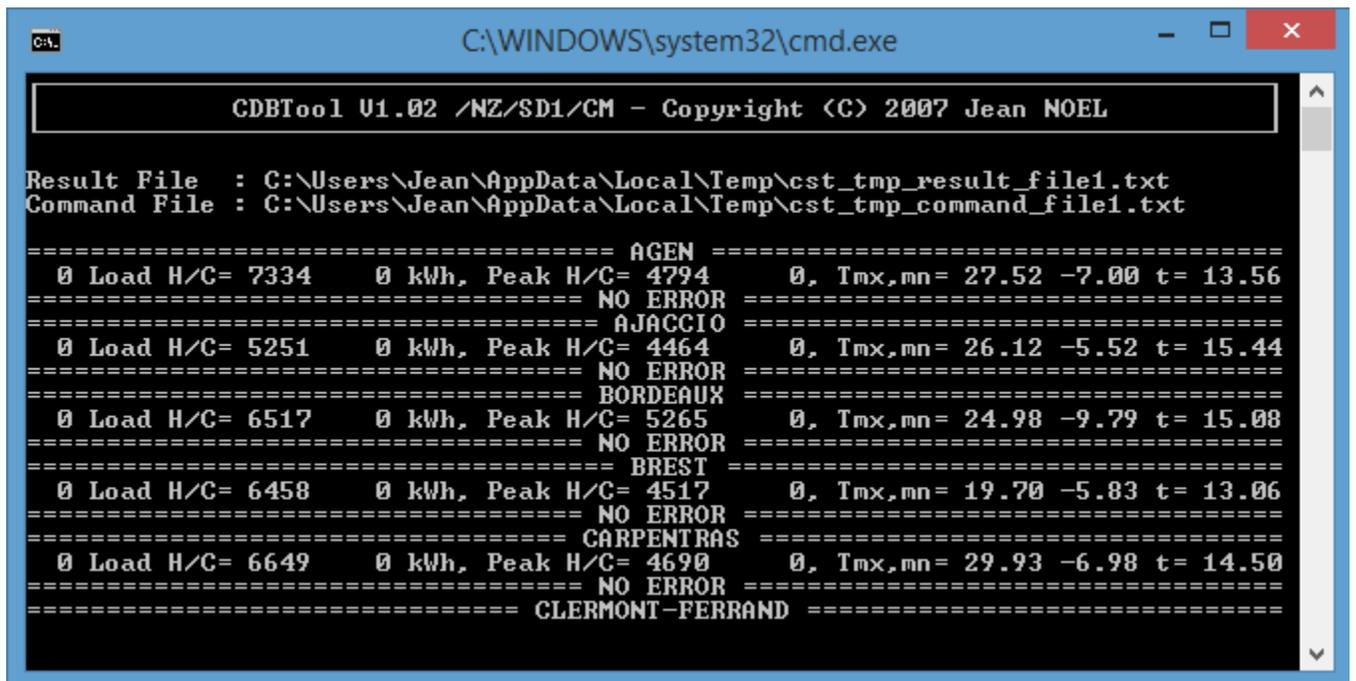


Fig. 14 : écran DOS de l'exécution du noyau de calcul de l'outil CoSiTool

IV – 3 – LE PROTOTYPE « SKED »

Le prototype SKED est la première version d'un outil de dessin permettant de générer un squelette de plan 2D.

L'objectif est dessiner en 2D un ensemble de figures géométriques ou de lignes.

Ensuite, à partir de ces lignes, un algorithme dédié définit le contour du bâtiment et des pièces intérieures.

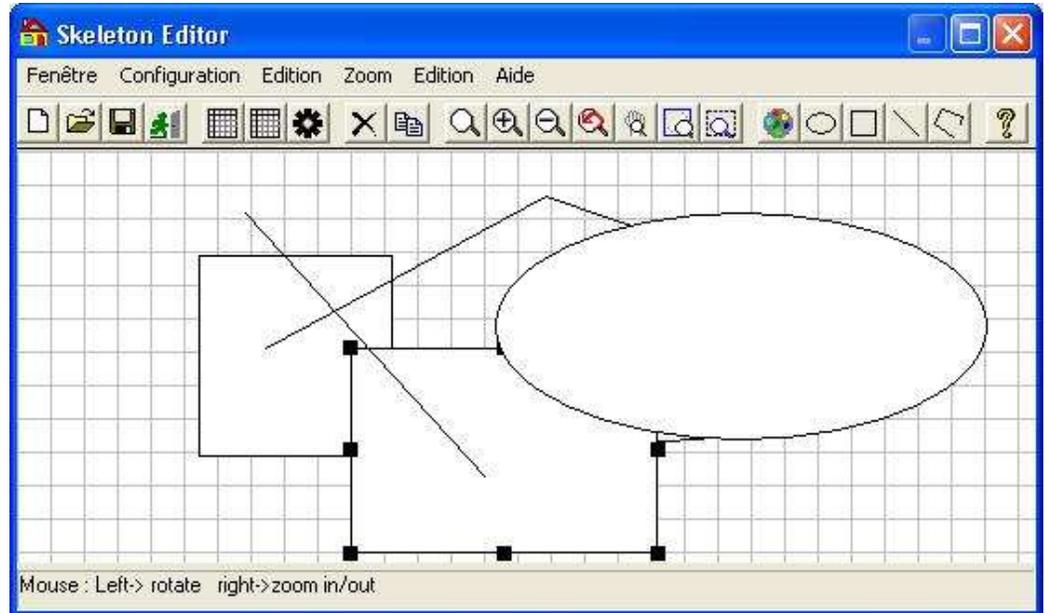


Fig. 15 : écran du prototype de logiciel de dessin Sked

Les données générées permettent d'alimenter un fichier de scripts en données géométriques.

Ensuite, le bâtiment sera généré par une élévation.

IV – 4 – LES MODELES DE SYSTEMES

Une intégration de modèles de systèmes plus complets est également à l'étude, avec l'aide du CETIAT.

Le CETIAT (« Centre Techniques des Industries Aérauliques et Thermiques », cf. cetiatiat.com) développe des modèles de systèmes CVC tels que capteur solaire, pompe à chaleur, chaudière, ballon ECS ([ECS]), etc.

Les modèles utilisés sont très performants et leur développement fait appel à la Conception Orientée Objet, avec des méthodes numériques proches de celles de KoZiBu, ce qui permettrait leur intégration rapide.

Cette intégration est possible, mais n'en est actuellement qu'au stade de l'étude de faisabilité (en cours).

V – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

KoZiBu est un outil rodé et fiable. Son noyau de calcul lui permet d'effectuer des calculs thermiques précis et de façon rapide, en thermique et en hygrométrie. Il peut traiter des bâtiments de taille quelconque.

Ses points faibles restent la saisie des données, car à plus long terme cette saisie doit être réalisée à l'aide d'outil de type CAO. Dans l'immédiat sont réalisés des utilitaires de saisie de données usuelles et géométriques.

En parallèle est développée une méthodologie permettant d'effectuer des calculs en boucle, et donc d'optimisation paramétriques à partir du noyau de calcul.

VI – RÉFÉRENCES

- [1] T. Maquenhem (CTICM), S. HERBIN (CTICM), Cécile Hurel (FCBA), F. Vial (CETIAT), R. Casaliggi (CETIAT), R. Matray (CETIAT), A. Lapouge (CERIB), F. Thiou (CERIB), C. Vinot (CERIB), "Etude énergétique et environnementale des bâtiments industriels - Projet Batindus 2", Rapport ADEME, 2019.
- [2] F. Uciu, T. Catalina, A. Vartires and I. Colda, "Impact of nocturnal natural ventilation on the energy consumption of buildings", *Mathematical Modelling in Civil Engineering*, Vol. 13-No. 2, pp. 17-26, 2017.
- [3] F. Eddiba, M. A. Lamrani and S. A. Bouyahiab, "TRNSYS validation of a study on building's energetic evaluation in north of Morocco", *Energy Procedia* 139 (2017) 334–339.
- [4] A. Y. Diesse, D. Ntamck and T. T. Tatietsé, "Modelling of energy consumptions in residential buildings : case of construction materials in the equatorial and tropical zones", *International Journal of Mechanical Engineering Research and Development (IJMERD)* Volume 6, Issue 1, January-April 2017, pp. 01-18)
- [5] S. Kachkouch et B. Benhamou, "Performances énergétiques d'un espace bureau type open-space situé au nord du Maroc", 3ème Congrès de l'Association Marocaine de Thermique, Agadir (Maroc) 21-22 Avril 2014
- [6] "Changement de phase - Des matériaux à échelle microscopique", *Dossier NanoTechnologie, Les cahiers techniques du bâtiment*, n° 323 avril 2013.
- [7] S. Fezzai, A. Ahriz et D. Alkama, "Evaluation des performances énergétiques de l'habitat traditionnel dans la région de SOUF", XXXème Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012.
- [ACB] 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>
- [BR] Noël J. (2004) « CoDyBa, BESTEST Qualification », *JNLOG Report 0401*.
http://www.jnlog.com/pdf/codyba_bestest.pdf
- [ECS] J. Noël, J. Heintz et M. Albaric, « Modélisation, implémentation et validation d'un modèle général de ballon ECS », Conférence IBPSA France 2010, Moret-sur-Loing, 9-10 novembre 2010
- [EDF] 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
- [EMPA] data EMPA, www.empa.ch/ieatask34
- [JUD1] BESTEST Report
"International Energy Agency Building energy Simulation Test (BESTET) and diagnostic Method."
JUDKOFF, R., and NEYMARK J.
NREL/TP-472-6231, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
<http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/6231.pdf>
- [JUD2] 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.
- [IEP] www.empa.ch/ieatask34

- [JN0403] Noël J. (2004) « CoDyBa, Tests Paramétriques sur bâtiments de Taille Réelle», *JNLOG Report 0403*. http://www.jnlog.com/pdf/codyba_samples_report_fr.pdf
- [JN0402] 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
- [KLB] Noël J. (2003) « KaLiBat», <http://www.jnlog.com/kalibat1.htm>
- [LAL] C. LALLEMAND, "Les Feux Confinés Les codes à zones", Ecole thématique du CNRS sur la Science des Incendies et ses Applications, Porticcio (Corse), 30/05–04/062015
- [MANZ] "Series of experiments for empirical validation of solar gain modelling in building energy simulation codes - Experimental setup, test cell characterization, specifications and uncertainty analysis.", MANZ H., LOUTZENHISER P., FRANCK T., STRACHAN P.A., BUNDI R., MAXWELL G, Submitted to Building and Environment (February 2005)
- [NL] 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
- [RAI1] J. Noël, S. Le Vilain et P. Comien, « Logiciel RAIMANTA pour la simulation des abris militaires », Conférence IBPSA France 2010, Moret-sur-Loing, 9-10 novembre 2010
- [RAI2] J. Noël, S. Le Vilain et P. Comien, « Développement d'un logiciel de modélisation thermique des abris militaires clos pour la prédiction des températures induites par la météorologie extérieure », Conférence ASTELAB - Salon Mesurexpo, Paris-Villepinte 8 octobre 2009
- [ROUX] Roux J.-J. (1984) « Proposition de modèles simplifiés pour l'étude du comportement thermique des bâtiments», Thèse de doctorat, INSA de Lyon.

ANNEXE A : DETAIL DE LA MODELISATION PHYSIQUE

A – LES EQUATIONS

A - 1 - LES BILANS ENERGETIQUES

Les équations de bilan font intervenir des échanges au niveau de l'enveloppe du bâtiment. En ce qui concerne le rayonnement, on distingue les échanges dans les grandes longueurs d'onde (GLO, domaine de l'infrarouge) des échanges courtes longueur d'onde (CLO, domaine du visible), qui relèvent de mécanismes tout à fait différents.

La figure A1 présente schématiquement les différents mécanismes d'échanges par convection et par rayonnement CLO et GLO entre les surfaces extérieures d'un bâtiment et l'environnement extérieur.

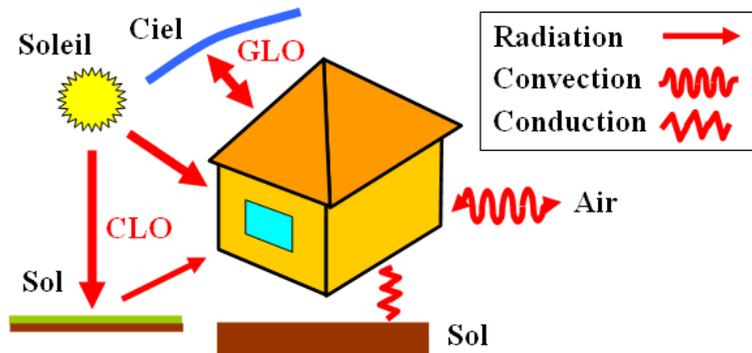


Fig. A1 : schématisation des flux d'échange extérieurs

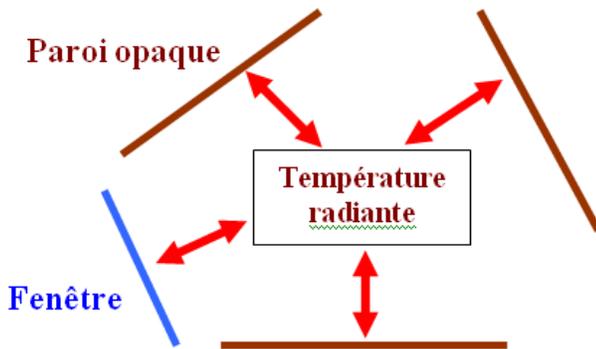


Fig. A2 : flux GLO dans un volume d'air

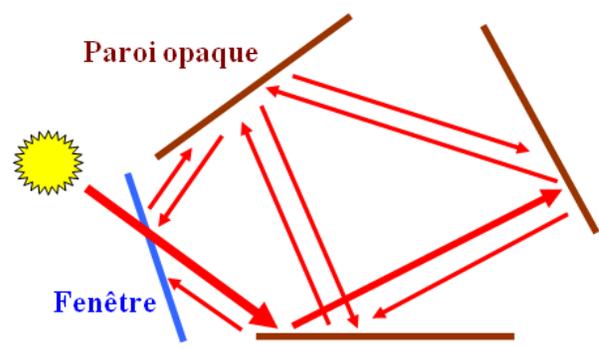


Fig. A3 : flux CLO dans un volume d'air

La figure A2 présente la modélisation des transferts GLO, qui sont pris en compte par le biais d'une température radiante, et qui permet de traiter ces flux de la même façon que les transferts conductifs entre l'air et les parois.

La figure A3 schématise les mécanismes de réflexion/absorption du rayonnement CLO dans un local. Le rayonnement CLO pénètre par une surface vitrée, et subit une succession de réflexions et d'absorptions par les différentes parois. Le rayonnement CLO peut également être produit en plus petite quantité par une source interne de chauffage. Ce processus de réflexions/absorptions est rendu par un calcul matriciel.

A - 2 – LE MODELE DE VOLUME D'AIR

A un volume d'air sont associées les variables de température d'air et de température radiante (moyenne des températures surfaciques des parois).

Le sol correspond à un « volume d'air » rempli de « terre », échangeant thermiquement par conduction avec la face inférieure d'un plancher.

A – 3 – LE MODELE DE PAROI « 1R2C »

Pour les transferts conductifs dans les parois, le modèle "1R2C" est utilisé ("1 Résistance - 2 Capacités", [ROUX]).

La modélisation des transferts conductifs en régime variable dans les parois opaques est obtenue en raisonnant sur les bilans énergétiques.

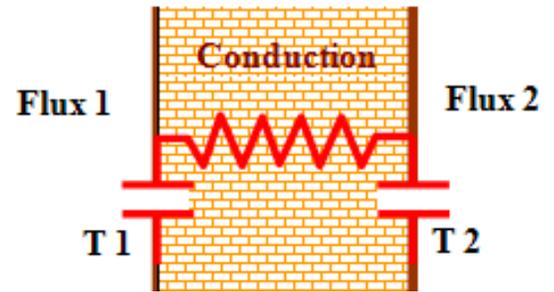


Fig. A4 : modèle analogique d'une paroi

A – 4 – METHODE NUMERIQUE

L'ensemble des équations conduit à un système matriciel dont la résolution se fait par une méthode itérative unique (Jacobi). Cette méthode itérative permet de s'affranchir de la taille du système : KoZiBu peut ainsi traiter un nombre quelconque de volumes d'air et de parois.

Par exemple, une étude thermique effectuée sur un hôpital a pris en compte 100 volumes d'air.

L'intérêt de pouvoir traiter un grand nombre d'éléments est que l'on n'a pas besoin de définir un zonage thermique (regroupement des pièces au comportement identique). L'utilisateur n'a pas ainsi à intervenir et l'on peut facilement envisager de réaliser directement un calcul à partir d'une saisie de type CAO (voir Annexe C).

ANNEXE B : LES VALIDATIONS DU LOGICIEL

B - 1 – LES BESTEST

KoZiBu passe avec succès les tests du benchmark BESTEST ([JUD1], [JUD2]), mis au point par l'Agence Internationale de l'Energie, et devenu ensuite le standard ANSI/ASHRAE Standard 140-2001. Véritable référence pour l'élaboration de programmes de simulation énergétique, ce benchmark est le plus précis et le plus fiable qui existe actuellement.

Il s'agit d'une procédure de tests comparatifs pour les simulations thermiques appliquées à l'enveloppe du bâtiment. Ces tests emboîtés permettent l'évaluation d'une série d'éléments, y compris la masse thermique, les gains solaires des fenêtres, les masques solaires, les sources internes, l'infiltration, le contrôle par thermostat programmable. Les tests sont conçus pour permettre un diagnostic en cas de détection d'un problème. Ces tests commencent avec une structure de base, qui est complétée par l'ajout de fenêtres, d'ombrages extérieurs, ou en modifiant les matériaux des murs, etc.

Ainsi KoZiBu peut simuler les performances des 155 géométries du benchmark ([BR]), et dans presque tous les cas est en accord avec les résultats des programmes de référence.

B - 2 – LA CELLULE DE L'EMPA

La figure suivante compare les résultats obtenus par KoZiBu avec les résultats expérimentaux obtenus par l'EMPA ([MANZ], [IEP]) dans le cadre de la mise au point de cas de validation pour l'Agence Internationale de l'Energie.

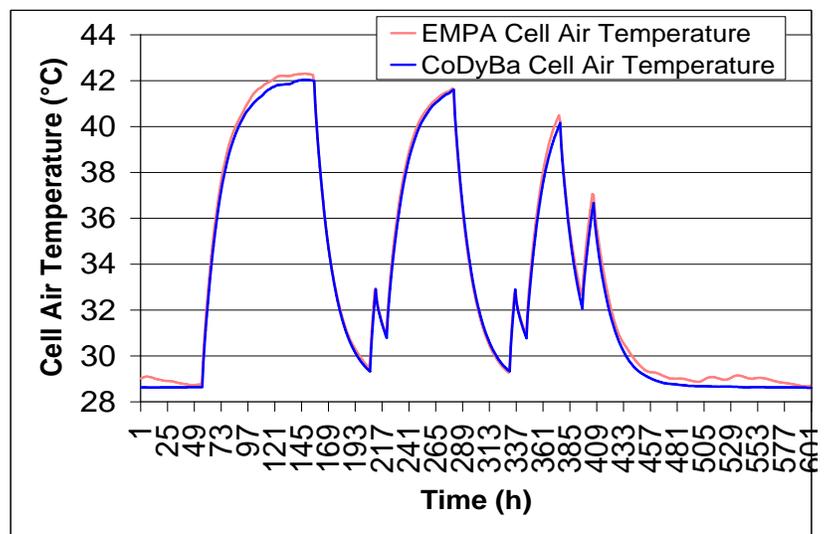


Fig. B1 : comparaison des résultats KoZiBu et expérimentaux EMPA

B - 3 – VALIDATION DANS LE CADRE DU PROJET « RAIMANTA »

En 2009, dans le cadre du projet « RAIMANTA » pour le laboratoire LRBA de la DGA (Laboratoire de Recherches Balistiques et Aérodynamiques), des comparaisons entre résultats de calcul KoZiBu et mesures expérimentales ont été effectués, à la fois sur des structures « lourdes » (« hangarettes ») et sur des structures « légères » (« container »).

Les figures suivantes présentent les comparaisons pour les structures « lourdes » (pour les « légères », se reporter aux références [RAI1] et [RAI2]).

La figure B2 présente les températures intérieures calculée et mesurée dans une hangarrette (abri anti-aérien en béton), pour la période du 29 septembre 2003 au 13 juin 2004.

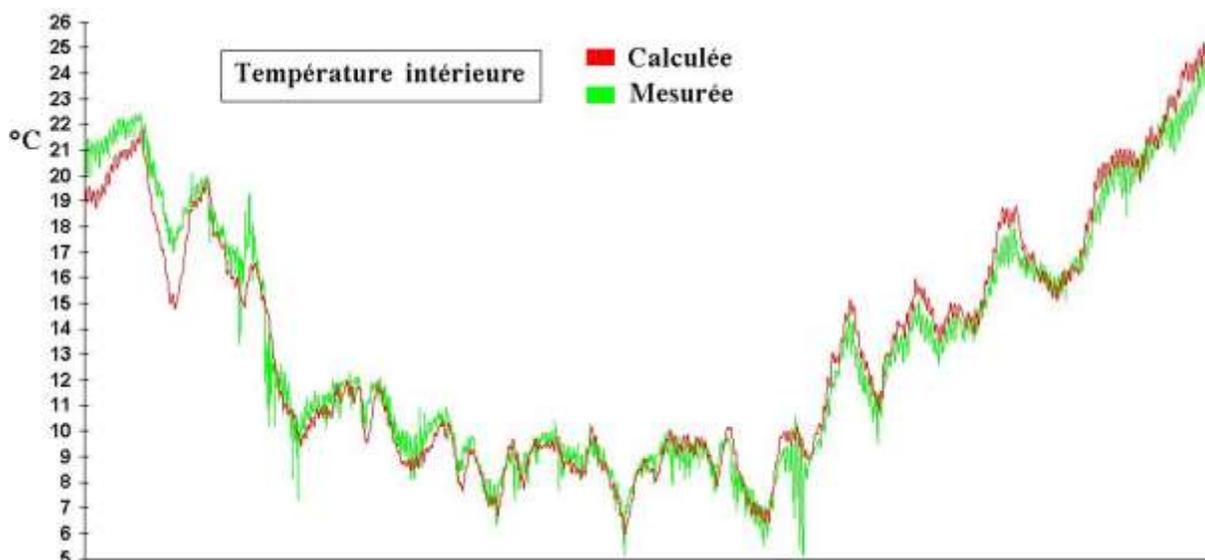


Fig. B2 : températures intérieures calculée et mesurée pour l'hangarrette

La moyenne des écarts calcul/mesure est de $0,03^{\circ}\text{C}$ et l'écart-type sur ces écarts est de $0,89^{\circ}\text{C}$.

La figure B3 présente les fréquences de températures calculées et mesurées. En abscisse figurent les classes de températures et en ordonnée le nombre d'heures pour lesquelles ces températures sont observées.

On constate globalement une prédiction satisfaisante des fréquences.

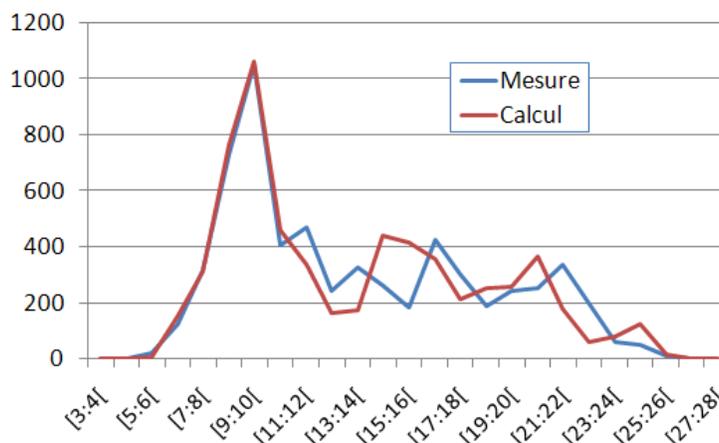


Fig. B3 : relation entre nombre d'heures et intervalle de températures pour l'hangarrette

Page suivante, les figures B4 et B5 présentent les températures extérieures des facettes « basses » côté Nord et Sud, et la figure B6 la température intérieure côté Sud (29/9/2003 au 13/6/2004).

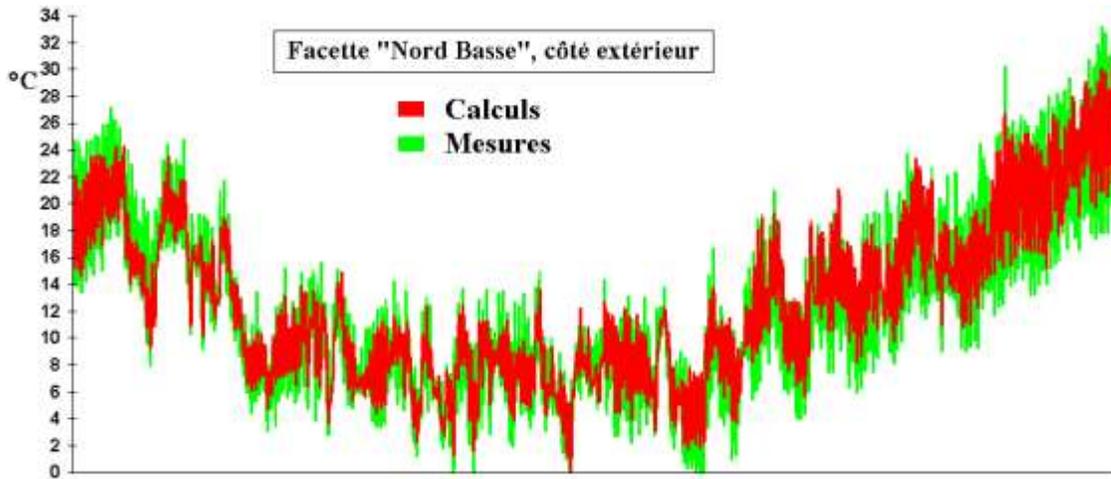


Figure B4 : températures de surface extérieure de la facette Nord Basse de l'hangar

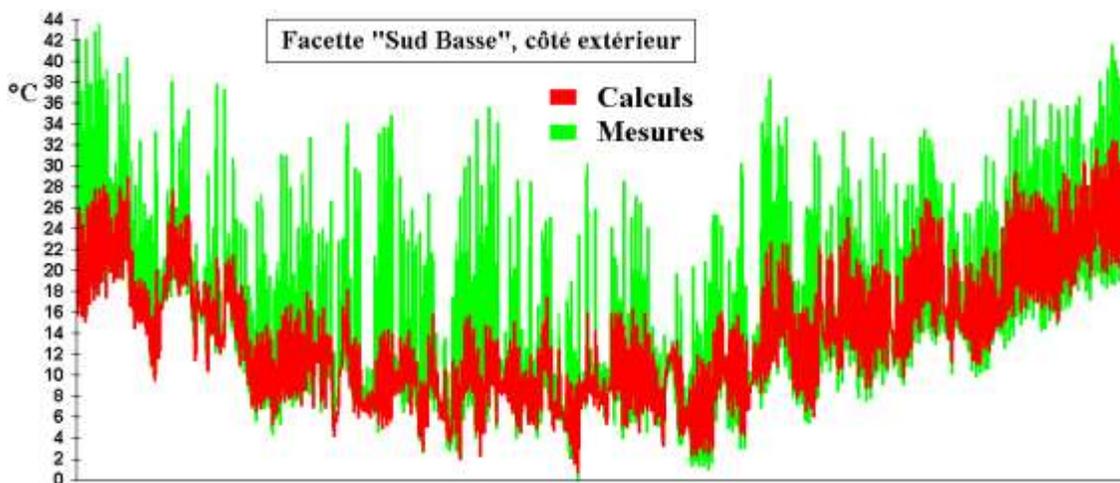


Figure B5 : températures de surface extérieure de la facette Sud Basse de l'hangar

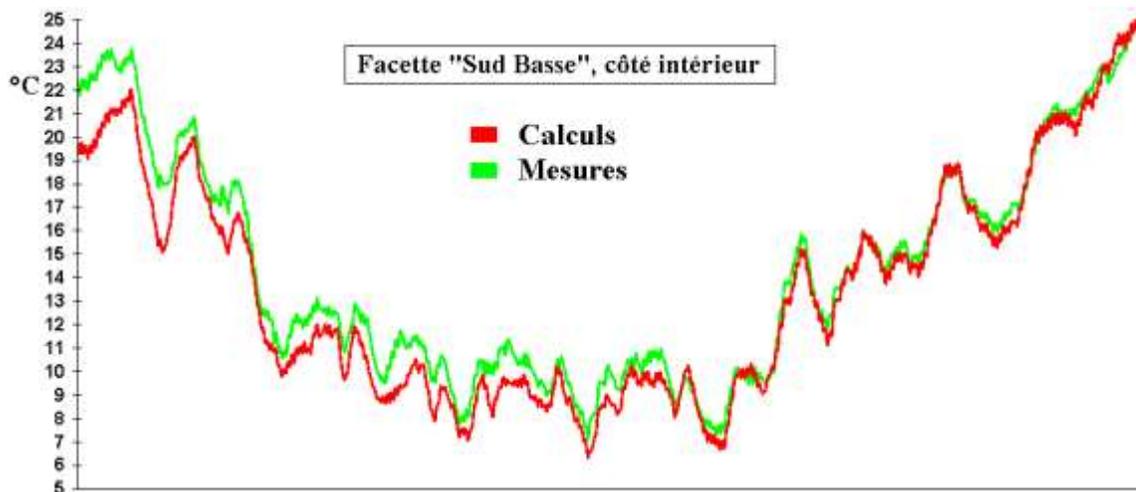


Figure B6 : températures de surface intérieure de la facette Sud Basse de l'hangar

Les températures sont bien prédites pour les côtés intérieurs, et une moins bonne pour les côtés extérieurs, en particulier pour le côté Sud qui reçoit le plus de soleil. Cela est dû à la « rusticité » du modèle de paroi «1R2C», qui ne peut suivre des variations horaires, compte tenu de la forte épaisseur et de l'inertie de la paroi.

ANNEXE C : PERSPECTIVES DE SAISIE AUTOMATISEE DES DONNEES

Actuellement la saisie des données se fait à l'aide de l'interface graphique et il est nécessaire d'introduire les éléments un par un. Il s'agit clairement d'un frein à l'utilisation du logiciel.

C'est pourquoi une série de prototypes a été développée pour permettre à long terme une saisie automatisée des données. Dans le cadre du projet NBDM financé par l'ADEME, un langage de commande « NFMT » (« Neutral Format ») a ainsi été testé pour la définition de bâtiment intégrant des données géométriques. Il fonctionne, mais son usage s'est révélé trop complexe, et finalement une lecture plus simple de différentes listes a été retenue (voir paragraphe II).

C – 1 – LE PREMIER LANGAGE DE COMMANDES DE CODYBA / KOZIBU

Ces commandes (ou scripts) sont écrites dans un fichier texte, et un utilitaire les exécute et génère le fichier KoZiBu. De cette façon, une modification d'une donnée dans le fichier permet de reconstituer le bâtiment simplement et sans erreur.

Voici quelques exemples de commandes :

```
LET EPAISSEUR_160 = LENGTH(0.160)
LET BETON = MATERIAL(1.75;1000;2400)
LET LAY_BETON_16 = LAYER(BETON;EPAISSEUR_160)
LET SND_REF = SANDWICH(RVT_VRT_INT;LAY_BETON_16;RVT_VRT_INT)

SET BUILDING.CURRENT_ZONE = MOZ_MURS_REFENDS

LET SRF_MOZ_REF_SEJOUR_GARAGE = SURFACE(PROFONDEUR_MOZART_GARAGE;HAUTEUR_ETAGE)
LET PNL_MOZ_REF_SEJOUR_GARAGE = PANEL(SND_REF;SRF_MOZ_REF_SEJOUR_GARAGE)
ADD MOZ_REF_SEJOUR_GARAGE =
WALL(PNL_MOZ_REF_SEJOUR_GARAGE;DEFAULT_AZIMUTH;VERTICAL;MOZ_SEJOUR;MOZ_GARAGE)
```

Ces commandes permettent en outre d'ajouter une description 3D de la géométrie, que l'on peut visualiser dans KoZiBu (mode "fil de fer" pour l'instant). Mais pour des raisons de simplicité, on ne peut pas modifier la description 3D dans l'environnement KoZiBu : cela ne peut se faire qu'avec les commandes NFMT.

A noter que les données géométriques font maintenant partie intégrante du modèle de données de KoZiBu, mais restent absentes du modèle de données CoDyBa.

Les figures suivantes présentent la génération de la maison Mozart (selon la typologie du CSTB).



Fig. C1 : vue CAO de la maison Mozart

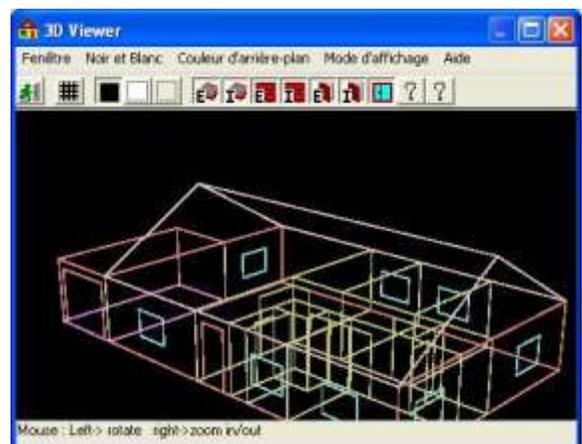


Fig. C2 : visualisation KoZiBu de la maison Mozart

C – 2 – LE FORMALISME « NBDM »

Le projet NBDM ("Neutral Building Data Model"), est un projet ancien (2008), soutenu par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et dirigé par le CSTB, avait pour objectif de définir un formalisme d'échange de données entre les logiciels TRNSYS, Comfie, ClimaWin et CoDyBa/KoZiBu.

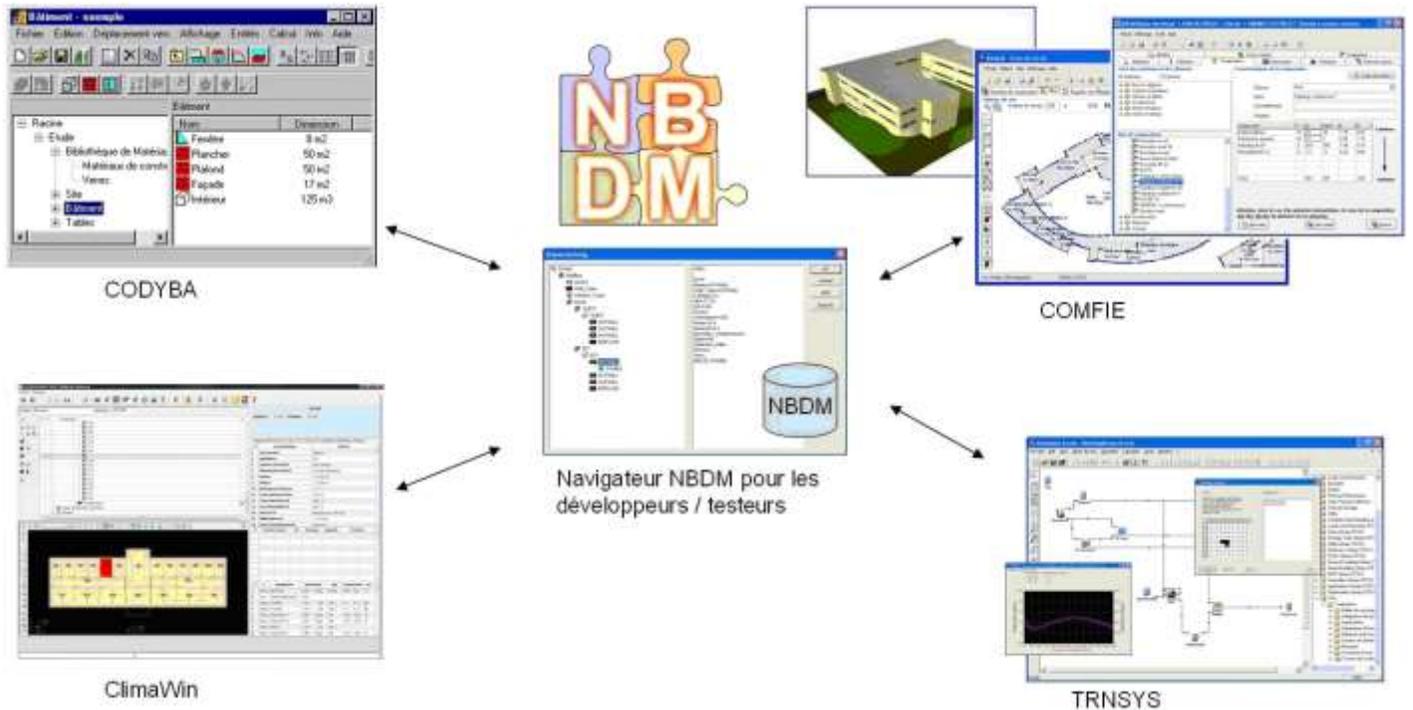


Fig. C3 : logiciels associés au projet NBDM (cf. nbdm.org)

Chacun de ces éditeurs a développé un prototype de conversion de données, mais une version complète et commerciale d'un convertisseur général n'a pu voir le jour.

Les fichiers d'échange utilisaient le langage XML.

Un exemple est donné ci-contre.

```
<Name>CoDyBa-NBDM Conversion</Name>
<Written_By>Convertir CoDyBa 6.50g : NBDM V1.07</Written_By>
- <Buildings>
  - <Building>
    <ID>1</ID>
    <Name>XML Building</Name>
  - <Layers>
    - <Layer>
      <ID>1</ID>
      <Name>CEN1</Name>
      <Conductivity>1.2</Conductivity>
      <Capacity>1000</Capacity>
      <Density>2000</Density>
    </Layer>
```

Pour CoDyBa/KoZiBu le convertisseur lit (ou écrit) un fichier NBDM (en XML) et en convertit les données dans le format NFMT. Ensuite c'est le convertisseur NFMT qui prend naturellement le relais.

C – 3 – APPLICATION DU FORMALISME « NBDM » AU LOGICIEL NOVA (PLANCAL)

Un prototype (CadFex) de relecture de données de CAO a été développé pour le logiciel NOVA.

A nouveau cette exportation se fait d'abord dans le langage NFMT, ensuite le convertisseur NFMT est utilisé.

Voici quelques exemples de géométries exportées par NOVA et visualisée à l'aide du prototype CadFex.

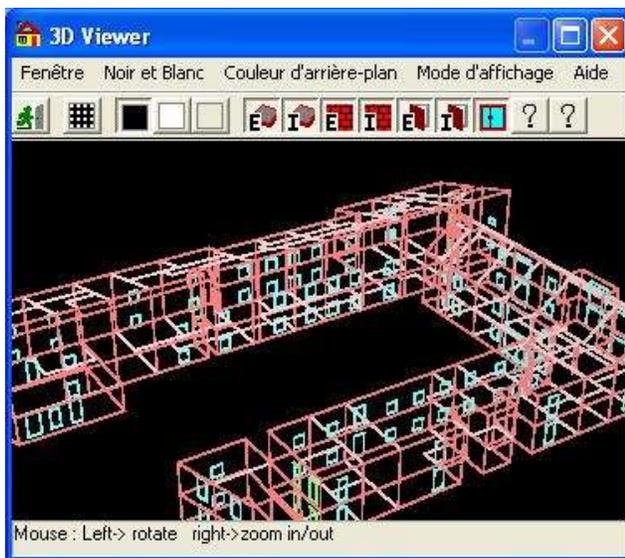


Fig. C4 : exportation NOVA n° 1

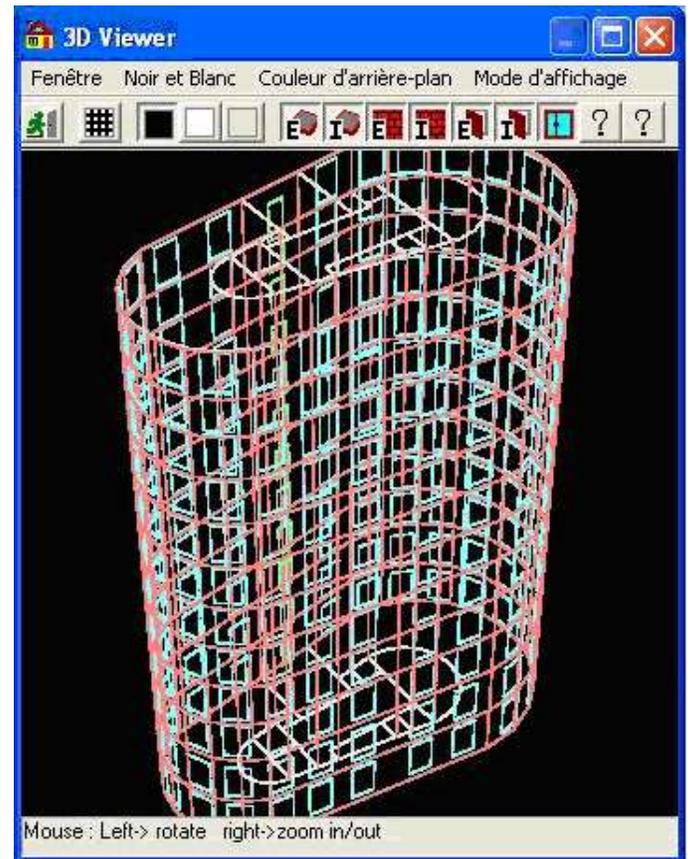


Fig. C5 : exportation NOVA n° 2

Ce prototype était très prometteur, mais n'a pu déboucher sur un produit commercial.

C - 4 – LA SAISIE DE GEOMETRIE SPECIFIQUE

Deux utilitaires ou logiciels ont été développés pour générer très rapidement des géométries spécifiques, à partir d'un jeu de données réduit.

L'exemple suivant de l'utilitaire RAIMANTA donne une idée des extensions réalisables rapidement.

L'utilitaire RAIMANTA ([RAI1], [RAI2]) a été développé pour la DGA de façon à saisir rapidement et sans erreur des géométries d'abris militaires, et en particulier des hangarettes, dôme de protection en béton



Fig. C6 : deux géométries-type traitées dans le projet RAIMANTA

La figure suivante présente l'écran principal de cet utilitaire : la géométrie est visualisée en 3D, après avoir été définie à partir de quelques paramètres.

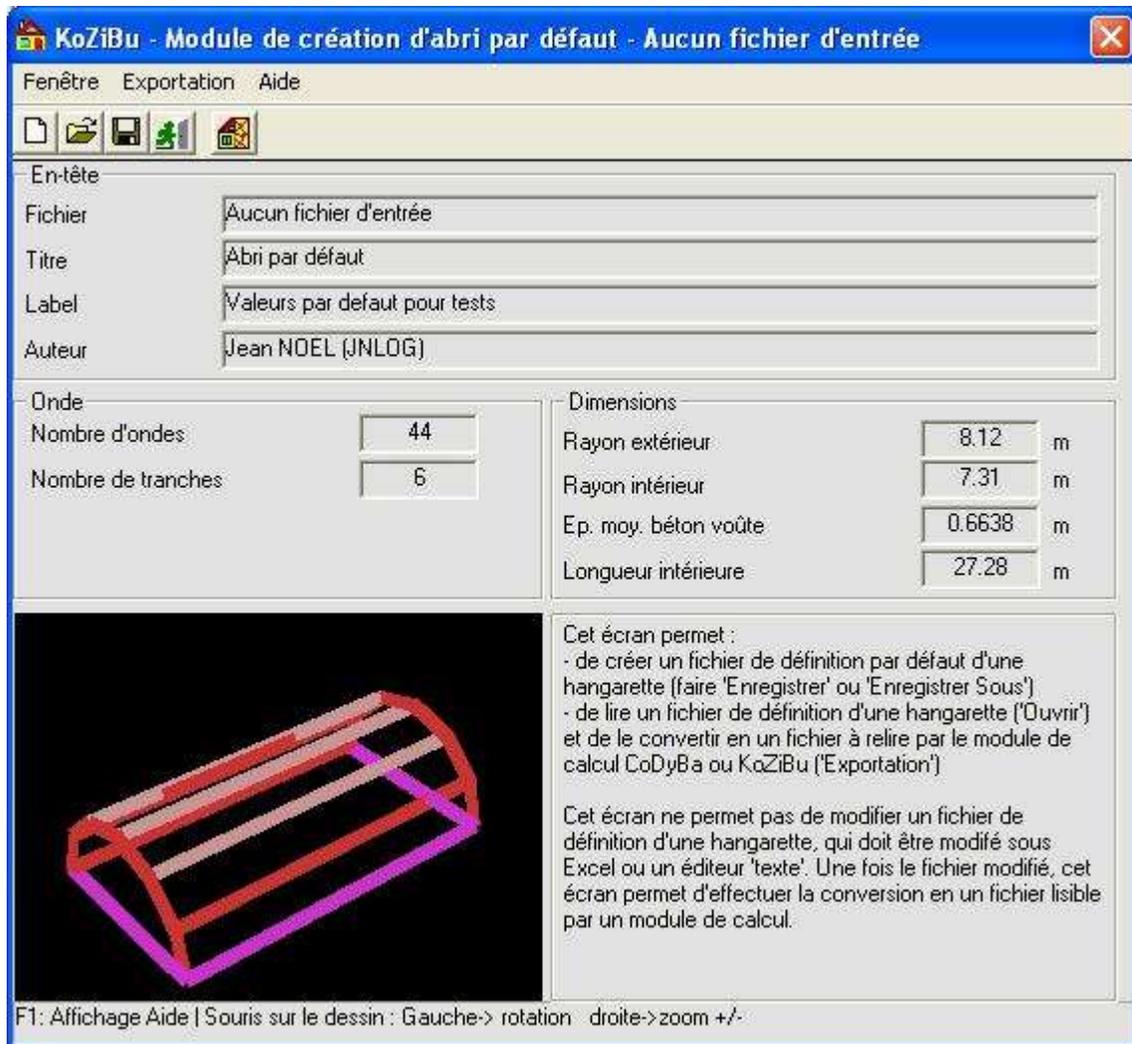


Fig. C7 : écran de génération d'une géométrie spécifique avec l'utilitaire RAIMANTA