



**HAL**  
open science

# Étude et comparaison des différents modes d'interface entre calculs thermiques et maquettes numériques du bâtiment

Antoine Thoumas

► **To cite this version:**

Antoine Thoumas. Étude et comparaison des différents modes d'interface entre calculs thermiques et maquettes numériques du bâtiment. Autre. 2021. dumas-03263829

**HAL Id: dumas-03263829**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03263829>**

Submitted on 17 Jun 2021

**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.

**CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS**

**PARIS**

---

**MEMOIRE**

**Présenté en vue d'obtenir**

**Le DIPLOME d'INGENIEUR CNAM**

**SPECIALITE : ENERGETIQUE**

**PARCOURS : ENERGETIQUE DU BATIMENT**

**par**

**THOUMAS Antoine**

---

**ETUDE ET COMPARAISON DES DIFFERENTS MODES D'INTERFACE ENTRE CALCULS THERMIQUES ET  
MAQUETTES NUMERIQUES DU BÂTIMENT**

**Soutenu le 22 avril 2021**

---

**JURY**

**PRESIDENT : M. MARVILLET**

**MEMBRES : M. SOLARD, M. GUILPART, M. BOURG**



## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma reprise d'étude, à la réalisation de mon stage et enfin à la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais, dans un premier temps, remercier mon tuteur d'entreprise, Michael BOURG, de m'avoir accepté et intégré au sein de l'équipe Property de WSP France. Je remercie toute l'équipe pour leur soutien dans ma démarche, que ce soit pour leur aide directe sur des sujets techniques ou simplement pour leurs encouragements permanents. Je vous dois un pot digne de ce nom !

Je remercie ensuite toute les équipes, professeurs et intervenants professionnels du CNAM Paris, pour le bagage théorique qu'ils m'ont apporté, ainsi que Jérôme SOLARD, tuteur de ce mémoire.

Un grand merci à Laure-Anne pour m'avoir non seulement supporté tout au long de la réalisation de ce mémoire mais également pour m'avoir relu et corrigé quantité de fautes d'orthographe.

A Jethro et Ripley pour m'avoir imposé des pauses régulières de manière assurément désintéressée.

A mes amis, proches et parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>PROBLEME ET TRAVAUX ANTERIEURS</b>	<b>9</b>
2.1	Contexte	9
2.2	Contexte de la transition énergétique	9
2.2.1	Implication des bureaux d'étude thermique	10
2.3	Besoins de calculs particuliers d'un BET Fluide	10
2.3.1	Bilan thermique	10
2.3.2	Simulation thermique dynamique	11
2.3.3	Calcul de la réglementation thermique	11
2.3.4	Etudes de confort	12
2.3.5	Etudes environnementales	12
2.3.6	Calculs de dimensionnement des réseaux et équipements	13
2.3.7	Réalisations des pièces graphiques	13
2.4	Etat des lieux du BIM en France	14
2.4.1	Législation	14
2.4.2	Evolution du BIM	15
2.4.3	Progression actuelle	16
2.5	Méthode de réalisation des calculs thermiques en bureau d'études techniques	17
2.5.1	Méthode classique	17
2.5.2	Méthode actuelle	17
2.5.3	Evolution vers l'intégration des calculs thermiques dans la maquette numérique	18
2.6	Etat des lieux logiciels STD	19
<b>3</b>	<b>SOLUTIONS PROPOSEES</b>	<b>23</b>
3.1	Présentation des différentes méthodes de saisie ETUDIEES	23
3.2	Méthode 1 : Calcul sans utilisation de la maquette numérique	24
3.2.1	Saisie sous Climawin (1a)	24
3.2.1.1	Etape II : Description de la méthode de saisie	24
3.2.1.2	Limite de la méthode	29
3.2.1.2.1	Incidence de l'arborescence Zone/groupe	29

3.2.1.2.2	Simplification du modèle géométrique.....	31
3.2.1.2.3	Programmation chauffage et refroidissement.....	31
3.2.1.2.4	Caractéristiques des émetteurs .....	32
3.2.1.2.5	Simulation de la gestion de l'éclairage.....	32
3.2.1.2.6	Simulation de la PAC sur air extrait.....	33
3.2.1.2.7	Simulation de la CTA .....	34
3.2.1.3	Etape III : Analyse des résultats .....	35
3.2.1.3.1	Calcul d'apports et de déperditions .....	35
3.2.1.3.2	Calcul RT2012.....	37
3.2.1.3.3	Simulation Thermique Dynamique.....	38
3.2.2	Saisie sous DesignBuilder (1b).....	40
3.2.2.1	Etape II : Description de la méthode de saisie.....	40
3.2.2.2	Détails et limites de la méthode .....	45
3.2.2.2.1	Arborescence et géométrie .....	45
3.2.2.2.2	Saisie des systèmes .....	46
3.2.2.2.3	Régulation de l'éclairage.....	49
3.2.2.2.4	Saisie RT2012 .....	49
3.2.2.3	Etape III : Analyse des résultats .....	50
3.2.2.3.1	Calcul d'apports et de déperditions .....	50
3.2.2.3.2	Simulation Thermique Dynamique.....	51
3.2.2.3.3	Calcul RT2012.....	53
<b>3.3</b>	<b>Méthode 2 : Calculs dans le modèle BIM.....</b>	<b>54</b>
3.3.1	Présentation de la maquette numérique.....	54
3.3.2	Calculs thermiques .....	56
3.3.2.1	Prérequis .....	56
3.3.2.2	Création des espaces .....	56
3.3.2.3	Saisie des paramètres énergétiques .....	57
3.3.3	Résultats.....	57
<b>3.4</b>	<b>Méthode 3 : Calcul sur la base du modèle BIM architecte .....</b>	<b>60</b>
3.4.1	Etape I : Exportation de l'IFC/gbXML .....	60
3.4.2	Etape II : Importation des données du modèle BIM dans le logiciel thermique .....	61
3.4.2.1	Sous ClimaWin (3A) .....	61
3.4.2.2	Sous DesignBuilder (3B).....	62
3.4.3	Etape III : Calculs et résultats .....	63
<b>3.5</b>	<b>Méthode 4 : Calcul sur la base du modèle BIM complété thermiquement .....</b>	<b>64</b>
3.5.1	Etape I : Mise en forme du fichier GBXML à l'aide du module BIM de DesignBuilder .....	65
3.5.1.1	Méthode AM .....	65
3.5.1.2	Méthode EAM .....	66
3.5.2	Etape II : Importation des données pré-traitées du modèle BIM dans DesignBuilder .....	68

3.5.2.1	Méthode AM .....	68
3.5.2.2	Méthode EAM .....	69
3.5.3	Critiques et perspectives.....	69
<b>3.6</b>	<b>Méthode 5 : Calcul dans le modèle BIM avec un logiciel thermique .....</b>	<b>70</b>
3.6.1	Etape II : Saisie des données thermiques dans Revit, via ClimaBim .....	70
3.6.1.1	Préparation du modèle BIM .....	70
3.6.1.2	Synchronisation du modèle .....	70
3.6.2	Etape III : Réalisation de la STD et du calcul RT2012 sous ClimaBim.....	73
<b>4</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>74</b>
4.1	Confrontation des méthodes .....	74
4.2	Perspectives d'investigations et d'améliorations.....	75
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>78</b>
6.1	Données d'entrée .....	78
6.1.1	Description du bâtiment modélisé .....	78
6.1.2	Enveloppe .....	79
6.1.3	Conditions intérieures et occupation des locaux.....	82
6.1.4	Pannings.....	83
6.1.5	Systemes énergétiques .....	92
6.1.5.1	Productions calorifique et frigorifique .....	92
6.1.5.2	Traitement de l'air neuf.....	93
6.1.5.3	Traitement des locaux .....	93
6.1.5.4	ECS.....	94
6.1.6	Autres facteurs reglementaires .....	94
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>97</b>
<b>9</b>	<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>99</b>

# 1 INTRODUCTION

Depuis maintenant près de deux décennies, la maquette numérique BIM se développe dans les projets de construction, jusqu'à devenir systématique pour les grands projets. Encouragée par la directive européenne « Marchés publics » votée le 15 janvier 2014 [1], elle tend à se généraliser dans le domaine de la construction, largement sollicitée par la commande publique [2].

Les bénéfices de son utilisation sont multiples : perfectionnement de la fiabilité des constructions, meilleure maîtrise des coûts et des délais, gestion collaborative permettant une meilleure compréhension du projet par les intervenants et surtout amélioration l'efficacité énergétique des projets. Cette efficacité étant directement liée à leur conception, celle-ci doit prendre en compte le plus de facteurs possible.

Dans ce but, les maquettes numériques prennent en compte de plus en plus d'éléments, notamment thermiques, et proposent de se substituer aux traditionnels logiciels de calculs thermiques.

En parallèle, les logiciels de calcul thermique diversifient leurs offres pour couvrir de plus en plus de tâches : les logiciels de Simulation Thermique Dynamique (STD) permettent de réaliser le calcul RT2012 et les logiciels de calcul réglementaire de réaliser la STD et de dimensionner l'installation de planchers chauffants ou la conception des centrales de traitement d'air.

Pour coordonner ces évolutions, les passerelles entre BIM et logiciels de calcul thermique se développent, notamment via le format normalisé *Industry Foundation Classes* (IFC).

Le but du présent mémoire est de faire un point sur les possibilités actuelles des interfaces entre maquette numérique BIM et outils de calcul thermique et d'en définir les conditions d'utilisation ainsi que les limites.

Afin de contextualiser ces objectifs, je rappellerai tout d'abord l'utilité des calculs thermiques dans le secteur du bâtiment au milieu des enjeux énergétiques et environnementaux actuels ainsi que l'avancement technique des logiciels de calcul et du BIM.

Une fois le cadre posé, j'étudierai plusieurs méthodes de réalisation d'un modèle de calcul thermique :

- Utilisation du début jusqu'à la fin du logiciel de calcul thermique :

- Exportation d'un fichier de transfert de la maquette numérique BIM architecte puis exploitation de ce fichier dans le logiciel de calcul thermique ;
- Utilisation d'une interface permettant de créer le modèle de calcul thermique directement dans le modèle BIM.

Le choix des logiciels étudiés (ClimaWin et DesignBuilder) sera justifié sur la base d'un premier bilan des offres commerciales actuelles.

J'établirai à partir de ces études les critères permettant de choisir la méthode de calcul la plus adaptée en fonction du type de projet, des données d'entrée disponibles et du type de résultats attendus.

Pour ne pas décevoir les lecteurs du présent rapport, notons qu'il ne s'agit pas d'une étude ayant pour objectif d'analyser et d'optimiser les consommations d'un bâtiment ni d'une évaluation de la fiabilité des méthodes de calculs utilisées. C'est ici l'efficacité en termes de temps et de facilité d'utilisation qui sera évaluée.

# 2 PROBLEME ET TRAVAUX ANTERIEURS

---

## 2.1 CONTEXTE

---

## 2.2 CONTEXTE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE

Au niveau mondial, l'Accord de Paris [3] adopté en décembre 2015, pose comme objectif de contenir le réchauffement climatique en-dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels et de parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de Gaz à Effet de Serre (GES) au cours de la deuxième moitié du XXI<sup>e</sup> siècle.

A l'échelle européenne, le Paquet Energie-Climat de décembre 2008, révisé en 2014 et 2018 pour 2030, dicte aux membres de l'Union Européenne :

- Au moins 40% de réduction des émissions de GES par rapport à 1990 [4] ;
- 32% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique [5] ;
- Amélioration de 32,5% de l'efficacité énergétique [6].

En France, la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte [7] pose une série d'objectifs à moyen et long termes, notamment :

- Réduire les émissions de GES de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de GES entre 1990 et 2050 ;
- Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence de 2012 en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030 ;
- Réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012 ;
- Porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % en 2030. Pour cela, elles devront notamment représenter 38 % de la consommation finale de chaleur ;

- Atteindre pour l'ensemble du parc de logements un niveau de performance énergétique conforme aux normes « bâtiment basse consommation » en 2050 ;
- Réduire de 50 % la quantité de déchets mis en décharge à l'horizon 2025 et découpler progressivement la croissance économique et la consommation de matières premières.

L'efficacité thermique des bâtiments, neufs et existants, représente un levier important pour atteindre ces objectifs puisqu'en 2016, le bâtiment représentait 45 % des 140 Mtep d'énergie finale consommée en France. Les secteurs résidentiels et tertiaires représentent respectivement 11 % et 7 % des émissions de GES [8].

---

### **2.2.1 IMPLICATION DES BUREAUX D'ETUDE THERMIQUE**

Je réalise ce mémoire au sein du service Fluide de l'entreprise WSP France. Il s'agit d'un bureau d'étude technique (BET) tout corps d'état spécialisé dans la maîtrise d'œuvre de grands projets (hôpitaux, universités, immeubles tertiaires, ...) ou de projets complexes (hôtels particuliers à fortes contraintes architecturales, salle blanches, datacenters, ...).

Dans ce cadre, je suis amené à réaliser, selon les projets, différents types de calculs, sommairement décrits ci-après.

L'objectif est de simuler de manière toujours plus précise le comportement énergétique des bâtiments en phase projet afin d'optimiser leurs consommations énergétiques tout en minimisant les impacts carbone liés à la construction (dimensionnement au plus juste).

Sur ce dernier point, la réglementation environnementale à venir (RE 2020 [9]) remplaçant la réglementation thermique actuelle (RT2012) systématisera la mise œuvre d'analyses de cycle de vie aux projets de construction.

---

## **2.3 BESOINS DE CALCULS PARTICULIERS D'UN BET FLUIDE**

---

### **2.3.1 BILAN THERMIQUE**

Il s'agit du calcul des besoins de puissance en chauffage et en climatisation du bâtiment. Cela permet d'estimer les puissances qui seront nécessaires pour maintenir les conditions

thermiques intérieures désirées tout au long de l'année et sert ainsi de base au dimensionnement des équipements de chauffage et de climatisation. Il est composé :

- D'un calcul de déperdition : somme des pertes de chaleur par les parois et le renouvellement d'air que les émetteurs de chauffage auront à combattre ;
- D'un calcul d'apports : sommes des apports de chaleur externe (parois, renouvellement d'air, rayonnement solaire) et internes (occupants, éclairage, bureautique ou toute autre dégagement interne de chaleur) qu'il faudra évacuer par des systèmes de refroidissement.

---

### **2.3.2 SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE**

Il s'agit de la modélisation du bâtiment et de la simulation de son comportement thermique sur une période donnée, en général sur une année type. Le bilan thermique décrit précédemment est alors réalisé au pas horaire (ou infra-horaire) ainsi que la simulation des systèmes CVC du projet.

Cela permet de calculer les consommations énergétiques et les conditions de température intérieure de notre projet sur la période étudiée. Ces résultats servent de base à l'estimation et à l'optimisation du coût d'exploitation énergétique du bâtiment.

---

### **2.3.3 CALCUL DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE**

La réglementation thermique 2012 (RT2012) décrite dans les arrêtés du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012 impose pour les bâtiments neufs des exigences sur :

- L'efficacité thermique du bâti ou Besoin bioclimatique (Bbio) ;
- La Consommation énergétique conventionnelle du bâtiment en énergie primaire (Cep) ;
- Le confort d'été et la Température intérieure conventionnelle (Tic).

Ces trois facteurs sont calculés en suivant la méthode TH-BCE 2012, produite par le CSTB. Il s'agit de simuler le comportement d'un bâtiment et de calculer ses besoins et consommations dans un cadre normé afin de le comparer à une référence qu'il ne faut pas dépasser. Cette référence est fixée pour le Cep à 50 kWh/m<sup>2</sup>.an, modulable selon la localisation géographique et le type d'usage.

Pour la rénovation lourde des bâtiments existants (RTex), le principe est similaire. La réglementation applicable est alors la réglementation thermique existante dite « globale » décrite dans l'arrêté du 13 juin 2008. La méthode de calcul appliquée est la TH-C-E ex.

Les calculs RT2012 et RTex sont obligatoirement réalisés via des logiciels ayant reçu un agrément du CSTB.

Certains labels et référentiels de certification environnementale sont directement basés sur ces calculs réglementaires ou mettent en œuvre des démarches similaires. C'est le cas notamment du label E+C-, précurseur de la future RE 2020.

---

### **2.3.4 ETUDES DE CONFORT**

Les études de confort sont généralement basées sur un calcul STD. Une attention particulière est portée sur les facteurs impactant le confort des occupants :

- La température intérieure ;
- La température des parois ;
- L'hygrométrie ;
- La vitesse des flux d'air ;
- Les taux de CO<sub>2</sub> ou autre polluant ;
- Les niveaux d'éclairément.

Différents référentiels et normes cadrent ces études : HQE, BREEAM, Osmoz, ...

Il est aussi de notre compétence de vérifier le respect d'autres exigences réglementaires, par exemple issues du Code du travail (taux de renouvellement d'air, niveaux éclairément, ...) ou des règlements sanitaires départementaux.

---

### **2.3.5 ETUDES ENVIRONNEMENTALES**

Il s'agit principalement d'évaluer l'impact du bâtiment en termes de GES. Le calcul se base sur les résultats des calculs précédemment décrits (RT2012 ou STD) pour alimenter une analyse du cycle de vie (ACV).

L'ACV peut intégrer d'autres éléments comme les consommations d'eau ou les émissions de GES liées à la fabrication des matériaux et d'autres polluants, mais ceux-ci sortent généralement du cadre de notre expertise (nitrates, ozone, ...).



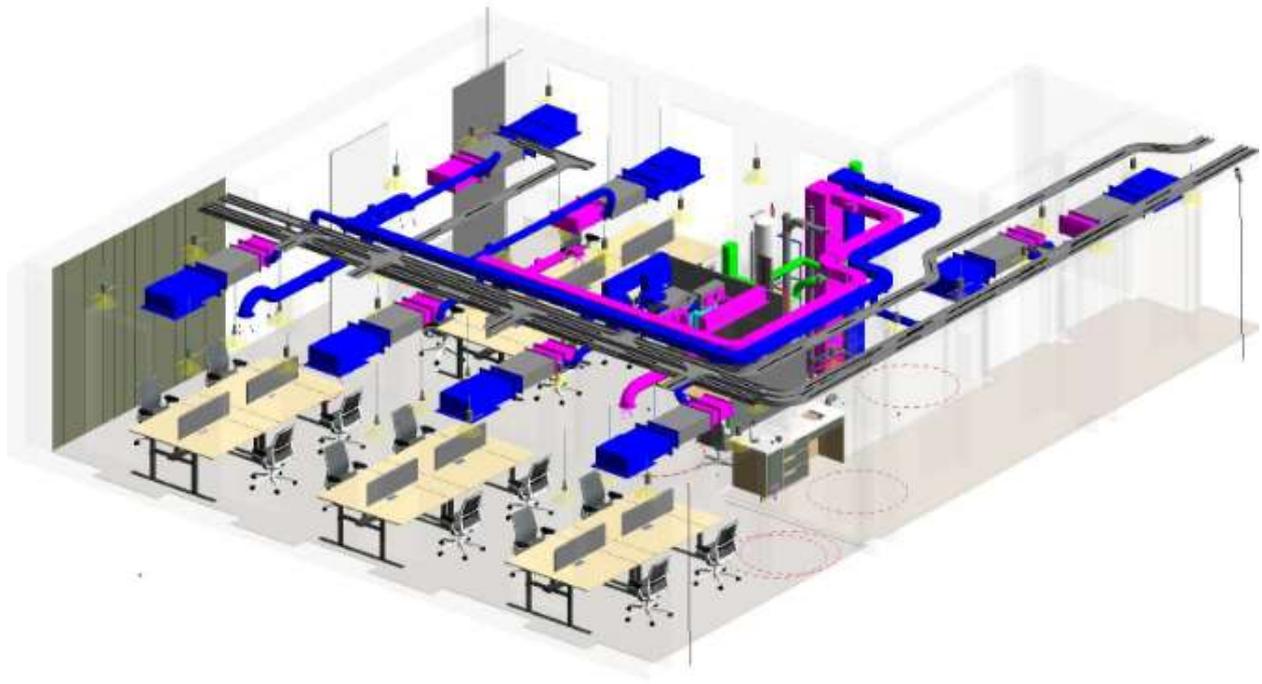


Figure II - Extrait de maquette CVC 3D

---

## 2.4 ETAT DES LIEUX DU BIM EN FRANCE

---

### 2.4.1 LEGISLATION

Malgré les encouragements de la Directive européenne « Marchés publics », il n'y a pas en France de législation contraignante quant à l'usage de la maquette numérique. Seul le Décret n°2016-360 du 25 mars 2016 [10] y fait référence en son article 42 :

- *« L'acheteur peut, si nécessaire, exiger l'utilisation d'outils et de dispositifs qui ne sont pas communément disponibles, tels que des outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires. »*

Le texte ne fait donc qu'encourager l'utilisation du BIM lors des marchés publics.

Toutefois, depuis 2014, le Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment (PTNB) puis le Plan BIM 2022 visent à massifier l'utilisation de la maquette numérique par le développement des filières, notamment dans les TPE et PME. Pour cela, le dernier plan prévoit 100 millions d'euros d'investissement pour huit actions autour de deux axes [11] :

- AXE N°1 : « Généraliser la commande en BIM dans le secteur du bâtiment » en s'appuyant sur :

- Des recommandations juridiques, fiabilisant les commandes et contrats BIM ;
  - L'utilisation d'outils Open Source simplifiant les contrôles de projet ;
  - La définition des besoins du bâtiment du point de vue normatif afin d'accélérer la mise en place d'un cadrage ;
  - La création d'un observatoire pour identifier les bonnes pratiques et quantifier l'avancement du BIM en France.
- AXE N°2 : « Déployer le BIM dans tous les territoires et pour tous grâce aux outils adaptés » comme :
- Le développement de dispositifs entraînant la montée en compétence de la profession, notamment au niveau local ;
  - Des grilles d'évaluation permettant de faire connaître et reconnaître l'utilité et l'efficacité du BIM ;
  - Des réunions d'informations en régions afin de créer un environnement favorable entre les acteurs locaux ;
  - La mise en place de collaborations concrètes via la plateforme publique KROQI [12] qui propose différents services de calcul, de partage et de classement des fichiers BIM.

---

### **2.4.2 EVOLUTION DU BIM**

Le BIM est un processus complet et complexe. Son adoption par les différents acteurs du secteur est progressive et varie selon de nombreux critères. Cependant on peut résumer cette évolution en 3 étapes [13] :

- 1) La maquette numérique isolée : l'architecte ainsi que chaque corps d'état travaillent indépendamment sur leur maquette respective sans mutualisation. L'exploitant peut ensuite mettre en œuvre sa propre maquette.
- 2) La maquette numérique collaborative : comme précédemment, chaque corps d'état travaille sur sa maquette mais avec une base commune, en général la maquette architecte du bâtiment. De plus, des copies des travaux en cours sont stockées sur un serveur en vue d'être consultées par les intervenants, ce qui permet notamment une synthèse plus aisée.

- 3) La maquette numérique intégrée : chaque corps d'état travaille directement sur un modèle central basé sur un serveur commun. L'interaction des intervenants est permanente. Un BIM Manager effectue la synthèse et gère les conflits.

A ce jour, la maquette collaborative est globalement maîtrisée par l'ensemble des intervenants de la construction. Le niveau 3 n'est mis en œuvre que sur des projets à forte technicité ou à haut niveau d'exigence de la part de la Maîtrise d'ouvrage. En effet, la lourdeur de la mise en place d'une maquette numérique intégrée, en termes de coordination et de ressources informatiques, n'est pas rentable dans l'état actuel du marché sur des projets simples, les investissements nécessaires étant supérieurs aux gains escomptés à court ou moyen termes.

---

### **2.4.3 PROGRESSION ACTUELLE**

En 2018, le Conseil National de l'Ordre des Architectes (CNOA) publie une étude montrant que, si l'intégration du BIM [2], dans les concours, les appels d'offre et la phase conception, connaît une progression constante, la maquette numérique intégrée reste marginale. Les exigences des Maîtres d'ouvrage se concentrent essentiellement sur les compétences des équipes mais restent imprécises dans le cadre concret des missions.

Ainsi, en 2018, 9 concours sur 128 (soit 7 %) exigeaient la remise des prestations en BIM, l'étude se limitant ici à l'architecture. On a donc une maquette numérique collaborative (étape 2 décrite au point précédent) mais rien n'indique une maquette numérique intégrée (étape 3), exploitée ensuite par les lots techniques.

La mauvaise définition du contenu et des objectifs de la maquette numérique reste un frein à son développement. Des objectifs trop vagues aboutissent le plus généralement à un modèle architecte uniquement visuel. Des exigences trop fortes peuvent aboutir à des usines à gaz et à des maquettes inexploitable par le client final car trop complexes.

Le présent mémoire se concentrera par la suite sur l'utilisation de cette maquette architecte par le lot Chauffage-Ventilation-Climatisation (CVC) pour les calculs thermiques en montrant les limites.

---

## 2.5 METHODE DE REALISATION DES CALCULS THERMIQUES EN BUREAU D'ETUDES TECHNIQUES

Ce point vient décrire les différentes façons de faire des calculs thermiques, en intégrant plus ou moins la maquette numérique.

---

### 2.5.1 METHODE CLASSIQUE

Historiquement, et c'est encore souvent le cas dans beaucoup de bureaux d'études, les utilisations des logiciels et outils de calcul sont limitées à un nombre réduit de tâches. Afin d'accomplir toutes les missions décrites plus haut, il faut donc multiplier les logiciels métiers utilisés :

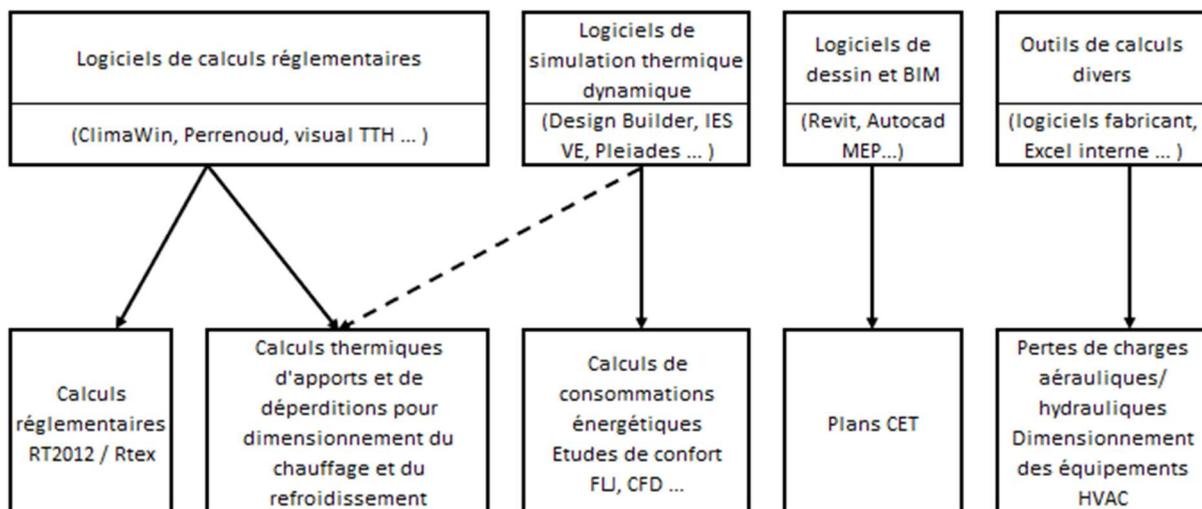


Figure III - Diagramme de description des usages classiques des logiciels

---

### 2.5.2 METHODE ACTUELLE

La tendance actuelle des éditeurs de logiciels est de multiplier les tâches réalisables par leur logiciel. Ainsi, pour prendre exemple sur les logiciels étudiés dans le présent mémoire :

- ClimaWin, logiciel historiquement dédié à la réglementation thermique, intègre les calculs STD ou FLJ ;
- DesignBuilder, logiciel historiquement dédié à la STD, intègre le calcul RT2012 ;
- Revit, logiciel BIM, utilise les données thermiques des maquettes numériques pour proposer des calculs d'apports et de déperditions.

Cela permet de mutualiser les outils et ainsi de réduire le nombre de licences logiciels souscrites.

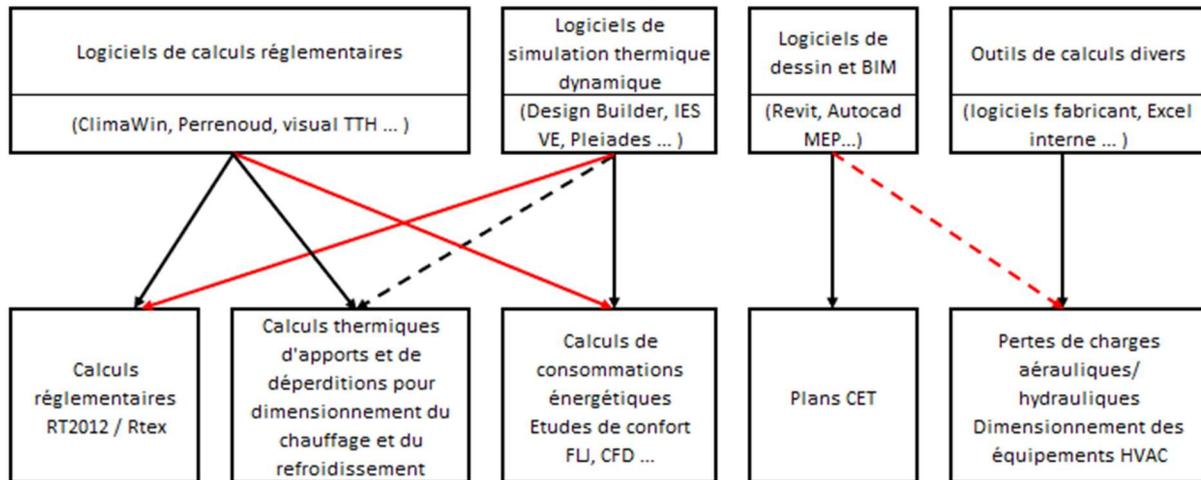


Figure IV - Diagramme de description de la tendance actuelle des usages des logiciels

---

### 2.5.3 EVOLUTION VERS L'INTEGRATION DES CALCULS THERMIQUES DANS LA MAQUETTE NUMERIQUE

Dans la continuité de la mutualisation amorcée au point précédent, la ligne d'horizon à venir est la réalisation de l'ensemble des calculs via une seule et même maquette numérique.

Pour cela, les logiciels de calculs thermiques commencent à créer des modules intégrés au logiciel BIM de façon à réaliser les calculs thermiques directement à partir de la maquette numérique.

Les outils de calculs tiers (logiciels fabricants et autres applications développées en interne) ne viendraient que combler à la marge les dernières tâches non réalisables depuis la maquette numérique.

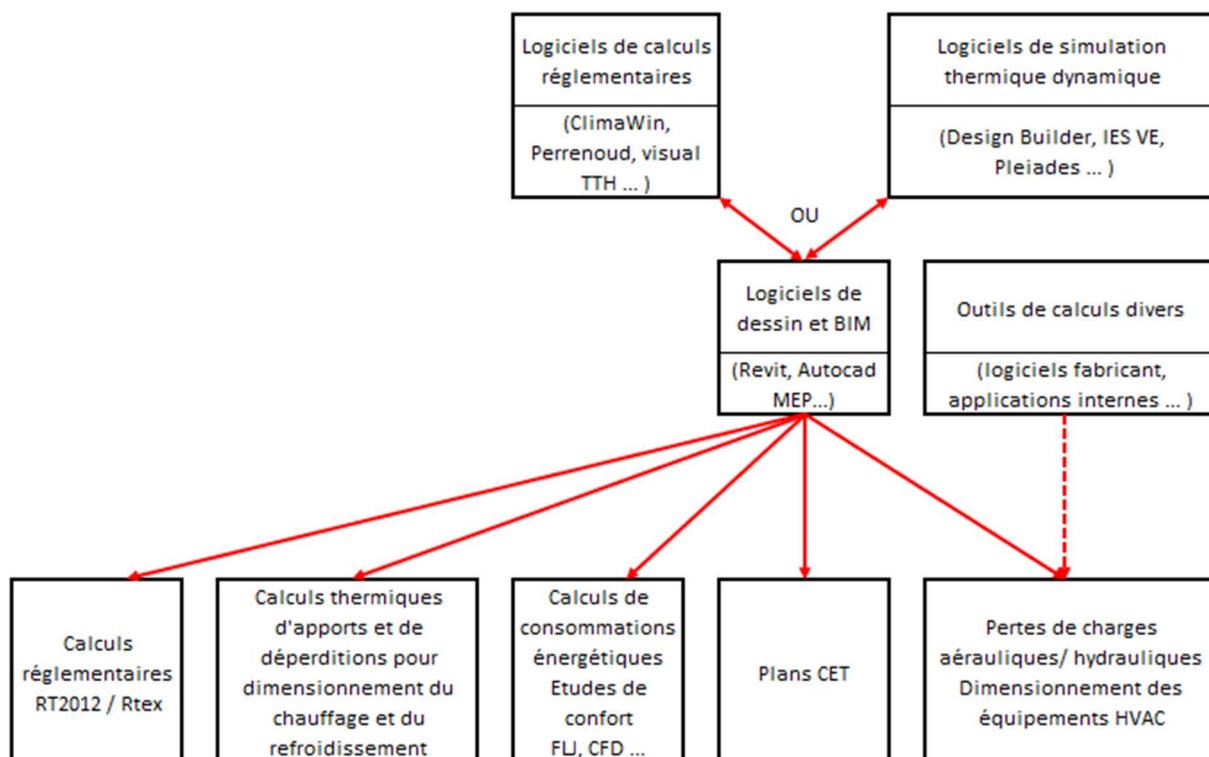


Figure V - Diagramme de l'usage des logiciels à venir

## 2.6 ETAT DES LIEUX LOGICIELS STD

Le choix des logiciels que j'ai étudiés pour le présent mémoire s'est porté sur ClimaWin et DesignBuilder. Bien que proposant tous les deux STD et calculs réglementaires, ces logiciels sont très différents.

ClimaWin est le principal logiciel de calculs réglementaires français et il intègre, depuis 2015, un calcul STD. Organisé sur la base de l'arborescence réglementaire (définie au point 3.2.1.2.1), la saisie graphique n'est qu'optionnelle. Son utilisation reste majoritairement limitée à la France.

A l'inverse, DesignBuilder est un logiciel de STD reconnu internationalement qui intègre depuis 2015 le calcul RT2012. Toute la saisie est basée sur un modèle graphique 3D.

Les tableaux suivants dressent un état des lieux sommaire des autres logiciels de calculs thermiques disponibles sur le marché fin 2019. Cette liste n'est en aucun cas exhaustive. J'ai élaboré les critères d'évaluation sur la base de ma propre expérience professionnelle. J'en ai testé certains (comme indiqué en troisième ligne des tableaux). Pour les autres, les données indiquées sont issues de recherches bibliographiques, principalement sur les sites internet des éditeurs. Ces données ont pu évoluer entre mes tests et la rédaction de ce mémoire.

Tableau 1 - Etat des lieux sommaire des principaux logiciels de STD sur le marché

Logiciel	ArchiWizard	ClimaWin	Pleiades	CYPETHERM
Fabricant/Editeur	Graitec	BBS Slama	Izuba	CYPE
Testé	NON	OUI	OUI	NON
Calcul Réglementation thermique	RT2012, RTex	RT2012/RTex/RT2005	RT2012/RTex	RT2012/RTex
Calcul de déperditions	Norme EN 12831	Norme EN 12831	Norme EN 12831	Norme EN 12831
Calcul d'apports	OUI	Méthode RTS ou ASHRAE	Méthode RTS ou ASHRAE	ASHRAE
Etude de confort	Température opérative, hygrométrie	NON	Nombre d'heure d'inconfort, PMV et PPD, diagramme de Givoni	Température des locaux
Etude d'éclairage	Calcul FLJ et étude d'ensoleillement	Calcul FLJ	Calcul FLJ et étude d'ensoleillement	OUI
Base de données	Données de fabricant + base RT 2012	Base réglementaire + Base Edibatec incluant les produits de nombreux fabricants	Base de donnée interne + Base Edibatec incluant les produits de nombreux fabricants	Non connue
Interface Revit	ArchiWizard a développé une version intégrée dans Revit	ClimaBim	Plug-in revit permettant de "préparer" l'export de fichier gbXML vers Pleiades	Interface avec la suite de logiciel BIM CYPE ==> CYPECAD MEP
Import fichiers	Import fichier IFC	NBDM, IFC, gbXML	IFC, gbXML	IFC, gbXML
CFD	NON	NON	NON	NON
ACV	OUI	Oui	OUI	NON
Points forts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendu graphique proche logiciel architecture</li> <li>- Simulation énergétique en "temps réel" des besoin permettant des optimisation rapides</li> <li>- Utilisation du moteur de calcul Energyplus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interface sous forme d'arborescence développée pour le calcul RT</li> <li>- Reconnu nationalement</li> <li>- Sortie de rapports automatiques facilement exploitables (en français)</li> <li>- Rapidité de calcul (rarement plus de quelques secondes)</li> <li>- Module ClimaBim pour Revit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interface 3D et arborescence faciles à prendre en main</li> <li>- Simulation rapide de l'enveloppe et des besoins du bâtiment</li> <li>- Temps de calcul rapide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interaction avec le modèle BIM CYPECAD MEP</li> </ul>
Points faibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Description simplifiée des systèmes</li> <li>- Données de sortie difficilement post-traitables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logiciel franco-français</li> <li>- Interface 2D/3D peu aboutie</li> <li>- Arborescence du calcul RT peu adaptée à la STD ==&gt; saisie très lourde dès lors que le bâtiment comporte différents usages/planning/système ==&gt; technicité des système très fermée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitation de la complexité des systèmes</li> <li>- Limitation du nombre de zones (40)</li> <li>- Données de sortie difficilement post-traitables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des système non intégrée, à simuler dans Energyplus</li> </ul>
Utilisations préférentielles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude d'éclairage</li> <li>- Conception bioclimatique</li> <li>- Calcul RT 2012</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul RT 2012, Rtex et RT 2005</li> <li>- Calcul d'apports/déperditions sur tout type de bâtiment</li> <li>- STD simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- STD en phase APS</li> <li>- Prédimensionnement des systèmes</li> <li>- Conception bioclimatique</li> <li>- Etude de confort</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculs RT 2012 / Rtex</li> <li>- STD de projet modélisé sous CYPECAD</li> </ul>

Tableau 2 - Etat des lieux sommaire des principaux logiciels de STD sur le marché (suite 1)

Logiciel	DesignBuilder	EDLS TAS	Energyplus
Fabricant/Editeur	DesignBuilder	EDLS TAS	Département de l'Énergie des États-Unis
Testé	OUI	OUI	NON
Calcul Réglementation thermique	RT2012/ASHRAE 90.1	ASHRAE 90.1	ASHRAE 90.1
Calcul de déperditions	Norme EN 12831/ASHRAE	OUI	ASHRAE
Calcul d'apports	ASHRAE	OUI	ASHRAE
Etude de confort	Nombre d'heures d'inconfort, Température opérative, ASHRAE 55, PMV/PPD, calcul d'hygrométrie	Température opérative, PMV/PPD, calcul d'hygrométrie	OUI
Etude d'éclairage	Calcul FLJ et étude d'ensoleillement	Calcul FLJ et étude d'ensoleillement	OUI
Base de données	Bibliothèque de composants interne complète +Nombreux système fabricant + système ASHRAE inclus	Bibliothèque de composants interne complète +Nombreux système fabricant + système ASHRAE inclus	Base de donnée interne
Interface Revit	Module REVIT facilitant l'extraction de fichier exploitable par DesignBuilder	NON	NON
Import fichiers	IFC, gbXML	gbXML	IFC, gbXML
CFD	OUI	OUI	NON
ACV	OUI	NON	NON
Points forts	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Interface 3D permettant la saisie de gros bâtiment rapidement</li> <li>-Possibilité de saisie de système CVC complexe</li> <li>-Contrôle très poussé de tous les facteur (planning d'occupation, gestion de l'éclairage)</li> <li>-Données de sortie exploitables sous Excel</li> <li>-Logiciel reconnu internationalement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logiciel complet permettant étude bioclimatique, systèmes, confort, éclairage et CFD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permet de modéliser n'importe quel système en gardant la main sur tous les paramètres</li> <li>-Toutes les données de tout les points du modèle sont visualisable et exploitable ensuite sous Excel</li> </ul>
Points faibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Logiciel lourd, peu adapté au petit projet</li> <li>- Calcul RT2012 développé récemment et encore peu reconnu</li> <li>-temps de calcul long (jusqu'à plusieurs jours sur des modèles complexes et volumineux)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logiciel découpé en modules, difficile à prendre en main</li> <li>- Quasi inconnu en France, pas de distributeur dédié</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie du bâtiment sous forme de texte très lourde, infaisable pour un bâtiment complet</li> <li>- A utiliser nécessairement avec un interface (DesignBuilder, ArchiWizard...)</li> </ul>
Utilisations préférentielles	<ul style="list-style-type: none"> <li>-STD sur grands projets et projets complexes</li> <li>- Conception bioclimatique et système énergétiques</li> <li>- Estimation précise des consommations (audit énergétique)</li> <li>- Etudes de confort et CFD</li> <li>- Calcul RT 2012</li> <li>- Calcul ASHRAE 90.1 pour certification LEED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conception bioclimatique et système énergétiques</li> <li>- Etudes de confort et CFD</li> <li>- Calcul ASHRAE 90.1 pour certification LEED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulation de systèmes complexes</li> <li>- R&amp;D</li> <li>- En complément d'un logiciel d'interface, pour les paramètre non modifiable dans celui-ci</li> </ul>

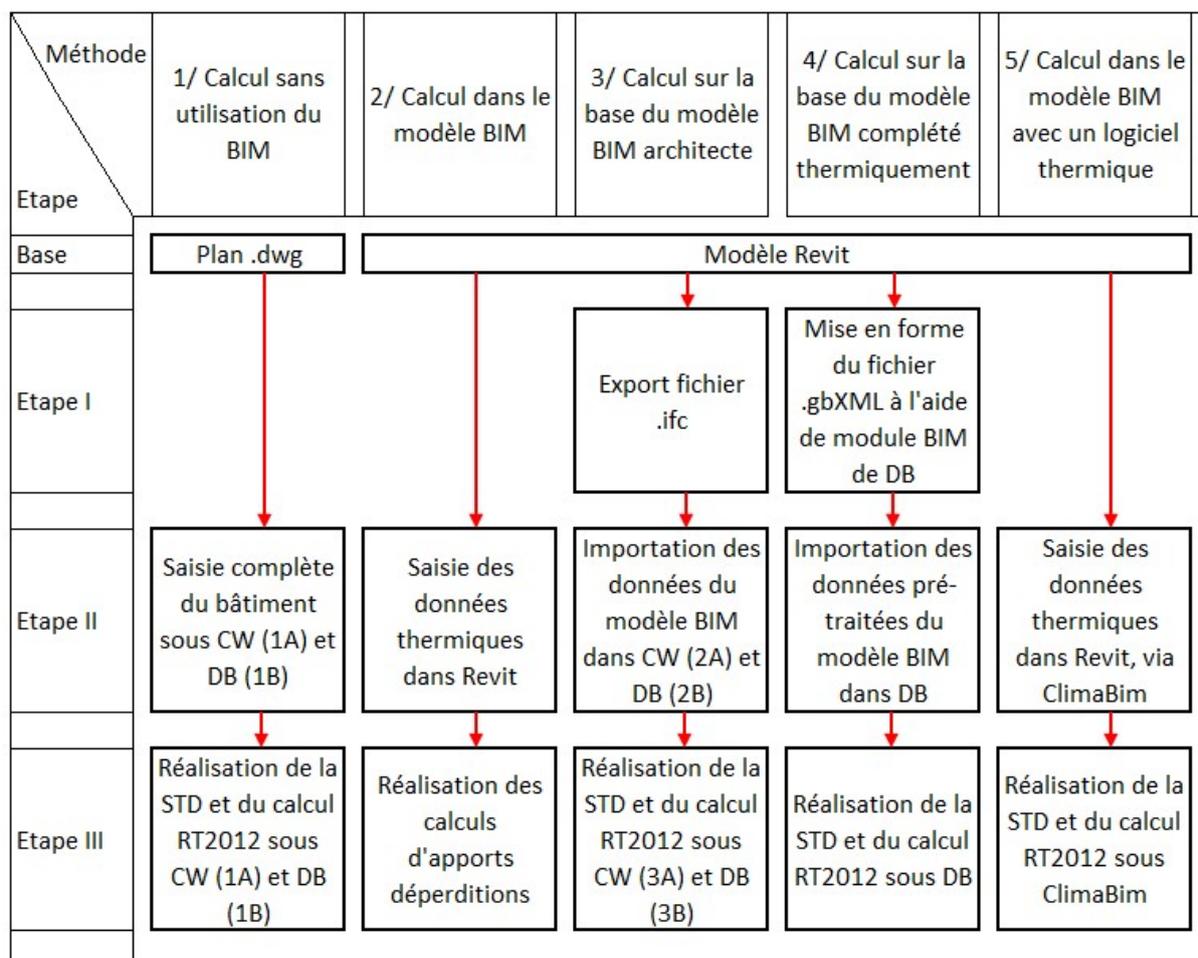
Tableau 3 - Etat des lieux sommaire des principaux logiciels de STD sur le marché (Suite 2)

Logiciel	Hourly Analysis Program	Intergrated Environmental Solutions Virtual Environment	THERMSTD	Transient Simulation Studio
Fabricant/Editeur	CARRIER	IES	Perrenoud	SAS Institute Inc.
Testé	OUI	NON	NON	OUI
Calcul Réglementation thermique	ASHRAE 90.1	Ashrae 90.1	RT2012, RTex, RT2005	ASHRAE 90.1
Calcul de déperditions	ASHRAE	CIBSE, ASHRAE	Norme EN 12831	OUI
Calcul d'apports	ASHRAE	CIBSE, ASHRAE	OUI	OUI
Etude de confort	NON	Nombre d'heures d'inconfort, Température opérative, ASHRAE 55, PMV/PPD, calcul d'hygrométrie	Température des locaux	OUI
Etude d'éclairage	NON	Calcul FLJ et étude d'enseiement	NON	OUI
Base de données	Base de donné de système CVC complète incluant les produits CARRIER	Bibliothèque de composants interne complète +Nombreux système fabricant + système ASHRAE inclus	Base réglementaire + Base Edibatec incluant les produits de nombreux fabricants	Base de donnée interne / Edibatec / système ASHRAE 90.1
Interface Revit	NON	Plug-in revit permettant de "préparer" l'export de fichier gbXML vers IES VE	l'interface THERMBIM permet d'extraire les métrés d'un modèle Revit vers les logiciels Perrenoud	NON
Import fichiers	NON	gbXML	IFC, gbXML	IFC
CFD	NON	OUI	NON	NON
ACV	NON	OUI	OUI	OUI
Points forts	-Logiciel simple d'utilisation -Saisie des systèmes CVC complète -Vitesse de calcul	-Interface 3D permettant la saisie de gros bâtiment rapidement -Possibilité de saisie de système CVC complexe -Contrôle très poussé de tous les facteur (planning d'occupation, gestion de l'éclairage) -Données de sortie exploitables sous Excel -Logiciel reconnu internationalement	- Interface sous forme d'arborescence développée pour le calcul RT - Reconnu nationalement	-Permet de modéliser n'importe quel système en gardant la main sur tous les paramètres -Toutes les données de tout les points du modèle sont visualisable et exploitable ensuite sous Excel
Points faibles	- Pas d'interface graphique - Calculs limités à l'aspect énergétique et financier (pas de confort, éclairage, CFD)	-Logiciel lourd, peu adapté au petit projet -Pas de RT 2012	- Utilise le moteur de Calcul Cometh, issu de et pensé pour la RT2012 => saisie très lourde dès lors que le bâtiment comporte différents usages/planning/système => technicité des système très fermée	-Niveau de détail et complexité de la saisie peu adapté à la modélisation complète d'un bâtiment - Fonctionnalité 3D peu efficace
Utilisations préférentielles	- STD de Bâtiment à géométrie simple notamment pour certification LEED	-STD sur grands projets et projets complexes - Conception bioclimatique et système énergétiques - Estimation précise des consommations (audit énergétique) - Etudes de confort et CFD - Calcul RT 2012 - Calcul ASHRAE 90.1 pour certification LEED	- Calcul RT 2012, Rtex et RT 2005 - STD simple	-Simulation de systèmes complexes -R&D

# 3 SOLUTIONS PROPOSEES

## 3.1 PRESENTATION DES DIFFERENTES METHODES DE SAISIE ETUDIEES

Le diagramme ci-dessous décrit les principales étapes des cinq méthodes de réalisation des calculs thermiques étudiés :



CW : ClimaWin, DB : DesignBuilder

Figure VI - Description des différentes méthodes de saisie étudiées

Les parties suivantes viseront à décrire pour chaque méthode :

- Le détail des manipulations effectuées à chaque étape ;
- Le détail du temps passé par étape, redécomposé par tâche ;
- Le détail des problèmes rencontrés ;
- Les résultats obtenus et leur analyse ;

- L'analyse des possibilités et des limites de chaque méthode.

Les données d'entrées du bâtiment témoin étudié sont détaillées en annexe 6.1.

## 3.2 METHODE 1: CALCUL SANS UTILISATION DE LA MAQUETTE NUMERIQUE

Pour cette première méthode, on travaille à partir des plans architectes 2D. Ceux-ci sont directement récupérés au format .dwg. Il n'y a donc pas de temps passé sur l'étape I.

Cette méthode n'exploitant pas du tout les possibilités de la maquette numérique, elle servira d'étalon pour juger de l'intérêt des méthodes 2 à 5.

### 3.2.1 SASIE SOUS CLIMAWIN (1A)

#### 3.2.1.1 Etape II : Description de la méthode de saisie

La saisie du bâtiment sous ClimaWin a pris au total 8,2 jours (sur la base de journées de 7 heures) décomposés en 3 parties principales détaillées dans les tableaux ci-après :

- A/ Saisie des catalogues : renseignement des différentes bases de données utilisées pour le projet (Tableau 4)
- B/ Saisie de l'arborescence : renseignement des données du bâtiment (Tableau 5)
- C/ Débogage du modèle : correction des erreurs (Tableau 6)

Tableau 4 - Saisie des catalogues ClimaWin

Description de la tâche	Observations / Problèmes éventuels
<i>A.1/ Parois (Durée de saisie = 0,5 heure)</i>	
- Saisie des caractéristiques thermiques des matériaux composant les parois - Assemblage de ces composants afin de constituer l'ensemble des parois utilisées sur le projet <i>Données détaillées en annexe 6.1.2.</i>	La base de données Th-U intègre des données de matériaux standards et la base EDIBATECH des données fabricant. Ces deux bases de données permettent une saisie plus rapide des composants de paroi.
<i>A.2/ Ponts thermiques (Durée de saisie = 0,25 heure)</i>	
- Saisie des coefficients linéaires des ponts thermiques de l'ensemble du projet <i>Données détaillées en annexe 6.1.2.</i>	La base de données Th-bat intègre de nombreux ponts thermiques courants mais s'avère souvent insuffisante pour retrouver le cas réel auquel nous sommes confrontés. On saisit alors le pont thermique le plus proche possible du projet. Il est possible de forcer le coefficient si celui-ci est connu.
<i>A.3/ Menuiseries (Durée de saisie = 0,08 heure)</i>	

Description de la tâche	Observations / Problèmes éventuels
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des caractéristiques thermiques des menuiseries de manière simplifiée : on entre directement la valeur de transmission thermique (<math>U_w</math>) et de facteur solaire (<math>F_s</math>) du projet</li> <li>- Saisie de l'ensemble des dimensions de menuiserie rencontrées sur le projet</li> </ul> <p><i>Données détaillées en annexe 6.1.2.</i></p>	<p>Il est possible de saisir les menuiseries de manière détaillée en entrant les caractéristiques des verres, du gaz et du cadre utilisés. Cependant, cette saisie est lourde et, en l'absence de fiche technique détaillée, l'approximation de la méthode simplifiée est généralement choisie.</p>
<i>A.4/ Site (Durée de saisie = 0,02 heure)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie de la localisation géographique du projet parmi un ensemble de sites proposés par le logiciel, en l'occurrence PARIS-MONTSOURIS</li> </ul>	<p>Les sites proposés par ClimaWin sont ceux utilisés par le CSTB et constitués par Météo-France.</p> <p>Il est aussi possible d'importer des fichiers issus de la base de données METEONORM.</p>
<i>A.5/ Ombrages (Durée de saisie = 2 heures)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des masques solaires dus aux bâtiments environnants à partir de relevés effectués sur Google Maps</li> <li>- Pour chaque orientation par pas de <math>22,5^\circ</math>, il faut saisir l'angle <math>\alpha</math> suivant :</li> </ul>  <p><b>CALCUL DES APPORTS</b> Saisie d'un ombrage pour chaque niveau - Alpha1 pour le Niveau 1 - Alpha2 pour le Niveau 2</p> <p>Bâtiment étudié      Ombrage</p>	<p>L'estimation pour chaque orientation est très peu précise car moyennée sur le cône de <math>22,5^\circ</math> et variant selon le point du bâtiment que l'on prend en référence.</p> <p>Il faut répéter le calcul pour chaque étage. Ce calcul est automatisé sous Excel pour gagner du temps et réduire les sources d'erreur mais il faut tout de même saisir ensuite les résultats manuellement dans ClimaWin, soit <math>7 \text{ niveaux} \times 16 \text{ cônes d'orientation} = 112</math> valeurs à recopier pour le bâtiment étudié.</p>
<i>A.6/ Scénario STD (Durée de saisie = 3 heures)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des plannings hebdomadaires heures par heures d'occupation, de ventilation, d'éclairage, d'Eau Chaude Sanitaire (ECS), d'apports internes sensibles et latents</li> </ul> <p><i>Données détaillées en annexe 6.1.4.</i></p>	<p>La saisie des plannings est lourde car celle-ci se fait sous forme de tableaux dans lesquels il faut entrer les valeurs une par une sans possibilité d'importer des fichiers ou simplement de copier/coller une plage de données.</p> <p>Les difficultés rencontrées quant à l'organisation de la saisie des plannings, très influencée par la méthode de calcul Th-BCE sont décrites par la suite, au point 3.2.1.2.1.</p>
<i>A.7/ Générateur (Durée de saisie = 2 heures)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des systèmes de productions calorifique et frigorifique du projet. Cette saisie comprend notamment les puissances des systèmes, leurs coefficients de performance (COP et EER) dans des conditions standardisées, les puissances des auxiliaires et les limites de fonctionnement.</li> <li>- Intégration de ces éléments dans l'arborescence ClimaWin</li> </ul> <p><i>Données détaillées en annexe 6.1.5.</i></p>	<p>La base de données EDIBATEC intègre de nombreux systèmes fabricant et permet de saisir ces matériels presque instantanément (ici, le Split-system du local serveur et les unités extérieures DRV).</p> <p>En revanche, si l'on s'éloigne de ces systèmes, la saisie est beaucoup moins évidente. C'est le cas pour la PAC sur air extrait.</p>

Tableau 5 - Saisie de l'arborescence ClimaWin

Description de la tâche	Observations / Problèmes rencontrés
<i>B.8/ Création de l'arborescence + saisie de la géométrie (Durée de saisie = 24,5 heures)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des espaces et de leurs principales caractéristiques : surface, volume, usage, chauffé ou non, climatisé ou non</li> <li>- Répartition des espaces dans une arborescence à plusieurs niveaux (Zones et Groupes en fonction de leurs usages du point de vue de la RT2012 et de leur planning pour la STD puis rassemblement de locaux par étage). Cette arborescence est détaillée au point 3.2.1.2.1.</li> <li>- Saisie pour chaque espace des dimensions des parois, des menuiseries</li> <li>- Saisie des espaces tampons : cages d'ascenseur et trémies techniques principales</li> </ul>	<p>Pour un calcul RT2012, on ne saisit généralement que les parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé. Ici, afin de simuler de manière précise le comportement du bâtiment par la STD, j'ai saisi l'ensemble des adjacences entre locaux. Cet ajout alourdit très fortement le temps de saisie.</p> <p>Lorsque, dans le local A, on saisit une paroi (ab) donnant sur le local B, celle-ci se crée automatiquement dans le local B vers le local A. En revanche, si l'on modifie la paroi (ab) dans le local A pour qu'elle donne sur un local C, une nouvelle paroi (ac) est créée dans le local C sans pour autant supprimer la paroi (ab) dans le local B.</p> <p>Ce mode de saisie est donc source de nombreuses erreurs.</p> <p>L'interface 2D "Climat-clic" de ClimaWin permet de gagner du temps sur la saisie. Cependant, d'une part, les modifications de la géométrie sur le modèle 2D sont facilement sources de plantage du logiciel ; d'autre part, les modifications géométriques effectuées dans l'arborescence ne s'appliquent pas au modèle 2D.</p>
<i>B.9/ Groupe (Durée de saisie = 0,5 heure)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie de l'inertie</li> <li>- Saisie du type de régulation en chauffage et refroidissement</li> <li>- Saisie des périodes des dates de saison de chauffage et de refroidissement</li> </ul>	<p>L'inertie est saisie de manière forfaitaire : classe "Moyenne" pour l'inertie quotidienne et classe "Légère" pour l'inertie séquentielle. La régulation chauffage choisie est "Optimiseur" et "Heure fixe avec contrôle d'ambiance" en refroidissement.</p> <p>Les dates des saisons de chauffage et de refroidissement sont saisies de sorte que les températures des locaux calculées par la STD dérivent le moins possible sur l'année.</p> <p>Les implications de ces choix sont décrites au point 3.2.1.2.3.</p>
<i>B.10/ Autocontrôle sommaire (Durée de saisie = 2 heures)</i>	

Description de la tâche	Observations / Problèmes rencontrés
<p>- A partir de la sortie du récapitulatif des surfaces de paroi par local, j'effectue un contrôle sommaire permettant de vérifier la cohérence de la saisie géométrique</p>	<p>Bien que sommaire, ce contrôle m'a permis de corriger 24 points, allant de la faute de virgule multipliant par 10 ou 100 la surface d'un mur à l'oubli de parois.</p>
<i>B.11/ Ponts thermiques (Durée de saisie = 1,5 heure)</i>	
<p>- Saisie des ponts thermiques associés aux parois donnant sur l'extérieur <i>Données détaillées en annexe 6.1.2.</i></p>	<p>Pour des raisons de simplification, seuls les principaux ponts thermiques L8, L9 et L10 (au sens de la méthode de calcul Th-bat) ainsi que des angles entrant et sortant donnant sur l'extérieur sont saisis.</p>
<i>B.12/ Occupation (Durée de saisie = 0,33 heure)</i>	
<p>- Saisie du nombre d'occupants pour chaque local - Saisie à part des ratios d'occupation utilisés par la STD <i>Données détaillées en annexe 6.1.3.</i></p>	<p>Utilisation de l'assistant "Style des locaux" permettant un gain de temps important. Ces nombres d'occupants par local font ensuite l'objet d'un nouveau calcul permettant d'établir des ratios d'occupation utilisés dans le calcul STD (cf. point 3.2.1.2.1, limite du modèle).</p>
<i>B.13/ Eclairage (Durée de saisie = 1 heure)</i>	
<p>- Saisie par local du ratio de puissance d'éclairage installé, du type de gestion utilisé et de la possibilité d'utilisation de l'éclairage naturel <i>Données détaillées en annexe 6.1.3.</i></p>	<p>Utilisation de l'assistant "Style des locaux" Le point 3.2.1.2.5 décrit les limites de cette saisie.</p>
<i>B.14/ Equipements (Durée de saisie = 0,25 heure)</i>	
<p>- Saisie par local des puissances d'équipement installées - Saisie à part des ratios d'apport sensible et latent de ces mêmes équipements pour la STD <i>Données détaillées en annexe 6.1.3.</i></p>	<p>Utilisation de l'assistant "Style des locaux" permettant un gain de temps important. Ces apports par local font ensuite l'objet d'un nouveau calcul permettant d'établir des ratios d'apports utilisés dans le calcul STD (cf. point 3.2.1.2.1, limite du modèle).</p>
<i>B.15/ Débits d'air neuf (Durée de saisie = 2 heures)</i>	
<p>- Saisie par local des débits d'air neuf soufflés et extraits, en occupation et en inoccupation <i>Données détaillées en annexe 6.1.3.</i></p>	<p>La création de systèmes de ventilation et d'émetteurs engendre la modification des champs à remplir, ce qui dans le cas étudié ici m'a fait saisir deux fois les débits.</p>
<i>B.16/ Apports horaires (Durée de saisie = 0,25 heure)</i>	
<p>- Pour le calcul d'apports, il faut saisir des plages d'occupation et d'émission des équipements saisis précédemment pour chaque local Selon l'usage le planning est saisi en permanent ou en 8h - 18h.</p>	<p>Ces plannings horaires sont indépendants de ceux utilisés pour la STD ou le calcul RT2012. Ils ne servent pas à calculer des consommations mais seulement à établir le cas défavorable servant de base au dimensionnement des équipements de climatisation.</p>
<i>B.17/ Emetteurs de chauffage et de refroidissement (Durée de saisie = 1 heure)</i>	

Description de la tâche	Observations / Problèmes rencontrés
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des terminaux de chauffage et de ventilation</li> <li>- Liaison de ces émetteurs aux locaux qu'ils desservent</li> </ul> <i>Données détaillées en annexe 6.1.5.</i>	<p>Les ventilo-convecteurs et les radiateurs électriques sont importés depuis la base de données EDIBATEC.</p> <p>Le traitement tout air neuf des autres locaux est saisi manuellement.</p>
<i>B.18/ Centrales de traitement d'air (CTA) + Ventilation (Durée de saisie = 3 heures)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des systèmes permettant le renouvellement d'air au niveau de la zone (ici, il s'agit des CTA double flux et des VMC)</li> <li>- Ces systèmes sont associés au niveau du groupe à des "Ventilations"</li> </ul> <i>Données détaillées en annexe 6.1.5.</i>	<p>Les CTA sont liées aux générateurs précédemment saisis.</p> <p>La saisie des CTA dans ClimaWin est très encadrée par le calcul réglementaire. Ce cadre me force à saisir pour notre bâtiment témoin une CTA à débit d'air constant alors que l'on a de la variation de fréquence.</p> <p>De plus, la modification du type de CTA contraint à ressaisir tous les débits d'air des locaux (tâche B.15).</p> <p>Les tenants et les aboutissants de ce choix sont décrits au point 3.2.1.2.7.</p>
<i>B.19/ ECS (Durée de saisie = 2 heures)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie d'un ballon ECS électrique dans les générateurs</li> <li>- Saisie d'émetteurs terminaux (ici, des lavabos et des douches dans les vestiaires)</li> </ul> <i>Données détaillées en annexe 6.1.5.</i>	<p>Dans le cadre de cette étude, le calcul de l'ECS est limité aux valeurs proposées par défaut par le logiciel.</p>

**Tableau 6 - Débogage du modèle ClimaWin**

Description de la tâche	Observations / Problèmes rencontrés
<i>C.20/ Bbio (Durée de saisie = 0,33 heure)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprise des erreurs de saisie (débits d'air manquants, apports incohérents, ...) détectées par le logiciel et bloquant le calcul du Bbio</li> </ul>	<p>Le logiciel est parfois flou sur l'origine du problème à traiter.</p>
<i>C.21/ STD (Durée de saisie = 4 heures)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprise du modèle en fonction des erreurs détectées par le logiciel et bloquant le calcul</li> </ul>	<p>Le logiciel est parfois flou sur l'origine du problème à traiter.</p>
<i>C.22/ RT2012 (Durée de saisie = 7 heures étalées sur une semaine)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprise du modèle en fonction des erreurs détectées par le logiciel et bloquant le calcul du Cep</li> </ul>	<p>Il est nécessaire d'échanger avec le SAV de BBS Slama (éditeur du logiciel) afin de rectifier les données d'entrées des PAC sur air extrait. Ce sujet est détaillé au point 3.2.1.2.6.</p>

### 3.2.1.2 Limite de la méthode

#### 3.2.1.2.1 Incidence de l'arborescence Zone/groupe

La saisie sous ClimaWin respecte l'arborescence imposée par la méthode calcul Th-BCE de la RT2012. Cette méthode est structurée suivant quatre niveaux :

- le niveau « Bâtiment »
- le niveau « Zone »
- le niveau « Groupe »
- le niveau « Local »

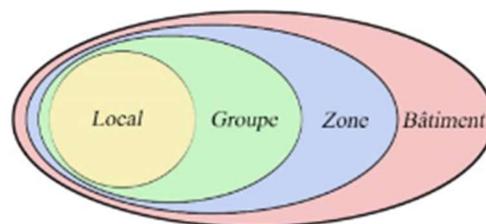


Figure VII - Structure de la méthode Th-BCE, issue de la fiche d'application : "Comment identifier l'usage d'un bâtiment et l'exigence associée ?" éditée par le CSTB

Bien que les scénarii d'occupation et d'apports internes puissent être définis au niveau du local, les facteurs suivants ne peuvent être définis qu'au niveau du groupe :

- Consignes de température ;
- Puissances et scénarii d'éclairage ;
- Scénarii de ventilation ;
- Densités d'occupation et apports sensibles et latents par occupant ;
- Scénarii de consommation d'ECS.

En conséquence, dès que l'un de ces facteurs varie entre deux locaux, ils doivent être saisis dans des groupes différents.

Les groupes sont ensuite réunis en zones desservies par une même CTA.

En prenant ces contraintes en compte, on obtient une arborescence complexe :

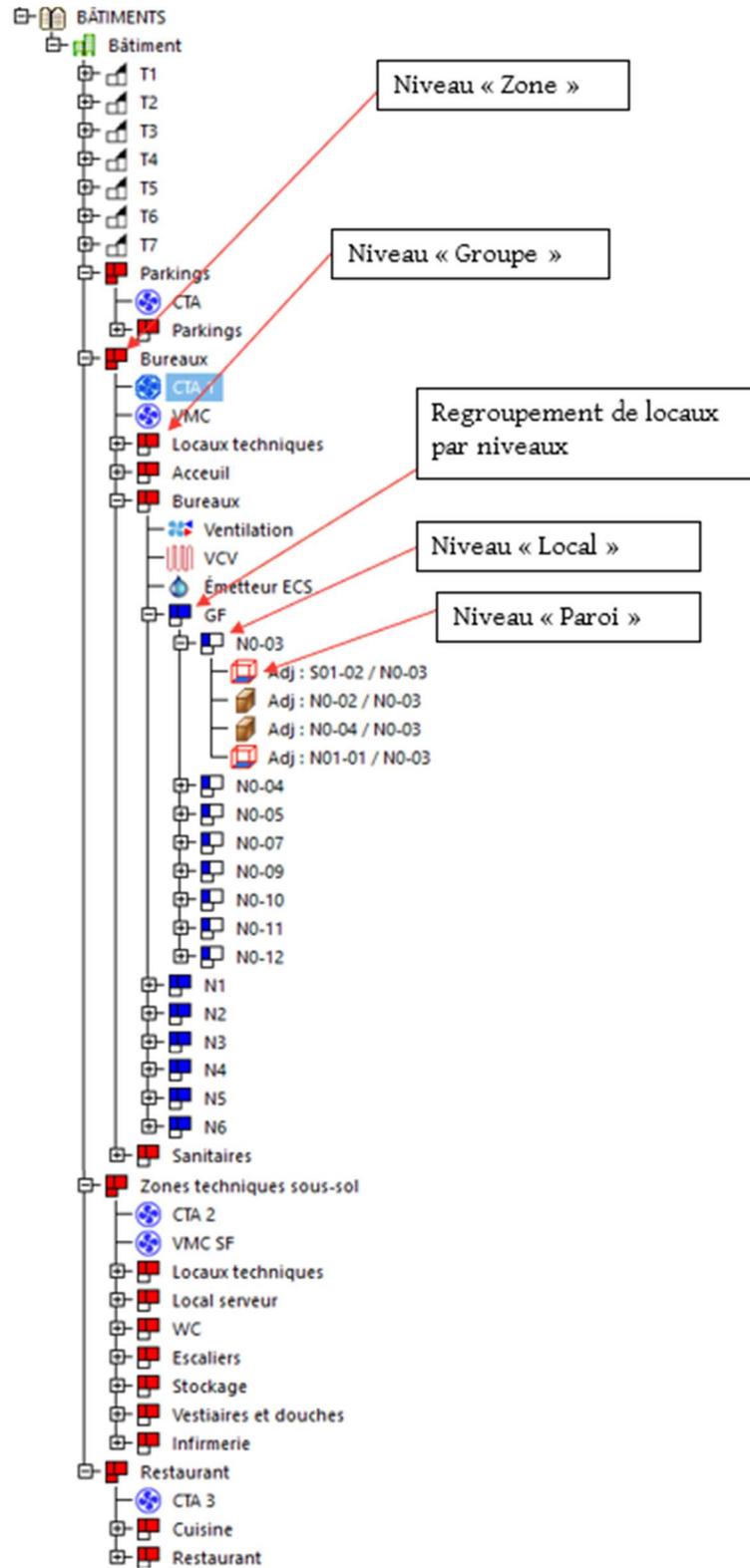


Figure VIII - Détail de l'arborescence ClimaWin

### 3.2.1.2.2 Simplification du modèle géométrique

L'ensemble des données géométriques étant saisies directement, sans souci de cohérence dimensionnelle, de nombreuses simplifications sont effectuées, parmi lesquelles :

- Regroupement en une seule des parois d'un local ayant la même adjacence ;
- Calcul des volumes sur la base d'une hauteur constante sur l'ensemble du local ;
- Négligence de parois internes mineures ;

### 3.2.1.2.3 Programmation chauffage et refroidissement

Le type de programmation et de refroidissement se définit au niveau du groupe. Le type de programmeur choisi détermine le temps de relance entre périodes d'inoccupation et d'occupation.

En effet, lorsque le bâtiment fonctionne en mode réduit, par exemple chauffé à 16°C la nuit, il faut un certain temps pour le ramener à sa température d'usage normale (réglementairement 19°C, dans le cas étudié 21°C). Ce temps dépend des conditions extérieures, de l'inertie du bâtiment, du type d'émetteurs terminaux et de leur puissance disponible. Pour la STD et le calcul RT2012, ClimaWin calcule le temps de relance et les consommations qui y sont associées sur la base suivante :

#### 10.4.3.2 Durées de relance selon les cas

Type <sub>pgm_ch</sub>	Type de programmation associé	Durée de relance : $\Delta t_{relance}(h)$	
		Inoccupation courte $p_{ch}(t)=0$	Inoccupation prolongée $p_{ch}(t)=-1$
1	Horloge à heure fixe	2 h	6 h
2	Horloge à heure fixe associée à un contrôle d'ambiance	2 h	4 h
3	Optimiseur	1 h	Variation linéaire en fonction de $\theta_{ext}$ , entre 0 et 3h Voir ci-dessous.

**Tableau 88: Type de programmation et durée de relance en chauffage**

Type <sub>pgm_fr</sub>	Type de programmation associé	Durée de relance : $\Delta t_{relance}(h)$	
		Inoccupation courte $p_{fr}(t)=0$	Inoccupation prolongée $p_{fr}(t)=-1$
1	Horloge à heure fixe	1 h	3 h
2	Horloge à heure fixe associée à un contrôle d'ambiance	1 h	2 h
3	Sans horloge	0 h (fonctionnement permanent)	0 h (fonctionnement permanent)

**Tableau 89: Type de programmation et durée de relance en refroidissement**

#### Figure IX - Extrait de la Méthode Th-BCE, types de programmation et relance de chauffage

Le choix d'une programmation « Optimiseur » permet d'intégrer la température extérieure à la détermination du temps de relance.

En plus des programmations ci-dessus, on saisit des périodes de chauffage et de refroidissement. Ces périodes peuvent être définies date à date ou prendre en compte les degrés-jour et les besoins du bâtiment. En fonctionnement réel, on considère que toute l'année, on chauffe ou refroidit dès que cela est nécessaire.

Or, si la CTA fonctionne en mode chaud et qu'au niveau d'un local, on a des besoins de froid, on se retrouve à refroidir de l'air pour ensuite le réchauffer. **Les calculs réglementaire et STD de ClimaWin interdisent formellement ce mode de fonctionnement et la priorité est donnée au chauffage. Ce qui veut dire que, si un local du groupe a besoin de chauffage, la CTA ne peut pas fournir de froid puisqu'elle traite l'ensemble du groupe.**

J'ai donc ajusté, pour chaque groupe, les dates de saison de chauffage et de refroidissement de façon à couvrir le mieux possible les besoins.

#### *3.2.1.2.4 Caractéristiques des émetteurs*

Deux caractéristiques techniques des émetteurs influencent de manière importante les calculs RT2012 et STD de ClimaWin :

- La variation spatiale : elle caractérise la capacité du système à fournir une température homogène dans l'espace. Par exemple, la classe de variation spatial B2 veut dire que la différence entre le point le plus chaud et le point le plus froid est de 0,2°C.
- La variation temporelle : elle caractérise la précision de la régulation. C'est l'écart entre la température du local et la consigne. Pour une variation temporelle de 1°C et une consigne de 20°C en chauffage, l'émetteur chauffe entre 19 et 21°C.

ClimaWin prend en compte dans son calcul le cas le plus défavorable. Cela veut dire que, pour les valeurs prises en exemple ci-dessus, le calcul de consommation se fait pour une température intérieure de  $20 + 0,2 + 1 = 21,2^\circ\text{C}$ .

Les valeurs saisies pour ces coefficients sont décrites en annexe 6.1.5.3.

#### *3.2.1.2.5 Simulation de la gestion de l'éclairage*

ClimaWin utilise pour le calcul des consommations d'éclairage de la STD les mêmes simplifications que celles décrites dans la méthode Th-BCE : à chaque type de gestion, un coefficient est appliqué à la puissance d'éclairage installée.

Concrètement, cela signifie que, lorsque l'on saisit un mode de gestion « Marche et arrêt automatiques », le logiciel ne réalise pas un calcul d'éclairement heure par heure dans le local

pour déterminer quand l'éclairage est automatiquement déclenché mais il applique seulement le coefficient 0,7 (pour un local de bureau) à la puissance appelée. Ce coefficient est issu du tableau ci-dessous :

type de zone	type de local	interrupteur manuel Gest_ecl = 1	interrupteur manuel et système de programmation horaire Gest_ecl = 2	Marche et arrêt automatiques Gest_ecl = 3	Marche manuelle / arrêt automatique Gest_ecl = 4	Eréf (lux)
Bureaux	Bureau	0,9	0,85	0,8	0,7	500
	salle de réunion	0,7	0,65	0,6	0,5	500
	Circulation Accueil	0,8	0,75	0,7	0,6	100
	Sanitaires collectifs	0,7	0,65	0,6	0,5	200
Etablissement d'accueil de la petite enfance (crèche, halte- garderie)	salles de jeux (hors restauration et bureau)	0,95	0,9	0,85	0,75	300
	salle de repos	0,8	0,75	0,7	0,6	300
	Bureau	0,9	0,85	0,8	0,7	500
	salle de réunion	0,8	0,75	0,7	0,6	500
	Circulation Accueil	0,6	0,55	0,5	0,4	100
	Sanitaires vestiaire	0,7	0,65	0,6	0,5	200
Enseignement primaire	salles de classe	0,95	0,9	0,85	0,75	300
	Bureau	0,9	0,85	0,8	0,7	500
	salle de réunion	0,8	0,75	0,7	0,6	300
	salle de repos	0,8	0,75	0,7	0,6	300
	Circulation Accueil	0,6	0,55	0,5	0,4	100
	Sanitaires vestiaire	0,7	0,65	0,6	0,5	200
Enseignement secondaire (partie jour)	salles de classes	0,95	0,9	0,85	0,75	300
	salle de réunion	0,8	0,75	0,7	0,6	300
	salles enseignement informatique	0,95	0,9	0,85	0,75	300
	Salle de conférence salle polyvalente	0,8	0,75	0,7	0,6	300
	Bureau standard	0,9	0,85	0,8	0,7	500
	centre de documentation	0,8	0,75	0,7	0,6	500
	Salle des professeurs	0,8	0,75	0,7	0,6	300
	Circulation Accueil	0,6	0,55	0,5	0,4	100
	Sanitaire collectifs	0,7	0,65	0,6	0,5	200

Figure X - Extrait de la méthode de calcul Th-BCE « Tableau 75 : Valeurs du coefficient C1 et de l'éclairage intérieur de référence »

### 3.2.1.2.6 Simulation de la PAC sur air extrait

La saisie dans ClimaWin d'une PAC sur air extrait a entraîné une erreur dans le moteur de calcul du CSTB décrite de la manière suivante :

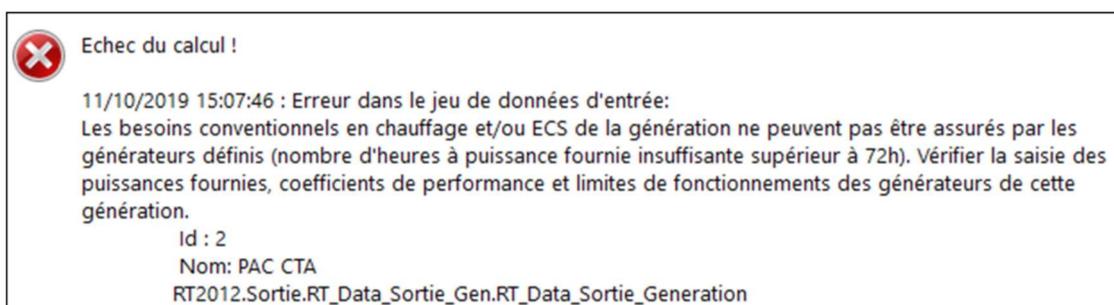


Figure XI - Capture d'écran du message d'erreur ClimaWin

Après plusieurs échanges avec le SAV de BBS Slama, je n'ai pas réussi à identifier la cause de l'erreur. J'ai donc saisi une PAC sur air extérieur plus conventionnelle mais intégrant les performances du modèle sélectionné. Les données de la fiche technique intègrent la PAC et

le récupérateur de chaleur à roue dans un même coefficient de performance. J'ai supprimé en conséquence l'échangeur de la saisie de la CTA, étant donné que ses performances sont déjà intégrées dans celles de la PAC (cf. annexe 6.1.5.2).

Cette simplification pénalise le calcul puisque la température extérieure est généralement plus défavorable pour les performances énergétiques d'une PAC que la température de l'air extrait.

Cette erreur ne bloquait pas le calcul STD mais, afin d'avoir un modèle unique pour le calcul réglementaire et la STD, j'ai conservé les modifications précédemment décrites pour les deux calculs.

### 3.2.1.2.7 Simulation de la CTA

ClimaWin permet de saisir 4 types de système de traitement de l'air neuf :

- CTA simple flux : extraction seule.



Figure XII - Schéma d'une CTA simple flux

- CTA double flux : soufflage et extraction à débit constant avec possibilité de récupération de chaleur sans préchauffage ou pré-refroidissement.

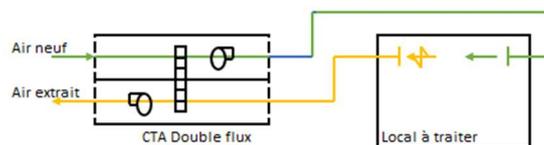


Figure XIII - Schéma d'une CTA double flux

- CTA DAC (Débit d'Air Constant) : soufflage et extraction à débit constant avec reprise, permettant une variation du débit d'air et possibilité de récupération de chaleur, de préchauffage et de pré-refroidissement.

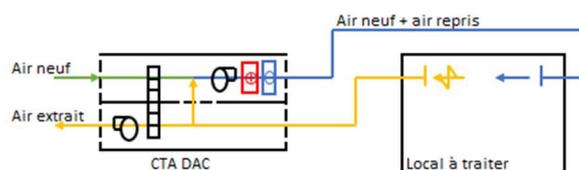


Figure XIV - Schéma d'une CTA DAC

- CTA DAV (Débit d'Air Variable) : soufflage et extraction à débit variable par variation de fréquence sur les ventilateurs, avec reprise, préchauffage et refroidissement possibles mais sans récupération de chaleur. Une CTA DAV n'admet pas de système de refroidissement terminal.

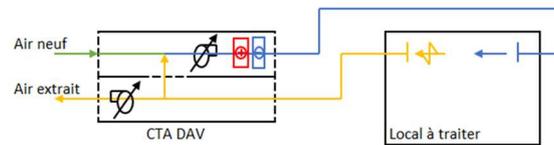


Figure XV - Schéma d'une CTA DAV

Dans le cas étudié, on a à la fois de la variation de fréquence sur les ventilateurs, possible uniquement avec une CTA DAV, et de la récupération de chaleur par échangeur à roue, possible sur les CTA double flux et DAC. Cependant, le fait que la CTA DAV interdise ensuite que des ventilo-convecteurs terminaux soit saisis en froid nous éloigne trop du cas étudié.

J'ai ainsi choisi de saisir des CTA DAC pour le traitement d'air des locaux courants, ce qui a pour conséquence de ne pas prendre en compte les économies d'énergie liées à la variation de fréquence sur les ventilateurs.

Pour les locaux sanitaires, j'ai saisi des CTA simple flux et pour les parkings, une CTA double flux sans échangeur.

### 3.2.1.3 Etape III : Analyse des résultats

#### 3.2.1.3.1 Calcul d'apports et de déperditions

ClimaWin permet de réaliser à partir des données précédemment saisies les calculs d'apports selon la norme ASHRAE 2013 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*) qui utilise la méthode RTS et le calcul de déperditions selon la norme NF EN 12831. Ces deux méthodes sont très largement reconnues et validées par les organismes de contrôles et de certifications.

ClimaWin permet de discrétiser les apports et les déperditions pour chaque local en les séparant par parois, renouvellement d'air, infiltration et charges internes. ClimaWin propose des sorties au formats .pdf et .xls regroupant ces résultats par ensemble de locaux, groupes, zones ou pour l'ensemble du bâtiment.

Les apports peuvent être sortis pour le maximum du bâtiment, ce qui permet de dimensionner une production frigorifique ou au maximum de chaque local, ce qui permet de dimensionner les unités intérieures.

Voici ci-dessous les résultats obtenus pour l'ensemble du bâtiment étudié :

Bilan global					
Déperditions					
Transmission (a)	Infiltration (b)	Ventilation (c)	Dans locaux (d)	Dans CTA (e)	Totales (f=a+b+c+d+e)
37939 W	2923 W	42596 W	61858 W	21600 W	83458 W
Puissances					
Surpuissance (g)	Puissance totale(h=f+g)	Préchauffage (i)	Charge locaux (j=f-i)	Puissance locaux (k=j+g)	
0 W	83458 W	4581 W	78877 W	78877 W	

Figure XVI - Résultat global du calcul de déperditions ClimaWin

Bilan global									
Caractéristiques générales									
Surface			Volume			Maximum		Text.	Hext.
3184.80m²			8959.93m³			17 h en juillet		30 °C	40 %
Apports									
Apports du bâtiment			Apports centrale			Apports globaux			
sensibles	latents	totaux	sensibles	latents	totaux	sensibles	latents	totaux	
127964 W	16589 W	144553 W	2830 W	4416 W	7246 W	130794 W	21005 W	151799 W	

Figure XVII - Résultat global du calcul d'apports ClimaWin

La Figure XVIII ci-dessous donne un exemple des sorties au format .pdf proposé par ClimaWin pour un local type :

Calcul des apports pour le local N0-12 Au maximum à 16h (heure légale) en août (ashrae 2013)														
Bilan global														
Apports														
Apports du local			Apports centrale			Apports globaux								
sensibles	latents	totaux	sensibles	latents	totaux	sensibles	latents	totaux						
5224 W	445 W	5669 W	257 W	184 W	442 W	5481 W	629 W	6110 W						
Feuille de calcul														
Caractéristiques générales														
Bâtiment / Locaux courant / Bureaux / GF						Température	Extérieur	Terminal	Intérieur					
Centrale de traitement d'air à débit constant (CTA DAC)							29.67 °C	13.00 °C	26.00 °C					
Soufflage d'air chaud ou froid (convecteurs, ventilo-convecteurs, aérothermes ...)							Hygrométrie	40.56 %	95.00 %	45.16 %				
							Poids d'eau	10.65 g	8.94 g	9.55 g				
Apports par ventilation / infiltration														
		Débits		Apports local			Apports globaux							
				Sensibles	Latents	Totaux	Sensibles	Latents	Totaux					
Ventilation		200 m³/h		0 W	0 W	0 W	257 W	184 W	442 W					
Infiltration		5 m³/h		7 W	5 W	12 W	7 W	5 W	12 W					
Totaux		205 m³/h		7 W	5 W	12 W	264 W	189 W	453 W					
Apports internes														
Occup.	Type	Occupants		Éclairage			Appareillage			Totaux				
		nominal	Cif	total	nominal	Cif	total	nominal	Cif	total	sensibles	latents	totaux	
8h - 16h		sensibles	600 W	0.92	555 W	398 W	0.93	368 W	4000 W	0.94	3740 W	4663 W	440 W	4663 W
		latents	440 W		440 W			0 W		0 W		440 W	440 W	440 W
Totaux				995 W		368 W				3740 W	4663 W	440 W	5103 W	5103 W
Apports par conduction et rayonnement														
Composant	Orl.	Nb	surface	U	Part	Coul.	dT	Apports	s	Apports	Apports			
Mur extérieur	SS O		29.62 m²	0.417	1.00	0.60	1.48	18 W	0.04			18 W		
Fenêtre		2	3.34 m²	2.000	0.96		3.67	14 W	0.40	540 W		554 W		
Mur sur LNC	--		15.40 m²	0.178			1.26	-3 W	0.04			-3 W		
Cloison intérieure	--		15.40 m²	0.468			0.00	0 W	0.04			0 W		
Cloison intérieure	--		13.55 m²	0.468			0.00	0 W	0.04			0 W		
Planchers intermédiaire sur LNC	--		13.50 m²	0.215			-1.16	-3 W	0.00			-3 W		
Planchers intermédiaire	--		8.40 m²	1.887			0.00	0 W	0.00			0 W		
Planchers intermédiaire	--		2.00 m²	1.887			1.02	3 W	0.00			3 W		
Planchers intermédiaire	--		11.60 m²	1.887			-0.14	-14 W	0.00			-14 W		
Planchers intermédiaire	--		26.00 m²	1.887			0.00	0 W	0.00			0 W		
Planchers intermédiaire	--		11.00 m²	1.887			0.00	0 W	0.00			0 W		
Totaux								14 W		540 W		554 W		

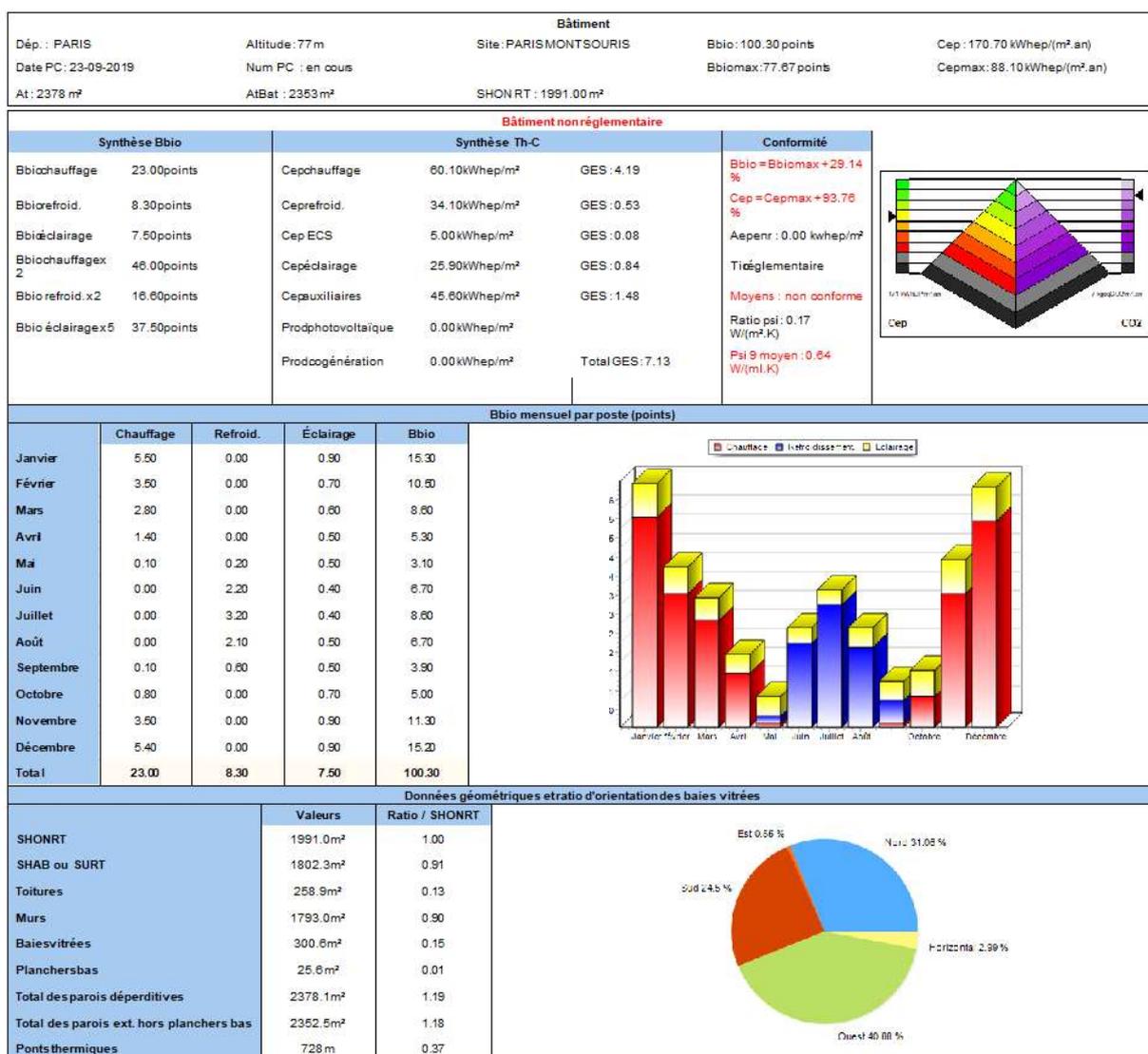
Figure XVIII - Extrait du calcul d'apports de ClimaWin - Détail des résultats d'un local

Le calcul est réalisé en temps réel, chaque modification étant instantanément incrémentée dans le calcul.

### 3.2.1.3.2 Calcul RT2012

ClimaWin permet de réaliser le calcul RT2012 et d'établir les coefficients Bbio, Cep et Tic. Il permet de générer les fichiers .xml permettant d'éditer ensuite à partir du site internet [www.rt-batiment.fr](http://www.rt-batiment.fr) les attestations réglementaires au dépôt de permis de construire et à la fin des travaux ainsi que le récapitulatif standardisé d'étude thermique (RSET) pour le bureau de contrôle.

Les résultats sont aussi exportables sous forme de la synthèse suivante :



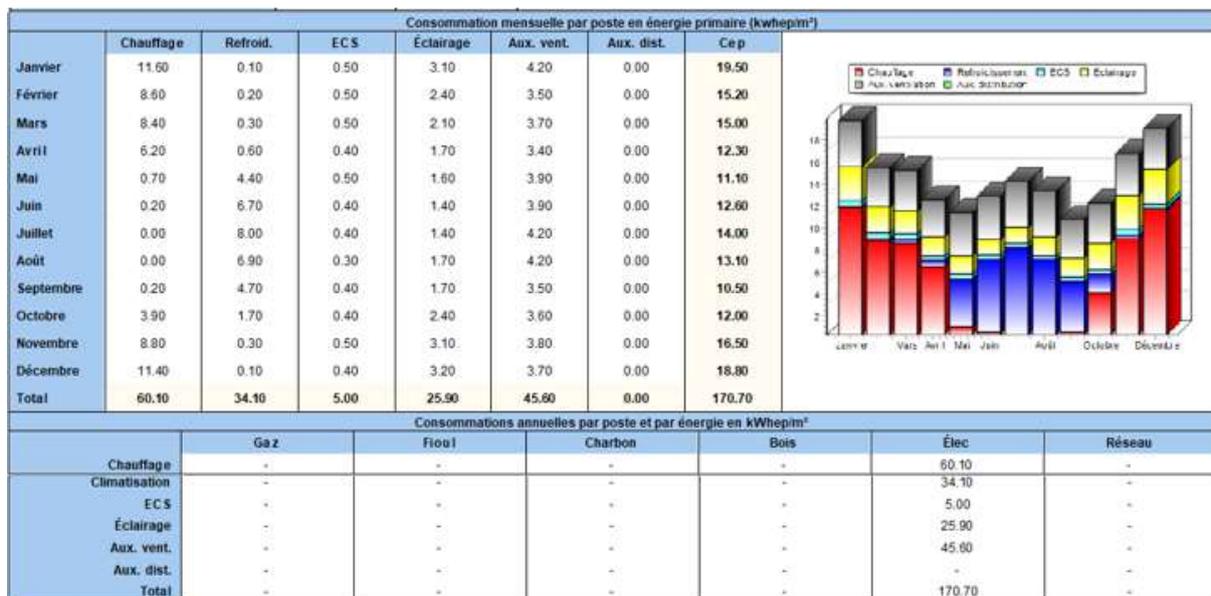


Figure XIX - Résultats du Calcul RT2012 sous ClimaWin

Le calcul RT2012 se fait en moins d'une minute.

A noter que le bâtiment saisi n'est pas du tout conforme à la RT2012. En effet, sa conception bioclimatique ne répond pas aux exigences énergétiques actuelles mais cet aspect n'est pas l'objet de ce mémoire.

### 3.2.1.3.3 Simulation Thermique Dynamique

ClimaWin propose deux types de calcul :

- STD : Simulation Thermique Dynamique qui établit heure par heure les températures des locaux, les apports et les déperditions, ce qui permet d'estimer les **besoins énergétiques** pour chauffer, refroidir et éclairer le bâtiment ;
- SED : Simulation Énergétique Dynamique qui, à partir du calcul STD, intègre les systèmes du bâtiment pour en déduire leurs **consommations énergétiques**.

Par abus de langage, on entend par STD dans le reste de ce mémoire ce que ClimaWin nomme SED. C'est bien ce calcul de consommations que nous étudions.

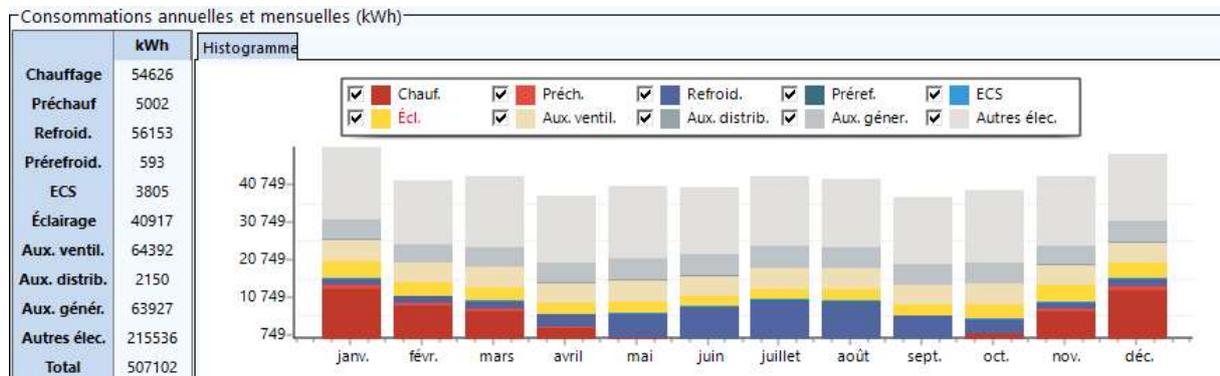
Ce calcul se charge en moins d'une minute.

Le calcul STD de ClimaWin permet d'établir les consommations d'énergie des postes suivants :

- Chauffage : Consommation des équipements de production de chaud (chaufferie) et des terminaux (radiateurs, ventilo-convecteurs, ...) ;
- Préchauffage : Consommation liée au préchauffage de l'air dans les CTA ;

- Refroidissement : Consommation des équipements de production de froid (groupes froids, unités extérieures VRV, ...) et des terminaux (ventilo-convecteurs, planchers réversibles, ...);
- Pré-refroidissement : Consommation liée au pré-refroidissement de l'air dans les CTA;
- ECS;
- Eclairage;
- Auxiliaires de ventilation : Consommation due aux ventilateurs dédiés uniquement au renouvellement d'air (CTAs et extracteurs), les ventilateurs des ventilo-convecteurs étant comptés dans le chauffage et le refroidissement;
- Auxiliaires de distribution : Pompes d'eau chaude et d'eau glacée;
- Auxiliaires de génération : Puissances consommées par les auxiliaires des générateurs (brûleurs, régulations, ...);
- Autres électricités : Consommation de process liée à la bureautique, aux cuisines, ...

Le récapitulatif global proposé automatiquement par le logiciel est le suivant :



Ces consommations peuvent être discrétisées heure par heure, par zone, groupe ou local.

En revanche, pour ce qui est des systèmes, on ne peut avoir les consommations que des « Générations ». Il n'est pas possible de sortir indépendamment les consommations d'un ventilateur d'une CTA donné ou d'un émetteur particulier.

Enfin, ce qui se cache derrière les consommations d'auxiliaires de génération est très flou s'agissant des productions de chauffage et de refroidissement par système thermodynamique. Dans notre cas, la valeur est laissée par défaut, le moteur de calcul

prenant alors une part forfaitaire de la puissance totale absorbée des systèmes de production pour la considérer comme la consommation des auxiliaires de génération.

En plus des données de consommation, ClimaWin permet de sortir des courbes de température (Figure XXI) au pas horaire pour chaque zone, groupe, local ou rassemblement de locaux.

Il est aussi possible de sortir des graphiques préétablis donnant le nombre d'heures d'inconfort (Figure XXII).

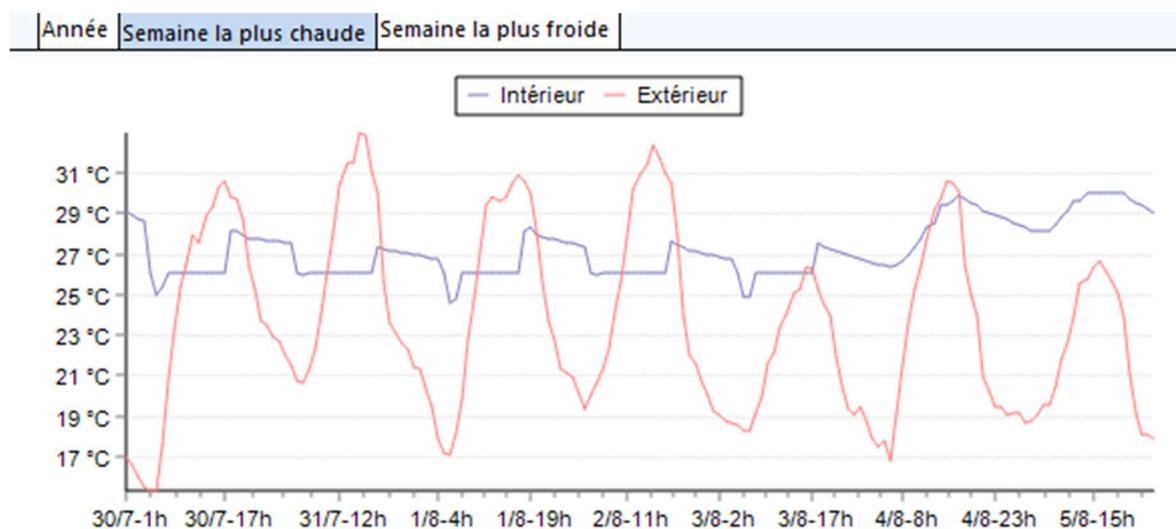


Figure XXI - Courbe de température d'un local-type sur la semaine la plus chaude de l'année

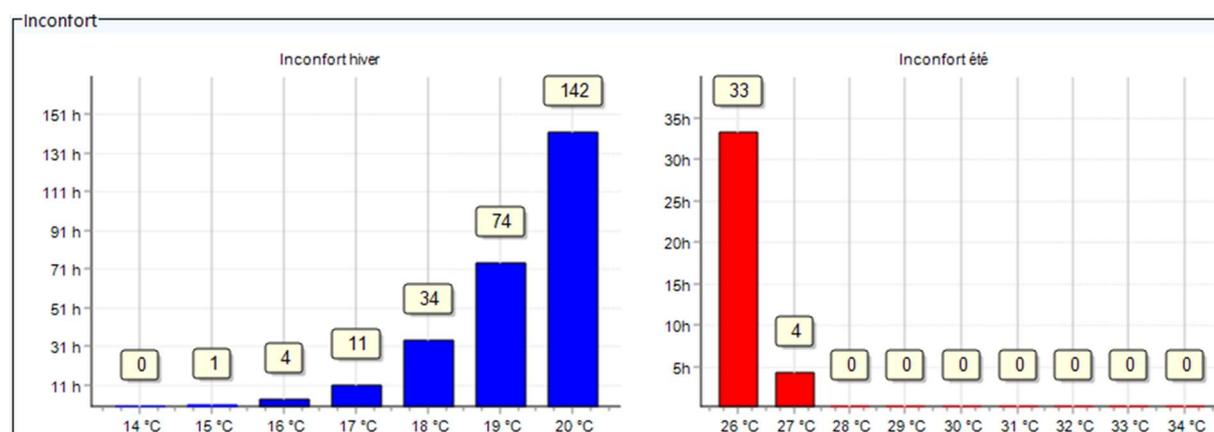


Figure XXII - Graphiques d'inconfort d'un local-type proposés par ClimaWin

### 3.2.2 SAISIE SOUS DESIGNBUILDER (1B)

#### 3.2.2.1 Etape II : Description de la méthode de saisie

La saisie du bâtiment sous DesignBuilder a pris au total 7,1 jours (sur la base de journées de 7 heures), décomposée en 4 parties principales, détaillées dans les tableaux ci-après :

- A/ Saisie des catalogues : renseignement des différentes bases de données utilisées pour le projet (Tableau 7)
- B/ Saisie de l'arborescence : description de l'enveloppe et des données intérieures (Tableau 8)
- C/ Système CVC : correction des erreurs (Tableau 9)
- D/ RT2012 : Ajout des données réglementaires (Tableau 10)

**Tableau 7 - Saisie des catalogues DesignBuilder**

<b>Description de la tâche</b>	<b>Observations / Problèmes rencontrés</b>
<i>A.1/ Parois (Durée de saisie = 1 heure)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des caractéristiques thermiques des matériaux composant les parois</li> <li>- Assemblage de ces composants afin de constituer l'ensemble des parois utilisées sur le projet</li> </ul> <i>Données détaillées en annexe 6.1.2</i>	<p>Bien que DesignBuilder propose un catalogue de matériaux très large, ses données sont issues des standards anglo-saxons (ASHRAE et UK NCM), les matériaux choisis pour l'étude sont donc entièrement recréés. Les ponts thermiques sont intégrés forfaitairement dans les parois.</p>
<i>A.2/ Menuiseries (Durée de saisie = 0,2 heure)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie des caractéristiques thermiques des menuiseries de manière simplifiée : on entre directement la valeur de transmission thermique (<math>U_w</math>) et de facteur solaire (<math>F_s</math>) du projet</li> <li>- Saisie des dimensions de cadre, les dimensions globales étant issues du modèle géométrique</li> </ul> <i>Données détaillées en annexe 6.1.2</i>	<p>Il est possible de saisir les menuiseries de manière détaillée en entrant les caractéristiques des verres, du gaz et du cadre utilisés. Cependant, cette saisie est lourde et, en l'absence de fiche technique détaillée, l'approximation de la méthode simplifiée est généralement choisie.</p>
<i>A.3/ Site (Durée de saisie = 0,02 heure)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saisie de la localisation géographique du projet parmi un ensemble de sites proposé par le logiciel</li> </ul>	<p>Les sites météo proposés par DesignBuilder sont ceux de l'ASHRAE. Il est possible d'importer de nouveaux fichiers au format .epw, qui est un format texte entièrement modifiable.</p>
<i>A.4/ Ombrage (Durée de saisie = 0,33 heure)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Création de blocs géométriques symbolisant les bâtiments environnants</li> </ul>	<p>L'ensemble des ombrages, proches et lointains, sont calculés par le logiciel à partir du modèle géométrique. Il est possible d'exclure les ombrages du calcul si l'on veut les négliger.</p>
<i>A.5/ Templates (Durée de saisie = 1,5 heure)</i>	

<p>- Saisie des plannings hebdomadaires heures par heures d'occupation, de ventilation, d'éclairage, d'ECS, d'apports internes sensibles et latents.</p> <p>- Ces plannings ainsi que quelques autres données (apports et air neuf par occupant, éclairage, ventilation, ...) sont regroupés par usage dans des ensembles appelés « Templates ».</p> <p><i>Données détaillées en annexe 6.1.3 et 6.1.4</i></p>	<p>La saisie des plannings peut se faire sous forme de graphique ou de code au format texte.</p> <p>DesignBuilder propose une large base de données de plannings issue notamment des normes anglo-saxonnes mais aussi de la RT2012.</p> <p>La saisie des Templates anticipe sur la saisie des usages RT2012. On crée des usages similaires à ceux de la RT2012 afin d'organiser en amont le modèle pour l'arborescence décrite au point 3.2.2.2.1.</p>
--	--

**Tableau 8 - Saisie de l'arborescence DesignBuilder**

<b>B/ Arborescence</b>	
<b>Description de la tâche</b>	<b>Observations / Problèmes rencontrés</b>
<i>B.6/ Saisie de la géométrie (Durée de saisie = 5 heures)</i>	
<p>- Création du modèle 3D</p>	<p>DesignBuilder permet d'importer des plans au format .dxf ou .pdf et de les utiliser comme fond de plan. On dessine directement des blocs que l'on cloisonne ensuite en locaux.</p> <p>Les outils de dessin permettent de réaliser n'importe quel type de formes. En revanche, quelques simplifications sont nécessaires, notamment sur les rampes de parking. Des formes trop complexes alourdissent fortement les temps de calcul et la fluidité de la navigation dans le logiciel.</p> <p>Les menuiseries sont dessinées une par une sur les parois et il est possible de renseigner des ratios de surface plus adaptés par exemple à des murs rideaux.</p>
<i>B.7/ Données intérieures des espaces (Durée de saisie = 2,5 heures)</i>	
<p>- Application des templates, - Renseignement des apports internes</p>	<p>Pour chaque espace créé, on applique un template précédemment créé.</p> <p>On renseigne parallèlement le nombre d'occupants de chaque espace et ses apports internes. Ces données peuvent être entrées en valeur absolue ou en ratio surfacique.</p>
<i>B.8/ Autocontrôle et débogage (Durée de saisie = 0,5 heure)</i>	
<p>- Premier auto-contrôle afin de résoudre les erreurs signalées lors du lancement des calculs d'apports et de déperditions</p>	<p>Le contrôle de la géométrie et des menuiseries se fait visuellement. A chaque template est associée une couleur, ce qui permet en parallèle de vérifier les activités saisies.</p> <p>L'onglet "Visualisation" de DesignBuilder permet faire apparaître nombre de facteurs sur le modèle 3D, notamment les types de parois et de menuiseries utilisées.</p>

**Tableau 9 - Saisie des Systèmes CVC DesignBuilder**

<b>Description de la tâche</b>	<b>Observations / Problèmes rencontrés</b>
<i>C.9/ Schéma synoptique (Durée de saisie = 1 heure)</i>	
- Saisie graphique des systèmes	En mode "détaillé", la saisie des systèmes CVC sous DesignBuilder se fait graphiquement. On importe les composants (CTA, VRV) que l'on lie à des ensembles de locaux dans lesquels on ajoute les terminaux. Le détail de cette saisie est décrit au point 3.2.2.2.2.
<i>C.10/ Zones CVC (Durée de saisie = 2 heures)</i>	
- Saisie des besoins thermiques et d'air neuf des zones	On saisit des plannings de thermostat ainsi que des consignes de température, celles-ci pouvant être différentes de celles saisies précédemment. En quelque sorte, on différencie le besoin lié à l'espace qui servira notamment d'étalon pour évaluer le confort et le besoin commandant le système CVC. On définit aussi les facteurs de surdimensionnement.
<i>C.11/ Données Systèmes (Durée de saisie = 4 heures)</i>	
- Saisie des caractéristiques techniques de l'ensemble des composants des systèmes CVC	Les données d'entrée utilisées sont décrites au point 6.1.5.
<i>C.12/ ECS (Durée de saisie = 1 heure)</i>	
- Saisie d'un ballon ECS électrique - Saisie d'un point de puisage <i>Données détaillées en annexe 6.1.5.4</i>	Dans le cadre de cette étude, le calcul de l'ECS est limité aux valeurs proposées par défaut par le logiciel.

**Tableau 10 - Saisie des propriété RT2012**

<b>Description de la tâche</b>	<b>Observations / Problèmes rencontrés</b>
<i>D.12/ Usage (Durée de saisie = 2 heures)</i>	
- Export fichier GBXML depuis la v6 puis import dans la v5.5 - Export des catalogues de parois, plannings, etc.	A l'exception des zones à géométrie complexe (ici les combles), les blocs et zones thermiques sont correctement importés. Il faut ensuite réappliquer les données de l'enveloppe au niveau du bâtiment, puis les templates importés zone par zone.
<i>D.13/ Saisie des ponts thermiques (Durée de saisie = 0,5 heure)</i>	
- Renseignement des coefficients de ponts thermiques utilisés	DesignBuilder détecte la plupart des ponts thermiques à partir du modèle géométrique. Il y applique automatiquement les coefficients que l'on définit pour chaque type. Il faut cependant vérifier cette application automatique. DesignBuilder propose à cet

Description de la tâche	Observations / Problèmes rencontrés
	effet un tableau récapitulatif à partir duquel on peut modifier directement coefficients et métrés.
<i>D.14/ Usage RT (Durée de saisie = 4 heures)</i>	
- Saisie des usages au sens de la RT2012	Ajout aux templates précédemment créés de la définition des usages au sens de la RT2012 puis application à l'ensemble des locaux.
<i>D.15/ Zone RT (Durée de saisie = 3 heures)</i>	
- Regroupement des locaux du modèle géométrique en zones et en groupes au sens de la RT2012	Afin de simplifier ces regroupements, les locaux ayant le même usage RT2012 peuvent être préalablement fusionnés. Le local "parent" impose alors toutes ces données d'usage aux locaux avec lesquels il est fusionné. Les groupes sont ensuite liés de manière graphique à une CTA unique pour la zone RT2012.
<i>D.16/ Systèmes RT (Durée de saisie = 12 heures)</i>	
- Création des productions, ventilations et émetteurs par groupe	Création d'un synoptique CVC adapté à l'arborescence RT2012. Ajout sur le synoptique des émetteurs (ventilo-convecteurs et radiateurs), des amenées d'air neuf et des extractions d'air vicié. Raccordement des groupes au système de DRV et CTA. Cette saisie synoptique présente plusieurs champs redondants ou bien inutiles dans le cas où il s'agit de champs nécessaires pour la STD mais pas pour la RT2012.
<i>D.17/ ECS (Durée de saisie = 2 heures)</i>	
- Création du système ECS	La saisie des productions ECS et points de puisage se fait sous forme de synoptique.
<i>D.18/ Résolution des erreurs du calcul RT2012 (Durée de saisie = 8 heures)</i>	
- Modification des paramètres d'entrée du modèle en fonction des messages d'erreur renvoyés par le moteur de calcul	DesignBuilder se montre relativement flou sur les éléments sources d'erreurs. Bien que les erreurs soient associées à des systèmes ou à des locaux, les champs à corriger ne sont pas toujours bien identifiables. Une bonne connaissance de la méthode de calcul RT2012 est donc nécessaire.

### 3.2.2.2 Détails et limites de la méthode

#### 3.2.2.2.1 Arborescence et géométrie

La saisie de la géométrie sous DesignBuilder se fait sous forme graphique en 3D (Figure XXIII). On crée des blocs, *a minima* par niveau ou bien suivant les particularités géométriques du projet. Par exemple, dans le cas étudié, on a 2 blocs par niveaux de parking afin de représenter les décalages dus à la rampe d'accès. Les combles constituent eux aussi des blocs.

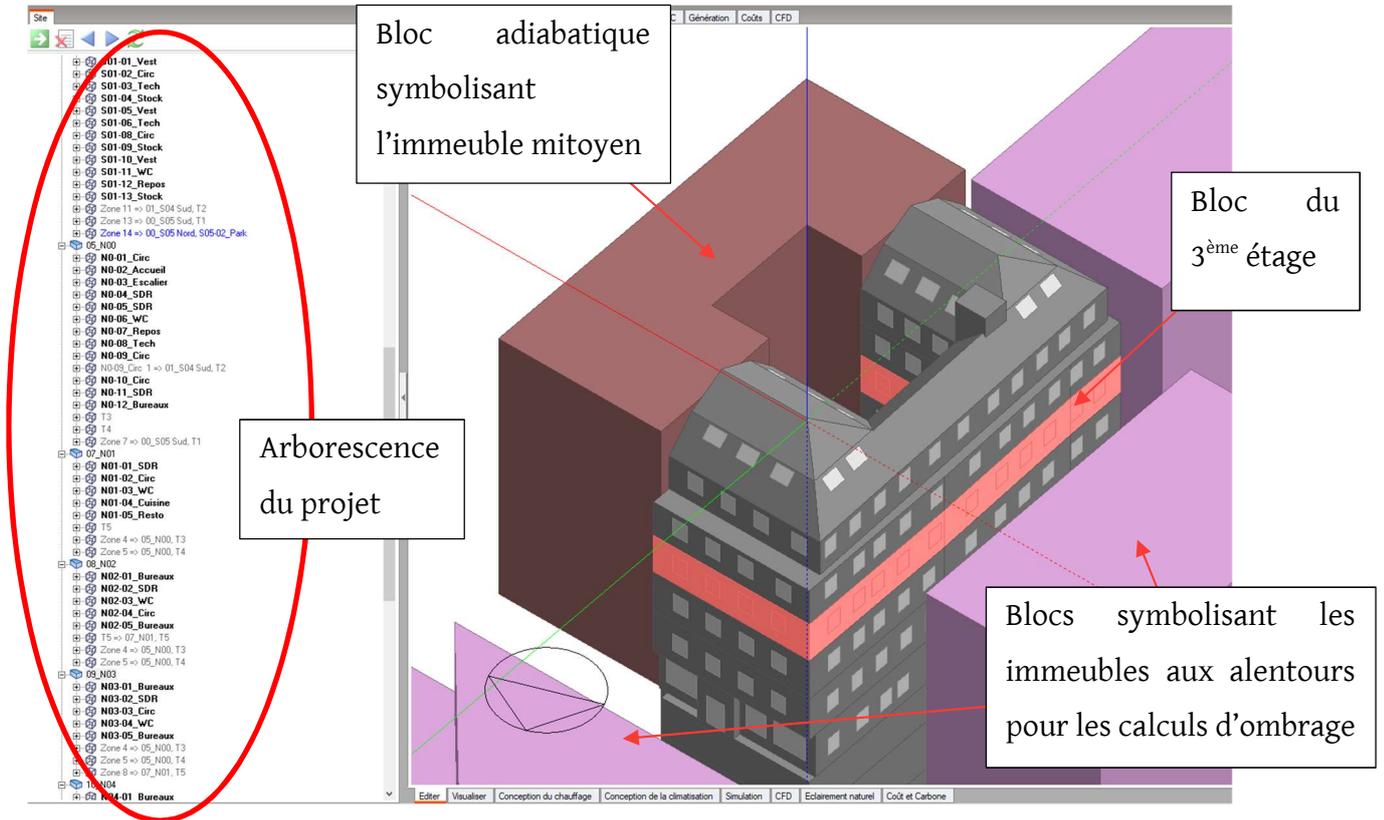


Figure XXIII - Vue générale du modèle géométrique DesignBuilder

Les blocs sont ensuite divisés en espaces :

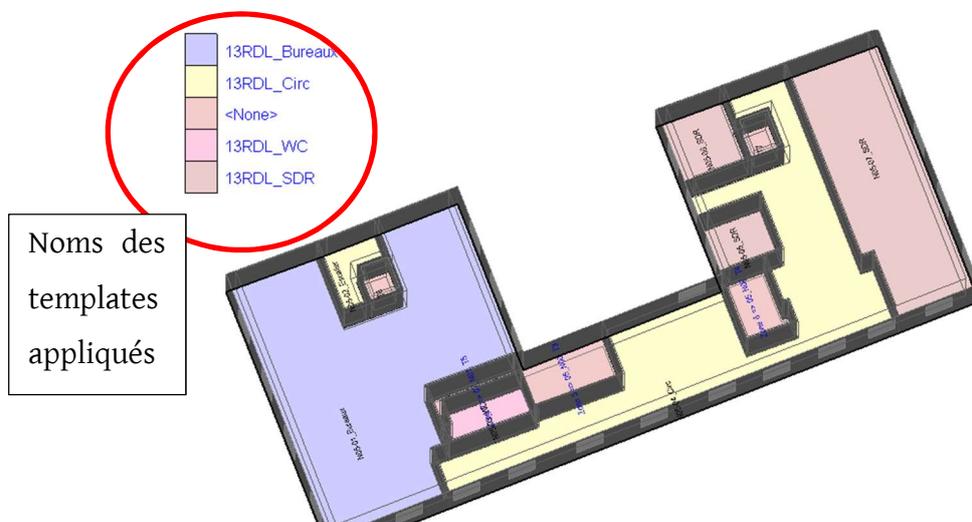


Figure XXIV - Vue du bloc de niveau R+5 du modèle géométrique DesignBuilder

Une arborescence est créée en parallèle selon la hiérarchie suivante :

Site > Bâtiment > Bloc > Local > Paroi > Sous-surface > Fenêtre ou porte

### 3.2.2.2 Saisie des systèmes

La saisie des systèmes en mode « détaillé » se fait sous forme de synoptique.

D'abord, on crée des ensembles de locaux, traités par un même système. Ici, ces ensembles sont les mêmes que les groupes définis dans ClimaWin afin d'anticiper sur la saisie RT2012. On ajoute ensuite dans ces zones des terminaux (radiateurs et ventilo-convecteurs), des amenées d'air ainsi que des extractions.

Puis, on crée les CTA et les productions de chauffage et de refroidissement.

Enfin, on relie les CTA aux amenées d'air et aux extractions des zones et les productions aux terminaux.

Les Figure XXV à Figure XXVIII ci-après montrent les synoptiques saisis pour chaque CTA.

Pour chacun des éléments visibles sur le schéma, il faut renseigner des plannings de fonctionnement et des spécifications techniques.

Les ventilateurs d'amenées d'air et d'extractions des parkings sont rassemblés dans une CTA :

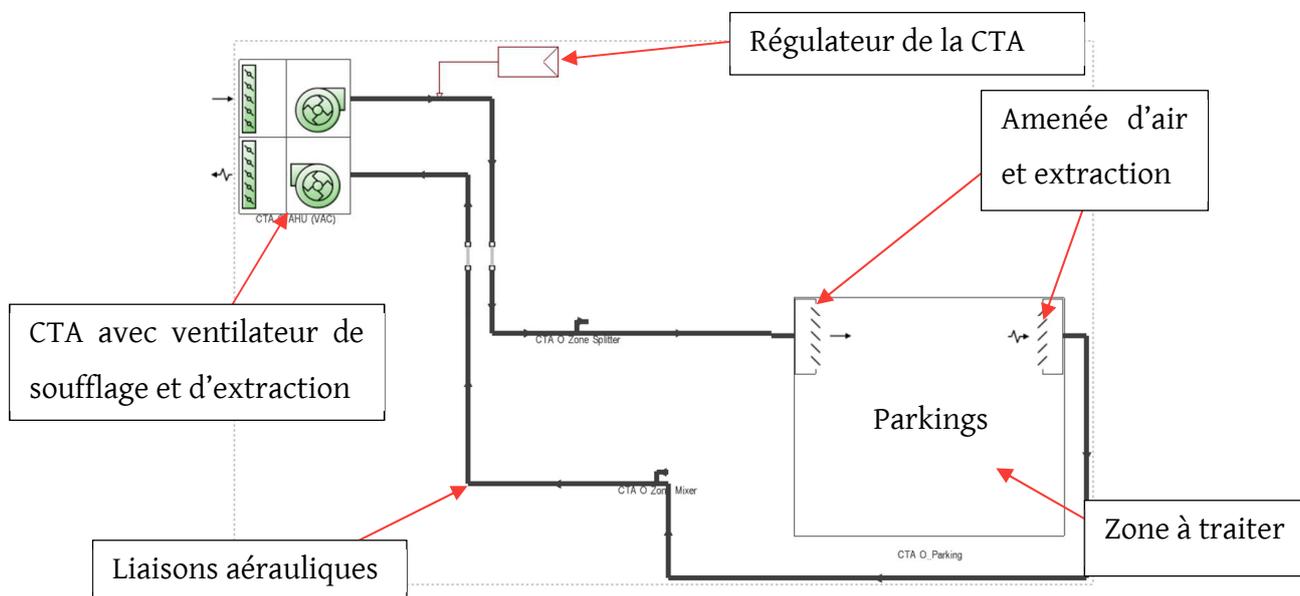


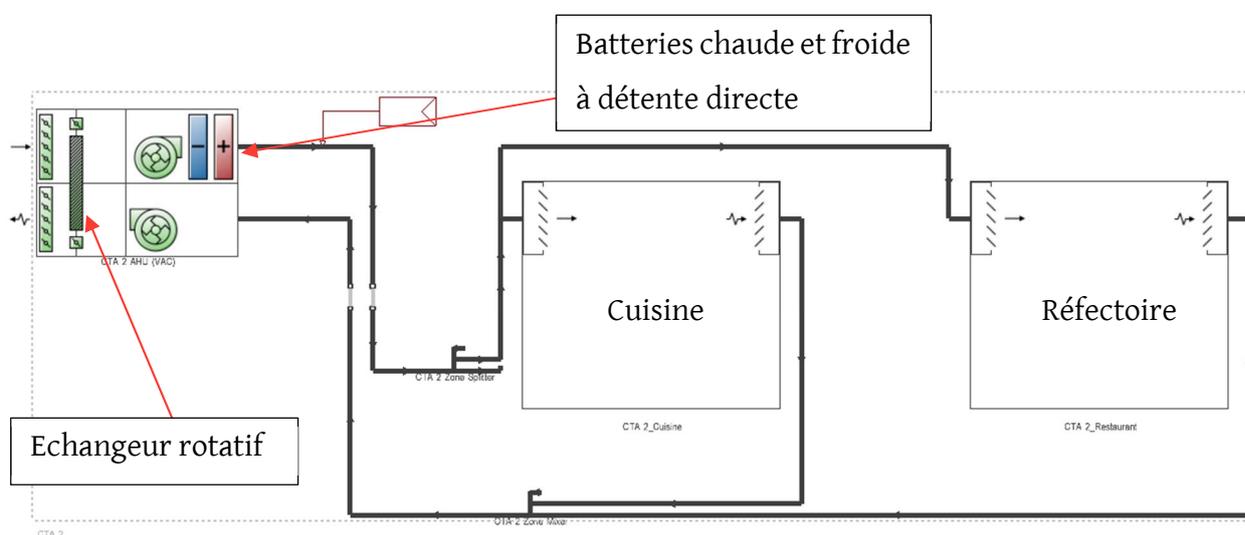
Figure XXV - Synoptique DesignBuilder de la CTA Parking

Pour les CTA thermodynamiques des autres locaux, on procède de la même manière que dans ClimaWin : on saisit des systèmes à détente directe avec des COP et EER globaux, issus des spécifications techniques des CTA, repris dans le Tableau 29.

Actuellement, DesignBuilder et Energyplus (notre moteur de calcul) n'intègrent pas les PAC sur air extrait. Il est en théorie possible :

- Soit de modifier le fichier IDF (format texte) issu de DesignBuilder et d'y isoler la température des unités extérieures de batterie à détente directe des CTA pour la remplacer par la température de l'air extrait. Le calcul est ensuite lancé directement dans Energyplus ;
- Soit d'utiliser le module script de EMS de DesignBuilder et de recoder l'algorithme de calcul du COP pour retranscrire la température et l'humidité de l'air arrivant dans la batterie.

Ces manipulations particulièrement complexes ne seront pas testées dans le cadre du présent mémoire.



**Figure XXVI - Synoptique DesignBuilder de la CTA Cuisine et Réfectoire**

On saisit pour les bureaux et les salles de réunion des registres d'amenée d'air à débit variable (BDV) permettant d'asservir le débit à l'occupation. Pour une analyse plus fine, on pourrait asservir le débit au taux de CO<sub>2</sub> de la pièce, ce qui, dans les faits, est réalisé. Mais les plannings d'occupation saisis sont les mêmes pour les bureaux et les salles de réunion, ce qui fausserait cette analyse. Les CTA équipés de ventilateurs à variation de fréquence permettent de descendre jusqu'à 30% du débit nominal.

On saisit les extracteurs de VMC et les radiateurs électriques des WC. En mode STD, pour les radiateurs, DesignBuilder ne prend en compte que le coefficient donnant la part radiative et la part convective de chaleur émise. Les coefficients de variations spatiale et temporelle caractérisant la précision des émetteurs terminaux n'existent pas.

Il en va de même pour les ventilo-convecteurs. Lors de la saisie de ces matériels, on reprend les données Edibatec du modèle ClimaWin (disponible librement sur Internet) car la base de données de DesignBuilder n'intègre pas notre sélection. Le logiciel permet en revanche une saisie des paramètres du VRV très fine via la saisie de courbes de performance intégrant les températures extérieure et intérieure ainsi que le fonctionnement à charge partielle.

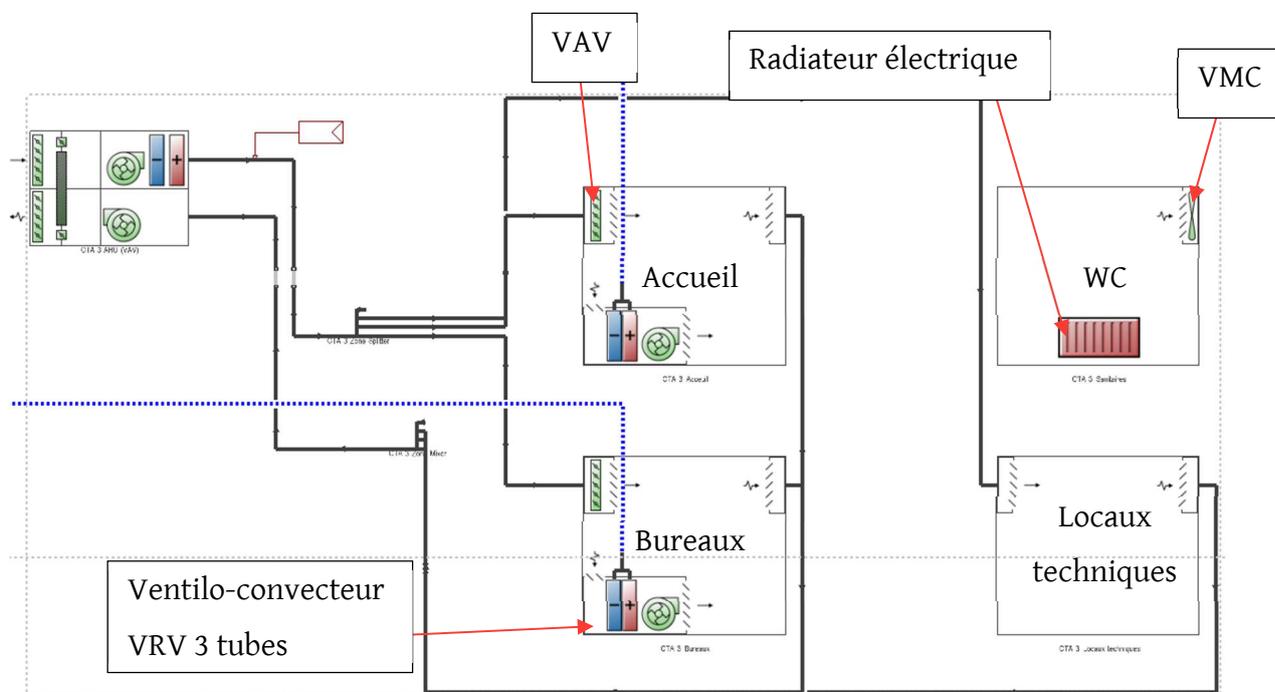


Figure XXVII - Synoptique DesignBuilder de la CTA locaux courants

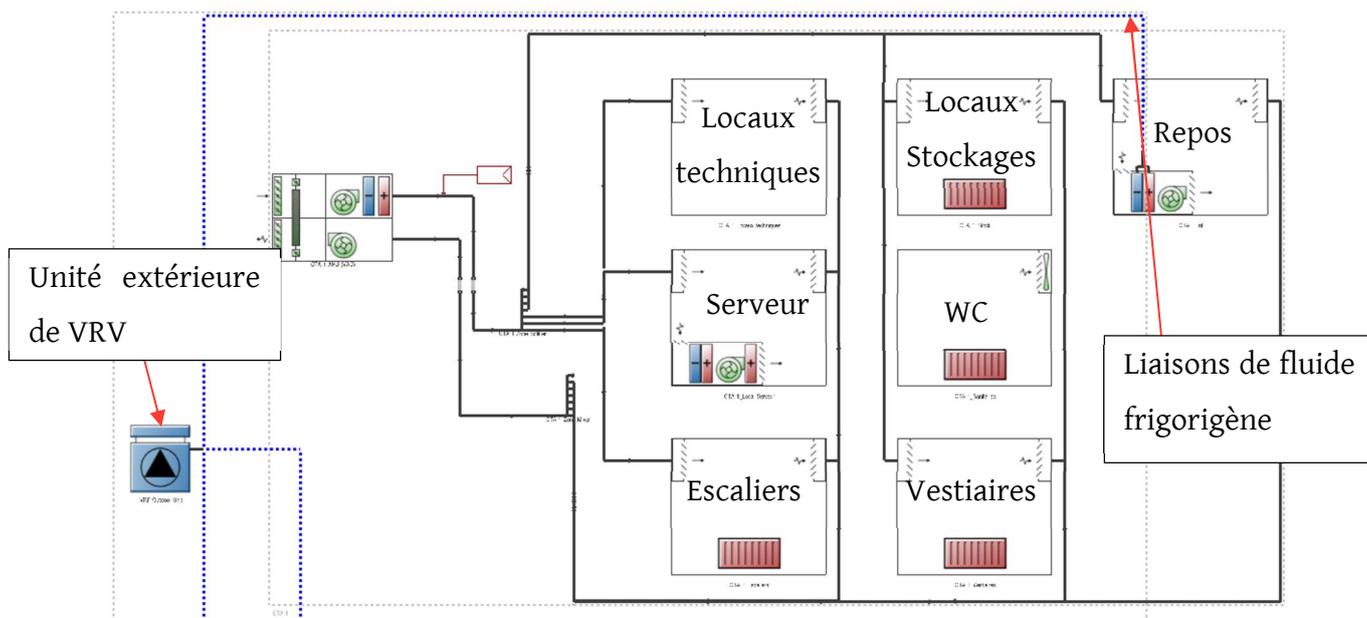


Figure XXVIII - Synoptique DesignBuilder de la CTA sous-sol

### 3.2.2.2.3 Régulation de l'éclairage

DesignBuilder permet une saisie fine de la régulation de l'éclairage et notamment de la gradation. Le logiciel ne se base pas sur les coefficients réglementaires mais sur un calcul d'éclairement. Ainsi, pour les plateaux de bureaux équipés de gradation, il faut positionner un capteur de luminosité (Figure XXIX). Une loi de régulation est ensuite associée à ce système (Figure XXX).

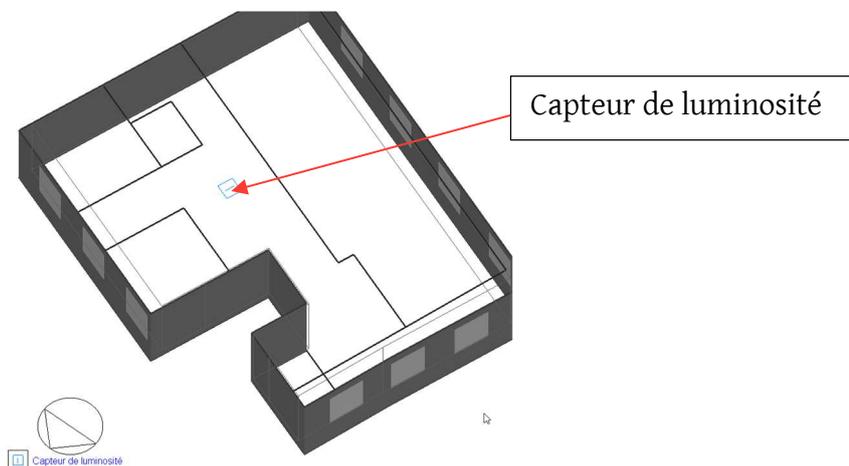


Figure XXIX - Vue DesignBuilder d'un plateau de bureaux équipé d'un capteur de luminosité

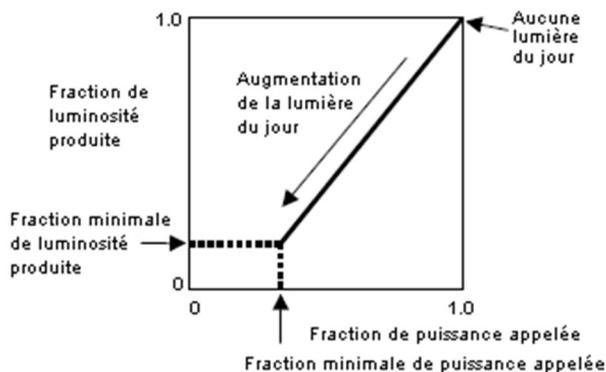


Figure XXX - Schéma de principe de la loi de contrôle de l'éclairage

Pour les autres locaux, DesignBuilder applique strictement les plannings de fonctionnement décrits en annexe 6.1.4. Il n'y a donc pas de distinction dans le calcul STD entre gestion par interrupteur manuel et détection de présence.

### 3.2.2.2.4 Saisie RT2012

Le principal obstacle de la saisie RT2012 sous DesignBuilder vient de l'architecture même du logiciel. L'arborescence des blocs géométriques saisis en 3D (décrite au point 3.2.2.2.1) ne correspond pas aux zones et groupes au sens de la RT2012 et les synoptiques CVC ne sont pas non plus organisés de cette façon. Le logiciel ayant été « adapté » pour la RT2012 et non conçu

pour, de nombreux champs viennent « parasiter » la saisie car ils sont soit redondant, soit inutiles à la RT2012. Cette saisie « adaptée » est donc source d'erreur.

La saisie RT2012 sous DesignBuilder nécessite donc une reprise relativement lourde du modèle impliquant le besoin de travailler sur une copie du fichier STD de base.

### 3.2.2.3 Etape III : Analyse des résultats

#### 3.2.2.3.1 Calcul d'apports et de déperditions

Contrairement à Climawin, les calculs d'apports et de déperditions dans DesignBuilder ne s'actualisent pas en temps réel et des onglets leur sont dédiés.

Le calcul de déperditions prend quelques secondes. Les résultats sont disponibles pour le bâtiment entier, par zone ou bien par surface déperditive. En plus des flux thermiques, sont affichées les températures d'air et de paroi qui, moyennées, donnent la température opérative.

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques ou de tableaux et permettent d'obtenir pour le bâtiment complet les résultats suivants :

Température d'air (°C)	16,83
Température radiante (°C)	16,37
Température opérative (°C)	16,60
Température sèche air extérieur (°C)	-3,00
Vitrage (kW)	-11,91
Murs (kW)	-3,65
Plafonds (int) (kW)	1,74
Planchers (int) (kW)	-1,34
Planchers sur terre-plein (kW)	2,46
Cloisons (int) (kW)	0,53
Toits (kW)	-0,82
Planchers (ext) (kW)	-0,04
Infiltration extérieure (kW)	-4,68
Vent. externe (kW)	-9,67
Vent. externe (kW)	-65,45
Chaleur sensible zone (kW)	92,81

Figure XXXI - Résultats du calcul de déperditions DesignBuilder

Ces résultats sont ensuite facilement extractibles et exploitables sous Excel.

Le calcul d'apports prend un peu moins de deux minutes. Les résultats sont donnés pour la journée de pointe entière (Figure XXXII). Les valeurs de pointe sont isolées dans un tableau exploitable sous Excel.

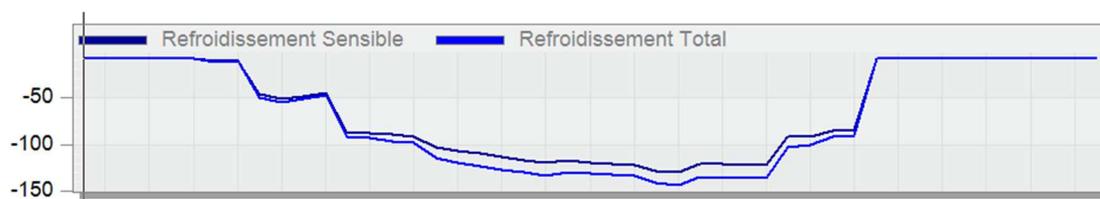


Figure XXXII - Graphique des besoins de froid du bâtiment lors de la journée de pointe en kW au pas horaire

Comme sous ClimaWin, le résultat peut être affiché pour le pic du bâtiment ou bien le pic du local. Les données sont détaillées par poste (rayonnement, conduction, éclairage, informatique, ventilation, ...) pour chaque pièce et, comme pour les déperditions, peuvent être affichées sous forme graphique ou extraites sous Excel.

### 3.2.2.3.2 Simulation Thermique Dynamique

Le calcul STD du modèle DesignBuilder prend environ 1 heure, incluant :

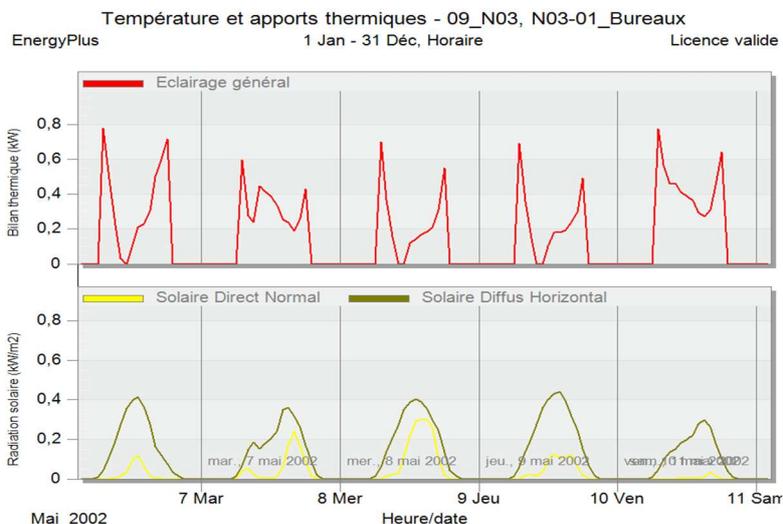
- Le choix par l'utilisateur des données de sortie et des paramètres de calculs utilisés ;
- La création et l'exportation par DesignBuilder du fichier IDF exploitable par son moteur de calcul Energyplus ;
- Le calcul par Energyplus ;
- L'importation des résultats dans DesignBuilder.

Par défaut, DesignBuilder nous permet d'afficher les résultats sous forme de courbes au pas horaire (modifiables au pas infra-horaire, mensuel ou annuel). Cet affichage permet d'analyser par zones ou pour l'ensemble du bâtiment le comportement thermique simulé :



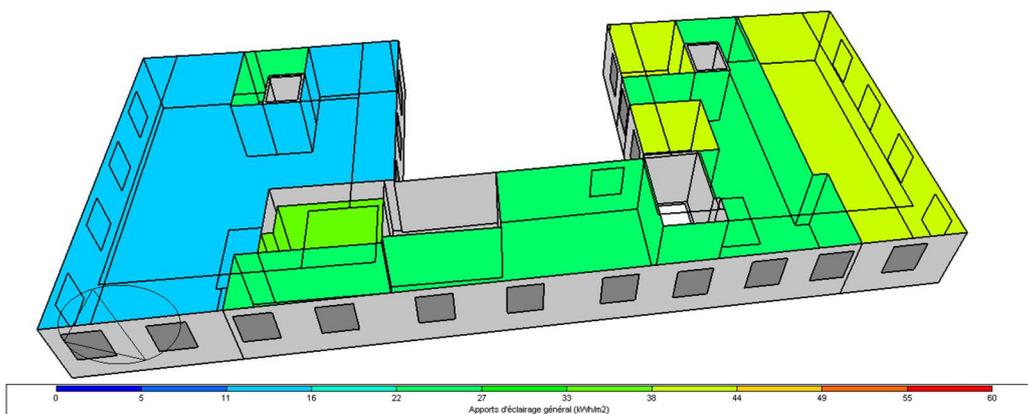
Figure XXXIII - Graphique de résultats DesignBuilder

Il est possible de paramétrer ces courbes pour contrôler des points particuliers. La Figure XXXIV montre par exemple l'effet du contrôle par gradateur sur la consommation d'éclairage d'un plateau de bureaux :



**Figure XXXIV - Evolution des consommations d'éclairage et de l'ensoleillement sur une semaine-type**

La plupart de ces données peut être affichée sur la vue 3D du logiciel via l'onglet « Visualisation des données ». Cet affichage permet un contrôle visuel simple de la cohérence des résultats. La Figure XXXV prend pour exemple les ratios de consommations d'éclairage pour un étage-type :



**Figure XXXV - Vue graphique des consommations d'éclairage par zones (en kWh/m<sup>2</sup>.an)**

Toutes ces données sont exportables au format .xls, ce qui permet d'adapter facilement le rendu aux besoins. On prend ici comme modèle (Figure XXXVI) le tableau de sortie ClimaWin :

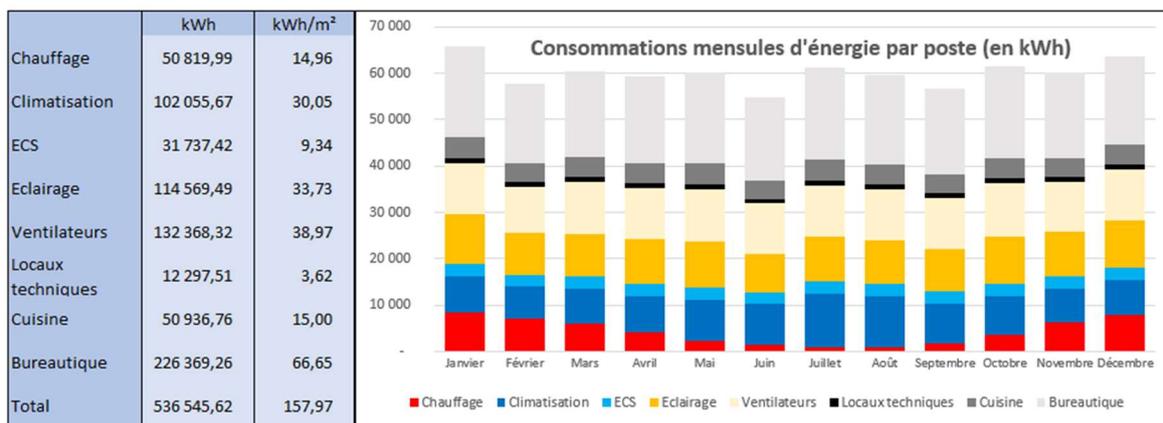


Figure XXXVI - Résultats du calcul des consommations DesignBuilder mis en forme sous Excel

On note que les consommations de climatisation sont beaucoup plus importantes que dans les résultats ClimaWin et aussi plus homogènes sur l'année (elles restent relativement importantes en hiver). Comme expliqué au point 3.2.1.2.3., ClimaWin bloque l'usage simultané du chauffage et du refroidissement dans un ensemble desservi par une même CTA et donne la priorité au chauffage. DesignBuilder se rapproche du fonctionnement réel puisque le fonctionnement simultané du chaud et du froid sur des locaux équipés de terminaux distincts mais desservis après une même CTA est possible.

Enfin, toutes ces données issues de DesignBuilder ne sont qu'une partie des données émises par Energyplus. Lors du calcul, Energyplus génère un fichier de résultats au format texte regroupant des milliers de points (celui du présent calcul pèse 616 Mo). On peut, grâce à un viewer, étudier les données non représentées dans DesignBuilder pour suivre la consommation d'un composant particulier de notre modèle (par exemple, la puissance d'un ventilateur de CTA, la température d'air en sortie de batterie froide d'un ventilo-convecteur, ...).

### 3.2.2.3.3 Calcul RT2012

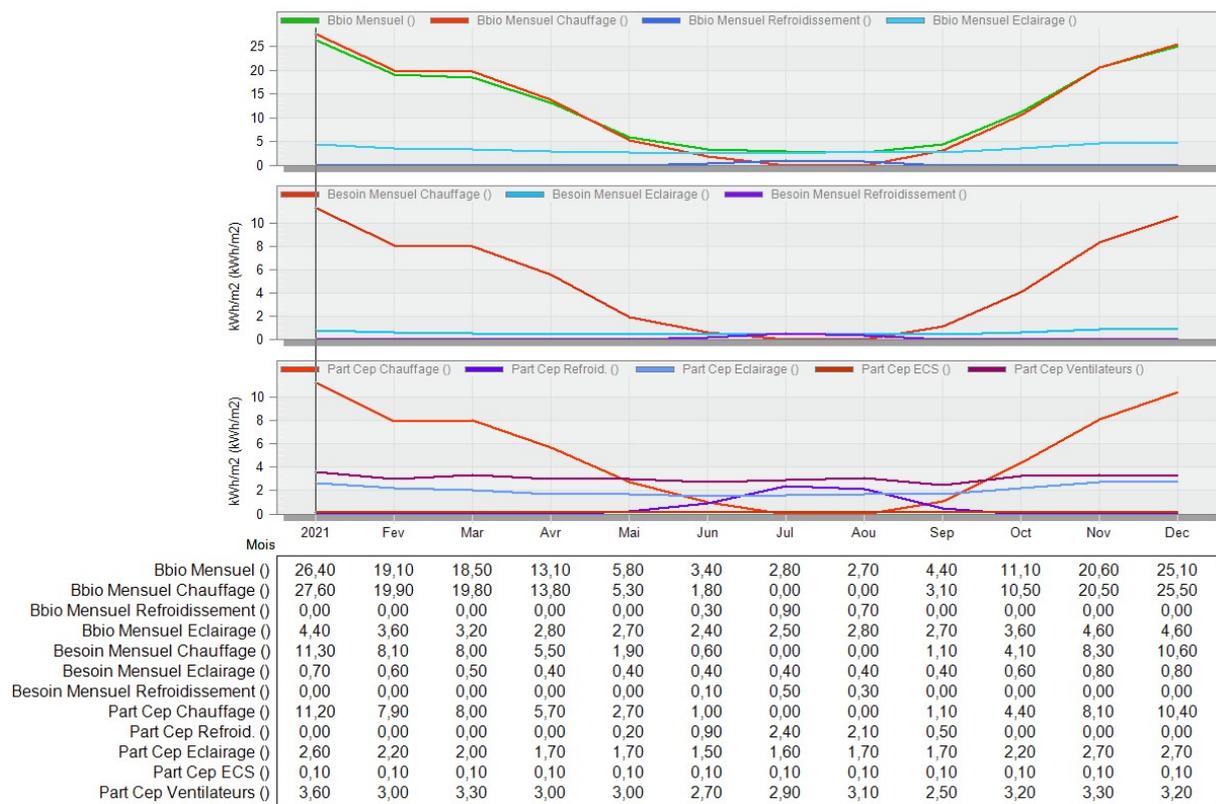
Une fois les erreurs levées, le calcul RT2012 sous DesignBuilder se charge en quelques minutes.

Les résultats globaux sont présentés sous forme d'un tableau très concis présentant uniquement les résultats du Cep et du Bbio. On note que la surface des baies et portes est de 0 m<sup>2</sup> dans le résumé, ce qui est faux et contredit ensuite par Récapitulatif Standardisé d'Etude Thermique (RSET).

**Tableau 11 - Résultats du calcul RT21012 sous DesignBuilder**

SHON RT (m2)	2048,20
SHAB (m2)	0,00
Bbio Max (pts)	129,00
Bbio (pts)	152,90 +18,53%
Cep Max	115,20
Cep annuel	128,40 +11,46%
Surface des baies et portes (m2)	0,00

Les résultats sont ensuite détaillés mensuellement sous forme graphique :



**Figure XXXVII - Détail des résultats du calcul RT2012 sou DesignBuilder**

## 3.3 METHODE 2 : CALCULS DANS LE MODELE BIM

### 3.3.1 PRESENTATION DE LA MAQUETTE NUMERIQUE

Pour cette méthode, on part de la maquette numérique réalisée par les architectes du projet. Il s'agit d'un modèle réalisé sous le logiciel REVIT 2018 :



Figure XXXVIII - Vues 3D d'ensemble issues du modèle Revit du projet

La maquette incorpore :

- L'ensemble de la structure du bâtiment (planchers, murs extérieurs, refends, ...)
- L'ensemble du second œuvre (cloisons, menuiseries, revêtements divers, ...)
- Les éléments de mobilier et de décoration.

Via REVIT MEP, les corps d'états techniques y ont ajoutés leurs matériels :

- CVC : ventilo-convecteurs, gaines, tuyauteries, ...
- Plomberie : vasques, toilettes, conduits d'évacuation, ...
- Electricité : luminaires, chemins de câbles, ...



Figure XXXIX - Vues 3D du détail de la maquette issues du modèle Revit du projet

---

## 3.3.2 CALCULS THERMIQUES

### 3.3.2.1 Prérequis

Afin d'exploiter la maquette numérique architecturale pour des calculs thermiques, il est nécessaire que l'enveloppe soit saisie avec des caractéristiques thermiques détaillées. Les matériaux composant les parois doivent donc avoir été sélectionnés lors de la saisie du modèle dans les bases de données de Revit afin d'inclure les coefficients de transmission thermique et de chaleurs spécifiques ainsi que des facteurs solaires, ...

Dans le cas de notre bâtiment, sont modélisés dans la maquette numérique architecte 86 types de parois et 135 types de menuiseries, ce qui est beaucoup plus important que les simplifications faites dans la méthode I.

Ensuite, les pièces doivent être clairement définies et nommées avec des étiquettes.

### 3.3.2.2 Création des espaces

Afin de réaliser des calculs thermiques sous Revit, il est nécessaire de créer des espaces.

Revit différencie les pièces des espaces. Les premières intègrent des données géométriques, de surfaces, de volumes ainsi que d'enveloppes, lesquelles caractérisent les parois délimitant le volume. Les seconds intègrent les données indispensables aux calculs thermiques, à savoir les données d'occupation, de consignes de température, de renouvellement d'air, ....

Revit propose un outil de placement automatique des espaces, sur la base des pièces existantes. Cette opération est à répéter à chaque étage du bâtiment :

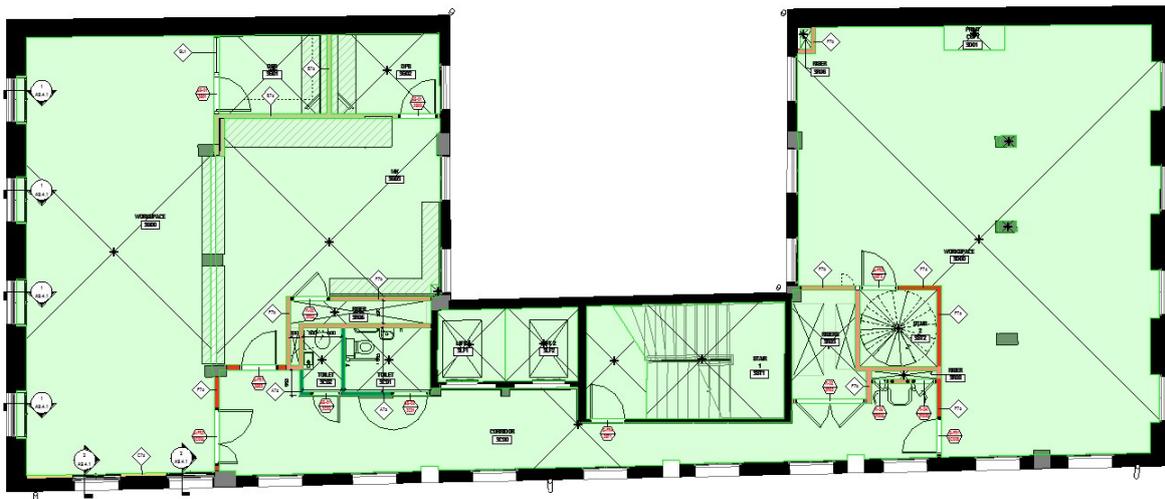


Figure XL - Délimitation des espaces Revit sur un étage-type

On remarque la création de nombreux espaces « superflus » dans le modèle, délimitant, d'une part, les zones d'implantation des photocopieurs, des meubles à tisanerie et autres éléments du mobilier et, d'autre part, de nombreux volumes sans pièce pour lesquels des espaces sont créés avec des étiquettes de noms sans rapport réel avec leur localisation.

### 3.3.2.3 Saisie des paramètres énergétiques

Il faut ensuite renseigner l'orientation et la localisation du projet. A partir d'une recherche géographique sur carte ou bien en renseignant directement le nom de la ville, Revit nous propose les données de la station météorologique la plus proche.

Puis on saisit pièce par pièce les données d'apports intérieurs, d'occupation, d'éclairage, d'équipement et de ventilation ci-dessous :

Paramètre	Valeur
<b>Analyse d'énergie</b>	
Surface par personne	20.000 m <sup>2</sup>
Gain de chaleur perceptible par p	73.27 W
Gain de chaleur latente par perso	58.61 W
Densité de la charge d'éclairage	11.84 W/m <sup>2</sup>
Densité de la charge de puissance	16.15 W/m <sup>2</sup>
Contribution à l'éclairage du plé	20.0000%
Plage horaire d'occupation	Occupation de bureaux courant
Plage horaire d'éclairage	Eclairage de bureaux - de 6 A
Plage horaire de charge	Eclairage de bureaux - de 6 A
Air extérieur par personne	8.4951 m <sup>3</sup> /h
Air extérieur par surface	0.30 L/(s·m <sup>2</sup> )
Taux de circulation d'air par heure	0.000000
Méthode d'air extérieur	par personnes et par zone

Figure XLI - Saisie des apports Revit

### 3.3.3 RESULTATS

Le modèle s'avère inexploitable en l'état pour le calcul thermique pour les raisons suivantes :

- Nombre important de pièces créées et sans cohérence avec le zoning thermique réel du bâtiment ;

- Nombre très important de paroi créées, dont l'immense majorité ayant des surfaces très faibles, inférieures à 0,1 m<sup>2</sup> ;

Bien qu'il soit en théorie possible de reprendre le modèle pièce par pièce puis paroi par paroi, le nombre d'éléments à identifier et à modifier rend la tâche incompatible avec un budget financier raisonnable pour des études de ce type.

Sur l'illustration ci-dessous, on voit en 3D les espaces générés par Revit donnant un aperçu du nombre de surfaces ainsi que des problèmes potentiels d'adjacence. A sa droite, sont listés les espaces présentant des problèmes liés entre autres aux limites des volumes et aux adjacences. Il s'agit de tous ceux précédés du symbole ⚠️, soit l'écrasante majorité.

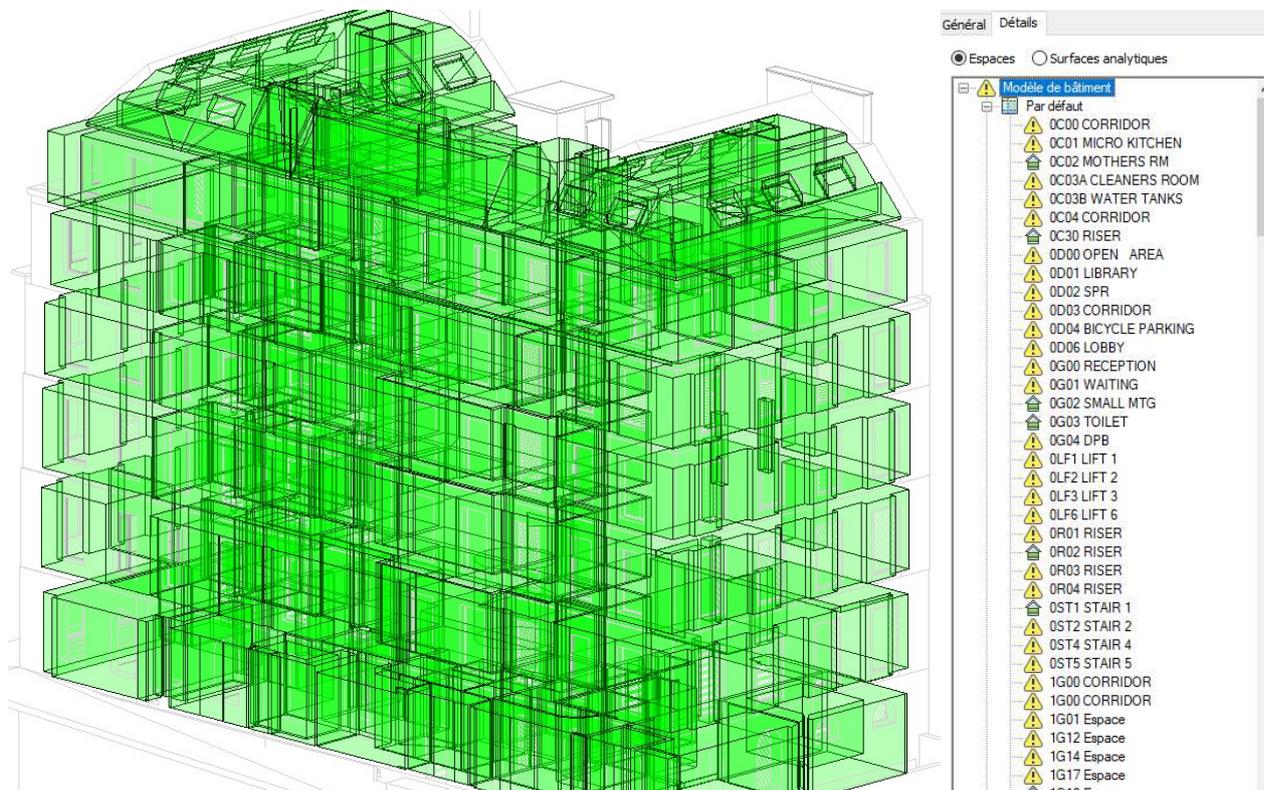


Figure XLII - Vue 3D et liste des espaces Revit

Le modèle Revit architecte de notre cas d'étude ne permet donc pas de donner des résultats de calculs d'apports et de déperditions satisfaisants.

Le Tableau 12 et le Tableau 13 ci-dessous montrent les résultats d'un calcul thermique réalisé sous Revit et mené à son terme. Il s'agit d'un modèle de démonstration simple, comportant

une dizaine de pièces. La création des espaces se fait sans accroc et les données d'enveloppes y sont correctement récupérées pour les calculs d'apports et de déperditions.

**Tableau 12 - Résultats d'un calcul d'apports sous Revit au niveau d'un bâtiment**

Entrées	
Type de bâtiment	Single Family
Surface (m <sup>2</sup> )	288
Volume (m <sup>3</sup> )	873.70
Résultats calculés	
Charge totale de refroidissement maximal (W)	<b>149,719</b>
Mois et heure du refroidissement maximal	Juillet 16:00
Charge perceptible de refroidissement maximal (W)	148,091
Charge latente de refroidissement maximal (W)	1,629
Capacité de refroidissement maximale (W)	149,719
Écoulement d'air de refroidissement maximal (L/s)	8,012.0
Charge de chauffage maximal (W)	<b>227,162</b>
Écoulement d'air de chauffage maximal (L/s)	11,852.8
Totaux de contrôle	
Densité de la charge de refroidissement (W/m <sup>2</sup> )	520.64
Densité du flux de refroidissement (L/(s·m <sup>2</sup> ))	27.86
Flux / Charge de refroidissement (L/(s·kW))	53.51
Surface / Charge de refroidissement (m <sup>2</sup> /kW)	1.92
Densité de la charge de chauffage (W/m <sup>2</sup> )	789.93
Densité du flux de chauffage (L/(s·m <sup>2</sup> ))	41.22

**Tableau 13 - Résultats d'un calcul d'apports sous Revit au niveau d'une pièce**

Entrées	
Surface (m <sup>2</sup> )	7
Volume (m <sup>3</sup> )	27.09
Surface de murs (m <sup>2</sup> )	8
Surface de toits (m <sup>2</sup> )	3
Surface de portes (m <sup>2</sup> )	4
Surface de cloisons (m <sup>2</sup> )	0
Surface de fenêtres (m <sup>2</sup> )	4
Surface de lucarnes (m <sup>2</sup> )	0
Charge d'éclairage (W)	77
Charge de puissance (W)	77
Nombre de personnes	1
Gain de chaleur perceptible / Personne (W)	73
Gain de chaleur latente / Personne (W)	59
Écoulement d'air d'infiltration (L/s)	0.0
Type d'espace	Single Family (hérité du type de bâtiment)
Résultats calculés	
Charge de refroidissement maximal (W)	<b>6,068</b>
Mois et heure du refroidissement maximal	Septembre 10:00
Charge perceptible de refroidissement maximal (W)	6,068
Charge latente de refroidissement maximal (W)	1
Écoulement d'air de refroidissement maximal (L/s)	129.9
Charge de chauffage maximal (W)	<b>6,503</b>
Écoulement d'air de chauffage maximal (L/s)	345.6

Composants	Refroidissement		Chauffage	
	Charges (W)	Pourcentage du total	Charges (W)	Pourcentage du total
Mur	5,603	92.34%	5,950	91.49%
Fenêtre	299	4.92%	421	6.48%

Porte	0	0.00%	0	0.00%
Toit	114	1.88%	132	2.04%
Lucarne	0	0.00%	0	0.00%
Cloison	0	0.00%	0	0.00%
Infiltration	0	0.00%	0	0.00%
Eclairage	25	0.42%		
Puissance	25	0.42%		
Personnes	2	0.03%		
Plénum	0	0.00%		
<b>Total</b>	<b>6,068</b>	<b>100%</b>	<b>6,503</b>	<b>100%</b>

Cet exemple montre que le modèle BIM peut permettre, sous certaines conditions de simplicité (ici, des parois droites et d'épaisseurs constantes, contrairement à notre cas d'étude), de nous faire l'économie de la réalisation d'un modèle dans des logiciels spécialisés comme DesignBuilder et ClimaWin. Cependant, cela se limite aujourd'hui à la réalisation des calculs d'apports et de déperditions.

---

## 3.4 METHODE 3 : CALCUL SUR LA BASE DU MODELE BIM ARCHITECTE

---

### 3.4.1 ETAPE 1 : EXPORTATION DE L'IFC/GBXML

On repart de la maquette numérique présentée au point 3.3.1.

On exporte directement cette maquette au format *Green Building XML* (gbXML). Il s'agit d'un format d'échange entre de nombreux logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) spécialement orientés pour le transfert entre modèles BIM et applications de calculs énergétiques.

Ce format permet de transférer, entre autres, depuis la maquette numérique BIM :

- Les données géométriques ;
- Les caractéristiques thermiques de parois et de menuiseries ;
- Les données des espaces (noms, apports internes, renouvellement d'air, ...).

Dans notre maquette numérique, aucun soin particulier n'a été apporté au volet thermique. En conséquence, les caractéristiques thermiques des composants de l'enveloppe ainsi que les données intérieures des locaux sont celles que REVIT propose par défaut.

## 3.4.2 ETAPE II : IMPORTATION DES DONNEES DU MODELE BIM DANS LE LOGICIEL THERMIQUE

### 3.4.2.1 Sous ClimaWin (3A)

Le chargement de notre bâtiment au format gbXML dans ClimaWin se fait en quelques secondes.

L'arborescence est automatiquement générée en incluant des systèmes renseignés par défaut. Toutes les zones sont créées et regroupées dans un même groupe (au sens de la RT2012). Les surfaces sont récupérées et le logiciel leur associe des parois par défaut. On note qu'une de ces parois est nommée « Air – 08GOFR001.xml » (08GOFR001.xml étant le nom du fichier importé) :

	Contact	U	Ep.	Masse
Murs				
ExteriorWall - 08GOFR.0001.xml	Extérieur	0.150	0.900	1.0
UndergroundWall - 08GOFR.0001.xml	Extérieur	0.150	0.900	1.0
Air - 08GOFR.0001.xml	Intérieur	0.150	0.900	1.0
InteriorWall - 08GOFR.0001.xml	Intérieur	0.150	0.900	1.0
UndergroundCeiling - 08GOFR.0001.xml	Extérieur	0.150	0.900	1.0
Rampants				
Plafonds	Contact	U	Ep.	Masse
Roof - 08GOFR.0001.xml	Extérieur	0.150	0.900	1.0
Planchers	Contact	U	Ep.	Masse
InteriorFloor - 08GOFR.0001.xml	Intérieur	0.150	0.900	1.0
UndergroundSlab - 08GOFR.0001.xml	Extérieur	0.150	0.900	1.0
Ceiling - 08GOFR.0001.xml	Intérieur	0.150	0.900	1.0

Figure XLIII - Catalogue de paroi généré par ClimaWin

Il en va de même pour les menuiseries. Cinq types sont créés dont « Air – 08GOFR001.xml ». Un très grand nombre de dimensions est associé à ces menuiseries dont certaines très petites (0,01x0,01m) voire nulles (0,00x0,00m).

Les parois générées dans les locaux sont très nombreuses – 40 pour un open-space-type – et certaines, de surface négligeable (0,01m<sup>2</sup>). Les adjacences entre locaux ne sont pas reconnues et les parois intérieures sont saisies comme donnant sur un autre espace du bâtiment mais cet espace n'est pas renseigné. Il est donc impossible de les identifier.

Globalement, le nombre très important de parois rend impossible leur identification puis la vérification du modèle. Or, on sait que celui-ci est incomplet car de nombreuses zones n'ont pas de planchers.

Le calcul d'apports affiche pour tous les locaux et individuellement pour chaque paroi la valeur de - 1 000 000 W, ce qui est physiquement absurde.

La géométrie importée n'est donc pas exploitable pour un calcul thermique par ClimaWin.

### 3.4.2.2 Sous DesignBuilder (3B)

Le chargement de notre bâtiment au format gbXML dans DesignBuilder se fait en une dizaine de minutes.

La Figure XLIV ci-après montre le résultat obtenu. Bien que l'on reconnaisse globalement l'aspect de notre bâtiment, de nombreux éléments sont mal importés : on voit plusieurs trous dans l'enveloppe, des décrochages sur les façades, des espaces manquants (notamment l'ensemble des parkings), des planchers sur extérieur, des toitures-terrasses à la place de planchers intermédiaires, ...

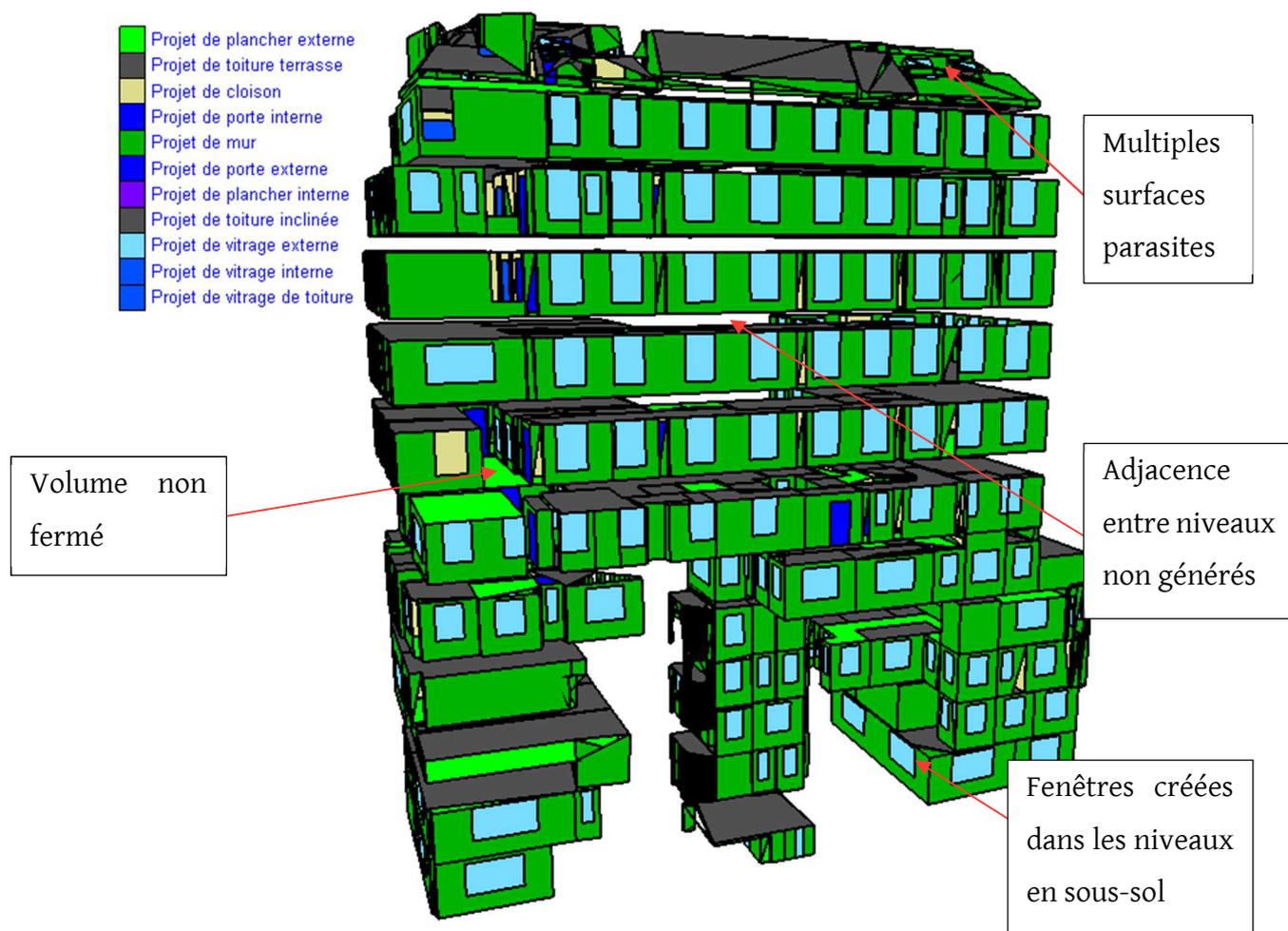


Figure XLIV - Vue générale du fichier gbXML importé dans DesignBuilder

L'ensemble des espaces de la maquette est correctement importé. Cependant, leurs contours comportent de nombreuses anomalies. Un nombre impressionnant de parois et de sous-surfaces est généré : 56 pour le seul plateau de bureaux représenté en Figure XLV (contre 40 pour la même zone dans ClimaWin). Les adjacences de ces parois ne sont pas systématiquement correctement reconnues, beaucoup de parois internes sont renseignées comme donnant sur l'extérieur. Les menuiseries n'ont pas non plus été importées, celles

apparaissant sur les vues montrées en exemple étant automatiquement générées par DesignBuilder sur la base d'un ratio surfacique.

Certains éléments de structures comme, par exemple, des poteaux, n'ont pas été purgés. Les surfaces les constituant sont assimilées à des murs donnant sur l'extérieur.

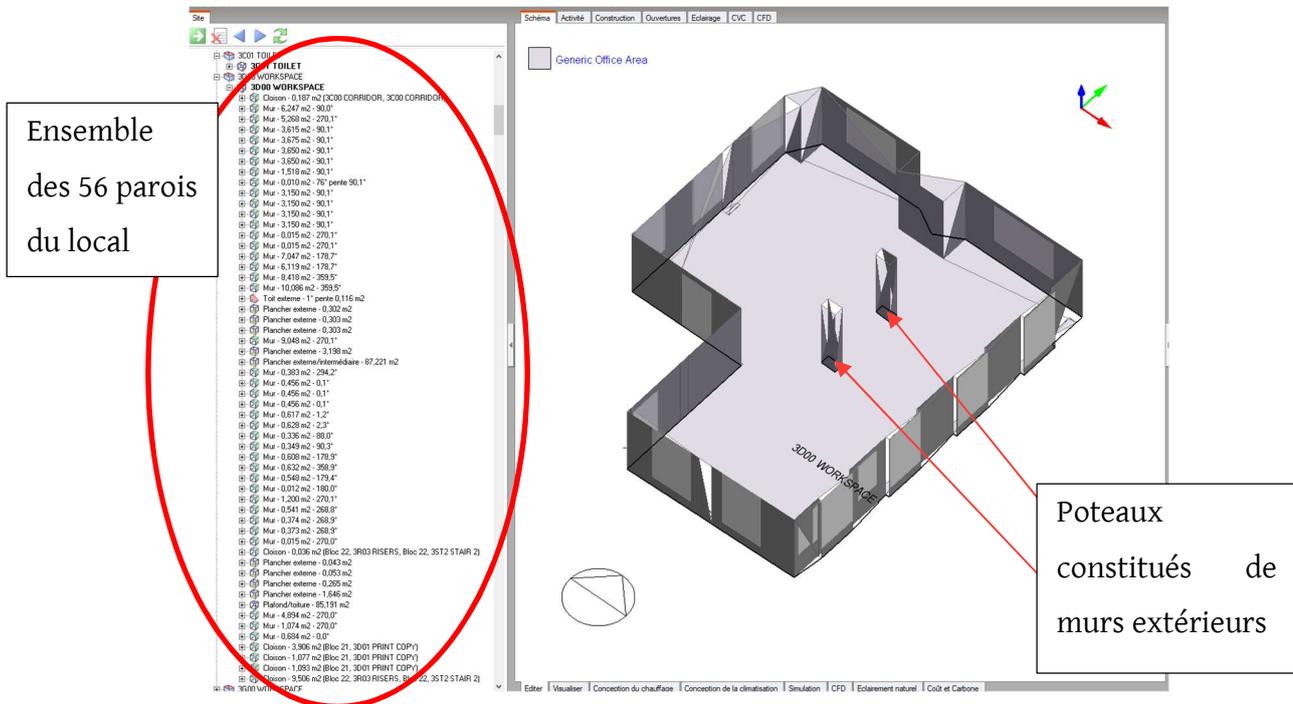


Figure XLV - Vue d'un plateau de bureaux du fichier gbXML importé dans DesignBuilder

Le calcul d'apports (qui est un préalable à la STD) est bloqué par énormément d'erreurs. Parmi les principales :

- 20 surfaces n'ont pas été générées car ne comportant pas le minimum de 3 côtés ;
- 18 zones n'ont pas de planchers ;
- 168 zones, sur un total de 212, ne sont pas fermées ;
- Ces erreurs géométriques entraînent des valeurs physiquement absurdes : une des surfaces du parking est à, par exemple,  $-11\,249\,070\text{ °C}$  !

En l'état, le modèle est donc inexploitable. La reprise de la géométrie serait extrêmement chronophage, bien plus que de ressaisir complètement le bâtiment. De plus, l'ensemble des autres tâches décrites au point 3.2.2.1 restent toujours à faire.

### 3.4.3 ETAPE III : CALCULS ET RESULTATS

Les points précédents montrent qu'à l'état brut, la maquette numérique architecte n'est pas exploitable par un logiciel de calculs thermiques, que ce soit ClimaWin ou DesignBuilder. Une

préparation de la maquette avant importation semble nécessaire. C'est donc l'objet des points suivants.

On peut cependant quantifier le gain potentiel de cette troisième méthode à partir du détail de la saisie de la méthode I (3.2.1.1 et 3.2.2.1) :

- Sous ClimaWin, la saisie des éléments d'enveloppes (géométrie, composition des parois, ...) représente environ 5 jours sur 8,2 de saisie complète. La récupération instantanée de ces données engendre donc un gain de temps potentiel de l'ordre de 60 % sur la saisie.
- Sous DesignBuilder, la saisie des éléments d'enveloppes ne représente qu'une journée sur 7 au total. Le gain attendu par la récupération des données de la maquette numérique est donc nettement moindre, de l'ordre de 15 %.

---

## 3.5 METHODE 4 : CALCUL SUR LA BASE DU MODELE BIM COMPLETE THERMIQUEMENT

DesignBuilder propose un module intégré à Revit permettant de faciliter la récupération de la maquette numérique.

On peut le faire sous deux formes :

- Modèle analytique ou *Analytical Model* (AM) : basé sur les pièces définies dans la maquette numérique, cette méthode ne permet de récupérer que la géométrie de la maquette (volumes des pièces et surfaces des parois) ;
- Modèle énergétique ou *Energy Analytical Model* (EAM) : basé sur le modèle énergétique généré par Revit, cette méthode permet de récupérer la géométrie du modèle ainsi que les fenêtres et les caractéristiques thermiques de l'enveloppe.

Les étapes seront décrites suivant ces deux cas.

### 3.5.1 ETAPE I : MISE EN FORME DU FICHIER GBXML A L'AIDE DU MODULE BIM DE DESIGNBUILDER

#### 3.5.1.1 Méthode AM

Afin de pouvoir exploiter le modèle analytique, il est nécessaire de recalibrer les limites des pièces afin de coller au modèle thermique désiré.

Pour cela, il faut créer des pièces dans le modèle architecte. Dans le cas étudié, quasiment toutes étaient déjà présentes, à quelques exceptions près, principalement dans les sous-sols.

Il faut ensuite recalibrer les limites de ces pièces en excluant du modèle analytique les faux-plafonds et les éléments de structure parasites (Figure XLVI) et en recalant les hauteurs (Figure XLVII).

Au total, ces manipulations m'auront pris plus de 3 heures.

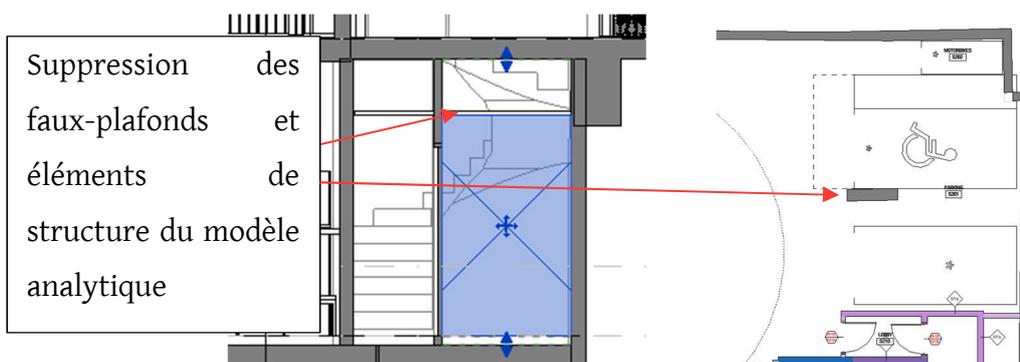


Figure XLVI - Faux-plafond et poteau à exclure du modèle analytique

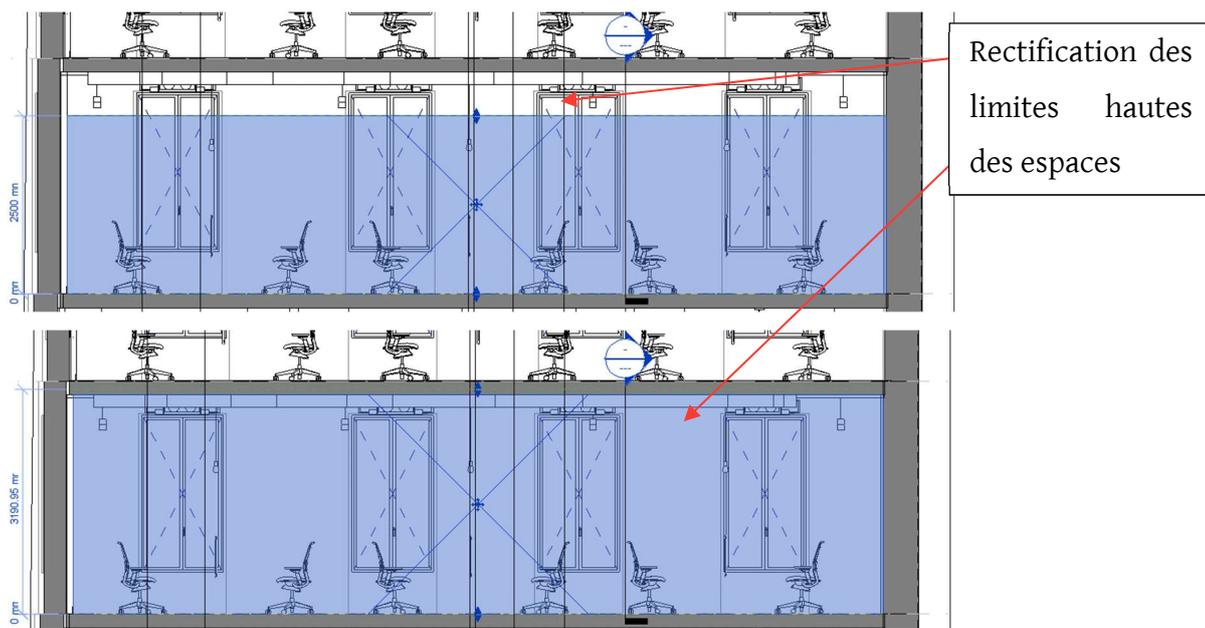


Figure XLVII - Rectification des volumes de pièces du modèle Revit

Il est ensuite possible de visualiser en 3D les pièces par niveaux afin de vérifier la cohérence du modèle analytique. Dans notre cas, beaucoup d'incohérence reste dans les sous-sols comme, par exemple, des blocs qui se superposent tandis que les étages sont globalement bons :

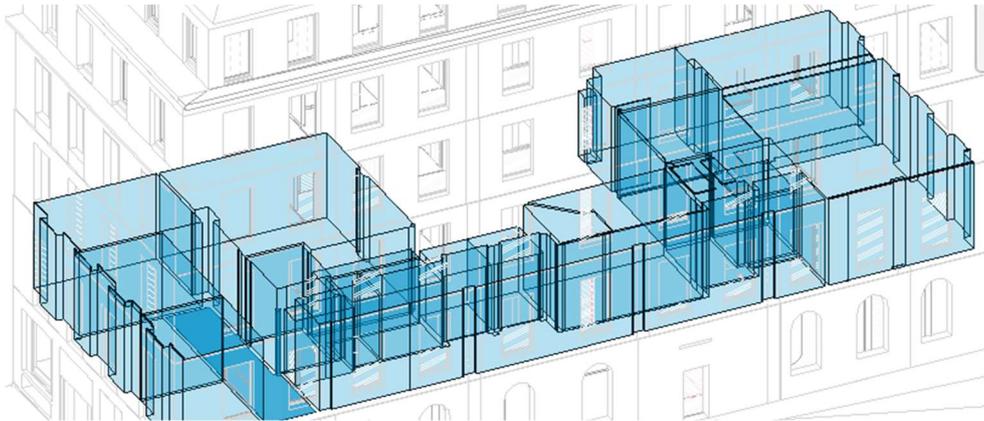


Figure XLVIII - Vue du R+1 du modèle analytique Revit

### 3.5.1.2 Méthode EAM

Revit génère automatiquement à partir de la maquette architecte un modèle énergétique.

Ce modèle est constitué de l'ensemble des surfaces du projet qui sont automatiquement classés en catégories (murs extérieurs, vitrage, sol, ...). Les surfaces détectées sont visibles graphiquement et affichées en couleur en fonction de leur catégorie (Figure XLIX), ce qui permet de contrôler le modèle énergétique :



Figure XLIX - Vue du modèle énergétique Revit

A chaque catégorie, sont associées des caractéristiques thermiques, soit directement issues des données entrées dans la maquette architecture, soit par défaut. Ces données sont ensuite modifiables par l'utilisateur :

Modèle de volume	Constructions
Sous-projet	Project Info
Modifié par	
Mur extérieur de volume	Construction légère – Isolation habituelle pour climat doux
Mur intérieur de volume	Construction légère – Sans isolation
Mur extérieur de volume - Souterrain	Construction lourde – Isolation habituelle pour climat doux
Toit de volume	Isolation habituelle – Toit froid
Sol de volume	Construction légère – Sans isolation
Dalle de volume	Construction lourde – Sans isolation
Surface vitrée	Panneau double clair – Aucun revêtement
Lucarne de volume	Panneau double clair – Aucun revêtement
Ombre de volume	Ombre de base
Ouverture de volume	Air

Figure L - Catégories de surfaces du modèle énergétique Revit

Le nombre de surfaces générées étant très important, le module DesignBuilder nous permet de simplifier le modèle via deux facteurs :

- Facteur de résolution de l'espace analytique : longueur d'ouverture X représentée ci-après en-dessous de laquelle celle-ci n'est pas considérée.

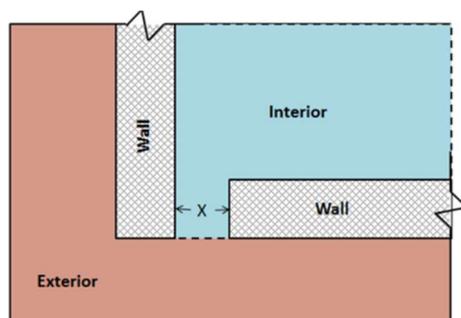


Figure LI - Représentation du facteur de résolution de l'espace analytique

- Facteur de résolution de la surface analytique : longueur d'un décroché X représentée ci-après en-dessous de laquelle une surface unique est considérée.

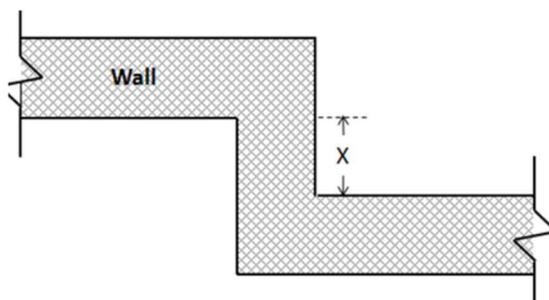


Figure LII - Représentation du facteur de résolution de la surface analytique

---

### **3.5.2 ETAPE II : IMPORTATION DES DONNEES PRE-TRAITEES DU MODELE BIM DANS DESIGNBUILDER**

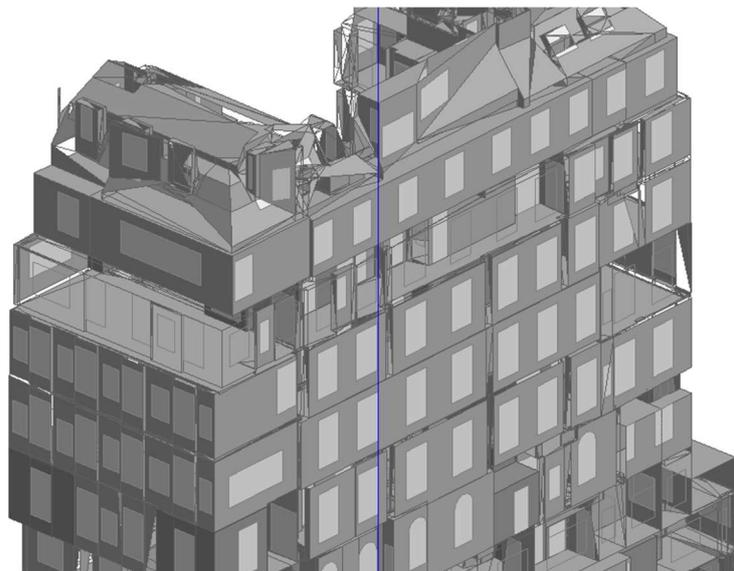
Pour les deux méthodes, le plug-in DesignBuilder de Revit nous permet de régler plusieurs paramètres en vue du transfert, parmi lesquels :

- Choisir la distance maximale séparant deux espaces adjacents, correspondant à notre épaisseur maximum de paroi (à noter que, si une paroi est plus épaisse que cette donnée, alors l'adjacence entre les espaces ne sera pas détectée) ;
- Inclure les paramètres thermiques (seulement dans le cas de la méthode EAM) ;
- Créer des blocs par étages ;
- Inclure les surfaces d'ombrage.

#### **3.5.2.1 Méthode AM**

Après plusieurs essais sur les facteurs de transfert précédemment décrits, cette méthode ne permet pas à DesignBuilder de générer un modèle exploitable.

Bien que plus complet que le modèle généré sans le plug-in (3.4.2.2) et purgé de nombreux éléments parasites, ce modèle reste instable. Cette instabilité se manifeste, d'une part, visuellement par les nombreuses surfaces parasites conservées (décrochés de paroi multiples, surfaces non complètes, ...) :



**Figure LIII - Modèle analytique Revit importé dans DesignBuilder**

D'autre part, le logiciel plante dès que l'on essaie de modifier le modèle ou de lancer un calcul simple de déperditions.

### 3.5.2.2 Méthode EAM

Après un temps de chargement de plus d'une heure, l'importation de la maquette numérique dans DesignBuilder par la méthode EAM n'aboutit pas. Le logiciel ne parvient pas à charger le modèle.

---

### 3.5.3 CRITIQUES ET PERSPECTIVES

Suivant les deux méthodes – AM et EAM –, la récupération de la maquette numérique architecte n'a pas pu aboutir.

De plus, comme exposé en conclusion de la méthode III (point 3.4.3), le gain de temps potentiel dû à la récupération des données de la maquette numérique est très limité : une journée pour notre cas d'étude. Ainsi, même dans l'hypothèse où les calculs auraient abouti, le temps de reprise de la maquette numérique aurait très vite dépassé le temps de saisie initial, directement dans DesignBuilder.

Des tests plus concluants ont été menés sur un modèle architecte simple composé de 2 pièces rectangulaires avec une toiture rampante :

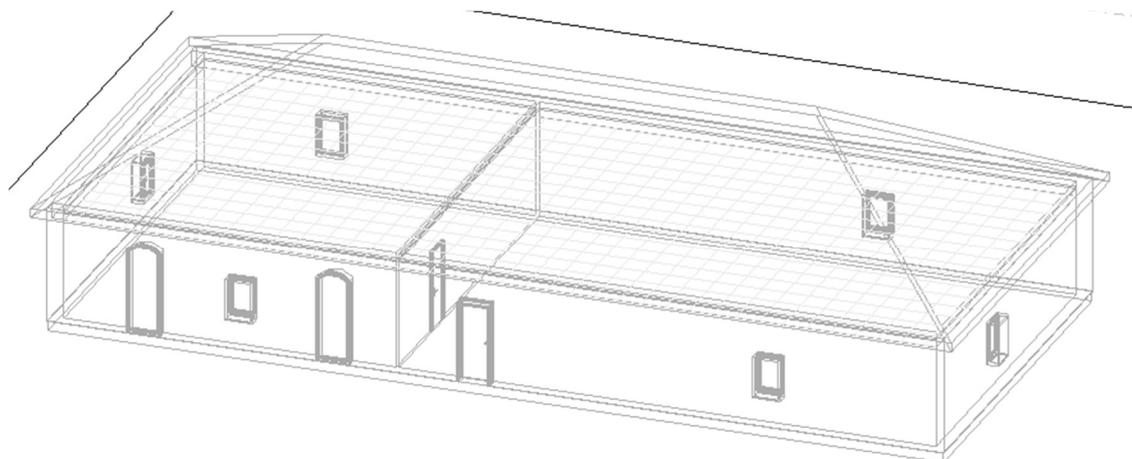


Figure LIV - Modèle Revit test

Sur ce modèle très simple :

- La méthode AM permet de récupérer correctement la géométrie (murs, sol et plafond) mais pas les menuiseries ou les caractéristiques thermiques ;
- La méthode EAM permet de récupérer correctement la géométrie ainsi que les menuiseries et les caractéristiques thermiques. Cependant, quelques surfaces parasites restent au niveau de la toiture et doivent être corrigées dans DesignBuilder.

Dans l'état actuel de ces méthodes, on peut conclure que :

- La méthode AM peut être mise en œuvre sur des projets à la géométrie simple, à condition que les architectes intègrent une saisie rigoureuse des pièces dans leur production. Le gain de temps est alors négligeable voir négatif puisque ce type de géométrie met très peu de temps à être saisi sous DesignBuilder.
- La méthode EAM n'est pas aboutie, même si le modèle est simple, le temps de reprise de la géométrie étant supérieur à la saisie complète sous DesignBuilder.

---

## 3.6 METHODE 5 : CALCUL DANS LE MODELE BIM AVEC UN LOGICIEL THERMIQUE

Le principe de cette méthode étant de travailler directement sur le modèle BIM, il n'y a pas d'étape I de conversion du modèle ou d'exportation vers un autre format. C'est pourquoi on passe directement à l'étape II.

---

### 3.6.1 ETAPE II : SAISIE DES DONNEES THERMIQUES DANS REVIT, VIA CLIMABIM

#### 3.6.1.1 Préparation du modèle BIM

ClimaBim permet de récupérer les données saisies dans Revit pour réaliser les calculs thermiques. Il faut donc dans un premier temps préparer ces données. Cette préparation est la même que pour le calcul d'apports et de déperditions sous Revit, décrite au point 3.3.2 :

- Renseignement de la localisation géographique et de l'orientation ;
- Création des espaces, ClimaBim ne traitant pas les données des pièces ;
- Saisie des données d'apports internes, cette dernière étape pouvant aussi se faire *a posteriori* dans ClimaBim.

#### 3.6.1.2 Synchronisation du modèle

Une fois les données préparées, on peut lancer directement dans Revit, dans l'onglet ClimaBim, une analyse permettant de créer un modèle thermique du même type que sous ClimaWin mais directement modifiable depuis Revit (Cf. Figure LV). ClimaBim récupère :

- Les espaces et leur géométrie ;

- Les conditions des locaux, chauffés ou refroidis ;
- Les données d'usages (ClimaBim fait des associations entre les usages Revit et les usages RT qui sont à vérifier) ;
- Les données d'apports internes.

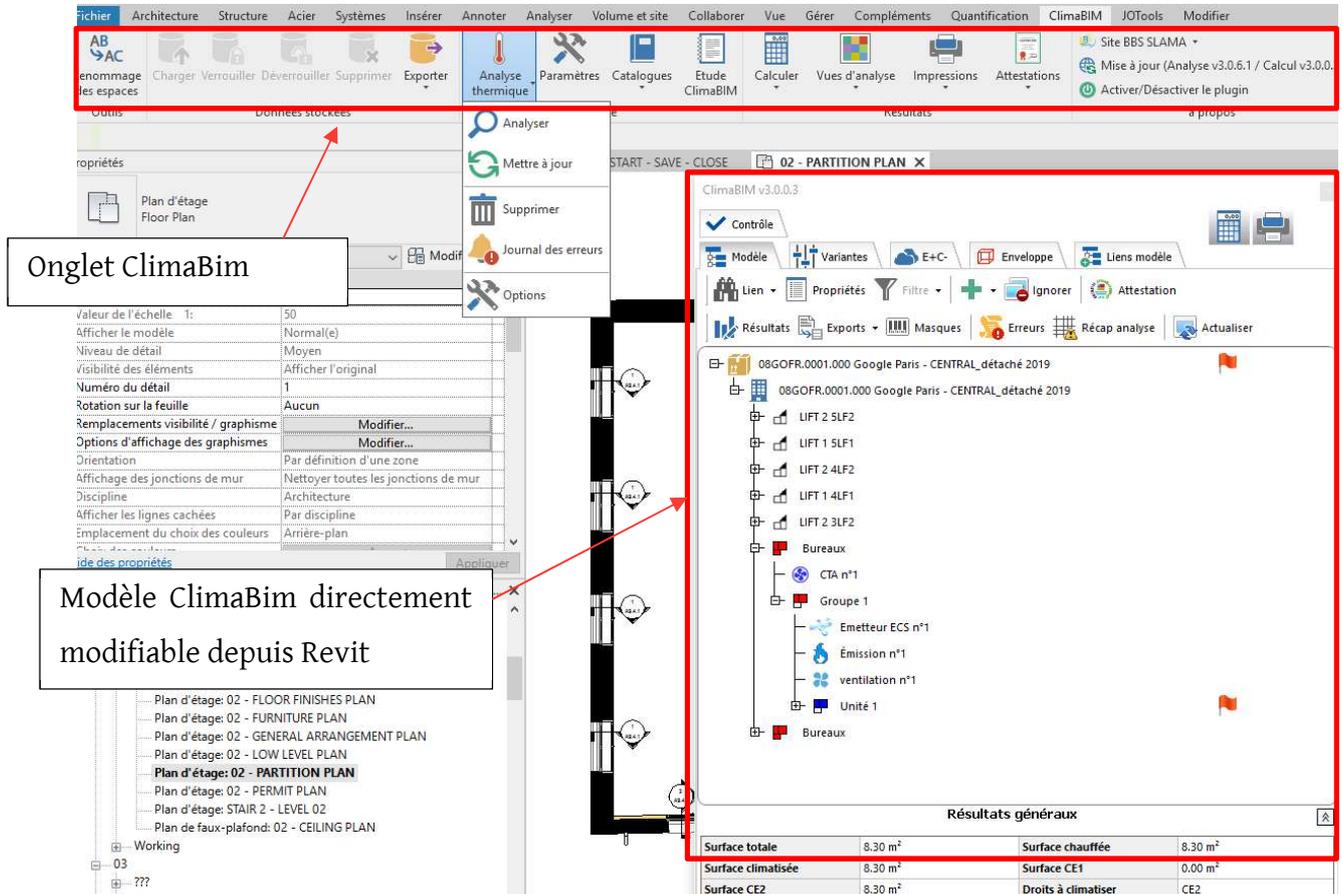


Figure LV - Vue de l'interface ClimaBim dans Revit

Il est ensuite possible de regrouper les espaces dans Revit par Zone et Groupe au sens de la RT.

Sur notre cas d'étude, l'analyse ClimaBim montre de nombreuses incohérences, notamment dues aux différentes bases de matériaux utilisées par Revit et ClimaBim :

**Avertissement**

Matériau : Google - VINYL - ANTISTATIC - ID : 3828040\_0,01\_0

Aucune correspondance n'a été trouvée entre le type de matériau Revit et les types de matériaux ClimaBIM. La couche ClimaBIM a été initialisée à <<Autre matériau>>

Le lambda est nul, une valeur a été assignée par défaut.

La masse est nulle, une valeur a été assignée par défaut.

Figure LVI - Message d'erreur Lors de l'analyse ClimaBIM

Apparaissent ensuite d'autres incohérences telles que la création de parois à surfaces négatives ainsi que des nominations de locaux sans rapport avec leur emplacement :

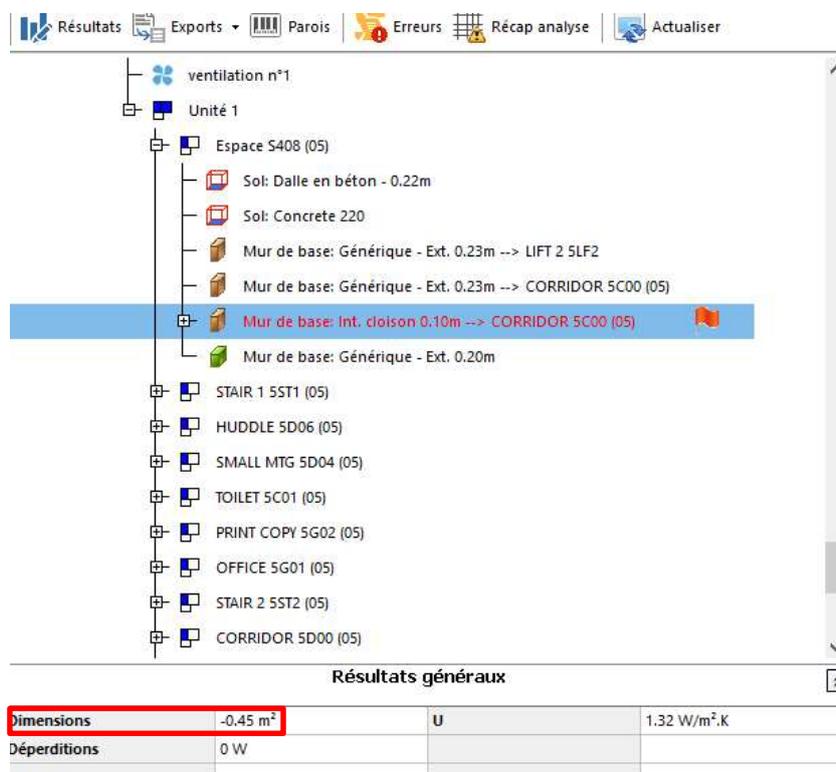


Figure LVII - Paroi à surface négative dans ClimaBim

D'une manière générale, les erreurs rencontrées au point 3.3.2 traitant des calculs d'apports et de déperditions dans Revit sont toujours d'actualité une fois le modèle analysé par ClimaBim. Cela nous amène à la même conclusion : bien qu'il soit théoriquement possible de corriger ces défauts un par un dans ClimaBim, le temps à y consacrer serait sans commune mesure avec les objectifs de rentabilité d'un bureau d'études. D'autant plus qu'une fois ces problèmes résolus, il restera toujours à saisir :

- Les données propres à la RT2012 (inertie thermique, locaux CE1/CE2, contrôle de l'éclairage, ...);
- Les systèmes CVC (générateurs et émetteurs);
- L'ECS;
- Les plannings STD, ...

Il est donc plus rapide et plus fiable, pour ce cas précis, de créer un modèle ClimaWin depuis le départ.

---

### **3.6.2 ETAPE III : REALISATION DE LA STD ET DU CALCUL RT2012 SOUS CLIMABIM**

Comme décrit à l'étape précédente, je n'ai pas pu mettre en œuvre les calculs RT2012 et STD. Toutefois, grâce à des recherches bibliographiques et des vidéos de formation ClimaBim [14], j'ai constaté que ce module permet pour des modèles simples (par exemple, parois « droites » et d'épaisseur constante) et correctement renseignés (définition des composants de l'enveloppe, des espaces, ...) de réaliser de la même manière que sous ClimaWin :

- Les calculs d'apports et de déperditions ;
- Les calculs RT2012 ;
- Les calculs STD.

ClimaBim vient en plus compléter par des vues graphiques les sorties habituelles de ClimaWin.

Enfin, sous ClimaWin, nous l'avons vu au point 3.2.1, les données récupérables dans la maquette numérique (géométrie et enveloppe) représentent près des deux tiers du temps total de saisie. Le potentiel gain de temps lié à l'utilisation de ClimaBim est donc bien supérieur à celui du module Revit de DesignBuilder.

# 4 RESULTATS ET DISCUSSION

## 4.1 CONFRONTATION DES METHODES

Le Tableau 14 ci-dessous récapitule les durées de saisie de chacune des méthodes traitées dans le présent mémoire ainsi que les principales difficultés rencontrées :

Tableau 14 - Comparatif des méthodes de saisie étudiées

Méthode de calcul	Logiciel utilisé	Durée de saisie (en jours)	Calculs réalisés	Remarques principales
1/ Calcul sans utilisation du BIM	ClimaWin	8,2	- Apports et déperditions - RT2012 - STD	Bien que présentant des temps globaux de saisie équivalents, des différences importantes se font sur les types de calculs réalisés. Sans surprise, le logiciel réglementaire ClimaWin permet un calcul RT2012 simple et rapide mais se montre beaucoup plus limité pour le calcul STD et permet une simulation de systèmes réels peu aboutie. A l'inverse, le logiciel STD DesignBuilder permet une saisie graphique rapide et un calcul STD poussé alors que la réalisation du calcul RT2012 est plus longue et source d'erreur de saisie.
	Design Builder	7,1		
2/ Calcul dans le modèle BIM	Revit	NA	NA	La méthode n'a pas pu aboutir en raison de la complexité de la maquette numérique étudiée. Sur des modèles plus simples, cette méthode peut permettre de réaliser les dimensionnements des terminaux de chauffage et de climatisation en économisant la création d'un nouveau modèle dans un logiciel spécialisé.
3/ Calcul sur la base du modèle BIM architecte	ClimaWin	NA	NA	Avec les deux logiciels utilisés, cette méthode n'a pas pu aboutir car la maquette numérique brute s'avère trop lourde et complexe pour être exploitée par les logiciels de calculs thermiques. Cette méthode ne s'avère utilisable que pour des cas géométriquement très simples et ne présente aucun gain de temps par rapport à la méthode 1.
	Design Builder	NA	NA	

Méthode de calcul	Logiciel utilisé	Durée de saisie (en jours)	Calculs réalisés	Remarques principales
4/ Calcul sur la base du modèle BIM complété thermiquement	Design Builder	NA	NA	Bien que plus efficace que la méthode 3, cette méthode n'a pas pu aboutir sur notre cas d'étude. Elle reste utilisable pour des cas géométriquement simples. Cependant, il n'y a alors aucun gain de temps par rapport à la méthode 1.
5/ Calcul dans le modèle BIM avec un logiciel thermique	ClimaBim	NA	NA	Cette méthode n'a pas pu aboutir car la maquette numérique brute s'avère encore une fois trop lourde et complexe pour être exploitée par les logiciels de calculs thermiques. Cette méthode ne s'avère utilisable que pour des cas géométriquement simples, le gain de temps étant alors faible voir nul par rapport à la méthode 1. Un gain qualitatif est cependant apporté par les vues graphiques.

NA : Non Abouti(s)

Nous pouvons supposer que les observations faites sur les logiciels testés sont vraies pour les logiciels similaires, que ce soient les concurrents de DesignBuilder (IES, Comfie-Pleiades, ...) ou bien ceux de ClimaWin (Perrenoud, Visual TTH, ...).

---

## 4.2 PERSPECTIVES D'INVESTIGATIONS ET D'AMÉLIORATIONS

Les tests réalisés précédemment tendent à montrer que les interfaces entre maquette numérique BIM et logiciels de calculs thermiques ne sont pas encore suffisamment matures et assez efficaces pour être utilisées de manière rentable en bureau d'études.

Cependant, cette maturité est amenée à venir au fur et à mesure de l'évolution des logiciels d'une part et des pratiques d'autre part. La généralisation future de la maquette numérique ainsi que les exigences énergétiques de plus en plus élevées imposent ce renouvellement des pratiques, que ce soit du côté des architectes qui intègrent de plus en plus tôt les contraintes

thermiques (conception bioclimatique, équipements techniques, ...) ou du côté des thermiciens pour qui ces pratiques peuvent générer des gains de temps substantiels.

Ensuite, le présent rapport traite peu de la fiabilité des résultats, l'accent étant mis sur les possibilités et l'efficacité des méthodes de saisie. Ainsi, les résultats via les différentes méthodes présentent d'importants écarts, le principal venant du fait que les fichiers météo utilisés par défaut pour Paris dans ClimaWin et dans DesignBuilder ne sont pas les mêmes. Une étude rapprochant le plus près possible les entrées des 2 logiciels permettrait en plus de conclure sur la fiabilité des méthodes.

Enfin, cette étude a pris comme sujet un bâtiment certes courant du point de vue architectural mais dont la maquette numérique a été travaillée de manière très détaillée mais sans soin particulier à l'aspect exploitabilité pour des calculs thermiques. Il serait donc intéressant de reproduire cette démarche sur un modèle « purgé » afin de voir le résultat. A ce stade, la conclusion de l'étude serait la suivante :

- Sur des modèles simples, le gain de temps que l'on peut attendre par l'utilisation de la maquette numérique pour des calculs thermiques est quasi nul car peu d'informations sont récupérées ;
- Sur un modèle complexe, la quantité de données récupérées est trop lourde pour le logiciel thermique, ce qui ne permet pas de les exploiter.

Mais qu'en est-il sur un modèle intermédiaire aux deux précédents ?

## 5 CONCLUSIONS

Le but de cette étude était de faire l'état des lieux des possibilités des interfaces entre maquette numérique BIM et logiciels de calculs thermiques. Cinq méthodes ont été testées, allant de la saisie « classique » dans un logiciel de calculs thermiques à la réalisation complète des calculs thermiques depuis une maquette numérique BIM.

Bien qu'aucune méthode utilisant la maquette numérique BIM n'ait pu aboutir en raison des particularités du cas pris en exemple, on peut conclure que l'intérêt des cinq méthodes étudiées dépend de deux facteurs importants :

- Le niveau de détails de la maquette numérique étudiée : plus celle-ci sera lourde, plus elle sera difficile à exploiter ;
- Le niveau de calculs thermiques attendus : plus les calculs attendus sont précis (simulation des systèmes CVC, planning horaires, ...), plus la part de temps de saisie que l'on peut économiser par le biais du BIM est faible.

Selon ces deux critères, il semble plus pertinent d'utiliser la maquette numérique pour le calcul thermique dans les phases en amont du projet (phases d'études). En effet, plus le projet avance, plus la maquette numérique incorpore de détails qui rendent son exploitation toujours plus difficile.

En parallèle, les attentes des études thermiques en termes de sensibilité évoluent aussi avec l'avancement du projet, rendant la part de travail à ajouter à la maquette numérique toujours plus grande.

Bien que l'on démontre ici que l'utilisation de logiciels dédiés aux calculs thermiques en parallèle de la maquette numérique BIM, cet état de fait a vocation à évoluer dans les prochaines années.

# 6 ANNEXES

---

## 6.1 DONNEES D'ENTREE

---

### 6.1.1 DESCRIPTION DU BATIMENT MODELISE

Le projet servant de base pour essayer les différentes méthodes de calculs est la rénovation d'un immeuble parisien de type haussmannien.

Plusieurs critères ont motivé le choix de ce bâtiment, les principaux étant :

- Immeuble de taille moyenne (3184 m<sup>2</sup>), de géométrie simple mais gardant quelques spécificités architecturales permettant de tester les possibilités de chaque logiciel (notamment combles et rampes de parking) ;
- Usage de bureaux standard ;
- Projet incluant différents systèmes CVC, certains standards (radiateur électrique, DRV) et d'autres plus innovants (PAC sur air extrait) ;
- Maquette numérique architecte complète et réalisée sous Revit disponible.

Toutefois, certaines spécificités du projet ont été effacées afin d'en simplifier la saisie :

- Le calcul réglementaire est réalisé suivant la RT2012 et non la RT Existant, DesignBuilder ne permettant pas de réaliser le calcul RT Existant ;
- Les murs en pierre d'épaisseurs variables sont considérés en béton de 20 cm ;
- Les conditions d'utilisation (plannings, consignes de température, ...) et les puissances d'éclairage et d'équipements installées sont issues de la littérature technique et de données courantes.

## 6.1.2 ENVELOPPE

Tableau 15 - Caractéristiques des parois opaques

	Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur spécifique (J/kg.K)	Résistance à la diffusion de vapeur	U (W/m <sup>2</sup> .K)	
							Clima Win	Design Builder*
Murs extérieurs	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16	0,184	0,184
	Laine de verre en rouleau	0,2	0,039	35	1030	1		
	Béton	0,2	1,65	2150	1000	120		
Murs extérieurs enterrés	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16	0,138	0,184
	Laine de verre en rouleau	0,2	0,039	35	1030	1		
	Béton	0,2	1,65	2150	1000	120		
Murs extérieurs enterrés non isolés	Béton	0,2	1,65	2150	1000	120	0,906	3,434
Cloisons intérieures	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16	0,468	0,468
	Laine de verre en rouleau	0,072	0,039	35	1030	1		
	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16		
Murs intérieurs sur LNC	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16	0,178	0,184
	Laine de verre en rouleau	0,2	0,039	35	1030	1		
	Parpaing	0,2	R = 0,2	1000	1000	30		
Murs intérieurs	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16	2,03	3,089
	Parpaing	0,2	R = 0,2	1000	1000	30		
	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16		
Planchers hauts sous combles	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16	0,108	0,109
	Poutrelles entrevous	0,15	R=0,19	1200	1000	8		
	Laine de verre en vrac	0,3	0,034	35	1030	1		
Planchers hauts extérieurs	BA13	0,013	0,8	1800	1000	16	0,181	0,183
	Poutrelles entrevous	0,15	R=0,19	1200	1000	8		
	Laine de verre en rouleau	0,2	0,039	35	1030	1		

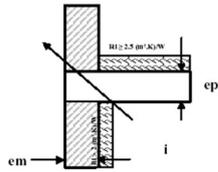
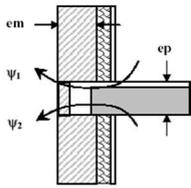
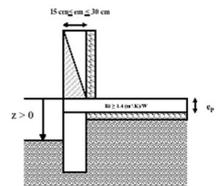
	Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur spécifique (J/kg.K)	Résistance à la diffusion de vapeur	U (W/m <sup>2</sup> .K)	
							Clima Win	Design Builder*
Planchers intermédiaires	Poutrelles entrevous	0,15	R=0,19	1200	1000	8	1,887	2,778
Planchers bas sur terre-plein	Béton	0,2	1,65	2150	1000	120	0,206	1,556
	PSE en sous face	0,15	0,037	24	1450	60		

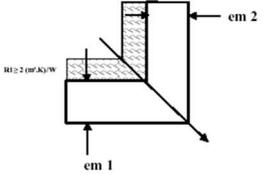
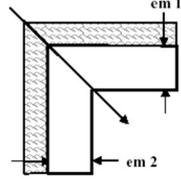
\*Les valeurs de transmission thermique DesignBuilder sont données à titre indicatif. Le moteur de calcul Energyplus fait varier les résistances convectives au cours de la simulation.

Tableau 16 - Caractéristiques des menuiseries

	Uw (W/m <sup>2</sup> .K)	Sw	Sw avec protection	Tl	Tl avec protection	RCL
Fenêtres extérieures	2,0	0,4	0,25	0,5	0,3	0,8
Verrières	2,5	0,25	0,25	0,3	0,3	0,8
Portes	3	0	0	0	0	0

Tableau 17 - Caractéristiques des ponts thermiques

-	Coefficient de transmission thermique linéique (W/m.K)	Illustration
Planchers hauts	0,6	
Planchers intermédiaires	0,64	
Planchers bas enterrés	0,43	

-	Coefficient de transmission thermique linéique (W/m.K)	Illustration
Murs extérieurs angle sortant	0,02	
Murs extérieurs angle rentrant	0,17	

### 6.1.3 CONDITIONS INTERIEURES ET OCCUPATION DES LOCAUX

Tableau 18 - Conditions intérieures et occupation des locaux

Type de local	Température de consigne (°C)		Occupation			Eclairage		Autres apports	Traitement		Débit d'air neuf et d'extraction
	Chauffage	Refroidissement	Densité (Occ/m <sup>2</sup> )	Sensible (W/occ)	Latent (W/occ)	Puissance (W/m <sup>2</sup> )	Contrôle		Terminaux	Air neuf	
Locaux de stockage	19	NC	SO	SO	SO	10,2	DP	SO	RAD élec	CTA DF 1	3 vol/h avec minimum 30m <sup>3</sup> /h
Circulations et SAS	21	26	0,05	75	70	7,1	DP	SO	VCV ou RAD élec en sous/sols	CTA DF 1 et 3	SO - Lobbys ascenseurs : 1,08 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
Locaux techniques	12	NC	SO	75	70	4,6	M	20 W/m <sup>2</sup>	TAN	CTA DF 1 et 3	0,5 vol/h avec minimum 30m <sup>3</sup> /h
Vestiaires et douches	21	NC	0,1	SO	SO	8,1	DP	SO	RAD élec	VMC SF	- 45 m <sup>3</sup> /h si douche isolée - 30 m <sup>3</sup> /h+15N si douches groupées
Sanitaires	21	NC	SO	SO	SO	10,6	DP	SO	RAD élec	VMC SF	- 30 m <sup>3</sup> /h/unité
Local serveur	22	22	SO	SO	SO	18,4	M	8 kW	VCV	CTA DF 1	1 vol/h de pressurisation
Parkings	NC	NC	SO	SO	SO	2,1	DP	SO	NC	VMC DF	450 m <sup>3</sup> /h/véhicule au SS2 1 vol/h ailleurs
Restaurant	21	26	1	75	55	7	DP	14 W/m <sup>2</sup> + 1kW	TAN	CTA DF 2	25 m <sup>3</sup> /h/pers
Cuisine	21	26	0,2	80	80	13,1	M	15 kW	TAN	CTA DF 2	15 vol/h extrait
Accueil	21	26	0,1	75	70	19,4	M	14 W/m <sup>2</sup> + 1kW	VCV	CTA DF 3	30 m <sup>3</sup> /h/pers
Salles de réunion	21	26	Relevée sur plan	70	45	13,3	DP	28 W/m <sup>2</sup> + 500W/salle	VCV	CTA DF 3	30 m <sup>3</sup> /h/pers + Régulation CO <sub>2</sub>
Bureaux	21	26	Relevée sur plan	75	55	10,6	DP + GD	250 W/poste	VCV	CTA DF 3	25 m <sup>3</sup> /h/pers
Locaux repos	21	26	Relevée sur plan	65	30	7,9	DP	14 W/m <sup>2</sup>	VCV	CTA DF 3	30 m <sup>3</sup> /h/pers

RAD : Radiateur      DP : Détection de présence      GD : Gradation      M : Interrupteur manuel      VCV : Ventilateurs-convecteurs

TAN : Traitement tout air neuf      SO : Sans objet

## 6.1.4 PANNINGS

Tableau 19 - Plannings - Bureaux, salles de réunion et de repos, circulations

Usage : Bureaux, salles de réunion et de repos, circulations								
Source : UK NCM ==> B1_Office								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
5	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	5%	5%	100%	0%
7	0%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
8	25%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
9	50%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
10	100%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
11	100%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
12	100%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
13	75%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
14	75%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
15	100%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
16	100%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
17	100%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
18	50%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
19	25%	0%	100%	0%	100%	5%	100%	0%
20	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
21	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
22	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
23	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
24	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%
Total/j	9,00	0,00	13,00	0,00	13,59	1,29	14,00	0,00
Total/sem	9,00		13,00		14,89		14,00	
Total/an	469,29		677,86		776,30		730,00	

Tableau 20 - Plannings - Parkings

Usage : Parkings								
Source : UK NCM ==> B1_CarPark								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
6	25%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
7	100%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
8	100%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
10	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
11	25%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
12	100%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
13	100%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
14	25%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
15	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
16	25%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
17	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
18	100%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
19	100%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
20	25%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
21	25%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
22	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
23	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
24	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
Total/j	7,50	0,00	13,00	0,00	0,00	0,00	24,00	24,00
Total/sem	7,50		13,00		0,00		48,00	
Total/an	391,07		677,86		0,00		2502,86	

Tableau 21 - Planning - Stockages

Usage : Stockages								
Source : UK NCM ==> B1_Store								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		Chauffage	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
9	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
10	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
11	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
12	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
13	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
14	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
15	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
16	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
17	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
18	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total/j	10,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00
Total/sem	10,00		10,00		0,00		12,00	
Total/an	521,43		521,43		0,00		625,71	

Tableau 22 - Planning - Locaux techniques

Usage : Locaux techniques								
Source : UK NCM ==> B1_Plant								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,10	1,00	1,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,10	1,00	1,00
10	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
11	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
12	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
13	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
14	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
15	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
16	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
17	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	0,32	1,00	1,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,10	1,00	1,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,10	1,00	1,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,10	1,00	1,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	1,00	1,00
Total/j	0,08	0,00	0,08	0,00	14,05	4,10	24,00	24,00
Total/sem	0,08		0,08		18,14		48,00	
Total/an	4,17		4,17		946,01		2502,86	

Tableau 23 - Planning - Vestiaires et douches

Usage : Vestiaires et douches								
Source : UK NCM ==> B1_Changing								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
7	0,25	0,00	1,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
8	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
9	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
10	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
11	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
12	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
13	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
14	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
15	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
16	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
17	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
18	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
19	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
20	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
21	0,50	0,00	1,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
Total/j	8,25	0,00	15,00	0,00	13,55	1,20	17,00	0,00
Total/sem	8,25		15,00		14,75		17,00	
Total/an	430,18		782,14		769,11		886,43	

Tableau 24 - Planning - Sanitaires

Usage : Sanitaires								
Source : UK NCM ==> B1_Toilet								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
8	0,25	0,00	1,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
9	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
10	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
11	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
12	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
13	0,75	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
14	0,75	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
15	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
16	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
17	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
18	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
19	0,25	0,00	1,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
Total/j	9,00	0,00	12,00	0,00	10,64	1,10	14,00	0,00
Total/sem	9,00		12,00		11,74		14,00	
Total/an	469,29		625,71		611,90		730,00	

Tableau 25 - Planning - Local serveur

Usage : Local serveur								
Source : UK NCM ==> B1_Plant (Modifié)								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
11	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
17	0,01	0,00	0,01	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Total/j	0,08	0,00	0,08	0,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Total/sem	0,08		0,08		48,00		48,00	
Total/an	4,17		4,17		2502,86		2502,86	

Tableau 26 - Planning - Restaurant

Usage : Restaurant								
Source : UK NCM ==> B1_EatDrink								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,07	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,07	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,07	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,07	1,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,07	1,00	0,00
12	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,07	1,00	0,00
13	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,07	1,00	0,00
14	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,07	1,00	0,00
15	0,75	0,00	1,00	0,00	0,77	0,07	1,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,07	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00
Total/j	3,00	0,00	4,00	0,00	9,09	1,63	6,00	0,00
Total/sem	3,00		4,00		10,72		6,00	
Total/an	156,43		208,57		558,81		312,86	

Tableau 27 - Planning - Cuisine

Usage : Cuisine								
Source : UK NCM ==> B1_FoodPrep								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
7	0,25	0,00	1,00	0,00	0,05	0,05	1,00	0,00
8	0,75	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
9	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
10	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
11	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
12	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
13	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
14	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
15	0,75	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
16	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
17	0,25	0,00	1,00	0,00	1,00	0,05	1,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
Total/j	8,25	0,00	11,00	0,00	10,66	1,14	13,00	0,00
Total/sem	8,25		11,00		11,80		13,00	
Total/an	430,18		573,57		615,26		677,86	

Tableau 28 - Planning - Accueil

Usage : Accueil								
Source : UK NCM ==> Reception								
Heures	Occupation		Eclairage		Apports		CVC	
	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE	Sem	WE
1 (de 0h à 1h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	1,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	1,00	0,00
8	0,25	0,00	1,00	0,00	0,04	0,04	1,00	0,00
9	0,50	0,00	1,00	0,00	0,04	0,04	1,00	0,00
10	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
11	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
12	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
13	0,75	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
14	0,75	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
15	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
16	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
17	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,04	1,00	0,00
18	0,50	0,00	1,00	0,00	0,04	0,04	1,00	0,00
19	0,25	0,00	1,00	0,00	0,04	0,04	1,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00
Total/j	9,00	0,00	12,00	0,00	8,65	0,97	14,00	0,00
Total/sem	9,00		12,00		9,62		14,00	
Total/an	469,29		625,71		501,41		730,00	

## 6.1.5 SYSTEMES ENERGETIQUES

### 6.1.5.1 Productions calorifique et frigorifique

Le bâtiment est chauffé et refroidi par un système de VRV 3 tubes de marque Daikin, modèle REYQ20U. A partir de la base de données Edibatec, on reprend les principales données suivantes :

- COP = 3,2 (à 7°C extérieur et 20°C intérieur)
- EER = 2,34 (à 35°C extérieur et 27°C intérieur)

Le local serveur est traité par une unité à détente directe dédiée. Il s'agit d'un *split-system* de marque Daikin, composé d'une unité extérieure de modèle RZAG125MV1 et d'une unité intérieure de modèle FBA125A. Les spécifications techniques sont récupérées dans la base de données Edibatec :

- COP = 4,01 (à 7°C extérieur et 20°C intérieur)
- EER = 2,61 (à 35°C extérieur et 27°C intérieur)

### 6.1.5.2 Traitement de l'air neuf

L'air neuf est traité par des CTA thermodynamiques de marque PACARE avec échangeur à roue. On récupère dans la documentation technique les données suivantes :

Tableau 29 - Performances énergétiques de la PAC sur air extrait à différents points de fonctionnement

Température extérieure (°C)	Puissance calorifique/frigorifique (kW)	COP/EER
-7 (chauffage à 20°C)	46,5	8,96
+7 (chauffage à 20°C)	32,9	5,77
+35 (refroidissement à 27°C)	27,7	3,76

On note que le COP plus performant par -7°C que par +7°C est dû au fait que l'échangeur à roue récupère beaucoup plus d'énergie étant donné que l'on augmente de 14°C la différence de température en entrée de l'échangeur.

Pour ce qui est des performances des ventilateurs (extracteurs de VMC compris), on considère systématiquement une puissance de 0,5 W/(m<sup>3</sup>/h).

### 6.1.5.3 Traitement des locaux

Les locaux courants (détaillés dans le Tableau 18) sont traités par des ventilo-convecteurs gainables associés à la production VRV. Plusieurs modèles étant installés dans les faits, on choisit ici un modèle standard avec les caractéristiques suivantes :

- Variation temporelle en chauffage = 0,30°C ;
- Variation spatiale en chaud de classe B2 ;
- Variation temporelle en refroidissement = -0,30°C ;

- Variation spatiale en refroidissement de classe B.

Et les caractéristiques des ventilateurs suivantes :

**Tableau 30 - Spécification des ventilateurs de ventilo-convecteurs**

	Petite vitesse	Moyenne vitesse	Grande vitesse
Débit (m <sup>3</sup> /h)	420	480	570
Puissance électrique (W)	16	26	37

Les radiateurs électriques des vestiaires et des sanitaires sont des modèles F617 de marque Atlantic :

- Variation temporelle en chauffage = 0,86°C ;
- Variation spatiale en chaud de classe C.

#### **6.1.5.4 ECS**

Dans le cadre de la présente étude, les besoins en ECS sont très limités. Afin de ne pas les négliger complètement, on prend en compte un ballon électrique avec les caractéristiques suivantes :

- Volume du ballon = 200 L ;
- Perte thermique du ballon : 1,89 W/L.

---

#### **6.1.6 AUTRES FACTEURS REGLEMENTAIRES**

Sont listées ci-dessous diverses entrées complémentaires, à prendre en compte dans le cadre du calcul RT2012 :

- Acoustique : le projet donne directement sur une rue classée en catégorie de bruit 3 [15]. L'ensemble des menuiseries en façade côté rue est donc classé BR3 (Zone de bruit fort) et les menuiseries donnant côté court sont classées BR2 (Zone de bruit modéré) ;
- Les groupes du bâtiment sont tous considérés classés CE2 en raison de l'usage du bâtiment et de son exposition au bruit ;
- Perméabilité à l'air :  $Q_{V_{surf\_4Pa}} = 1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  ;
- Baies ouvrables ;
- Bâtiment avec perméabilité horizontale ;
- Classe d'inertie quotidienne moyenne ;

- Classe d'inertie séquentielle légère ;
- Étanchéité des réseaux aéraulique : Classe B.

## 7 BIBLIOGRAPHIE

- [1] DIRECTIVE 2014/24/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE.
- [2] « BIM : une demande croissante dans la commande publique », Ordre des architectes, mars 13, 2018.
- [3] NATIONS UNIS, Accord de Paris. 2015.
- [4] Commission Européenne, « Un cadre d'action en matière de climat et d'énergie pour la période comprise entre 2020 et 2030 », janv. 22, 2014, [En ligne]. Disponible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0015&from=EN>.
- [5] DIRECTIVE (UE) 2018/2001 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables. 2018.
- [6] Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique, modifiant les directives 2009/125/CE et 2010/30/UE et abrogeant les directives 2004/8/CE et 2006/32/CE Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE. p. 56.
- [7] LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. 2015.
- [8] ADEME, « Climat, Air et Energie Chiffres clés - édition 2018 », Climat, Air et Energie Chiffres clés - édition 2018, nov. 2018.
- [9] « RE2020 : Une nouvelle étape vers une future réglementation environnementale des bâtiments neufs plus ambitieuse contre le changement climatique », Ministère de la Transition écologique et solidaire. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/re2020-nouvelle-etape-vers-future-reglementation-environnementale-des-batiments-neufs-plus>.
- [10] Décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics. 2016.
- [11] Ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités locales, « Plan BIM 2022.pdf ». janv. 24, 2019, [En ligne]. Disponible sur : <https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sites/default/files/2019-07/Plan%20BIM%202022.pdf>.
- [12] Ministère de la transition écologique et solidaire, « KROQI - Bâtir avec le numérique ». <https://www.kroqi.fr/>.
- [13] Clément VALENTE, BIM & BTP : Construire grâce à la maquette numérique. Méthodes BTP.
- [14] BBS Logiciels, ClimaBIM (version commentée), <https://www.youtube.com/watch?v=N7V6C49cwug>. 2014.
- [15] Arrêté préfectoral du 15 novembre 2000 portant sur le classement acoustique des infrastructures terrestres sur Paris.

## 8 LISTE DES FIGURES

Figure I - Extrait de plan CVC 2D .....	13
Figure II - Extrait de maquette CVC 3D .....	14
Figure III - Diagramme de description des usages classiques des logiciels .....	17
Figure IV - Diagramme de description de la tendance actuelle des usages des logiciels .....	18
Figure V - Diagramme de l'usage des logiciels à venir .....	19
Figure VI - Description des différentes méthodes de saisie étudiées .....	23
Figure VII - Structure de la méthode Th-BCE, issue de la fiche d'application : "Comment identifier l'usage d'un bâtiment et l'exigence associée ?" éditée par le CSTB .....	29
Figure VIII - Détail de l'arborescence ClimaWin .....	30
Figure IX - Extrait de la Méthode Th-BCE, types de programmation et relance de chauffage .....	31
Figure X - Extrait de la méthode de calcul Th-BCE « Tableau 75 : Valeurs du coefficient C1 et de l'éclairement intérieur de référence » .....	33
Figure XI - Capture d'écran du message d'erreur ClimaWin .....	33
Figure XII - Schéma d'une CTA simple flux .....	34
Figure XIII - Schéma d'une CTA double flux .....	34
Figure XIV - Schéma d'une CTA DAC .....	34
Figure XV - Schéma d'une CTA DAV .....	35
Figure XVI - Résultat global du calcul de déperditions ClimaWin .....	36
Figure XVII - Résultat global du calcul d'apports ClimaWin .....	36
Figure XVIII - Extrait du calcul d'apports de ClimaWin - Détail des résultats d'un local .....	36
Figure XIX - Résultats du Calcul RT2012 sous ClimaWin .....	38
Figure XX - Résultats du calcul STD sous ClimaWin .....	39
Figure XXI - Courbe de température d'un local-type sur la semaine la plus chaude de l'année .....	40
Figure XXII - Graphiques d'inconfort d'un local-type proposés par ClimaWin .....	40
Figure XXIII - Vue générale du modèle géométrique DesignBuilder .....	45
Figure XXIV - Vue du bloc de niveau R+5 du modèle géométrique DesignBuilder .....	45
Figure XXV - Synoptique DesignBuilder de la CTA Parking .....	46
Figure XXVI - Synoptique DesignBuilder de la CTA Cuisine et Réfectoire .....	47
Figure XXVII - Synoptique DesignBuilder de la CTA locaux courants .....	48
Figure XXVIII - Synoptique DesignBuilder de la CTA sous-sol .....	48
Figure XXIX - Vue DesignBuilder d'un plateau de bureaux équipé d'un capteur de luminosité .....	49
Figure XXX - Schéma de principe de la loi de contrôle de l'éclairage .....	49
Figure XXXI - Résultats du calcul de déperditions DesignBuilder .....	50
Figure XXXII - Graphique des besoins de froid du bâtiment lors de la journée de pointe en kW au pas horaire .....	50
Figure XXXIII - Graphique de résultats DesignBuilder .....	51
Figure XXXIV - Evolution des consommations d'éclairage et de l'ensoleillement sur une semaine-type .....	52
Figure XXXV - Vue graphique des consommations d'éclairage par zones (en kWh/m².an) .....	52

Figure XXXVI - Résultats du calcul des consommations DesignBuilder mis en forme sous Excel .....	53
Figure XXXVII - Détail des résultats du calcul RT2012 sou DesignBuilder .....	54
Figure XXXVIII - Vues 3D d'ensemble issues du modèle Revit du projet .....	55
Figure XXXIX - Vues 3D du détail de la maquette issues du modèle Revit du projet .....	55
Figure XL - Délimitation des espaces Revit sur un étage-type .....	56
Figure XLI - Saisie des apports Revit .....	57
Figure XLI - Vue 3D et liste des espaces Revit .....	58
Figure XLIII - Catalogue de paroi généré par ClimaWin .....	61
Figure XLIV - Vue générale du fichier gbXML importé dans DesignBuilder .....	62
Figure XLV - Vue d'un plateau de bureaux du fichier gbXML importé dans DesignBuilder .....	63
Figure XLVI - Faux-plafond et poteau à exclure du modèle analytique .....	65
Figure XLVII - Rectification des volumes de pièces du modèle Revit .....	65
Figure XLVIII - Vue du R+1 du modèle analytique Revit .....	66
Figure XLIX - Vue du modèle énergétique Revit .....	66
Figure L - Catégories de surfaces du modèle énergétique Revit .....	67
Figure LI - Représentation du facteur de résolution de l'espace analytique .....	67
Figure LII - Représentation du facteur de résolution de la surface analytique .....	67
Figure LIII - Modèle analytique Revit importé dans DesignBuilder .....	68
Figure LIV - Modèle Revit test .....	69
Figure LV - Vue de l'interface ClimaBim dans Revit .....	71
Figure LVI - Message d'erreur Lors de l'analyse ClimaBIM .....	71
Figure LVII - Paroi à surface négative dans ClimaBim .....	72

## 9 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Etat des lieux sommaire des principaux logiciels de STD sur le marché	20
Tableau 2 - Etat des lieux sommaire des principaux logiciels de STD sur le marché (suite 1)	21
Tableau 3 - Etat des lieux sommaire des principaux logiciels de STD sur le marché (Suite 2)	22
Tableau 4 - Saisie des catalogues ClimaWin	24
Tableau 5 - Saisie de l'arborescence ClimaWin	26
Tableau 6 - Débogage du modèle ClimaWin	28
Tableau 7 - Saisie des catalogues DesignBuilder	41
Tableau 8 - Saisie de l'arborescence DesignBuilder	42
Tableau 9 - Saisie des Systèmes CVC DesignBuilder	43
Tableau 10 - Saisie des propriété RT2012	43
Tableau 11 - Résultats du calcul RT2012 sous DesignBuilder	54
Tableau 12 - Résultats d'un calcul d'apports sous Revit au niveau d'un bâtiment	59
Tableau 13 - Résultats d'un calcul d'apports sous Revit au niveau d'une pièce	59
Tableau 14 - Comparatif des méthodes de saisie étudiées	74
Tableau 15 - Caractéristiques des parois opaques	79
Tableau 16 - Caractéristiques des menuiseries	80
Tableau 17 - Caractéristiques des ponts thermiques	80
Tableau 18 - Conditions intérieures et occupation des locaux	82
Tableau 19 - Plannings - Bureaux, salles de réunion et de repos, circulations	83
Tableau 20 - Plannings - Parkings	84
Tableau 21 - Planning - Stockages	85
Tableau 22 - Planning - Locaux techniques	86
Tableau 23 - Planning - Vestiaires et douches	87
Tableau 24 - Planning - Sanitaires	88
Tableau 25 - Planning - Local serveur	89
Tableau 26 - Planning - Restaurant	90
Tableau 27 - Planning - Cuisine	91
Tableau 28 - Planning - Accueil	92
Tableau 29 - Performances énergétiques de la PAC sur air extrait à différents points de fonctionnement	93
Tableau 30 - Spécification des ventilateurs de ventilo-convecteurs	94

## RESUME

L'étude des interfaces entre maquettes numériques du bâtiment et calculs thermiques (Simulation Thermique Dynamique et calcul thermique réglementaire) montre le manque de maturité de ces méthodes.

Que ce soit par extraction des données thermiques de la maquette numérique ou par calcul directement dans la maquette, le constat est le même :

- Une maquette numérique complexe est très difficilement exploitable parce que le temps de traitement de la maquette pour le calcul thermique est incompatible avec les objectifs de rentabilité économique ;
- Une maquette numérique simple est exploitable pour les calculs thermiques mais le gain de productivité est minime par rapport à une saisie complète dans un logiciel de calculs traditionnel.

Cet état de fait a vocation à changer avec l'évolution des pratiques, notamment la généralisation annoncée de la maquette numérique et des calculs de Simulation Thermique Dynamique pour tous les projets de constructions neuves ou de rénovations lourdes.

Mots clés : Simulation Thermique Dynamique, maquette numérique, BIM, RT2012, interfaces.

## SUMMARY

The study of interfaces between Building Information Modelling and thermal calculations (building energy modelling and thermal code calculation) shows the lack of maturity of these methods.

Whether it is by extracting thermal data from the BIM model or by thermal calculation directly using it, the observation is the same:

- A complex BIM model is very difficult to use because the process time needed to adapt it for thermal calculations is incompatible with economic profitability targets;
- A simple BIM model can be used for thermal calculations but the productivity gain is minimal compared to a complete thermal calculation work using traditional calculation software.

This situation is set to change with the evolution of practices, in particular the generalization to come of BIM model and building energy modelling for all new constructions or refurbishment projects.

Key words: building energy modelling, BIM, thermal code calculations, interfaces.