

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE DE 24 CRÉDITS PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE MÉCANIQUE

M.Ing.

PAR
BENSENOUCI AHMED

ÉTUDE DE L'ÉFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE D'UN BÂTIMENT D'HABITATION À
L'AIDE DU LOGICIEL DE SIMULATION DOE-2E

MONTRÉAL, LE 8 MAI 2006

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Stanilaw Kajl, directeur de mémoire
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Louis Lamarche, président du jury
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Stéphane Hallé, membre de jury
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC
LE 31 MARS 2006
À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE D'UN BÂTIMENT

D'HABITATION À L'AIDE DU LOGICIEL DE SIMULATION DOE-2E

BENSENOUCI AHMED

SOMMAIRE

Le but de ce mémoire de maîtrise est d'investiguer sur l'estimation de l'énergie utilisée dans le secteur de l'habitat. La capacité de prédire la consommation d'énergie est très utile durant toutes les étapes de la vie d'un bâtiment. Dans les nouvelles constructions, le coût de l'énergie prédit, associé aux différentes tâches de conception, peut inciter les propriétaires et constructeurs à prendre la meilleure décision concernant l'efficacité énergétique. Pareillement, l'estimation de la consommation d'énergie des bâtiments existants permet d'établir une stratégie de mesures d'économies énergétiques en agissant efficacement sur les éléments les plus énergivores.

L'utilisation dans cette étude du logiciel DOE-2E et son interface EE4 a permis le développement d'un modèle de bâtiment existant et d'estimer sa consommation énergétique. Le cas étudié est validé en s'appuyant sur une comparaison entre les résultats estimés par le logiciel de calcul et l'énergie consommée réellement. Ce modèle pourra servir à l'évaluation de l'énergie utilisée des bâtiments en construction et existants. Au terme de cette recherche, une étude des paramètres sensibles est menée, donnant une illustration des éléments essentiels pouvant modifier facilement l'allure de la consommation d'énergie. Une intervention dans le bon sens sur ces éléments s'avère très fructueuse sur le plan énergétique.

STUDY OF THE ENERGY EFFICIENCY IN BUILDING HOUSE USING THE DOE-2E SOFTWARE SIMULATION

BENSENOUCI AHMED

ABSTRACT

The goal of this Master's thesis is to investigate the methods used for estimating energy consumption in housing. The capacity to predict the energy consumption is very useful during all steps of the life of a building. In new constructions, the prediction of energetic costs associated with various options of conception can help owners and builders to make the best decisions in terms of energy efficiency. Similarly, the modelling of energy consumption of existing buildings allows the establishment of an energy-saving strategy to act efficiently on the most energy-consuming elements.

The use in this study of the DOE-2E software as well as its interface EE4 has allowed the creation of a model of existing building to simulate its energy consumption. The studied case is validated on the basis of a comparison between the results estimated by the calculation software and the energy really consumed. This model will be useful as a basis for the evaluation of the energy used in buildings under construction and in existing buildings. At the end of this analysis, a study of sensitive parameters is carried out, proving an illustration of the essential elements that can easily modify energy consumption. An intervention in the right direction on these elements proves itself very useful energy-wise.

REMERCIEMENTS

Louange à Allah, Clément et Miséricordieux pour ses bénédictions interminables et pour son aide survenue dans l'accomplissement de ce travail de mémoire. Je prie Allah d'accorder la paix à son dernier prophète Mohammed (Sal-Allah –Alaihe oua Sallam) et à tous ce qui ont suivis et suivrons sa voie jusqu'au jour du jugement dernier.

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, le professeur Kajl Stanislas pour l'aide qu'il m'a accordée tout au long de la préparation de ce mémoire.

Ma gratitude va ensuite à l'École de Technologie Supérieure pour l'ensemble des infrastructures pédagogiques qu'elle a bien voulu mettre à ma disposition dans le cadre de ce travail.

Je rends cordialement hommage à tous les membres de ma famille, frères et sœurs, et spécialement à ma mère et mon à père (qu'Allah le guérisse), qui m'ont guidé toute ma vie. Leur amour et leur soutien m'ont donné la motivation et le courage de continuer mes études supérieures. Sans leur support moral et leurs sincères prières, je serais incapable d'accomplir une seule tâche dans ma vie.

Je remercie également ma très chère épouse pour son soutien moral et sa patience tout au long de mes études.

Je tiens à remercier chacun de mes amis et collègues pour l'aide offerte, tous ayant contribué de près ou de loin à cette modeste étude.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE	iii
ABSTRACT	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES.....	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 APERÇU DE LA SITUATION ÉNERGÉTIQUE	4
1.1 Bilan énergétique.....	4
1.2 Objectif de la recherche.....	10
1.3 Méthodologie.....	10
1.3.1 Choix d'un bâtiment réel.....	10
1.3.2 Création d'un modèle de bâtiment	10
1.3.3 Validation du modèle	11
1.3.4 Étude des paramètres sensibles du modèle.....	11
1.3.5 Définition des éléments les plus énergivores	11
1.3.6 Évaluation des mesures d'économie d'énergie	12
CHAPITRE 2 MÉTHODES DE CALCUL D'ÉNERGIE	13
2.1 Méthodes d'estimation rapide	13
2.2 Méthodes de modélisation.....	14
2.3 Méthode de degrés - jours	15
2.3.1 Méthode de degrés - jours classique.....	15
2.3.2 Méthode de degrés - jours variable	17
2.4 Méthode BIN	19
2.4.1 Méthode BIN classique	20
2.4.2 Méthode BIN modifiée.....	21
2.5 Méthodes de simulation.....	21
2.5.1 Module de charge	23
2.5.2 Module du système (CVCA).....	28
2.5.3 Module de la centrale	28
CHAPITRE 3 CHOIX DU LOGICIEL DE SIMULATION	29
3.1 Modèles et simulations.....	29
3.2 Logiciels de simulation d'énergie	30

3.3	Logiciel DOE-2E	31
3.4	Logiciel BLAST	31
3.5	Techniques de modélisations des logiciels DOE-2E et BLAST	32
3.6	Choix du logiciel	36
3.7	Structure générale du logiciel DOE-2E	36
3.7.1	Fichier d'entrée de DOE-2E	38
3.7.2	Fichier de sortie de DOE-2E	38
3.7.3	Données climatiques pour la simulation	38
3.7.4	Précision du logiciel DOE-2E	39
3.8	Aperçu du logiciel EE4	40
3.8.1	Élément Bâtiment	42
3.8.2	Élément Centrale	43
3.8.3	Élément Système	43
3.8.4	Élément Zone	43
3.8.5	Élément Pièce	43
3.8.6	Composantes de l'enveloppe	44
3.8.7	Fenêtres et portes	44
3.8.8	Simulation	44
CHAPITRE 4 ÉTUDE DE CAS		45
4.1	Sélection du bâtiment	45
4.2	Description du bâtiment	45
4.2.1	Niveau sous-sol	46
4.2.2	Les étages 1 à 6	47
4.3	Élaboration du fichier bâtiment dans EE4	48
4.3.1	Information générale sur le bâtiment	49
4.3.2	Définition de l'installation centrale	51
4.3.3	Définition des systèmes	54
4.3.4	Zonage	59
4.3.5	Modélisation de l'enveloppe du bâtiment	67
4.3.6	Modélisation du système d'éclairage	79
4.3.7	Opération des équipements électriques	80
4.4	Paramètres des variables d'entrée	81
CHAPITRE 5 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS		83
5.1	Résultats de la simulation	83
5.2	Validation du modèle	85
5.2.1	Premier test de simulation	86
5.2.2	Second test de validation	89
5.2.3	Résultats du test de validation	93
5.3	Sources de différence	94
5.4	Étude des paramètres sensibles	95
5.4.1	L'impact de l'enveloppe du bâtiment	95
5.4.2	Impact de l'infiltration	103

5.4.3	Impact de l'éclairage	104
5.4.4	Impact de l'efficacité de la chaudière.....	105
5.4.5	Impact de la ventilation	106
5.4.6	Coût des matériaux de construction	108
5.5	Modèle final	109
	CONCLUSION	112
	ANNEXE 1 Bibliothèque des systèmes CVCA de DOE-2E	114
	ANNEXE 2 Fichier entrée et sortie de DOE-2E	117
	ANNEXE 3 Plans architecturaux	130
	ANNEXE 4 Tableaux des caractéristiques des fenêtres	135
	ANNEXE 5 Horaire d'exploitation, Table G	139
	ANNEXE 6 Cédule d'utilisation de l'eau chaude	141
	ANNEXE 7 Consommation d'énergies, données selon OMHM	146
	ANNEXE 8 Fichier données de l'habitation 5250 Gatineau	151
	BIBLIOGRAPHIE	154

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau I	Consommation d'énergie primaire par habitant	7
Tableau II	Comparaison générale des caractéristiques des deux logiciels [10]	33
Tableau III	Comparaison des caractéristiques des charges [10]	34
Tableau IV	Comparaison des caractéristiques du système CVCA [10].....	35
Tableau V	Types de bâtiments; valeurs par défaut [11].....	60
Tableau VI	Fonction de l'espace; valeurs par défaut [11]	60
Tableau VII	Description des zones desservies par le système 1 (S1).....	66
Tableau VIII	Description des zones desservies par le système 2 (S2).....	67
Tableau IX	Éléments de construction du mur	70
Tableau X	Éléments de construction du toit	74
Tableau XI	Caractéristiques des équipements ménagers	80
Tableau XII	Horaires d'opération des équipements ménagers	81
Tableau XIII	Paramètres variables.....	82
Tableau XIV	Résumé de la facture de consommation d'électricité en kWh	85
Tableau XV	Résumé de la facture de consommation de gaz en m ³	86
Tableau XVI	Différence entre électricité et gaz facturés et calculés	90
Tableau XVII	Résumé de la consommation d'énergie facturée et calculée	91
Tableau XVIII	Correspondance entre la valeur du coefficient U du mur et l'épaisseur de l'isolant.....	96
Tableau XIX	Correspondance entre la valeur du coefficient U du toit et l'épaisseur de l'isolant.....	97
Tableau XX	Correspondance entre la valeur U du toit et l'épaisseur du rouleau d'asphalte.....	99
Tableau XXI	Correspondance entre la valeur U du plancher et l'épaisseur d'asphalte.....	100
Tableau XXII	Paramètres du modèle final	110

LISTE DES FIGURES

	Page	
Figure 1	Consommation mondiale d'énergie par source en 2001	5
Figure 2	Répartition géographique de la consommation d'énergie	6
Figure 3	Consommation de l'énergie au Canada.....	8
Figure 4	Consommation d'énergie selon le type d'utilisation	9
Figure 5	Structure énergétique d'un bâtiment [6].....	15
Figure 6	Facteur de correction C_d [8].....	17
Figure 7	Profil de charge simplifié [8].....	20
Figure 8	Diagramme de calcul de la charge horaire (algorithme d'ASHRAE) [8]	22
Figure 9	Algorithme de la méthode des fonctions de transfert [8]	27
Figure 10	Diagramme de DOE-2E [10].....	37
Figure 11	Résultats des tests de l'AIE	40
Figure 12	Arbre du bâtiment dans EE4.....	42
Figure 13	L'immeuble 5250 Gatineau.....	46
Figure 14	Plan architectural du sous-sol (voir aussi Annexe 3)	47
Figure 15	Plan architectural du rez-de-chaussée (voir aussi Annexe 3).....	48
Figure 16	Plan architectural des étages 2 à 6 (voir aussi Annexe 3)	49
Figure 17	Captation des données sur le bâtiment	50
Figure 18	Données concernant l'eau chaude sanitaire.....	52
Figure 19	Données du le chauffage central.....	53
Figure 20	Captation des spécifications de système.	54
Figure 21	Schéma du système monobloc multizone.	55
Figure 22	Captation de spécifications de ventilateur de soufflage.	57
Figure 23	Système ventilo-convector à deux tuyaux	58
Figure 24	Subdivision en zone du sous-sol	63
Figure 25	Subdivision en zones du rez-de-chaussée.....	63
Figure 26	Subdivision en zones du dernier étage	64

Figure 27	Subdivision en zones des étages intermédiaires (2 ^e au 5 ^e)	65
Figure 28	Regroupement des étages intermédiaires et des zones périphériques et internes	65
Figure 29	Section typique du toit.....	68
Figure 30	Section typique du mur.....	69
Figure 31	Captation des caractéristiques du mur.....	70
Figure 32	Profondeur équivalente d'un mur remblayé.....	73
Figure 33	Saisie des données pour le plancher en contact avec le sol.....	75
Figure 34	Plan du plancher en contact avec le sol (voir annexe 3)	77
Figure 35	Bibliothèque des vitrages	78
Figure 36	Horaires d'éclairage.....	79
Figure 37	Captation des résultats de la simulation	83
Figure 38	Captation de la consommation annuelle de gaz et d'électricité	84
Figure 39	Comparaison des résultats de la simulation et de l'énergie facturée	87
Figure 40	Comparaison des résultats de la simulation et de l'électricité facturée	87
Figure 41	Comparaison des résultats de la simulation et du gaz facturé.....	88
Figure 42	Consommation d'énergie du modèle de validation comparé au réel	92
Figure 43	Consommation d'électricité du modèle de validation comparé au réel	92
Figure 44	Consommation de gaz du modèle de validation comparé au réel ...	93
Figure 45	Consommation d'énergie en fonction du coefficient U du mur.....	96
Figure 46	Consommation d'énergie du toit en fonction du coefficient U	98
Figure 47	Consommation d'énergie en fonction du coefficient U du plancher	100
Figure 48	Consommation d'énergie en fonction du coefficient U des fenêtres	101
Figure 49	Consommation d'énergie en fonction du CARS	102
Figure 50	Consommation d'énergie en fonction du degré d'orientation de l'immeuble.....	103
Figure 51	Consommation d'énergie en fonction de l'infiltration	104
Figure 52	Consommation d'énergie en fonction de la densité d'éclairage....	105

Figure 53	Énergie en fonction du rendement thermique de la chaudière	106
Figure 54	Régime de fonctionnement des ventilateurs en fonction de l'énergie.....	107
Figure 55	Comparaison entre le modèle de validation et le modèle final	110

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BIN	Intervalle de temps
BLAST	Logiciel d'analyse énergétique
CARS	Coefficient d'apport du rayonnement solaire
CVCA	Chauffage ventilation conditionnement d'air
CMNÉB	Code Modèle National de l'Énergie pour les Bâtiments
DOE-2E	Logiciel d'analyse énergétique (Departement Of Energy version 2E)
EE4	Logiciel d'estimation d'énergie
OMHM	Office Municipal d'Habitation de Montréal
PEBC	Programme d'Encouragement pour les Bâtiments Commerciaux
Q	Énergie consommée par année
\dot{Q}_{gain}	Gain interne de chaleur
DJ _é	Degrés - jours calculés à la température d'équilibre
η	Rendement des équipements thermiques
K _{tot}	Somme totale des coefficients (U A) de l'enveloppe du bâtiment
U	Coefficient de transfert thermique
t _é	Température d'équilibre
t _i	Température intérieure
t _o	Température extérieure
n	Nombre de surfaces dans le local
$q_{i,\theta}$	Le taux d'échange de chaleur par conduction à travers la surface i vers l'extérieur au temps θ
A _i	L'aire de la surface i,

h_{ci}	Coefficient de transfert de chaleur par convection de l'air vers la surface intérieure i
g_{ij}	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la surface intérieure i et j,
$t_{a,\theta}$	Température de l'air intérieur au temps θ ,
$t_{i,\theta}$	Température moyenne de la surface intérieure i au temps θ ,
$t_{j,\theta}$	Température moyenne de la surface intérieure j au temps θ ,
$q_{si,\theta}$	Taux du rayonnement solaire reçu par les fenêtres et absorbé par la surface intérieure i au temps θ ,
$q_{li,\theta}$	Taux de la chaleur dégagé par l'éclairage, absorbé par la surface intérieure i au temps θ ,
$q_{ei,\theta}$	Taux de la chaleur dégagé par l'équipement et les occupants, absorbé par la surface intérieure i au temps θ ,

INTRODUCTION

L'épuisement des réserves d'énergie engendré par une production intensive, la ratification des lois et des décrets concernant la préservation de l'environnement par la majorité des pays et l'escalade continue du prix du baril de pétrole, sont les principaux facteurs amenant une prise de conscience de l'utilisation rationnelle de l'énergie. Au Canada, les secteurs public et privé sont conscients des bénéfices acquis par l'application d'une politique d'économie d'énergie dans les secteurs du transport, de l'industrie et du bâtiment. Ces données nous poussent à prendre des décisions judicieuses quant à l'efficacité énergétique des nouvelles constructions, nous pouvons également mettre les bâtiments existants à l'étude afin de réduire leur consommation énergétique.

La majeure partie des constructions, des systèmes de chauffage, de climatisation et de conditionnement d'air (CVCA) installés dans les bâtiments au cours des années soixante-dix et quatre-vingt étaient conçus avec moins d'attention à la consommation d'énergie, vu l'abondance et la modicité des ressources. La hausse des prix de l'énergie depuis cette période a suscité un énorme intérêt pour l'efficacité énergétique. Un autre volet de ce vaste dossier vient de s'ouvrir avec les critères du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur, ainsi que leurs répercussions sur la santé et le rendement des occupants. Avec la mise au point des systèmes de contrôle et des logiciels de simulation et d'analyse énergétique, le secteur du bâtiment accroît continuellement l'efficacité énergétique de ses réalisations.

C'est dans ce contexte qu'apparaît l'idée de modéliser la présente étude. L'objectif de ce travail est donc de favoriser la réduction de la consommation énergétique dans le secteur de l'habitat par l'utilisation de logiciels de simulation.

Le présent mémoire est composé de cinq chapitres. Le premier est un aperçu global du bilan énergétique mondial. Il présente aussi l'objectif de ce travail, ainsi que la méthodologie suivie durant cette étude.

Les méthodes d'estimation d'énergie les plus usuelles sont représentées au chapitre deux. Ce dernier présente l'ensemble des méthodes d'estimation rapides basées sur la vérification des anciennes factures d'énergie du bâtiment afin d'estimer la consommation future. On y traite des méthodes simples comme les méthodes de degrés - jours et les méthodes BIN classiques et modifiées, finalement les méthodes de simulations sont illustrées en montrant leurs qualités d'analyse, leur précision ainsi que leur efficacité comparées aux autres méthodes, soit les arguments en leur faveur.

Bien évidemment, il existe plusieurs méthodes de simulations ou de logiciels d'analyse énergétique utilisés dans le domaine du bâtiment. Le chapitre trois contient une étude comparative entre les deux logiciels les plus répandus dans cette spécialité en excluant les autres, vu leurs restrictions d'utilisation. Le logiciel DOE-2E est retenu, on le compare au logiciel BLAST car ses performances et sa disponibilité le rende adéquat pour cette étude.

Le chapitre quatre est une étude de cas d'un bâtiment existant à Montréal. La modélisation de ce bâtiment est faite par le logiciel EE4 utilisant l'interface du logiciel DOE-2E, conçu pour le CMNÉB. La modélisation dépend du choix du système mécanique approprié, des matériaux de construction de l'enveloppe, du système d'éclairage, etc. Cette modélisation est basée sur les données tirées des plans mécaniques et architecturaux de la bâtie, sur les renseignements récoltés à l'Office Municipale d'Habitation de Montréal, ainsi que sur des visites faites sur place.

Cette étude est clôturée par une discussion des résultats de simulation présentés dans le dernier chapitre. Une comparaison des résultats estimés par le logiciel DOE-2E et les

factures de gaz et d'électricité de cet immeuble conduit à une validation presque parfaite après ajustement du modèle. Au terme de ce chapitre, une étude des paramètres sensibles montre à quel point il est possible de réduire la consommation d'énergie dans un bâtiment en agissant efficacement sur les éléments les plus influençables.

CHAPITRE 1

APERÇU DE LA SITUATION ÉNERGÉTIQUE

1.1 Bilan énergétique

L'évolution de l'humanité est fortement liée à ses ressources énergétiques dont la consommation, accusant une augmentation quasi exponentielle, entraîne des gaz à effet de serre nuisibles à l'environnement. En outre, la production d'énergie mobilise des moyens financiers importants, le prix de revient des ressources pèse toujours lourd dans le budget global des États, même si dans le cas du pétrole il est comparable à celui d'avant la crise pétrolière de 1973.

Depuis le début des années quatre-vingt, les contraintes liées à l'utilisation rationnelle de l'énergie ont conduit à l'optimisation des systèmes énergétiques. À cela viennent s'ajouter les exigences écologiques et de développements durables apparues au début de la décennie quatre-vingt-dix [1].

En 1992 [2], le Canada a signé et ratifié la convention des Nations Unies sur le changement climatique, au terme de laquelle plus de 150 pays convenaient de travailler à ramener d'ici l'an 2000 leurs émissions de gaz à effet de serre aux niveaux des années quatre-vingt-dix. En 1997, à la troisième conférence qui s'est tenue à Kyoto au Japon, les pays participants, sauf les États-Unis, se sont de nouveau mis d'accord sur un calendrier visant à réduire d'ici 2010 leurs émissions pour les ramener aux niveaux de 1990. Le Canada s'est engagé, quant à lui, à réduire de 6% d'ici l'an 2010 ses émissions de gaz à effet de serre afin de revenir à son niveau de 1990.

Le plan d'action 2000 du gouvernement du Canada établi en l'an 2000 sur le changement climatique, le premier d'une série de plans d'activités que le Canada entreprendra pour lutter contre le changement climatique, a été mis en place. Ce plan porte principalement sur les réductions d'émissions de gaz à effet de serre. L'amélioration de l'efficacité énergétique fait partie intégrante du programme de ce plan.

La consommation mondiale d'énergie primaire en 2002 [3] s'est établie à 9,405 milliards de tep (tonnes équivalent pétrole), alors qu'elle était de 8,2 milliards en 1992, soit une hausse de 13% au cours de la dernière décennie. En termes de parts de marché, comme l'illustre la figure 1, le pétrole est la source d'énergie la plus courante avec près de 38% des parts, grâce surtout au secteur des transports où il est encore sans concurrence sérieuse, il est suivi, à parts presque égales, par le charbon (24%) et le gaz naturel (23%), le nucléaire représente un peu moins de 7% du marché mondial, alors que l'hydroélectricité et les autres énergies renouvelables représentent environ 8 %.

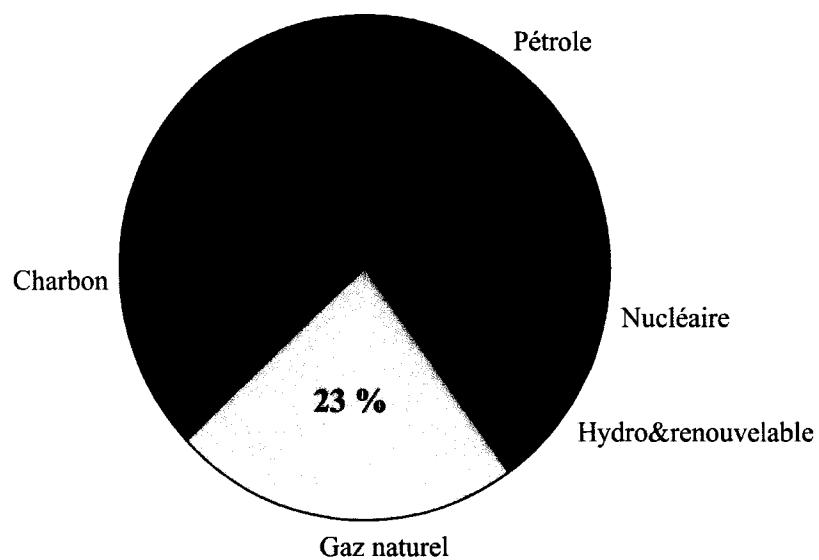


Figure 1 Consommation mondiale d'énergie par source en 2001

La répartition de la consommation d'énergie par grande région géographique, illustrée par la figure 2, fait ressortir les points suivants :

- l'Amérique du Nord est le plus gros consommateur d'énergie dans le monde avec 29 % de la consommation, les États-Unis totalisant à eux seuls 24.4 % de la consommation mondiale,
- l'Europe de l'Ouest s'accapare 17 %,
- l'Asie en développement représente un peu plus de 20 % de la consommation totale avec, en particulier, l'émergence de la Chine totalisant 10.6 % et de l'Inde avec 3.5%,

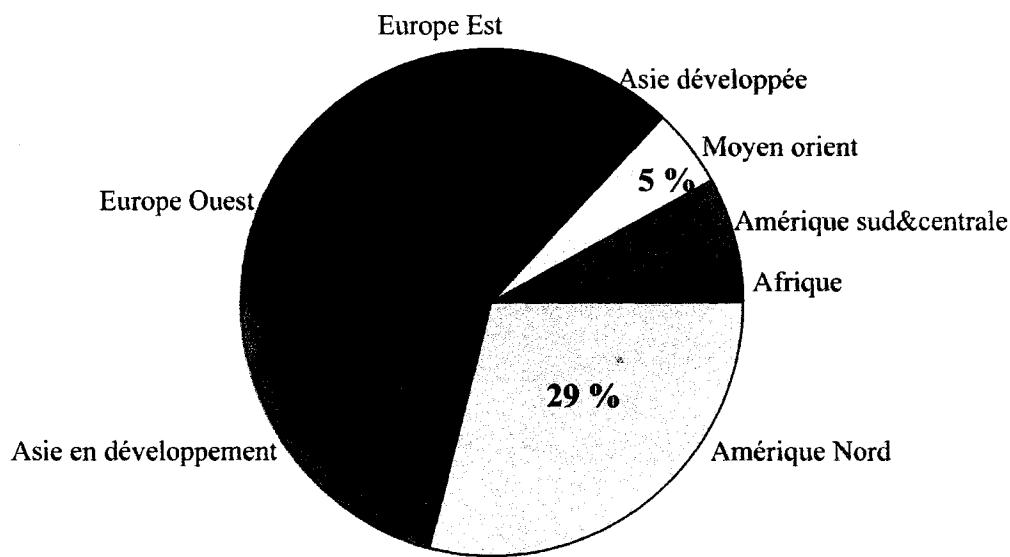


Figure 2 Répartition géographique de la consommation d'énergie

- l'Amérique du Sud, l'Amérique Centrale et l'Afrique ne représentent conjointement que 8 % de la consommation.

L'analyse de la consommation mondiale d'énergie fait apparaître des différences considérables, reflétant essentiellement les inégalités de développement, alors que la consommation annuelle moyenne par habitant est de 4,5 tep dans les pays développés, elle est de 3 tep dans les pays en transition économique et de moins de 0,6 tep dans les pays en développement. Ces données sont illustrées dans le tableau I.

Chaque nord-américain, pris individuellement, utilise 2 fois plus d'énergie qu'un européen, ce qui ne s'explique pas seulement par la différence de climat.

Tableau I
Consommation d'énergie primaire par habitant

Région géographique	Consommation d'énergie (Mtep)	Population (Mhab)	Consommation par habitant (tep/hab)
Amérique Nord	2638	408	6,5
Amérique Sud&Centrale	372	420	0,9
Europe Ouest	1819	582	3,1
Asie développée	823	196	4,2
Asie-en développement	1527	3192	0,5
Europe Est	917	284	3,2
Moyen-Orient	387	189	2
Afrique	269	784	0,3
Total	8 753	6 055	1,4

La mécanique du bâtiment est un secteur très important du champ scientifique et de la recherche en ingénierie. L'augmentation considérable du coût de l'énergie, la complexité technique croissante des constructions et la multiplication des problèmes

instationnaires qui en découlent, ont en effet donné une importance particulière au traitement de la thermique du bâtiment. Le but est d'atteindre une très grande qualité de bâtiment sur les plans énergétique et écologique, tout en assurant le confort et le bien-être des occupants. Rappelons que le secteur du bâtiment est le deuxième consommateur d'énergie en importance au Canada avec une moyenne de 34% [2] de la consommation totale.

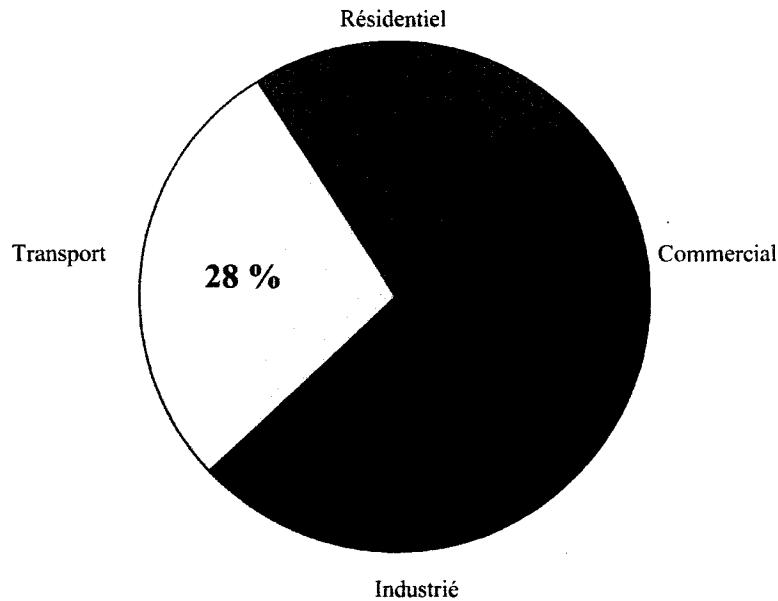


Figure 3 Consommation de l'énergie au Canada

En 1999, au Canada, l'utilisation de l'énergie dans le secteur du bâtiment atteignait 31.3% de la consommation totale et produisait 23.2% du bioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère.

Le chauffage et la climatisation des locaux, le chauffage de l'eau ainsi que le fonctionnement des appareils ménagers et des appareils d'éclairage sont les principales utilisations de l'énergie dans le domaine du bâtiment résidentiel canadien. La figure 4 montre que plus de 80% de la demande énergétique sert au chauffage des locaux et de l'eau.

La hausse des prix de l'énergie a attiré l'attention des concepteurs de systèmes en ingénierie, ils prennent maintenant en considération la consommation d'énergie. Présentement, il est primordial de tenir compte de l'efficacité énergétique dans la conception et la construction des bâtiments. La capacité de prédire la consommation d'énergie aux différentes étapes de la vie d'un bâtiment est très utile.

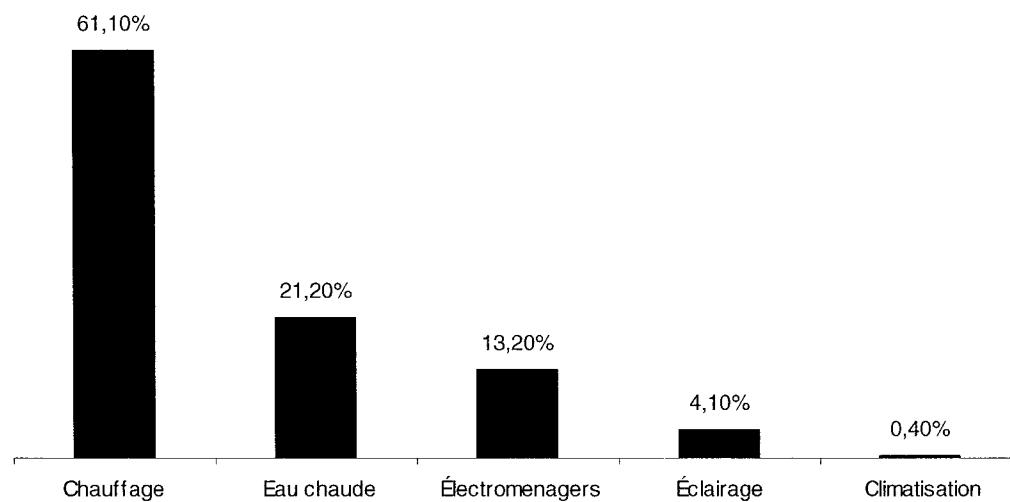


Figure 4 Consommation d'énergie selon le type d'utilisation

Dans les nouvelles constructions, la prédiction du coût de l'énergie simplifie la tâche des propriétaires des bâtiments quant au choix idéal des systèmes selon leur efficacité et leur prix de revient. De la même façon, l'estimation de l'énergie pour les bâtiments existants permet de cibler rapidement les éléments les plus énergivores. Pour les propriétaires et les constructeurs de bâtiments, le fait de connaître à l'avance le coût réel et global d'un système permet de prendre les meilleures décisions touchant le contrôle de la consommation d'énergie.

1.2 Objectif de la recherche

La présente recherche porte sur l'estimation de la consommation énergétique dans le secteur de l'habitat afin de la rendre rationnelle et judicieuse, sans négliger le confort et les besoins des occupants. C'est ce qu'on appelle l'efficacité énergétique.

Dans le cadre de cet examen de la consommation énergétique, nous procéderons à une étude exhaustive d'un bloc d'habitations existant à la ville de Montréal qui appartient au parc d'habitations de l'Office Municipal d'Habitation de Montréal (OMHM), nous utiliserons le modèle énergétique de bâtiment créé au moyen du logiciel de simulation détaillée. Le modèle sera validé par l'énergie facturée.

1.3 Méthodologie

1.3.1 Choix d'un bâtiment réel

Au sein du parc immobilier géré par l'OMHM, nous retrouvons une diversité de bâtiments et d'occupants : 830 habitations architecturalement différentes; 20382 appartements chauffés, ventilés et climatisés différemment; plus de 40000 Montréalais, soit des personnes âgées, des familles et des personnes seules demeurent dans les logements de l'Office [4]. Pour faire une estimation précise de l'utilisation de l'énergie, il faut que la base de données du bâtiment étudié soit disponible.

1.3.2 Crédit d'un modèle de bâtiment

Une fois le bâtiment choisi, on collecte les données pertinentes et on les entre dans le logiciel EE4, ce dernier ayant le logiciel DOE-2E comme moteur de calcul. Dès que les

informations sont entrées, le logiciel les vérifie, lance la simulation et retransmet les résultats à EE4 pour affichage.

1.3.3 Validation du modèle

Pour savoir si le modèle est exact, on compare l'énergie consommée, calculée par le simulateur DOE-2E, et celle facturée, de cette façon on voit s'il y a des modifications ou des réajustements à faire.

1.3.4 Étude des paramètres sensibles du modèle

Quand le modèle est validé, on commence à modifier les variables afin de juger le comportement du modèle et analyser ses tendances. Cette étude est très utile car elle nous révèle les points cruciaux du bâtiment, c'est-à-dire ceux qui influencent d'une façon significative la consommation d'énergie.

1.3.5 Définition des éléments les plus énergivores

Dans cette étude de sensibilisation, nous définissons les éléments les plus énergivores, il en existe plusieurs, parmi eux :

- le système CVCA,
- l'enveloppe du bâtiment,
- l'appareil d'éclairage.

1.3.6 Évaluation des mesures d'économie d'énergie

Au terme de cette étude les éléments les plus énergivores seront bien cernés. On pourra prendre des mesures pour économiser l'énergie, dont voici des exemples :

- amélioration du système CVCA par l'augmentation du rendement thermique de la chaudière,
- accroissement de l'isolation au niveau de l'enveloppe, des fenêtres et des portes,
- changement du système d'éclairage par un autre qui consomme moins d'énergie.

CHAPITRE 2

MÉTHODES DE CALCUL D'ÉNERGIE

Globalement, les trois types de méthode utilisés pour l'estimation de la consommation d'énergie sont : les méthodes de degrés - jours, les méthodes BIN et la méthode de simulation détaillée. Les deux premiers reposent sur un nombre important de simplifications, ce qui les rend moins précis que le troisième type. Le niveau de précision de ces méthodes est fonction d'un nombre varié de suppositions.

2.1 Méthodes d'estimation rapide

La méthode la plus simple de prédiction de l'énergie consommée d'un bâtiment est l'examen attentif des anciennes factures d'énergie. Cette technique d'estimation reste valable tant que le bâtiment garde les mêmes caractéristiques au fil du temps. De ce fait, l'utilisation de cette méthode est limitée, car le progrès ne s'arrête pas en ce qui a trait aux matériaux de construction et aux systèmes mécaniques; par conséquent, il y a un remplacement périodique des portes et des fenêtres par des produits plus hermétiques, les enveloppes sont de plus en plus isolantes, les systèmes mécaniques et de contrôle sont plus performants. En outre, cette procédure ne s'applique pas aux nouveaux immeubles qui n'ont pas une base de données préalable.

La méthode de degrés – jours, la plus simple, est souvent utilisée pour estimer la consommation annuelle d'énergie nécessaire au chauffage. Cette procédure suppose que l'énergie exigée pour le maintien du confort thermique est directement et seulement fonction de la température extérieure.

2.2 Méthodes de modélisation

Pour évaluer la consommation de l'énergie dans un bâtiment d'une manière satisfaisante, il faut prendre en considération les principaux paramètres qui influencent la demande d'énergie : la surface et le volume du bâtiment, son orientation, sa géométrie, les matériaux de construction des enveloppes, des murs, des planchers, des toits, des portes et fenêtres, le taux d'infiltration d'air, le gain interne de l'énergie engendré par les équipements, l'éclairage, les occupants et les caractéristiques du système de chauffage, ventilation et conditionnement d'air (CVCA). Les données climatiques incluent la vitesse du vent et sa direction, la température externe et la radiation du soleil sur les surfaces de l'immeuble. Cependant, les facteurs les plus difficiles à intégrer sont ceux qui dépendent du comportement humain [5], par exemple le taux d'utilisation des appareils électroménagers, le chauffage, l'eau chaude, l'éclairage, l'ouverture des portes et fenêtres, etc.

Les méthodes sophistiquées comme les méthodes de simulation se basent sur le changement des conditions climatiques par tranche d'heures et les caractéristiques opératoires du bâtiment pour des jours typiques de l'année (ou bien l'ensemble des 8760 heures d'opération).

La figure 5 montre la structure énergétique d'un bâtiment. L'enchaînement des étapes de ce schéma est comme suit. La première étape consiste à déterminer la charge du bâtiment nécessaire au maintien du confort thermique selon les conditions climatiques et le gain interne d'énergie. Durant la seconde étape, la charge est transmise dans le système CVCA, l'équipement prenant en charge le chauffage, le refroidissement et le conditionnement de l'air. Cette étape doit inclure l'ensemble des sortes d'énergie requises par le système CVCA, dont l'énergie électrique nécessaire pour le fonctionnement des ventilateurs ou des pompes. La troisième étape consiste à calculer

l'énergie consommée par le système central. Ce système représente la centrale qui transforme l'énergie du combustible ou l'énergie électrique en chaleur ou refroidissement.

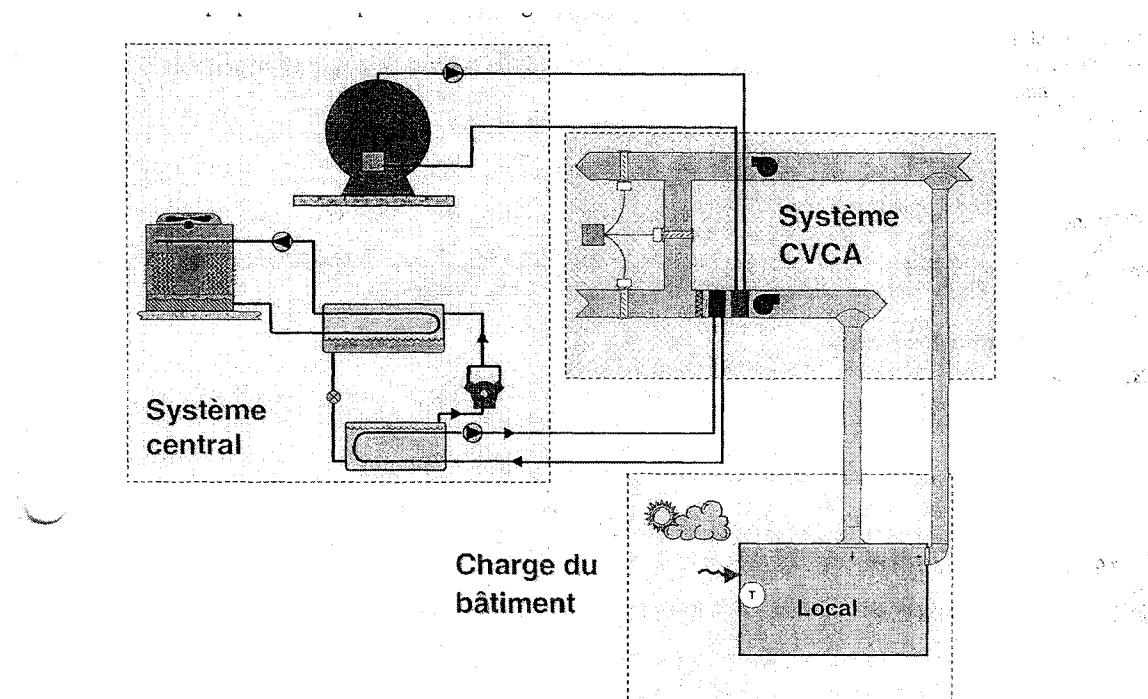


Figure 5 Structure énergétique d'un bâtiment [6]

2.3 Méthode de degrés - jours

2.3.1 Méthode de degrés - jours classique

Il existe deux méthodes de degrés - jours : la méthode de degrés - jours classique et la méthode de degrés - jours variable. La méthode de degrés - jours classique est simple et

limitée relativement à la précision, quoiqu'elle reste valable comme technique d'évaluation préliminaire.

La méthode de degrés - jours classique est basée sur l'hypothèse [7] qu'en moyenne, la radiation solaire et le gain interne d'énergie compensent les déperditions de chaleur quand la température de base est de 18°C, de plus, la consommation du combustible est proportionnelle à la différence entre la température journalière moyenne et 18°C. Le degré - jour est défini pour une période donnée par la relation suivante :

$$DJ = \frac{(t - t_a)N}{24} \quad (2-1)$$

où :

DJ = degrés – jours,

N = nombre d'heures,

t_a = température moyenne,

t = 18°C, température de base.

L'isolation thermique des bâtiments s'est améliorée au cours des 40 dernières années, conséquemment la température de base doit être inférieure à 18°C. Un autre facteur rarement pris en considération est la diminution de l'efficacité de la combustion des chaudières et des pompes à chaleurs sous les charges partielles. La méthode de degrés - jours classique, qui tient compte de ces facteurs, est souvent utilisée. L'équation qui donne la quantité de combustible consommée à l'aide de cette méthode est:

$$F = \frac{24(DJ)qC_d}{\eta(t_i - t_o)H} \quad (2-2)$$

où :

F = quantité de combustible demandée pour la période voulue, son unité dépend de H ,

DJ = degrés - jours pour la période donnée,

q = perte de chaleur globale basée sur les conditions de design (t_i, t_0) en kW,

η = rendement de la chaudière,

H = pouvoir calorifique du combustible en kW par unité de volume ou de masse,

C_D = facteur de correction de degrés - jours basé sur 18°C (figure 6).

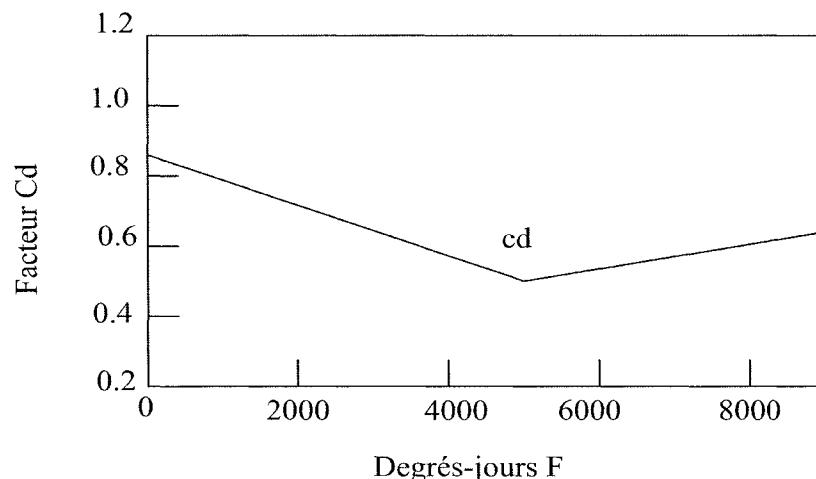


Figure 6 Facteur de correction C_d [8]

2.3.2 Méthode de degrés - jours variable

La méthode de degrés - jours variable est une généralisation de la méthode de degrés - jours classique, car à la place d'utiliser la température de base (18°C), cette méthode utilise la température d'équilibre, définie comme étant la température moyenne

extérieure en fonction de laquelle le besoin du bâtiment en matière de chauffage est calculé. En d'autres termes, la chaleur dégagée des sources internes comme l'éclairage, les équipements ménagers, les occupants et les radiations solaires combinent entièrement les besoins en chauffage du bâtiment jusqu'à la température d'équilibre. Une fois la température d'équilibre identifiée, la consommation peut être calculée comme suit [8] :

$$Q = \frac{24K_{tot} \cdot DJ_{te}}{\eta} \quad (2-3)$$

où :

Q = énergie consommée annuellement,

DJ_{te} = degrés - jours calculés à la température d'équilibre,

η = rendement des équipements thermiques,

K_{tot} = somme totale des coefficients ($U \cdot A$) de l'enveloppe du bâtiment + l'infiltration,

U = coefficient de transfert thermique $W/m^2 \cdot ^\circ C$,

A = surface d'échange thermique en m^2 .

La température d'équilibre est donnée par la formule suivante :

$$t_e = t_i - \frac{Q_{gain}}{K_{tot}} \quad (2-4)$$

Q_{gain} = gain interne de chaleur

Le nombre de degrés - jours est calculé au moyen de l'équation suivante :

$$DJ_{t_e} = 1 \text{ jour} \sum_{\text{jour}} (t_e - t_o) \quad (2-5)$$

où :

t_e = température d'équilibre,

t_i = température intérieure,

t_o = température extérieure.

Cette méthode suppose que l'énergie demandée est directement proportionnelle à la différence entre la température du bulbe sec interne et externe. Cette technique, par contre, ne prend pas en considération les nouveaux systèmes, par exemple la pompe à chaleur où l'efficacité est basée sur la température à laquelle la chaleur est récupérée. Ce problème se rencontre souvent dans les bâtiments industriels et commerciaux dotés des systèmes de récupération d'énergie dont la performance dépend de la demande d'énergie instantanée et des variations des conditions climatiques.

Les deux méthodes de degrés - jours, classique et variable, bien qu'elles soient établies pour évaluer la charge de chauffage, ne sont pas capables de déterminer la charge de refroidissement. La difficulté avec la charge de refroidissement est de quantifier le gain solaire et interne, particulièrement quand le gain solaire dépend de l'orientation des murs, l'ombrage et le pourcentage de transmission des vitrages.

2.4 Méthode BIN

Pour combler les lacunes amenées par les méthodes de degrés - jours, beaucoup de techniques ont été créées : les méthodes BIN, classique et modifiée, font partie de ce groupe de techniques. Le principal avantage de la méthode BIN réside dans les calculs de la consommation d'énergie, où l'on peut tenir compte des horaires d'occupation du

bâtiment et de la variation de la température extérieure. Il est possible, par conséquent, de tenir compte de la variation de l'efficacité de l'équipement (une chaudière par exemple) en fonction de la charge partielle qui dépend, au moins en partie, de la température extérieure [6].

2.4.1 Méthode BIN classique

La méthode BIN classique a besoin du profil de la charge du bâtiment pour déterminer le chauffage ou le refroidissement nécessaire au conditionnement du milieu ambiant, selon la température extérieure. Le point d de la figure 7 représente une charge de chauffage sans considération pour le gain interne ou l'effet des radiations solaire. L'effet du soleil déplace la position à partir du point 0 . Le profil de la charge pendant la période occupée, $d' - 0'$, est influencé par le gain interne engendré par les occupants et les équipements aussi bien que par le rayonnement solaire.

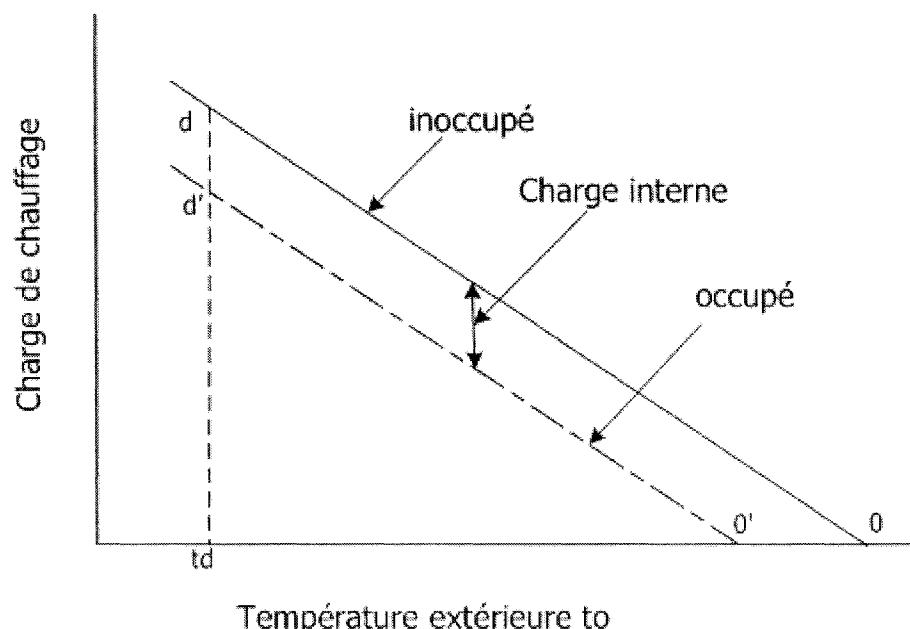


Figure 7 Profil de charge simplifié [8]

2.4.2 Méthode BIN modifiée

La méthode BIN modifiée calcule l'énergie utile [6] pour le chauffage, la ventilation et le conditionnement d'air. Cette approche permet à l'utilisateur de prédire les effets du réchauffement et de la récupération de la chaleur, impossible à déterminer au moyen de la méthode BIN classique.

En outre, les facteurs qui varient avec le temps tels que le gain des radiations solaires, le profil de la consommation des équipements et de l'éclairage, sont intégrés au modèle pour évaluer la charge totale du bâtiment. Une fois la charge totale trouvée, il est possible de déterminer les performances du système CVCA en calculant la charge de chauffage et de refroidissement. Par la suite, la consommation de l'énergie annuelle est calculée en utilisant la base de données des conditions climatiques par tranche d'heures. Finalement, l'énergie consommée annuellement par le système central est calculée par l'utilisation de la performance de la chaudière et du refroidisseur [8].

2.5 Méthodes de simulation

Les imperfections notables rencontrées dans les méthodes de degrés - jours et la méthode BIN sont :

- les résultats sont moins précis,
- le calcul des variables se fait dans le régime permanent,
- le nombre des variables influençant le profil de la charge est souvent incomplet.

La méthode de simulation surmonte ces inconvénients par l'interprétation en détail des résultats de l'énergie utilisée pendant les 8760 heures de l'année. En outre, le grand nombre des paramètres incluant les charges internes et les données horaires des conditions climatiques permettront de déterminer avec précision les conditions opératoires du bâtiment. Les logiciels de calcul sont capables de produire des milliers de simulations afin de fournir à l'utilisateur des valeurs relativement exactes.

Les méthodes de simulations détaillées permettent de modéliser la construction du bâtiment et son système mécanique. La construction du bâtiment englobe divers éléments comme l'orientation de l'édifice, la surface des murs extérieurs et du toit et leurs conductions thermiques, la surface des vitrages, le coefficient d'ombrage, le taux de changement de l'air et le coefficient global du transfert de chaleur, etc. Le système mécanique du bâtiment comporte les chaudières, les refroidisseurs, les ventilateurs et les pompes. Les conditions opératoires du bâtiment sont définies par les différents points de consigne du thermostat, les sources de gain interne que sont les occupants, les équipements et l'éclairage. Ces paramètres sont intégrés au modèle de simulation afin de calculer l'énergie nécessaire au bâtiment.

Théoriquement, toutes les méthodes de simulation emploient le même type de stratégie. Cette stratégie est illustrée dans la figure 8.

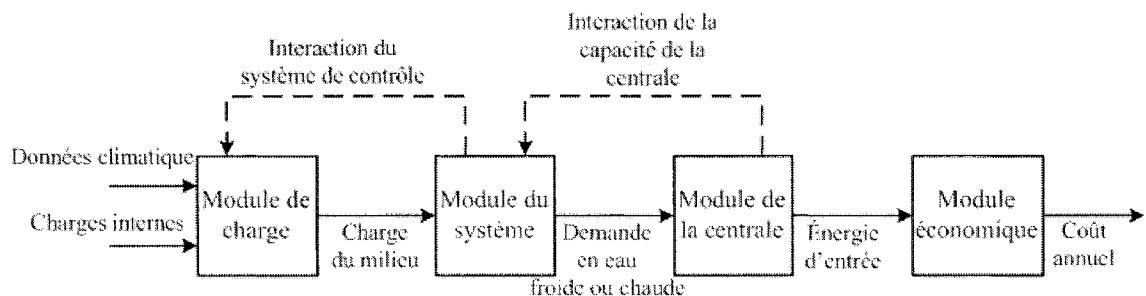


Figure 8 Diagramme de calcul de la charge horaire (algorithme d'ASHRAE) [8]

Il existe quatre sections dans cet algorithme, comme le montre la figure 8 : le module des charges, le module du système, le module de la centrale et le module économique. Le module des charges utilise les caractéristiques du bâtiment, les données climatiques pour le calcul de la charge de chauffage ou de refroidissement. La charge demandée sera transmise au module du système afin de déterminer le débit d'air ou d'eau nécessaire au chauffage ou au refroidissement. Le module de simulation de la centrale calcule la quantité d'énergie nécessaire pour le conditionnement. Cette séquence est répétée pour chaque heure pendant la période d'analyse.

2.5.1 **Module de charge**

Dans l'analyse énergétique par simulation, la quantité de chaleur et de refroidissement demandée est calculée dans un module appelé charge. La charge englobe l'échange de chaleur à travers l'enveloppe, le gain solaire et les gains internes. Dans la majorité des cas, il est nécessaire de modéliser le bâtiment en une série de zones au lieu d'une seule zone. L'utilisateur définit chaque zone par la surface et l'orientation des murs, le pourcentage des vitrages, la conductivité des matériaux de construction du bâtiment et le gain interne.

La détermination de la charge sensible du milieu à conditionner constitue la base du calcul de l'énergie par les méthodes de simulations. Les deux méthodes de calcul les plus utilisées dans ces situations sont la méthode de l'équilibre thermique et la méthode des fonctions de transfert.

La méthode de l'équilibre thermique est fondée sur des concepts fondamentaux tels que le premier principe de la thermodynamique et l'algèbre matricielle. Cette technique met

donc en œuvre une multitude de calculs pour arriver aux résultats, et par conséquent l'exécution des opérations prend un certain temps.

La méthode des fonctions de transfert est un compromis entre les méthodes simples, comme la méthode BIN, et les méthodes sophistiquées comme la méthode de l'équilibre thermique.

2.5.1.1 Méthode de l'équilibre thermique

Par la méthode de l'équilibre thermique on s'assure que le flux thermique dans chaque zone est équilibré par l'échange de chaleur entre l'air du milieu ambiant et les surfaces intérieures et extérieures de chaque mur, toit et plancher. Ces équations de l'équilibre énergétique sont combinées avec les équations du transfert de chaleur par conduction à travers toutes les surfaces, et avec les données des conditions climatiques incluant la température du bulbe sec et humide de l'air extérieur et le rayonnement solaire. Pour illustrer cette méthode, soit une zone simple (local) comprenant six surfaces : quatre murs, un plancher et un toit. La zone reçoit de l'énergie solaire venant des fenêtres, la conduction thermique opère via les murs, le toit et le plancher, et un gain interne d'énergie provient des occupants, de l'éclairage et des équipements. Un système d'équations pour chaque zone est établi comme suit :

$$q_{i,\theta} = \left[h_{ci} (t_{a,\theta} - t_{i,\theta}) + \sum_{j=1, j \neq i}^n g_{ij} (t_{j,\theta} - t_{i,\theta}) \right] A_i + q_{si,\theta} + q_{hi,\theta} + q_{ei,\theta} \quad (2-6)$$

où :

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$,

n = nombre de surfaces dans le local,

$\dot{q}_{i,\theta}$ = taux d'échange de chaleur par conduction à travers la surface i au moment θ ,

A_i = aire de la surface i ,

h_{ci} = coefficient de transfert de chaleur par convection entre la surface intérieure i et l'extérieur,

g_{ij} = coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la surface interne i et j ,

$t_{a,\theta}$ = température de l'air intérieur au moment θ ,

$t_{i,\theta}$ = température moyenne de la surface intérieure i au moment θ ,

$t_{j,\theta}$ = température moyenne de la surface intérieure j au moment θ ,

$q_{si,\theta}$ = taux du rayonnement solaire reçu par les fenêtres et absorbé par la surface intérieure i au moment θ ,

$q_{li,\theta}$ = taux de la chaleur dégagé par l'éclairage, absorbé par la surface interne i au moment θ ,

$q_{ei,\theta}$ = taux de la chaleur dégagé par l'équipement et occupants, absorbé par la surface interne i au moment θ .

2.5.1.2 Méthode des fonctions de transfert

La méthode des fonctions de transfert s'appuie sur deux importants concepts : les fonctions de transfert de la conduction et les fonctions de transfert du milieu ambiant.

Les deux fonctions de transfert relient les variables actuelles aux anciennes à intervalles de temps discrétisés. Dans les analyses énergétiques des bâtiments, les intervalles de temps discrétisés sont souvent d'une période d'une heure.

Les fonctions de transfert convertissent l'infinité des réponses des facteurs en un nombre fini de termes qui prend en considération les valeurs des variables utiles. La figure 9 donne un aperçu du modèle des fonctions de transfert.

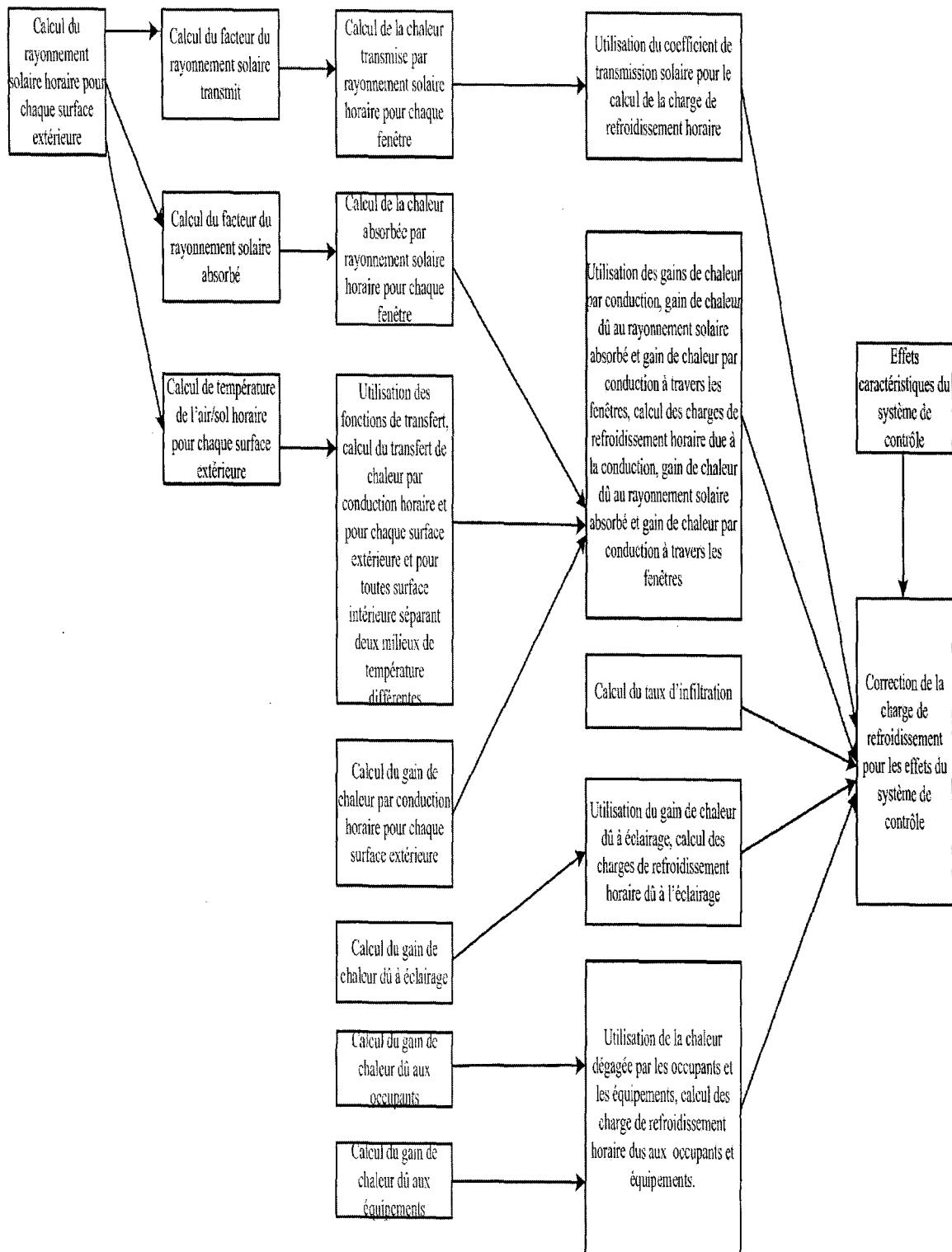


Figure 9 Algorithme de la méthode des fonctions de transfert [8]

2.5.2 Module du système (CVCA)

Les résultats du calcul des charges sont transmis au module du système. Dans ce module, le débit d'air de ventilation, la charge des batteries froides et chaudes, le réchauffement des zones et la consommation d'énergie des ventilateurs sont calculés.

Le système CVCA comprend souvent des batteries de chauffage ou de refroidissement, des déshumidificateurs et des ventilateurs, leurs principales tâches sont de conditionner les zones. Quand le module des charges détermine les besoins en chauffage et en refroidissement du système CVCA, le module du système calcule le débit d'air ou d'eau nécessaire au conditionnement du milieu.

Ainsi, le modèle mathématique de ce système met en relation l'énergie de chauffage ou de refroidissement dégagée et la charge sensible du milieu ambiant. Le module du système doit tenir compte de la chaleur dégagée par les gros ventilateurs, transférée au courant d'air, elle nécessite l'abaissement de la charge de chauffage ou l'augmentation de la charge de refroidissement.

2.5.3 Module de la centrale

Le module de la centrale reçoit les charges du système CVCA afin de déterminer l'énergie primaire, qui est souvent la quantité de combustible gazeux ou liquide ou l'énergie électrique consommée par les équipements du système central que sont les chaudières, les refroidisseurs et les tours de refroidissement.

CHAPITRE 3

CHOIX DU LOGICIEL DE SIMULATION

3.1 Modèles et simulations

Dans le chapitre précédent, le lecteur est brièvement initié aux méthodes de simulation établies pour le calcul de la consommation d'énergie dans le bâtiment. Dans ce chapitre les termes « modèle » et « simulation » seront utilisés dans leur sens le plus large.

Le terme simulation est étroitement lié au terme modèle, leur rôle est d'imiter le fonctionnement d'un système dans son état réel. Ainsi, le modèle est une représentation simplifiée du système et la simulation est un processus d'imitation des importants aspects du comportement du système [9].

La principale utilisation de la simulation des modèles est de soumettre le modèle à une variété de conditions, d'observer les résultats qui en découlent et d'en déduire le comportement du système réel sous les mêmes conditions. Il est vrai que l'expérimentation reste le moyen le plus fiable pour arriver aux résultats voulus, mais dans la majorité des cas il est impossible de travailler avec le système réel en raison du coût important de cette alternative, de la perte de temps qu'elle implique et parfois en raison du danger que représentent les conditions réelles.

Par exemple, il est peu pratique de construire un bâtiment pour ensuite tenter de réduire sa consommation d'énergie en jouant sur son orientation, les matériaux de l'enveloppe et les différents paramètres des systèmes mécaniques. On peut recourir à l'analyse énergétique de plusieurs propositions au moyen des logiciels de simulation, un outil très utile pour l'estimation préalable du coût de l'énergie et la détermination des paramètres optimaux de conception.

Les logiciels de simulation d'énergies viennent en aide à la restauration des bâtiments existants en ciblant les éléments les plus énergivores, et par la suite en permettant de proposer des mesures d'économie d'énergie.

Les logiciels de simulation sont devenus des outils indispensables aux concepteurs et aux ingénieurs, mais ces outils ont des limites. Il faut rappeler que le modèle est une simple représentation d'un système réel, non ce système lui-même [9].

Avec la complexité accrue des constructions, les logiciels de simulation d'énergie prennent un temps considérable d'exécution, ce qui n'implique pas automatiquement l'obtention de résultats précis. Il est aussi difficile de valider ou de s'assurer que le modèle simule le système réel. Dans la plus part des cas, quand le modèle n'est pas simple, il demande des informations additionnelles, difficiles à obtenir, raison pour laquelle l'utilisateur est obligé d'émettre des suppositions afin d'arriver à des résultats satisfaisants. Généralement, quand les suppositions ne sont pas bien formulées, la simulation produit des résultats moins précis.

3.2 Logiciels de simulation d'énergie

Beaucoup de logiciels sont disponibles pour répondre aux besoins en calcul et en analyse énergétique des ingénieurs de systèmes CVCA. Parmi les plus appréciés, il y a le logiciel DOE-2E mis au point par le département d'énergie des États Unies et BLAST, conçu par l'armé des États Unies [8]. En plus de ces deux logiciels, il existe un bon nombre d'autres logiciels conçus pour des utilisations privés [10] : TRACE, de la compagnie Trane, HAP, de Carrier, BESA DESIGN de Canadaplan Group Inc et Ferreira et Kalasisky Associate Inc, ENERPASS de Enremodal Engineering Limited of Waterloo, Ontario, etc.

Ce chapitre présentera une comparaison entre le logiciel DOE-2E et BLAST. Le reste des logiciels ne sont pas ici sujets d'étude car la littérature les concernant n'est pas facilement disponible au public, leur mise au point était secrète, par conséquent les utilisations ainsi que les utilisateurs de ces logiciels sont d'un nombre restreint.

3.3 Logiciel DOE-2E

DOE-2E est très populaire dans le secteur du bâtiment. Conçu à l'origine par Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) en 1979, [10] en collaboration avec le département d'énergie (Department Of Energy) des États Unies. Le LBNL n'a pas cessé de perfectionner ce logiciel depuis 20 ans, la dernière version, DOE-2.1E, a vu le jour en 1993.

Le logiciel DOE-2E utilise la version texte comme support pour les entrées et les sorties, ce qui le rend plus performant. Le logiciel travaille d'une façon identique à celle du langage FORTRAN.

3.4 Logiciel BLAST

Le logiciel BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) a été créé en 1977 par l'armée des États Unies en coopération avec le département de la défense. Depuis 1983, BLAST est la propriété du laboratoire du bâtiment de l'Université de l'Illinois, USA. BLAST comporte trois sous-programmes :

- la prédition de la charge du milieu à conditionner,
- la simulation du système CVCA,

- la simulation de la centrale.

3.5 Techniques de modélisations des logiciels DOE-2E et BLAST

Malgré les similarités des logiciels DOE-2E et BLAST, ils ont aussi des différences significatives. Les deux logiciels utilisent le mode séquentiel dans la simulation énergétique, en débutant par la modélisation de la charge de chauffage et de refroidissement, poursuivant avec la réaction du système CVCA à ces charges et finalement, en traitant la sollicitation à la centrale d'énergie requise par le système. DOE-2E, en plus de cela, a un module économique qui calcule le coût de l'énergie utilisée. Cette approche séquentielle de modélisation nécessite des simplifications, car le passage entre les trois modules n'est pas aussi simple [10]. En guise d'exemple, la température actuelle de chaque zone est calculée seulement dans le module du système, le calcul des charges se fait à une température constante et ce n'est qu'au moment des simulations du système que viennent les ajustements.

DOE-2E utilise les fonctions de transfert pour le calcul de l'échange thermique entre les surfaces. Une fois que l'on a déterminé les fonctions de transfert, on les emploie pour trouver le flux de la chaleur par tranche d'heures. L'impact du vent sur le transfert de chaleur est pris en considération en variant le coefficient de convection dépendant de la vitesse du vent dans le fichier des données climatiques.

Pour calculer le gain du rayonnement solaire, les logiciels de simulations horaires tels que DOE-2E et BLAST ont besoin des données suivantes : la quantité de radiation solaire directe et diffuse, l'orientation de l'édifice, le pourcentage de l'ombrage et la transmission des vitrages pour les différentes positions du soleil.

L'infiltration est calculée d'après la différence des températures, de la vitesse du vent. Le gain interne de la chaleur est déterminé en imposant à l'utilisateur de dresser des horaires d'exploitation, incluant le nombre d'individus par zone, la chaleur latente et sensible dégagée par personne, le gain de chaleur engendré par les équipements ménagers.

Tableau II
Comparaison générale des caractéristiques des deux logiciels [10]

	DOE-2	BLAST
Intégration des systèmes Intégration des charges/système/centrale	Oui	Oui
Tranche horaire L'utilisateur définit la durée (le pas) de l'étape de l'interaction entre la zone et l'environnement Durée variable de l'interaction entre la zone, la masse de l'air et le système CVCA.	Non	Non
L'entrée des données L'utilisateur peut reprogrammer le code	Oui	Non
Rapport avec graphiques	Non	Non

Sans doute, la différence entre DOE-2E et BLAST réside dans le calcul de la charge de chauffage ou de refroidissement pour les zones. DOE-2E utilise les fonctions de transfert pour déterminer les résultats, alors que BLAST emploie la méthode de l'équation d'équilibre thermique pour modéliser l'échange d'énergie entre toutes les surfaces de la zone considérée. Les calculs avec la méthode des fonctions de transfert s'effectuent rapidement, mais son inconvénient est de supposer constants les paramètres de la zone dans le module charge (*load*).

Tableau III
Comparaison des caractéristiques des charges [10]

	DOE-2	BLAST
Utilisation de l'équation d'équilibre thermique Calcul simultané de l'effet du rayonnement et de la convection	Non	Oui
Transfert de chaleur par convection En relation avec la température et le flux d'air	Oui	Oui
Calcul de l'humidité Combinaison du transfert de masse et de chaleur dans bâtiment	Non	Non
Confort thermique Modèle du confort thermique basé sur l'activité de l'occupant, la température du bulbe sèche, l'humidité et le rayonnement.	Non	Oui
Caractéristiques des fenestrations Opacité des fenêtres	Oui	Non
Bibliothèques de fenêtres Plus que 200 types de fenêtres Utilisateur défini de la fenêtre utilisée	Oui	Oui
Considération de la lumière du jour Éclairage à partir des fenêtres Effet de la lumière du jour sur la charge	Oui	Non

Le logiciel DOE-2E est considéré comme une référence dans les programmes d'analyse énergétique. Il est capable de tout modéliser, de la petite maison aux grands gratte-ciel, avec le même rendement. Sa puissance lui permet de simuler jusqu'à 128 zones thermiques [5], des centaines de surfaces, des dizaines de tableaux pour les équipements utilisés et les dispositifs de contrôle.

Le module système de DOE-2E est un sous-programme qui comporte une bibliothèque de 26 types de système mécanique, chacun d'eux étant configuré selon des présuppositions établies et des caractéristiques choisies par défaut. Ces informations se trouvent dans l'annexe 1.

Tableau IV
Comparaison des caractéristiques du système CVCA [10]

	DOE-2	BLAST
Réseau de circulation des fluides Circuit comportant l'équipement primaire et le serpentin Réseau de circulation de l'eau chaude, froide et du réfrigérant	Non	Oui
Gaine d'air Circuit des ventilateurs, des serpentins et des boîtes de mélange	Non	Non
Rayonnement thermique engendré par les hautes températures Chauffage au gaz /électrique, plinthe	Non	Oui
Rayonnement thermique engendré par les basses températures Chaleur et froid dégagés du plancher et du toit	Non	Non

Le module de la centrale est un sous-programme de DOE-2E qui modélise les performances des équipements du système primaire (les chaudières, les refroidisseurs, les tours de refroidissement, les générateurs, les pompes et les ventilateurs). Comme le sous-programme système, la charge totale et partielle de chaque équipement est modélisée selon une variété de courbes de performance.

Le module économique est un sous-programme de DOE-2E qui permet à l'utilisateur d'entrer le coût des équipements et de leur maintenance afin de faire des économies d'énergie et d'établir des statistiques sur l'investissement.

3.6 Choix du logiciel

Après cette comparaison faite au moyen des informations des tableaux II, III et IV, il est clair que les deux logiciels DOE-2E et BLAST remplissent toutes les conditions pour modéliser tous les genres de bâtiment sans trop de difficulté. En guise d'exemple, la plus grande compagnie d'énergie au Québec, Hydro Québec, utilise le logiciel DOE-2E pour l'estimation et l'analyse énergétique des bâtiments. Un nombre important de bureaux d'études et d'entreprises œuvrant dans ce domaine, ici à Montréal, utilisent DOE-2E comme outil de travail.

Et puisque le logiciel DOE-2E et son interface EE4 sont disponibles à l'École de Technologie Supérieure Montréal, Québec, Canada, il a été décidé de choisir DOE-2E et son interface EE4 pour mener la présente étude. Dans l'étude de cas entreprise au chapitre 4, EE4 est utilisé en premier lieu pour modéliser le bâtiment en question dans son ensemble. En second lieu, l'utilisation du logiciel DOE- 2E s'avère nécessaire vu la limite de EE4 d'une part, et la rapidité et la flexibilité du logiciel DOE- 2E d'autre part.

3.7 Structure générale du logiciel DOE-2E

DOE-2E comporte trois processeurs séparés qui sont :

doebdl- (building); processeur qui lit les fichiers d'entrée, vérifie la justesse de la syntaxe et de la logique et entre l'intégralité des données. Ce processeur produit un fichier de sortie en ASCII, s'il n'y a pas d'erreurs détectées, *doebdl* crée un fichier binaire qui sera utilisé comme fichier d'entrée par le processeur *doesim*.

Doesim- (simulation); le processeur principal de la simulation calculant l'énergie consommée dans un bâtiment en étude. *Doesim* est composé de quatre sous-programmes qui s'exécutent séquentiellement : CHARGE (*LOADS*), SYSTÈME (*SYSTEM*), CENTRALE (*PLANT*) et ÉCONOMIQUE (*ECON*).

DoeWTH-(weather); un processeur à part convertissant les données climatiques réelles en un fichier de format binaire qui sera utilisé par DOE-2E.

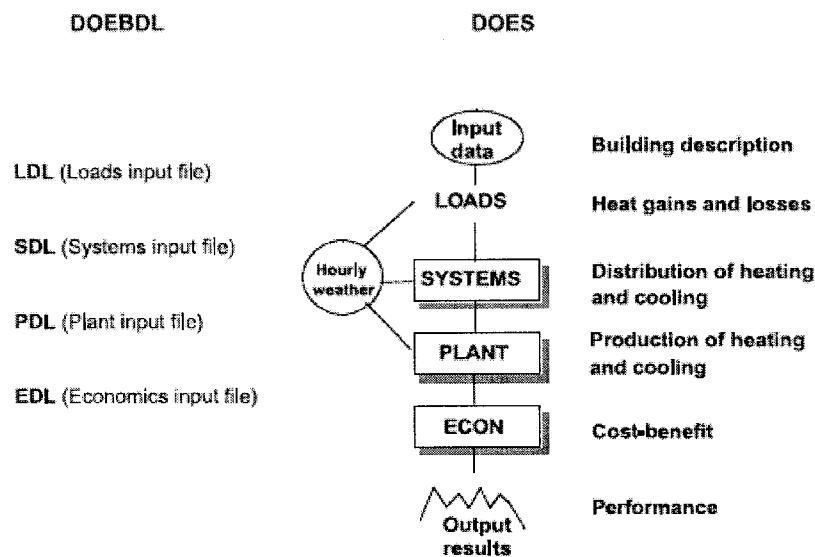


Figure 10 Diagramme de DOE-2E [10]

La structure du programme DOE-2E est illustrée par la figure 10. La partie gauche de la figure montre l'entrée des fichiers dans le *doebd*, l'autre moitié schématisé les étapes de la simulation dans *doesim*.

Pour chaque module (CHARGE, SYSTÈME, CENTRALE et ÉCONOMIQUE) nous retrouvons un module parallèle dans le processeur *doebdl*.

3.7.1 Fichier d'entrée de DOE-2E

L'interface primaire entre DOE-2E et l'utilisateur est le fichier d'entrée du bâtiment écrit dans le module Building Description Language (BDL). Dans BDL, dont le texte est anglais, les déclarations peuvent être numériques, tel que WIDTH = 35 ou WIDTH35 (le signe = est facultatif), ou alphabétiques, comme par exemple NORTH WALL = EXTERIOR WALL. Les commandes se terminent par deux points (...). Dans l'annexe 2, on retrouve des parties de programme extraites du module BDL du bâtiment étudié et les fichiers d'entrée et de sortie de DOE-2E.

3.7.2 Fichier de sortie de DOE-2E

Avant d'être affichés, les résultats sont vérifiés plus de 20 fois [5]. À la fin des simulations, DOE-2E produit 50 fichiers différents contenant les résultats en détail. Le rapport des vérifications résume les paramètres d'entrée du bâtiment, tels que le nombre de surface, le coefficient de transfert thermique des murs, des fenêtres, etc.

3.7.3 Données climatiques pour la simulation

Le logiciel DOE-2E a besoin des données climatiques de chacune des 8760 heures de l'année. Ces données sont la température du bulbe sec et humide, la vitesse du vent, le rayonnement solaire direct et diffus, l'humidité relative et absolue, la pression atmosphérique de l'endroit étudié, la direction du vent et le taux de la couverture du ciel.

Les données climatiques utilisées dans la simulation horaire du logiciel DOE-2E se présentent sous deux catégories, typiques et actuelles. Les données typiques ou l'année typique sont disponibles chez le distributeur du logiciel et dans les bureaux d'études spécialisées. Les données de l'année actuelle sont enregistrées aux centres d'archives des stations de météorologie. Les données climatiques de l'année typique sont utiles à l'évaluation globale de l'utilisation d'énergie ou à l'évaluation de l'utilisation à l'aide d'un bâtiment de référence. Mais les données de l'année actuelle doivent être utilisées pour une représentation de la consommation réelle d'énergie

Les fichiers des données climatiques pour l'année typique tentent de représenter la moyenne des conditions climatiques durant plusieurs années à l'endroit étudié. Le Laboratoire National des Énergies Renouvelables (NREL) aux États-Unis a produit un fichier, le TMY2 (Typical Meteorological Year, 2nd version), pour ce besoin particulier. Le WYEC2, (Weather Year for energy Calculation 2nd version), est un fichier créé par la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Les deux fichiers climatiques, TMY2 et WYEC2, contiennent les données du rayonnement solaire horaire pour les différentes formes de nuage

3.7.4 Précision du logiciel DOE-2E

Les utilisateurs expérimentés du logiciel DOE-2E [10] affirment que le processus de validation est atteint si la précision variée de 8% à 10% pour la consommation mensuelle d'énergie, est de 2% à 4% pour la consommation annuelle. Pour illustrer cette précision nous citons une étude faite par l'Agence Internationale d'Énergie (AIE).

Au cours d'un projet concernant l'estimation énergétique des bâtiments de l'Agence Internationale d'Énergie (AIE), au Royaume-Uni [10], une comparaison est faite entre les températures internes mesurées et enregistrées par une sonde dans une habitation et une série de températures obtenues par plusieurs logiciels de simulation énergétique. Les résultats de simulation du logiciel DOE-2E sont identiques aux mesures de la sonde (voir la figure 11).

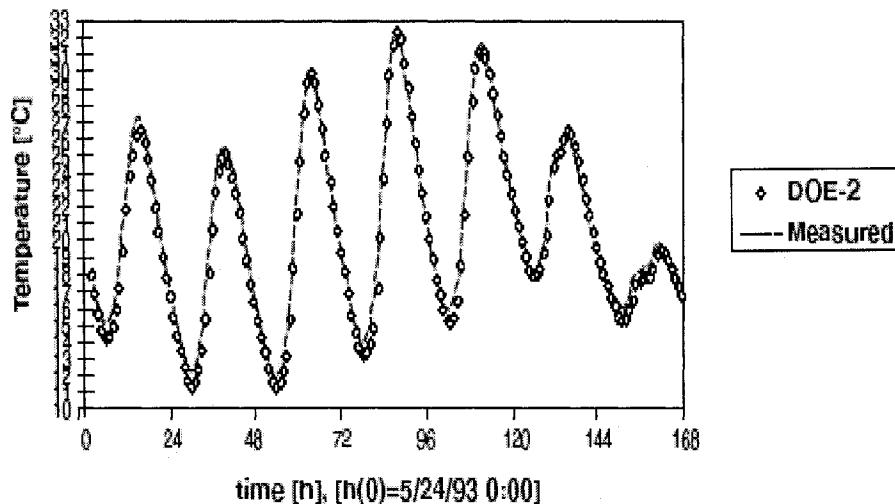


Figure 11 Résultats des tests de l'AIE

3.8 Aperçu du logiciel EE4

Le Programme d'Encouragement pour les Bâtiments Commerciaux (PEBC) compte parmi les programmes de Ressources Naturelles Canada visant à favoriser la conception et la construction de bâtiments à haut rendement énergétique. Le PEBC donne son appui aux propriétaires de bâtiments dont les plans suggérés devraient permettre une diminution de 25% de la consommation énergétique d'un bâtiment standard ou un

bâtiment de référence. Le bâtiment de référence est une construction conçue selon les exigences du Code Modèle National de l'Énergie pour les Bâtiments (CMNÉB).

Le logiciel EE4 de Ressources Naturelles Canada a été spécialement conçu pour servir d'outil de vérification de la conformité au CMNÉB et au PEBC. D'après les règles spécifiques du PEBC, il convient de calculer l'efficacité énergétique d'un bâtiment en ayant recours au logiciel EE4. Ce dernier permet de prévoir la consommation énergétique du bâtiment proposé et du bâtiment de référence. (Le logiciel permet également de prévoir la consommation énergétique de bâtiments qui ne sont pas conformes au CMNÉB, ou qui ne font pas appel à des calendriers et des apports de fonctionnement non standard, comme les charges en chaleur des occupants et des équipements. Ces simulations de bâtiments sont désignées comme étant non conformes.

Il y a des techniques d'économie d'énergie qui ne sont pas prises en considération au CMNÉB, elle ne sont pas modélisées actuellement par le logiciel EE4. Toutefois, ces techniques sont reconnues dans le cadre du PEBC. Ces éléments nécessitent un traitement spécial en ayant recours au logiciel DOE-2E ou à un autre logiciel. Parmi ces techniques il y a:

- le refroidissement par déshydratation et par évaporation,
- la récupération de la chaleur latente,
- l'efficacité de l'équipement en charge partielle,
- la récupération de la chaleur des refroidisseurs,
- les systèmes de chauffage de l'air et de l'eau par énergie solaire,
- les systèmes de production de l'électricité par énergies renouvelables.

Le logiciel EE4 de modélisation énergétique des bâtiments utilise une interface de type arborescente pour décrire les bâtiments, tel qu'illustré à la figure 12. Cette arborescence présente les éléments du bâtiment de manière hiérarchique à l'aide d'icônes servant à

représenter les différents éléments du bâtiment à modéliser. Aucun élément de la hiérarchie ne peut être inséré avant que ses prédecesseurs ne l'aient été. Les différents éléments de l'arborescence et leurs données d'entrée sont présentées dans ce qui suit.

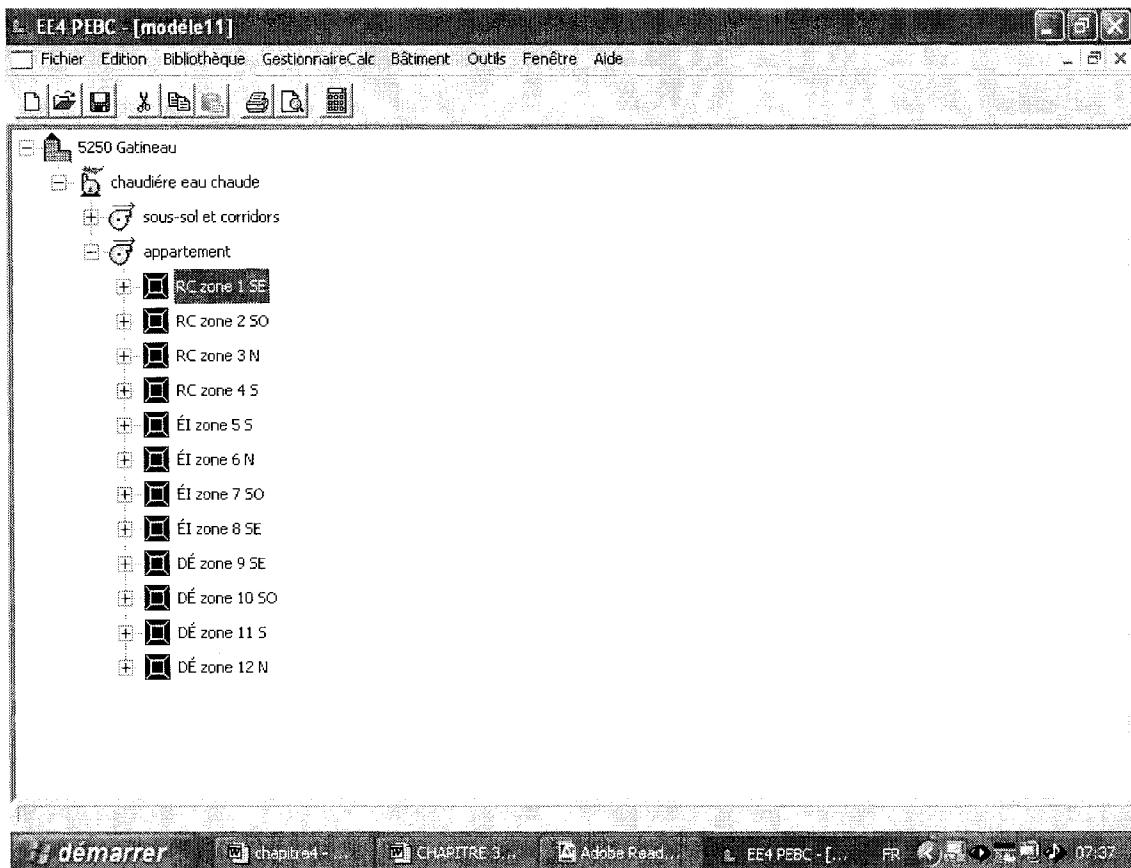


Figure 12 Arbre du bâtiment dans EE4

3.8.1 Élément Bâtiment

- Concepteur du projet et information générale,
- Emplacement du projet,
- Coût de l'énergie,

- Sélection de l'utilisation de l'espace par «Type de bâtiment» ou « Fonction de l'espace.»

3.8.2 Élément Centrale

- Description des chaudières, refroidisseurs et tours d'eau centraux,
- Paramètres centraux des pompes à chaleur sur boucle d'eau.

3.8.3 Élément Système

- Sélection de 1 des 15 systèmes CVCA disponibles,
- Paramètres du ventilateur d'alimentation, de reprise, du récupérateur de chaleur, de l'économiseur et de l'humidification,
- Paramètres du système d'air d'appoint.

3.8.4 Élément Zone

- Paramètres terminaux de chauffage. refroidissement et de ventilation,
- Définition de la source principale de chauffage,
- Paramètres généraux d'éclairage,
- Définition des différents horaires d'exploitation.

3.8.5 Élément Pièce

- Superficie du plancher. densité d'occupation et débit d'air extérieur,
- Charge des équipements,
- Charge de chauffage pour l'eau chaude sanitaire,

- Caractéristiques des ventilateurs d'extraction.

3.8.6 Composantes de l'enveloppe

- Superficie et type de construction des murs, planchers, toits et des cloisons intérieures.
- Définition des luminaires.

3.8.7 Fenêtres et portes

- Définis comme des composantes faisant partie d'un mur ou d'un toit.

3.8.8 Simulation

Une simulation peut être effectuée uniquement lorsque tous les éléments de l'arbre du bâtiment sont définis. Lorsqu'une simulation est effectuée, deux fichiers de données sont définis par EE4. Un premier fichier sert à définir le bâtiment proposé, tel que défini par l'usager, alors que le second est établit en fonction des règles du PEBC et du CMNÉB afin de servir de référence. Chacun des fichiers de données est analysé par le logiciel de simulation de bâtiments DOE-2E. Les résultats de ces deux simulations de DOE-2E sont retransmis à EE4 pour analyse et présentation.

CHAPITRE 4

ÉTUDE DE CAS

Ce chapitre est consacré à l'utilisation du logiciel EE4 simulant la consommation d'énergie d'un bâtiment d'habitation existant, situé au 5250 avenue Gatineau, Montréal, Québec, Canada. L'un des principaux objectifs de ce mémoire est la validation du modèle du bâtiment en question. Après validation du modèle, une étude des paramètres sensibles suivra. Une évaluation des mesures d'économie d'énergie fera l'objet de la conclusion de cette étude.

4.1 Sélection du bâtiment

Le logiciel EE4 s'applique à presque tous les nouveaux bâtiments commerciaux, à résidences multiples, institutionnels et aux petites entreprises. Voici l'énumération des types de bâtiment qui sont exclus [11] :

- les immeubles résidentiels présentant une superficie de moins de 600 m² et 3 étages ou moins,
- les bâtiments agricoles,
- les bâtiments de l'industrie lourde.

4.2 Description du bâtiment

5250 Gatineau est un immeuble à logement familial, situé dans le quartier Côte-des-Neiges à Montréal. La construction et l'acquisition du bâtiment datent de 1976. Il se compose de 6 étages et d'un sous-sol pour le stationnement (figure 13). L'immeuble

compte 81 logements dont 63 logements avec une seule chambre à coucher et 18 avec deux chambres à coucher, il est habité par 97 personnes, son taux d'occupation se situe à 72.14%. La superficie totale de la bâtie est de 6998 m². L'énergie utilisée pour le chauffage de l'immeuble et le chauffage de l'eau de service est le gaz naturel.



Figure 13 L'immeuble 5250 Gatineau

4.2.1 Niveau sous-sol

Le sous-sol du bâtiment (figure 14) est aménagé en grande partie pour le stationnement de voitures (27 places), il comprend aussi les salles de machines, la chaufferie, la

générateur d'électricité, l'ascenseur, la cage d'escalier, une salle de décharge et un bureau pour le concierge. La superficie du garage est de 836 m².

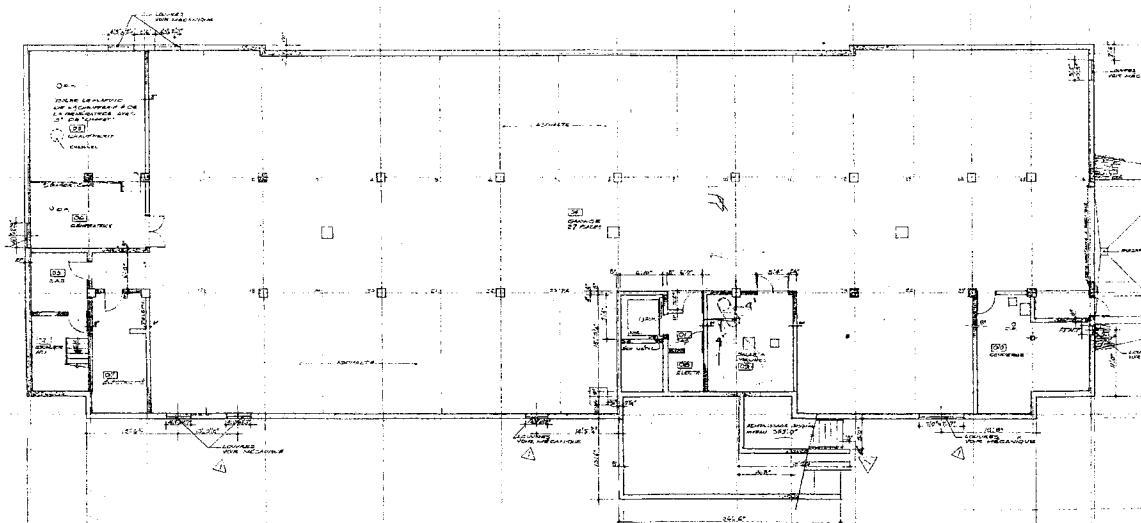


Figure 14 Plan architectural du sous-sol (voir aussi Annexe 3)

4.2.2 Les étages 1 à 6

Le rez-de-chaussée compte 8 appartements avec une chambre à coucher et 3 appartements avec deux chambres à coucher, une salle communautaire, L'entrée principale, le corridor, l'ascenseur et les cages d'escaliers (figure 15). Les étages deux à six sont construits de manière identique, chacun d'eux renfermant 11 appartements avec une chambre à coucher et 3 appartements avec deux chambres à coucher. Tous les appartements sont munis de balcons (figure 16).

4.3 Élaboration du fichier bâtiment dans EE4

Avant de commencer la modélisation, il est recommandé de mettre au courant le responsable de cette tâche de tous les détails du bâtiment en question. Pour cette raison, une visite est faite au 5250 rue Gatineau, on inspecte le sous-sol, le rez-de-chaussée, les appartements types, la toiture, la salle des machines de chaufferie. Cette visite du site est bénéfique car elle permet de compléter les informations et de mieux comprendre les plans architecturaux de l'immeuble. Les plans schématisent le sous-sol ainsi que les étages, le système mécanique et ses auxiliaires, le détail de la construction des murs, toit, plafonds et planchers.

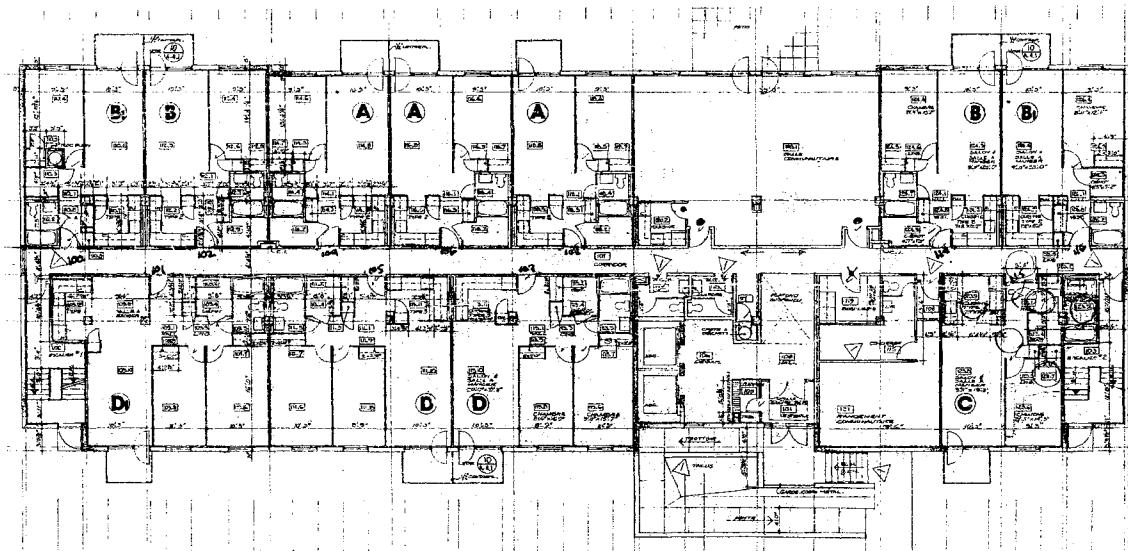


Figure 15 Plan architectural du rez-de-chaussée (voir aussi Annexe 3)

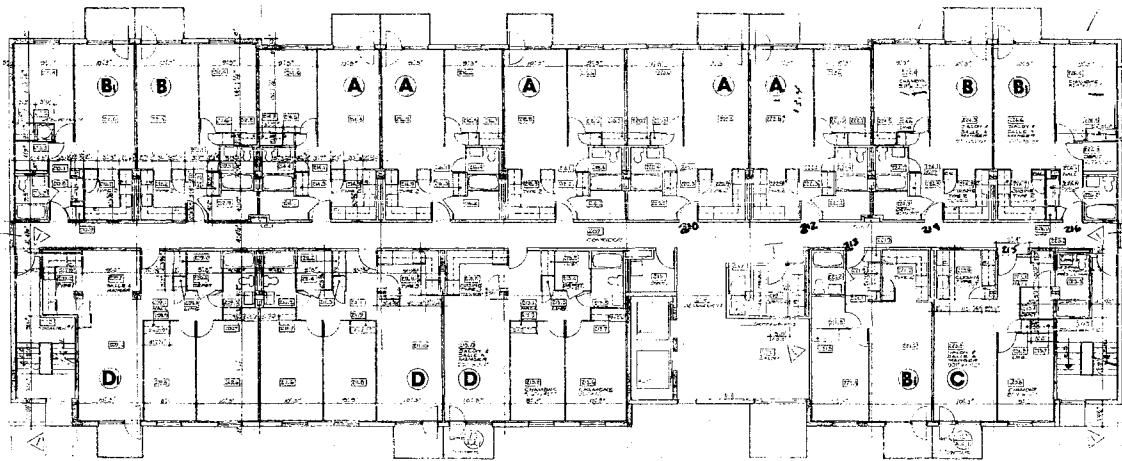


Figure 16 Plan architectural des étages 2 à 6 (voir aussi Annexe 3)

D'autres renseignements ont été collectés, comme les factures de gaz et d'électricité des dix dernières années. Toutes les informations de cet immeuble sont obtenues auprès de l'Office Municipal d'Habitation de Montréal. Après avoir acquis ces données pertinentes, le modèle du bâtiment peut être défini.

4.3.1 Information générale sur le bâtiment

Au moment d'amorcer un nouveau modèle dans le programme EE4, la captation relative au bâtiment est la première à apparaître (figure 17). Il est possible d'entrer les données portant sur le bâtiment et le projet.

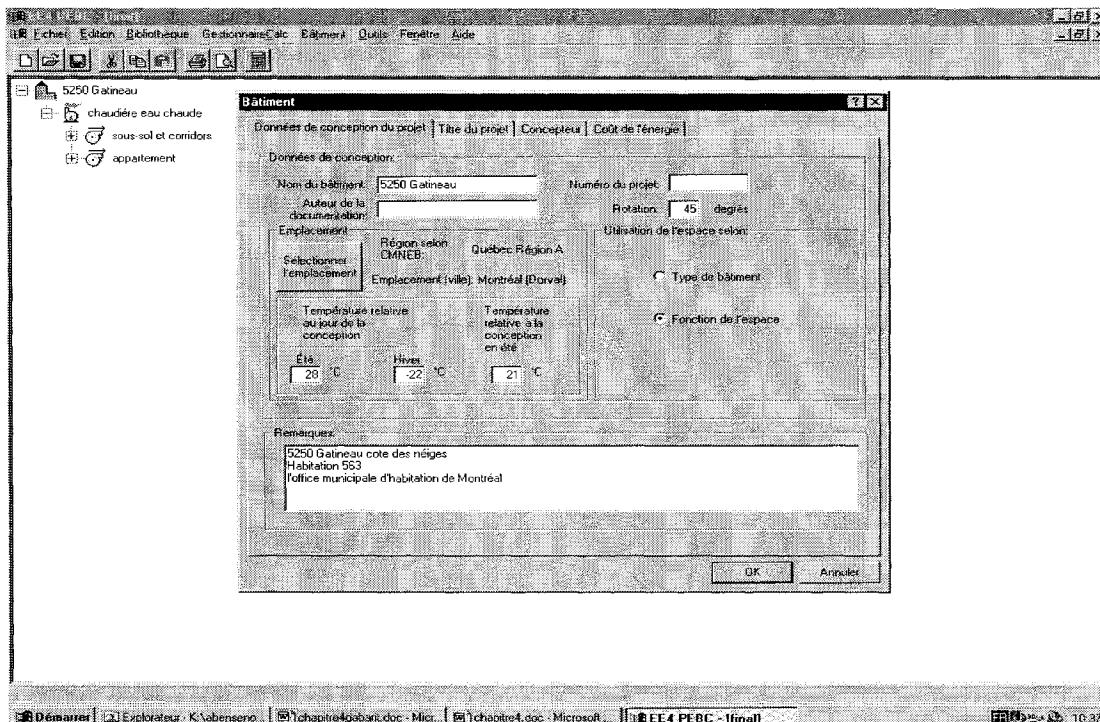


Figure 17 Captation des données sur le bâtiment

4.3.1.1 Rotation

Cette entrée donne l'orientation réelle de la construction. Rappelons que dans la ville de Montréal, le nord conventionnel diffère du nord géographique de 45° dans le sens horaire. De ce fait, 45° est pris comme orientation de l'immeuble en étude.

4.3.1.2 Fonction de l'espace

La modélisation des bâtiments à l'aide de la formule de la fonction des espaces permet de définir pour chaque zone l'éclairage, les équipements, le débit d'air de ventilation, le débit des douches et les horaires de fonctionnement. La formule de la fonction des

espaces permet de préciser les diverses caractéristiques de fonctionnement de chacun de ces espaces. Avec la formule du type de bâtiment, un seul ensemble de paramètres de fonctionnement est défini pour l'ensemble des zones. La formule de la fonction des espaces est recommandable dans la majorité des cas en raison de la souplesse de sa description des diverses fonctions d'un bâtiment [11].

4.3.2 Définition de l'installation centrale

La boîte de dialogue *centrale* capte et définit les caractéristiques relatives à la chaudière, au chauffe-eau de service, au refroidisseur, à la thermopompe et à la tour de refroidissement.

4.3.2.1 Eau chaude sanitaire

Le tabulateur d'eau chaude sanitaire est l'endroit où l'installation centrale est nommée et où les caractéristiques du chauffe-eau de service sont définies (figure 18). Les données nous apprennent que le chauffe-eau est alimenté au gaz naturel, que le volume du réservoir d'eau est de 1500 litres et que la puissance de chauffage est de 96 kW. L'efficacité, quant à elle, est chiffrée à 75% [12].

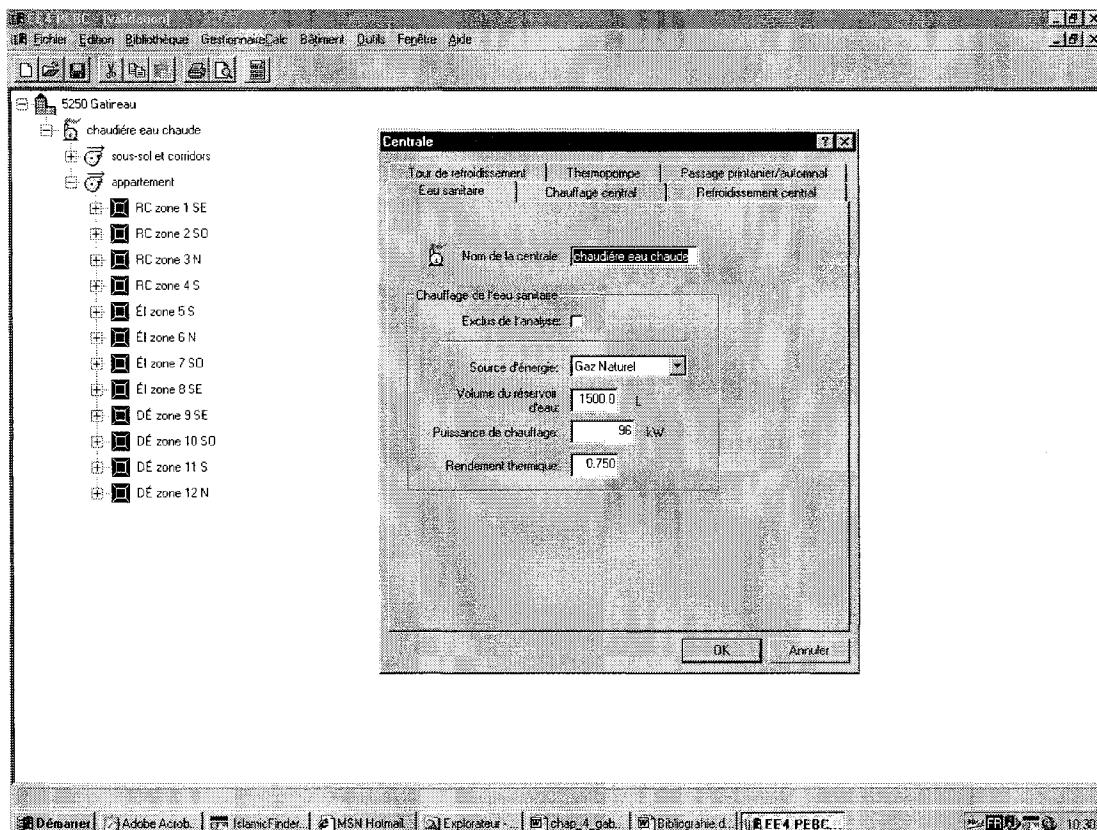


Figure 18 Données concernant l'eau chaude sanitaire

4.3.2.2 Chauffage central

C'est une chaudière au gaz naturel de 534 kW qui répond aux besoins en chauffage du bâtiment. La bibliothèque du logiciel donne une liste de chaudières prédéfinies. Comme aucune d'elles ne correspond à la chaudière installée dans le bâtiment sis au 5250 Gatineau, il faut en définir une nouvelle. Le type de combustible sélectionné est le gaz naturel, la capacité de sortie atteint 449 kW et le rendement thermique est de 75% [12].

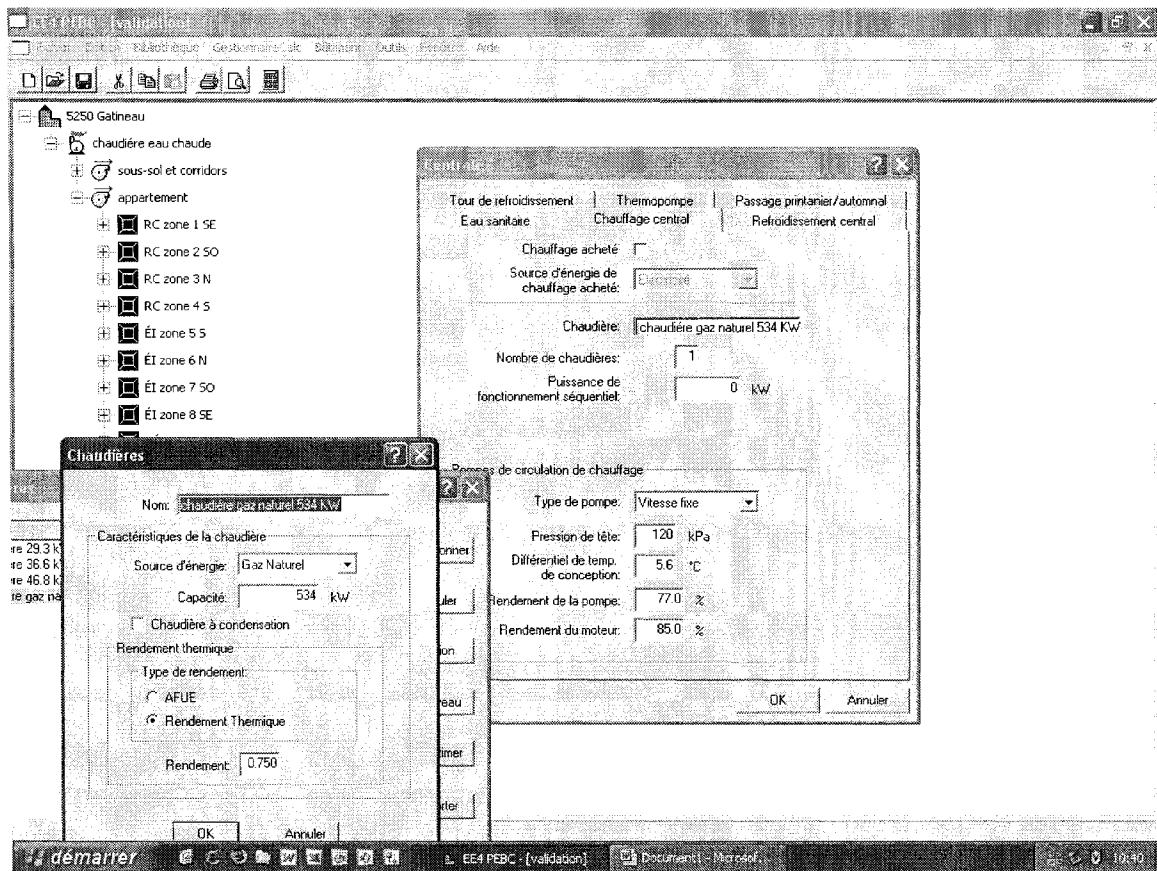


Figure 19 Données du le chauffage central

Selon les spécifications techniques (plaque signalétique), les pompes de circulation d'eau chaude produisent une pression manométrique de 120 kPa. L'efficacité de la pompe s'établit à 77%, tandis que l'efficacité du moteur est de 85% (figure 19).

4.3.2.3 Refroidissement central

Dans cet immeuble, le système mécanique ne dispose ni de centrale de refroidissement ni de tour de refroidissement.

4.3.3 Définition des systèmes

La bibliothèque du logiciel traitant le système CVCA contient une douzaine de systèmes prédéfinis. On sélectionne un système semblable au système installé, puis on entre les paramètres propres du système réel.

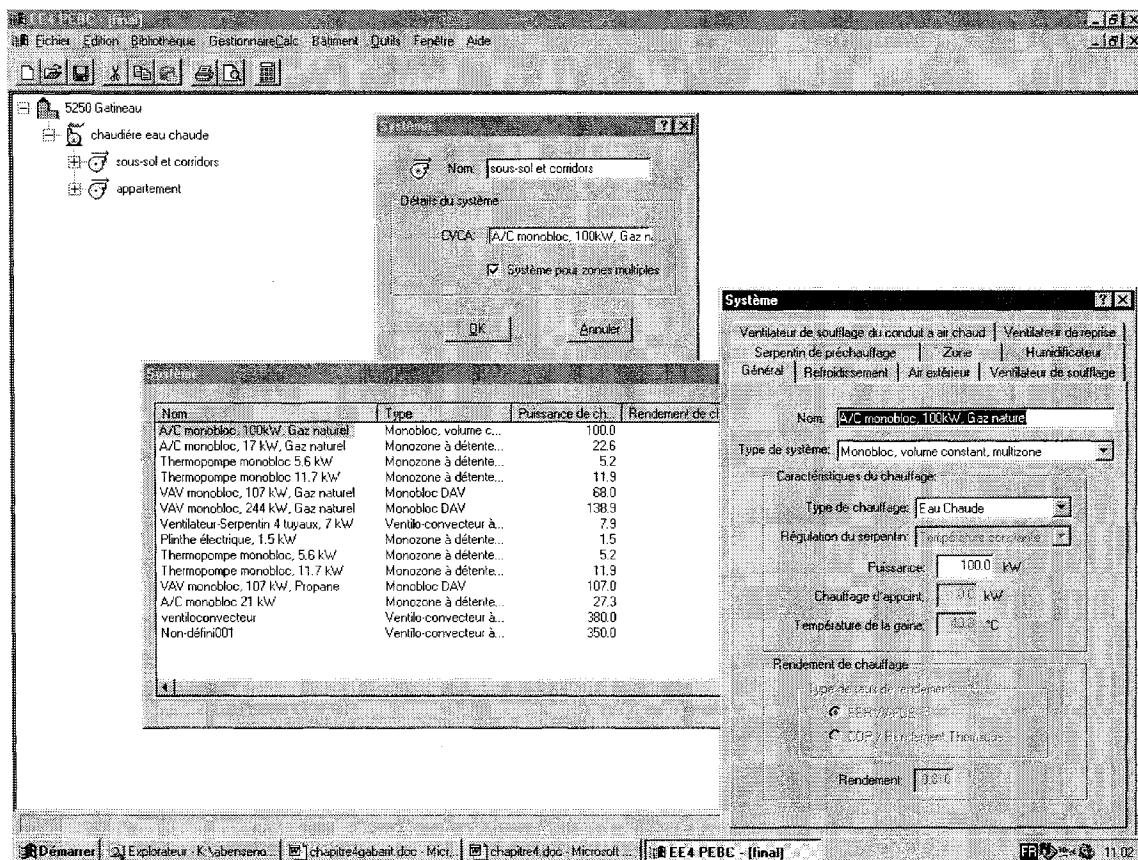


Figure 20 Captation des spécifications de système

4.3.3.1 Système monobloc et multizone pour le sous-sol

Au sous-sol et dans les corridors, un système multizone à volume constant assure le chauffage.

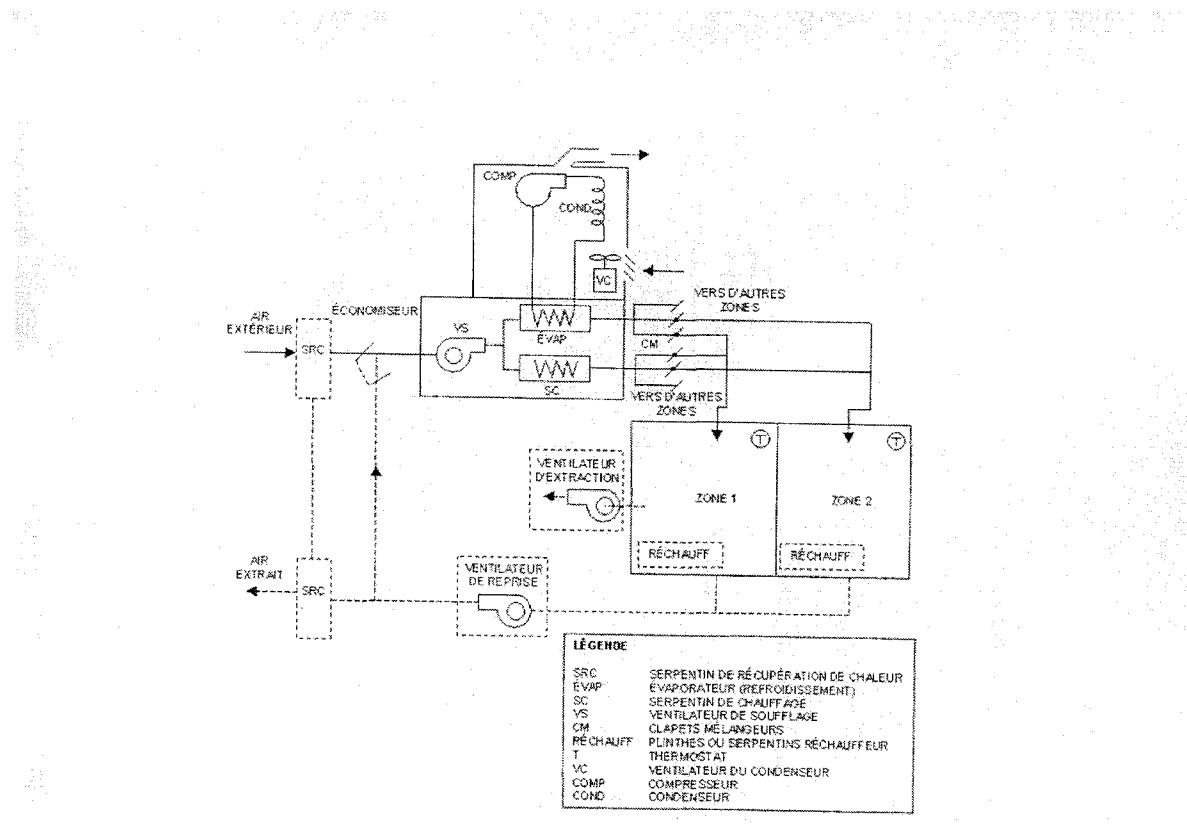


Figure 21 Schéma du système monobloc multizone

Les unités de traitement d'air fournissent un débit d'air à la température de soufflage souhaitée. Les températures des zones sont maintenues en mélangeant l'air chaud et l'air froid dans des proportions adéquates, selon les charges relatives à chaque zone. Les deux courants d'air sont mélangés au moyen de clapets à l'unité de traitement d'air, maintenant ainsi la température d'air souhaitée à la sortie de l'unité. Pour maintenir

constante la température dans chaque zone, il est possible de réchauffer l'air à l'aide d'un système de chauffage indépendant (plinthes) (figure 21). La capacité totale du serpentin chaud s'élève à 100 kW, la température de la gaine est de 12.8°C.

4.3.3.2 Air extérieur

Le tabulateur relatif à l'air extérieur permet de répertorier les économiseurs ou les ventilateurs récupérateurs de chaleur. Dans notre cas, aucun économiseur n'a été installé. Le système reçoit donc 100% d'air frais.

4.3.3.3 Ventilateur d'alimentation

Pour indiquer la puissance électrique du ventilateur, on peut recourir à deux éléments, soit la pression statique et l'efficacité ou « puissance.»

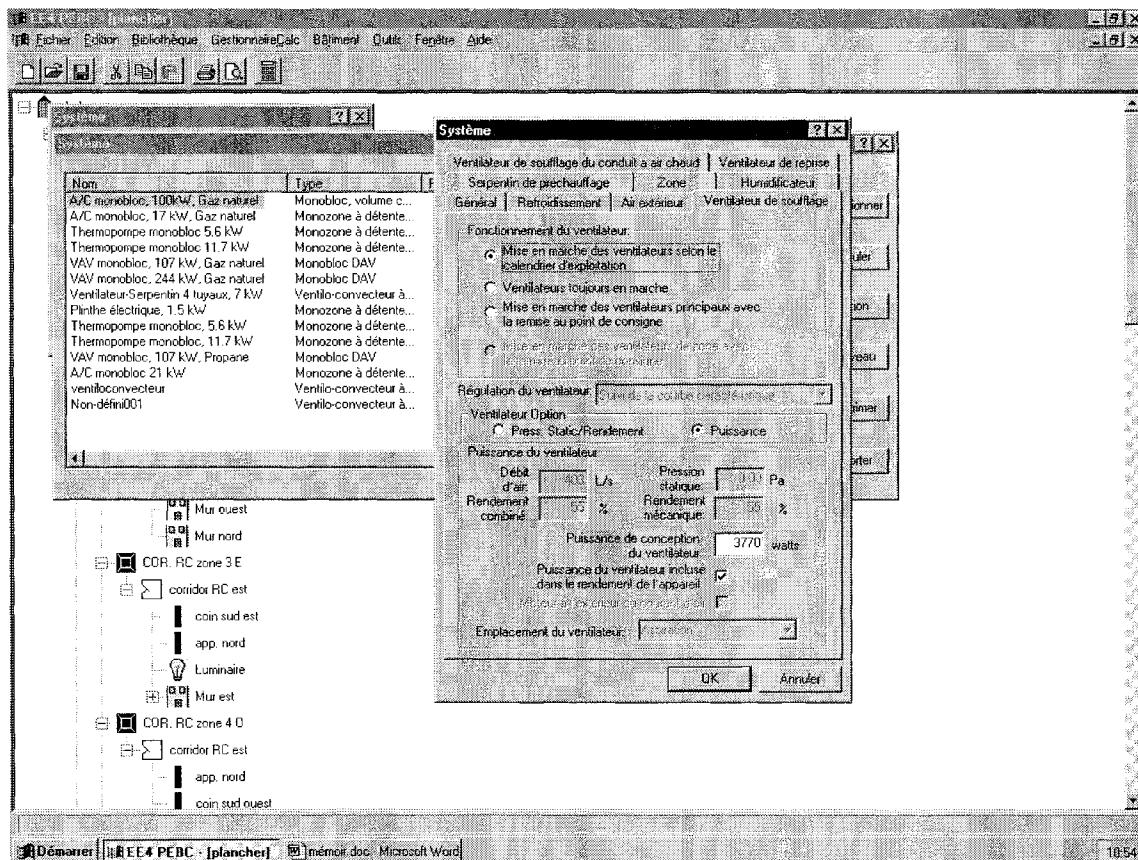


Figure 22 Captation de spécifications de ventilateur de soufflage

La puissance du ventilateur est indiquée dans la plaque signalétique. Par la suite, elle est sélectionnée en tant que type de cotation du ventilateur et la valeur 3770 W est entrée (figure 22).

4.3.3.4 Système ventilo-convector à deux tuyaux pour les appartements

Le système ventilo-convector à deux tuyaux est choisi comme système de chauffage pour l'ensemble des appartements car il est similaire au système de chauffage installé en ce qui a trait aux caractéristiques mécaniques.

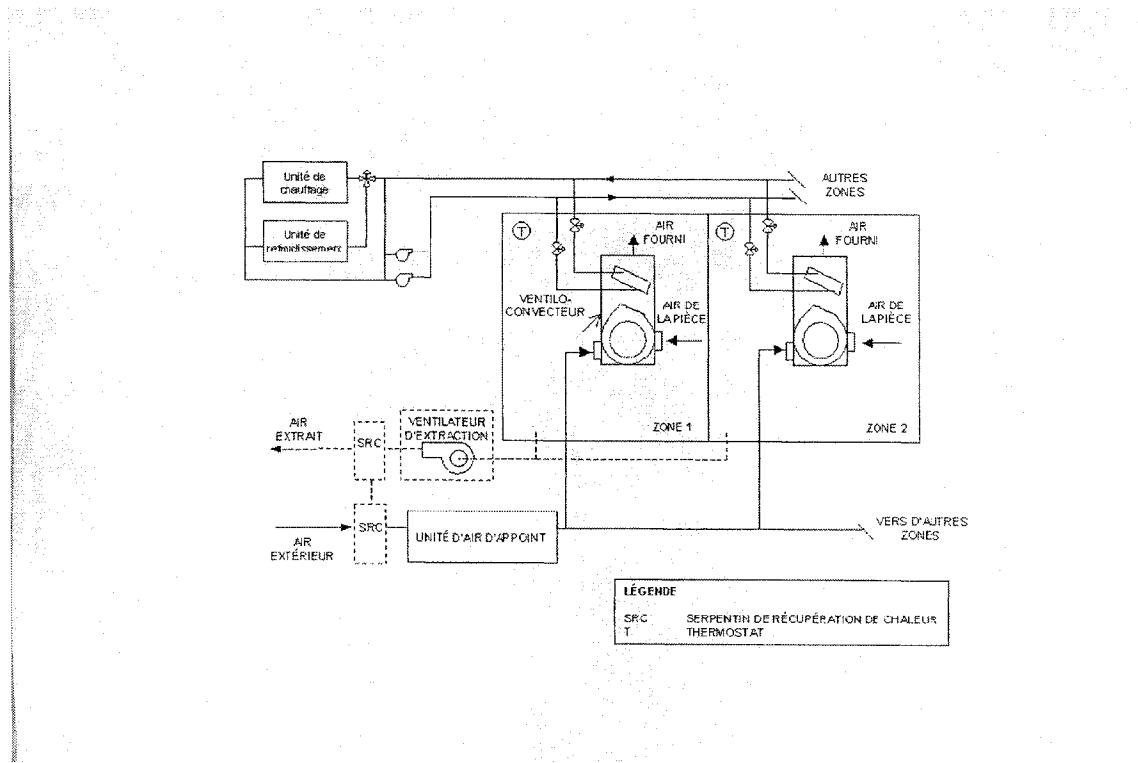


Figure 23 Système ventilo-convecteur à deux tuyaux

Toutes les zones desservies par le système doivent fonctionner dans le même mode de chauffage en tout temps. Le ventilo-convecteur (figure 23) fournit un volume d'air constant aux zones. Le chauffage est assuré par la circulation d'eau chaude dans le serpentin. La température de l'air soufflé est contrôlée par la régulation du débit d'écoulement d'eau dans le serpentin. Le ventilo-convecteur est alimenté par de l'air extérieur tempéré au moyen d'une unité centrale d'air d'appoint. Les entrées de la bibliothèque des systèmes sont réservées à la définition d'un système d'air d'appoint, alors que les caractéristiques techniques du système ventilo-convecteur sont définies dans le volet élément de « zone/Mécanique ». Les puissances de chauffage des unités ventilo-convecteurs n'incluent pas les effets de la puissance du ventilateur.

Les capacités totales s'établissent à 389 kW, utilisés pour hausser la température jusqu'à 43.3C° (coefficient de performance de 0.75).

4.3.4 Zonage

Le but essentiel de toute étude énergétique par simulation est de réduire la complexité du bâtiment tout en maintenant le niveau de précision demandé. L'une des étapes cruciales dans l'élaboration du modèle de bâtiment est le zonage. Une fois les zones définies, il est important de savoir que le modèle utilise l'équilibre thermique, il considère la température de façon homogène pour chaque zone [12]. Cependant tout mur, plancher, toit ou charge interne définie pour une zone entre en échange d'énergie avec la masse d'air de celle-ci. Les critères qui suivent sont utilisés pour délimiter les zones suivant le « Code Modèle National de l'Énergie dans le Bâtiment » (CMNÉB) [11] :

- fonctionnements et fonctions semblables,
- alimentation provenant du même système de CVCA, même thermostat,
- même profil de charge de chauffage et de climatisation.

4.3.4.1 Critère 1 : Vocation (fonctions) et fonctionnements semblables

La première étape dans l'établissement des zones d'un bâtiment consiste à diviser celui-ci en secteurs ayant la même fonction, cette division s'effectue par type de bâtiment (tableau V) ou par fonction des espaces (tableau VI). Par exemple, les appartements sont séparés du garage, les locaux techniques sont séparés des corridors, ainsi de suite.

Tableau V
Types de bâtiments; valeurs par défaut [11]

Type de bâtiment	Densité d'occupation (m ² /pers.)	Demande d'énergie aux prises de courant (W/m ²)	Chauffage de l'eau sanitaire (W/pers.)	Apport minimal d'air ext. (L/s/m ²)	Calendrier d'exploitation (Table 3.2.2C)	Densité de puissance d'éclairage (W/m ²)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Bureau	25	7,5	90	0,40	A	18
Restaurant	10	1,0	115	1,25	B	15
Magasin de détail	30	2,5	40	1,00	C	30
Mail/esplanade/atrium	30	2,5	40	1,00	C	16
École	8	5,0	60	1,00	D	19
Entreprise de services	30	2,5	80	1,00	C	22
Entrepôt	1500	1,0	300	0,25	E	6
Hotel/Motel	25	2,5	500	0,60	F	15
Unité d'habitations	60	5,0	500	0,30	G	9

Tableau VI
Fonction de l'espace; valeurs par défaut [11]

Fonction de l'espace	Densité d'occupation (m ² /pers.)	Demande d'énergie aux prises de courant (W/m ²)	Chauffage de l'eau sanitaire (W/pers.)	Apport minimal d'air ext. (L/s/m ²)	Calendrier d'exploitation (Table 3.2.2C)	Densité de puissance d'éclairage (W/m ²)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Aires de service et aires communes						
Locaux techniques	200	1,0	0	0,25	*	7,5
Corridors	100	0,0	0	0,25	*	8,6
Salles de toilette et salles de bain	30	0,0	0	1,00	*	8,7
Escaliers	100	0,0	0	0,25	*	6,5
Escalier de secours	500	0,0	0	0,25	*	4,3
Aérogares et gares d'autobus et de trains						
Consigne	20	2,5	65	0,50	H	10,8
Hall/entrée princ.	20	0,0	65	0,50	H	9,7
Comptoir des billets	10	2,5	65	1,00	H	26,9
Salle d'attente et salon	10	0,0	65	1,00	H	12,9
Service d'incendie/police						
Garage autopompe	25	2,5	325	0,40	H	8,6
Cellules de détention	25	2,5	325	0,40	H	8,6
Musée/Galerie						
Salle d'exposition générale	5	2,5	60	1,50	C	20,4
Inspection/restauration	20	5,0	50	0,50	A	45,0
Entreposage (œuvres d'art) - inactif	1000	0,0	60	0,25	E	6,5
Entreposage (œuvres d'art) - actif	100	1,0	60	0,25	E	7,5
Buanderie						
Lavage	20	20,0	60	0,60	C	9,7
Repassage et Triage	20	20,0	60	0,50	C	14,0

L'étape suivante consiste à examiner la vocation (fonction) de chacune de ces zones. Ces parties du bâtiment, dont les heures de fonctionnement diffèrent, devraient être divisées en plusieurs zones. Par exemple, certaines parties de l'immeuble comme les appartements peuvent fonctionner pendant des heures régulières, alors que d'autres sont utilisés à d'autres périodes.

4.3.4.2 Critère 2 : Mêmes système de CVCA et thermostat

À la deuxième étape de la définition des zones nous divisons le bâtiment en secteurs alimentés par le même système CVCA et le même thermostat. Ce dernier dispositif permet de contrôler la quantité de chauffage attribuée à une pièce ou à un groupe de pièces. En général, le concepteur des éléments mécaniques sélectionne une disposition pour le système CVCA et des emplacements pour le ou les thermostats, empêchant ainsi de trop grandes variations dans les températures du bâtiment, de cette façon, les pièces alimentées par le même système CVCA et le même thermostat peuvent être traitées comme une seule zone.

4.3.4.3 Critère 3 : Même profil de charge de chauffage et de climatisation

À la troisième étape nous divisons le bâtiment en zones qui présentent le même profil de chauffage et de climatisation. L'application de ce critère signifie que les appartements orientés dans des directions différentes doivent être modélisées en tant que zones séparées. La superficie intérieure est modélisée indépendamment du périmètre.

Par exemple, les appartements faisant face au nord auront des profils substantiellement différents des appartements faisant face au sud. Ces deux groupes d'appartements doivent être modélisés en tant que zones séparées.

Il est difficile de préciser où intervient cette transition. La ligne de séparation entre le périmètre et les secteurs intérieurs devrait être établie en considérant les choses suivantes :

- la position des murs à pleine hauteur qui séparent les secteurs du périmètre des secteurs intérieurs,
- les systèmes séparés de CVCA, souvent utilisés pour les secteurs du périmètre et les secteurs intérieurs,
- trois à six mètres à partir des murs extérieurs.

4.3.4.4 Regroupement des zones semblables

L’application des trois paramètres énumérés peut résulter en un grand nombre de zones et l’entrée des données du modèle prend alors du temps. On peut alors avoir recours aux règles qui suivent pour regrouper les zones semblables.

Les pièces semblables munies de thermostats individuels. Il est possible de les regrouper pourvu qu’elles soient munies de charges de chauffage et de climatisation semblables.

Même superficie à différents étages. Dans le cas d’un immeuble à plusieurs étages d’appartements, le même aménagement se répète à chaque étage. Il faut modéliser le sous-sol (figure 24), l’étage du rez-de-chaussée (figure 25) et le dernier étage (figure 26) séparément en raison des transferts thermiques additionnels qui se produisent par le toit et le plancher. Les superficies semblables à chaque étage peuvent être regroupées pour former une seule zone (figure 27). Dans le cas étudié (figure 28), on regroupe les étages intermédiaires du deuxième au cinquième et les zones périphériques et internes.

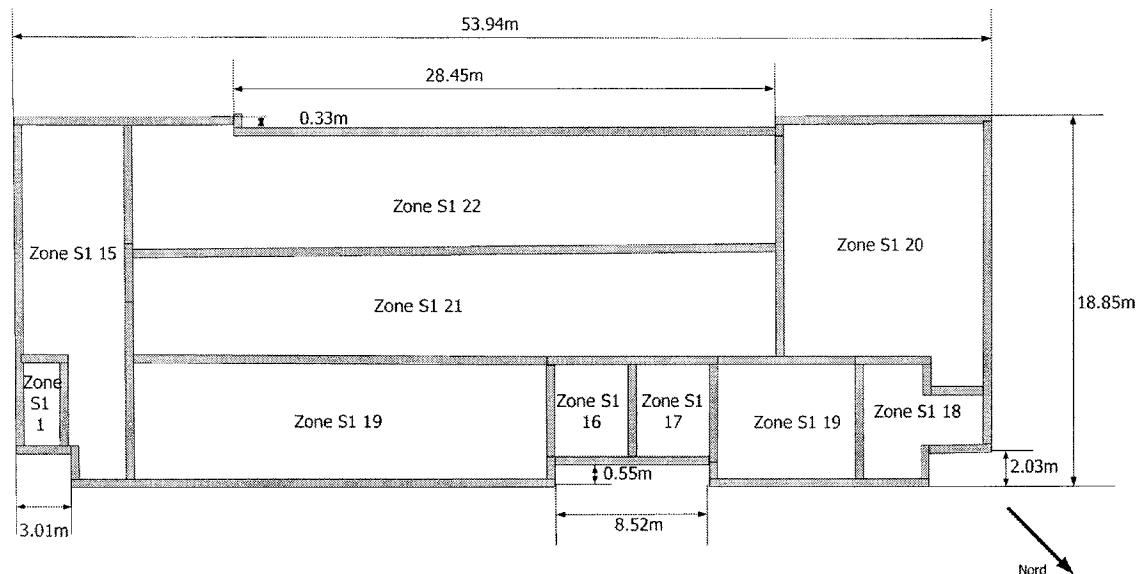


Figure 24 Subdivision en zone du sous-sol

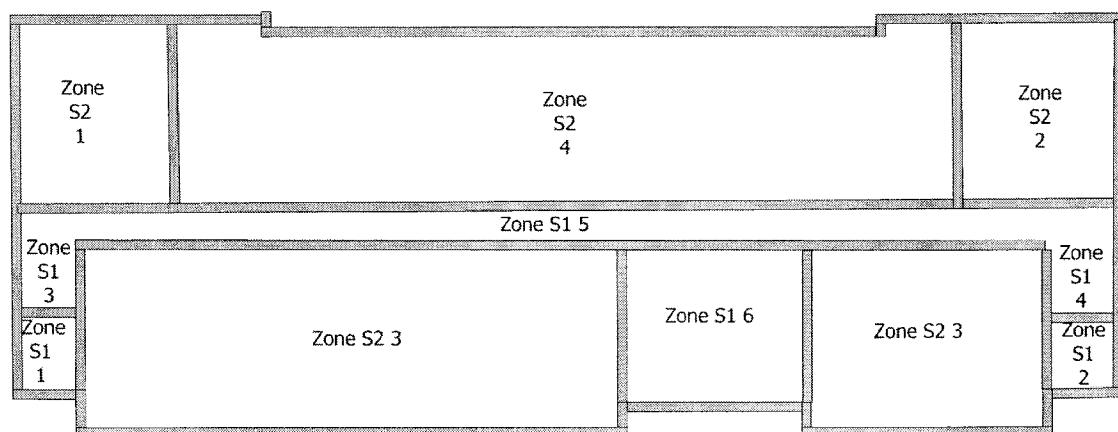


Figure 25 Subdivision en zones du rez-de-chaussée

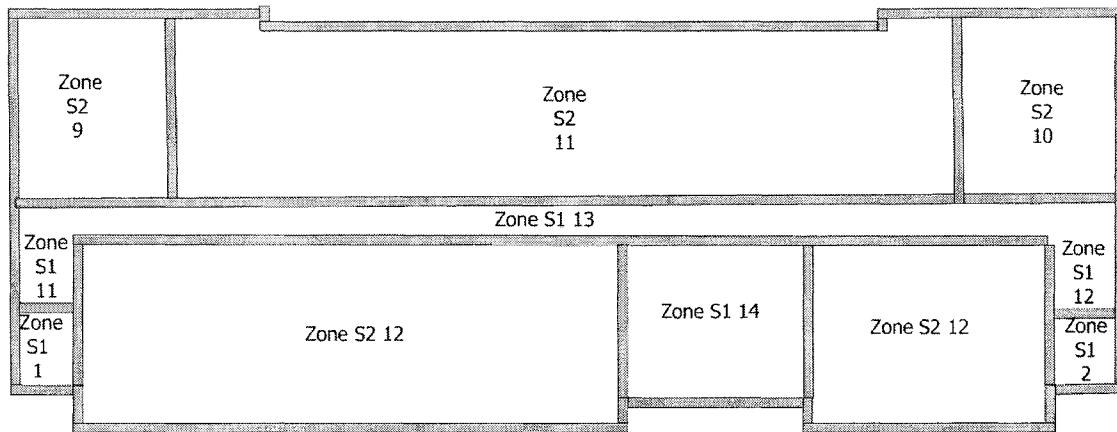


Figure 26 Subdivision en zones du dernier étage

Le zonage adéquat de l'immeuble 5250 Gatineau, qui tient compte des trois paramètres mentionnés, est illustré par les figures 24, 25, 26 et 27, l'ensemble des zones est affiché dans les deux tableaux suivants. Le tableau VII contient les zones desservies par le système monobloc multizone (système 1 ou S1 - figures 24, 25, 26 et 27). Le tableau VIII dresse la liste les zones desservies par le système ventilo – convecteur à deux tuyaux (système 2 ou S2 - figures 25, 26 et 27). Le nombre total de zones proposées est de 34.

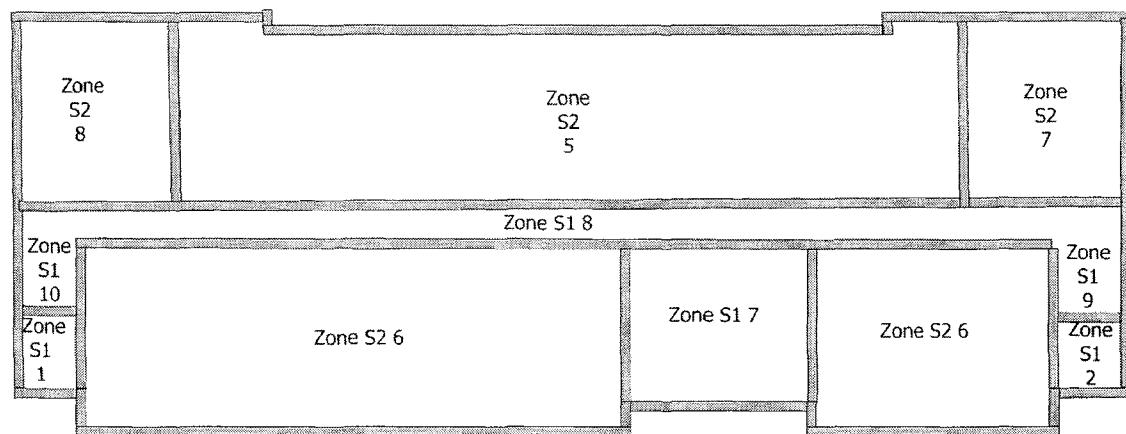


Figure 27 Subdivision en zones des étages intermédiaires (2^e au 5^e)

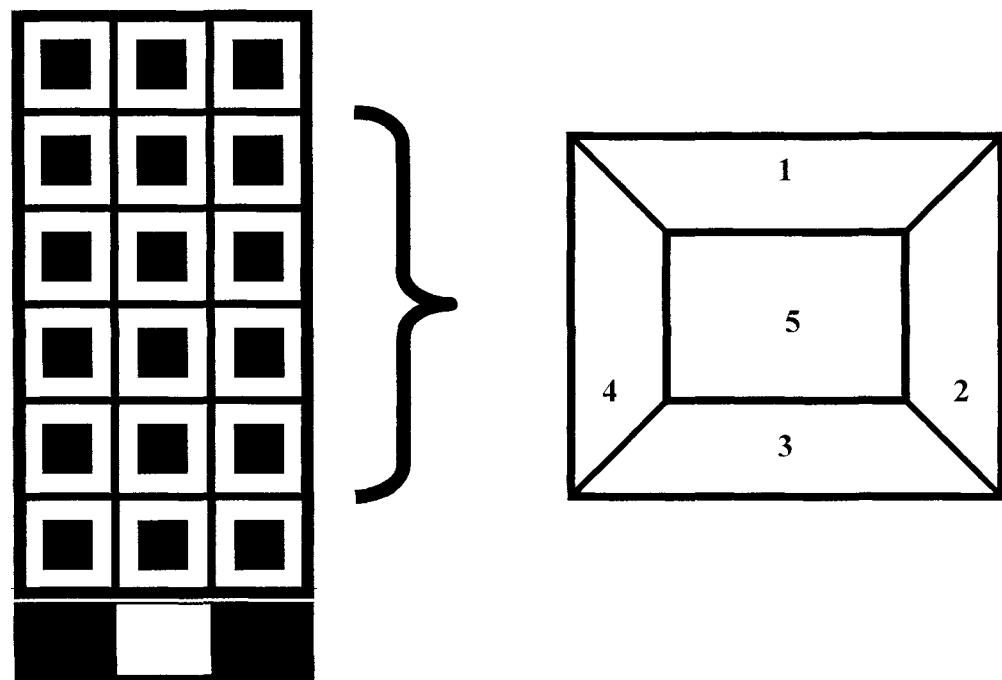


Figure 28 Regroupement des étages intermédiaires et des zones périmètres et internes

Tableau VII
Description des zones desservies par le système 1 (S1)

Zones desservies par le système 1 monobloc et multizone (S1);				
	Aire (m ²)	Désignation	Orientation	Emplacement
Zone 1	14,4	Escalier	Est	Sous-sol
Zone 2	14,4	Escalier	Ouest	Rez-de-chaussée
Zone 3	8,1	Corridor	Est	Rez-de-chaussée
Zone 4	8,1	Corridor	Ouest	Rez-de-chaussée
Zone 5	55,6	Corridor	Médium	Rez-de-chaussée
Zone 6	23,2	Entrée principale	Nord	Rez-de-chaussée
Zone 7	49	Espace commun	Nord	Intermédiaire
Zone 8	222,4	Corridor	Médium	Intermédiaire
Zone 9	32,4	Corridor	Ouest	Intermédiaire
Zone 10	32,4	Corridor	Est	Intermédiaire
Zone 11	8,1	Corridor	Est	Dernier étage
Zone 12	8,1	Corridor	Ouest	Dernier étage
Zone 13	55,6	Corridor	Médium	Dernier étage
Zone 14	23,2	Espace commun	Nord	Dernier étage
Zone 15	61	Chaufferie et génératrice	Sud/Est	Sous-sol
Zone 16	12,8	Ascenseur	Nord	Sous-sol
Zone 17	18,2	Salle des décharges	Nord	Sous-sol
Zone 18	29	Salle du concierge	Nord/Ouest	Sous-sol
Zone 19	278	Garage	Sud	Sous-sol
Zone 20	70	Garage	Sud/Ouest	Sous-sol
Zone 21	278	Garage	Médium	Sous-sol
Zone 22	205,3	Garage	Nord	Sous-sol

Tableau VIII
Description des zones desservies par le système 2 (S2)

Zones desservies par le système 2 (S1) (Ventilo-convecteur)				
	Aire (m ²)	Désignation	Orientation	Emplacement
Zone 1	52	Appartement	Sud/Est	Rez-de-chaussée
Zone 2	52	Appartement	Sud/Ouest	Rez-de-chaussée
Zone 3	335,5	Appartement	Nord	Rez-de-chaussée
Zone 4	356,6	Appartement	Sud	Rez-de-chaussée
Zone 5	1425,9	Appartement	Sud	Intermédiaire
Zone 6	1357,2	Appartement	Nord	Intermédiaire
Zone 7	208,2	Appartement	Sud/Ouest	Intermédiaire
Zone 8	208,2	Appartement	Sud/Est	Intermédiaire
Zone 9	52	Appartement	Sud/Est	Dernier étage
Zone 10	52	Appartement	Sud/Ouest	Dernier étage
Zone 11	356,4	Appartement	Sud	Dernier étage
Zone 12	339,3	Appartement	Nord	Dernier étage

4.3.5 Modélisation de l'enveloppe du bâtiment

Après la définition des limites des zones, l'étape suivante est l'entrée des données relatives à la construction de l'enveloppe dans le logiciel EE4. Il faudrait calculer la superficie des murs, du toit et des planchers en se basant sur les dimensions intérieures du bâtiment, les caractéristiques des murs, des toits et planchers, en considérant la conductivité thermique, le coefficient d'absorption solaire, les matériaux de construction, etc.

Pour plus de précision dans le calcul des déperditions à travers les murs, toits et planchers, il est important de prendre en considération les ponts thermiques constitués par les charpentes en aciers. La procédure propre au CMNÉB est codifiée à l'intérieur du logiciel EE4. Les ponts thermiques se rencontrent dans les éléments de constructions dont la conductivité thermique est très élevée, telles que les charpentes métalliques, les dalles exposées, etc.

Toutefois, l'utilisateur doit sélectionner le type de charpente, ainsi que le pourcentage de l'assemblage recouvert par la charpente elle-même. Les pourcentages relatifs à la charpente englobent l'ossature, de même que les éléments additionnels nécessaires autour des fenêtres et des portes.

4.3.5.1 Murs

Dans le logiciel EE4, il existe une bibliothèque des matériaux qui composent les murs. Il s'agit de sélectionner les matériaux de construction qui composent le mur ainsi que leur épaisseur. Le logiciel calcule directement le coefficient de transfert de chaleur U.

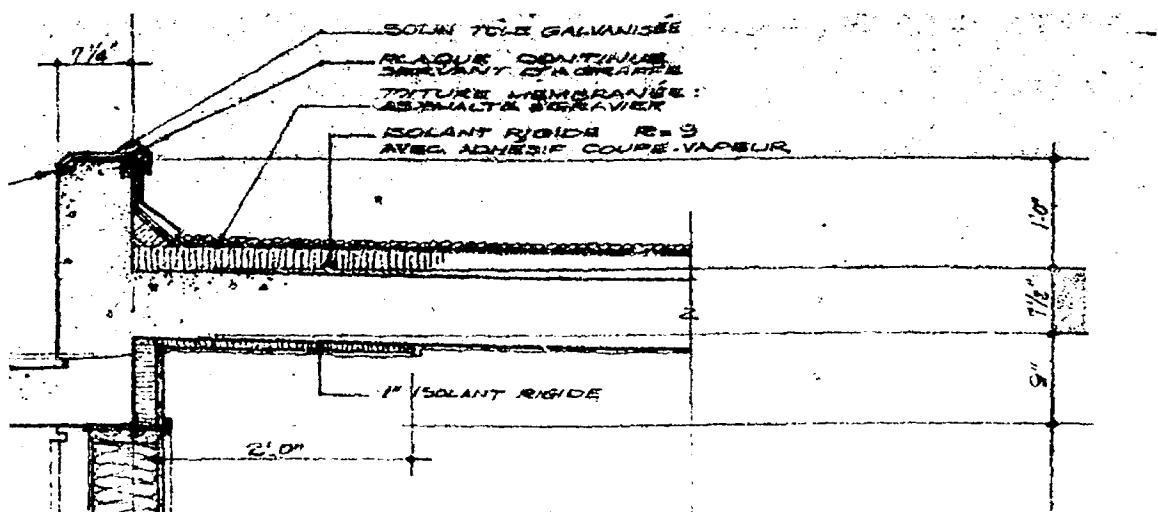


Figure 29 Section typique du toit

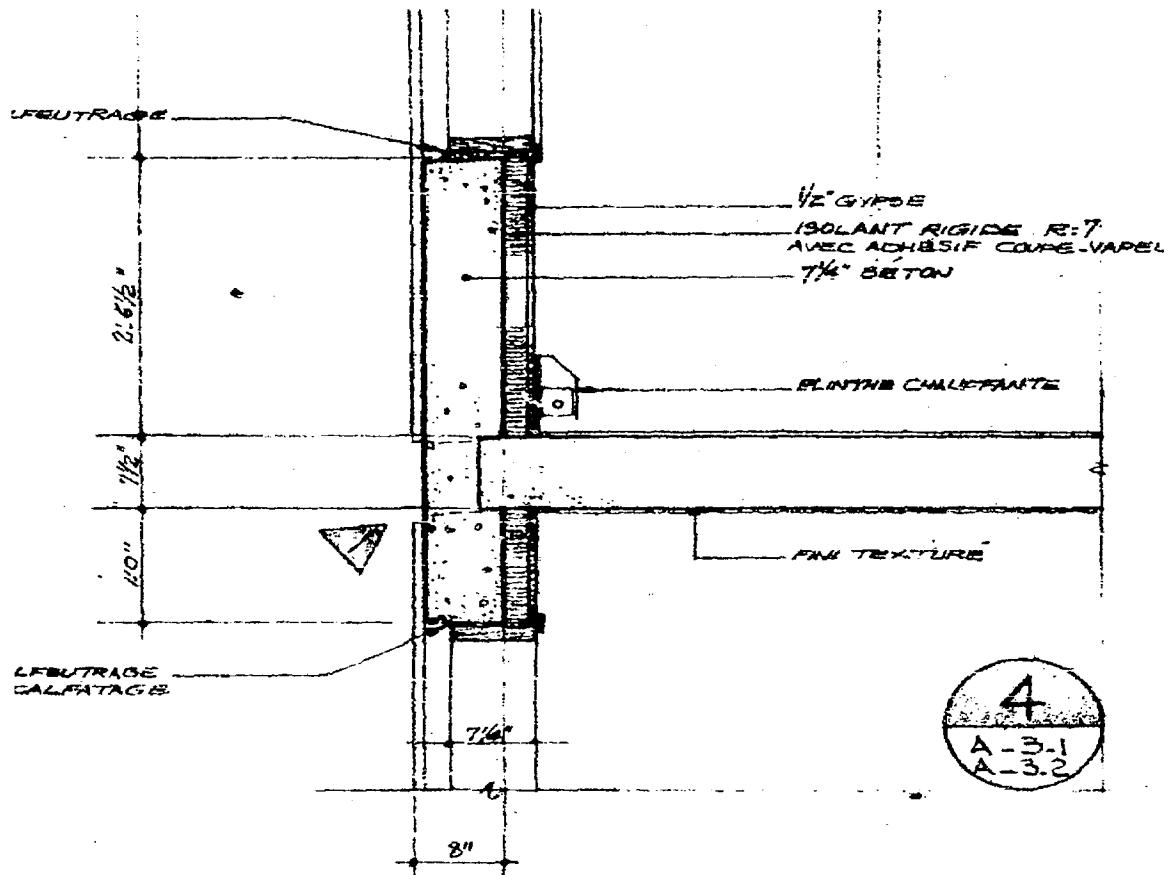


Figure 30 Section typique du mur

La figure 30, ainsi que le tableau IX, montrent la composition des murs de l'immeuble. Vu le vieillissement des plans architecturaux, la qualité des images des figures 29 et 30 n'est pas aussi bonne. Voir l'annexe 3, les schémas sont plus clairs et lisibles.

Tableau IX
Éléments de construction du mur

Élément	Épaisseur (mm)	Densité (kg/m^3)	Résistance ($^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$)
Béton	198	2240 [12]	0.11
Isolant de fibres de verre	22		0.43
Panneau de gypse	12		0.075

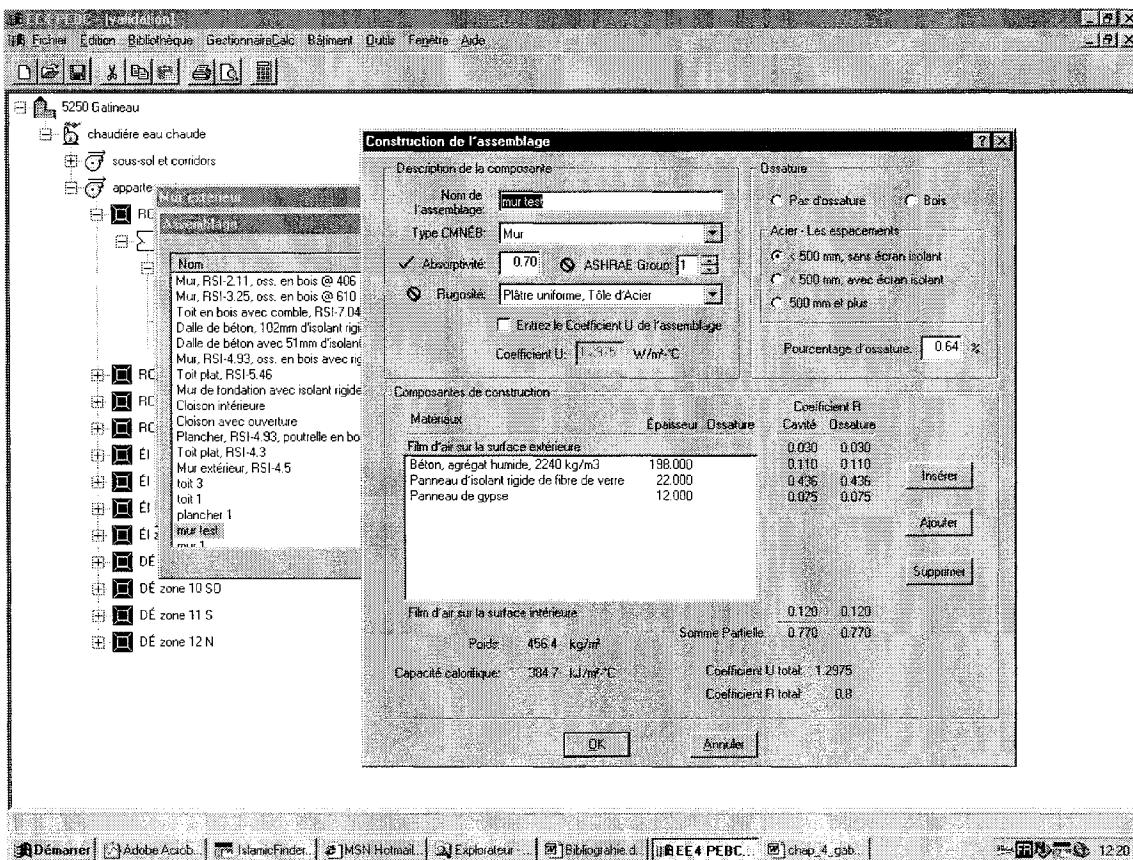


Figure 31 Captation des caractéristiques du mur

Le coefficient de transfert de chaleur calculé par le logiciel EE4 selon ces données est $U = 1.29 \text{ W/}^{\circ}\text{Cm}^2$.

4.3.5.1.1 Absorptivité

L'absorptivité est utilisée pour décrire la fraction de rayonnement absorbée par le mur. Une surface miroir qui reflète tous les rayonnements solaires incidents présenterait un coefficient d'absorptivité de 0,0. Dans le cas des surfaces non ombragées, le coefficient 0,70 (figure 31) constitue la valeur recommandée [13]. Par conséquent, cette valeur est utilisée dans les calculs.

4.3.5.1.2 Groupe ASHRAE

Le groupe ASHRAE (figure 31) servira à déterminer les coefficients de la fonction de transfert utilisée dans le calcul de la charge de refroidissement du bâtiment. Le calcul de la charge de refroidissement sert à déterminer si le bâtiment a été surdimensionné ou sous-dimensionné et à guider le dimensionnement de l'équipement mécanique. Parce qu'il n'y a pas de refroidissement, la valeur est établie au Groupe 1.

4.3.5.1.3 Rugosité

Le concept de rugosité sert à décrire la texture du mur extérieur, le logiciel EE4 y fait appel pour le calcul des dimensions du système.

4.3.5.1.4 Charpente

Il faut également préciser le type de charpente. Le bâtiment est doté de poteaux métalliques de 6 pouces, à intervalles de 16 pouces. Par conséquent, nous sélectionnons « Acier, <500 mm, sans écran isolant .» Puisque les plans ne donnent pas une idée précise du pourcentage réel de charpente, nous faisons appel au fichier d'aide du logiciel EE4 donnant le pourcentage de l'aire de l'ensemble occupé par des éléments d'ossature en bois et en tôle d'acier. Le tableau en question établit un pourcentage adéquat de 0,64% pour la charpente.

4.3.5.1.5 Murs sous le niveau du sol et murs remblayés

Dans le cas des murs remblayés, il faut traiter l'ensemble de la superficie couverte par la terre comme étant un élément du mur souterrain. La profondeur du mur calculée est celle située au-dessous du sol, plus la hauteur de la terre utilisée, tant que celle-ci s'étend sur 1.2 mètre le long de la paroi du mur en question. Pour ce qui est de la partie de terre qui s'étend sur moins de 1.2 mètre, il faut considérer la moitié de sa hauteur (figure 32). Cette hauteur servira également à calculer la superficie des murs souterrains. Il convient de diviser en deux parties les murs partiellement remblayés, soit la partie au-dessous du sol et la partie au-dessus. Les murs au-dessous du sol sont inclus dans l'élément intitulé «Murs en contact avec le sol.»

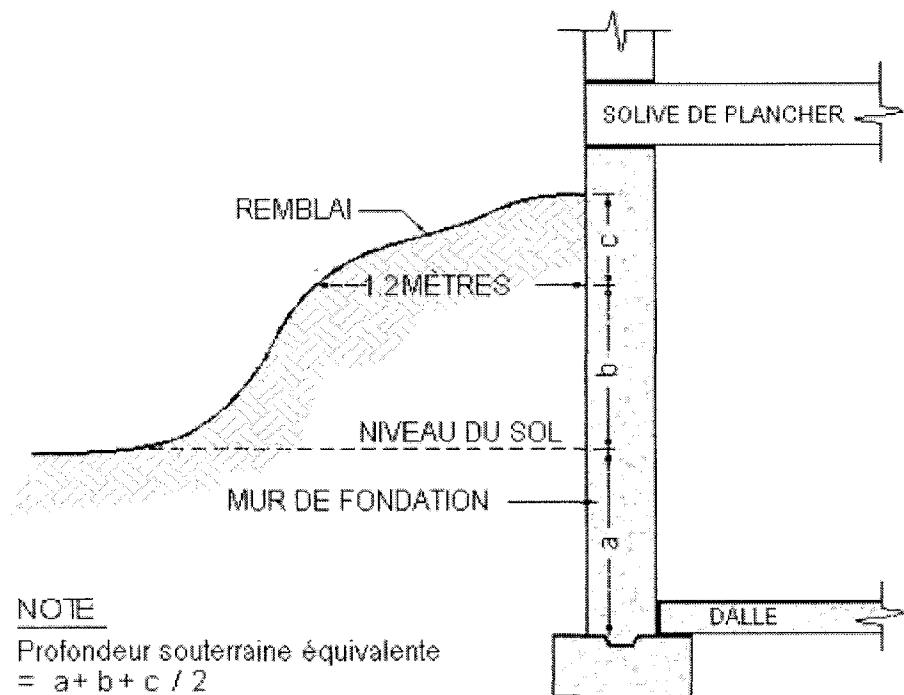


Figure 32 Profondeur équivalente d'un mur remblayé

4.3.5.2 Toits

Les toits sont entrés dans EE4 de la même manière que les murs. Les éléments qui constituent le toit se retrouvent au tableau X.

Tableau X
Éléments de construction du toit

Élément	Épaisseur (mm)	Densité (kg/m ³)	Résistance (°Cm ² / W)
Béton	195	2240[12]	0.14
Isolant de fibre de verre	25		0.49
Rouleau d'asphalte	10		0.05

Le coefficient de transfert de chaleur calculé par le logiciel EE4 suivant ces données est $U = 1.23 \text{ W/}^{\circ}\text{Cm}^2$.

4.3.5.3 Infiltration

L'infiltration est définie comme étant la quantité non maîtrisable d'échange de l'air entre l'extérieur et l'intérieur. Elle est provoquée par la différence de pression causée par le vent, l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur, le comportement des occupants, et surtout la qualité de l'enveloppe du bâtiment. Les pertes d'énergie par infiltration peuvent atteindre 40% de la charge thermique totale [14]. Il est donc important de prédire le taux d'infiltration d'air du bâtiment en question.

La Société Canadienne d'Hypothèque et du Logement [15] a conclu après étude que durant la période de l'hiver, où les conditions climatiques peuvent être extrêmes (par exemple, une température au-dessous de -18°C avec un facteur vent supérieur à 18 km/h), l'infiltration de l'air contribue à la consommation d'énergie de 12 à 25 W/m², ce qui représente 25 à 40% de la demande totale d'énergie.

Les valeurs moyennes [16] de l'infiltration d'air par m² de surface d'enveloppe à la saison hivernale, en fonction de la température extérieure, varient de 0.10 l/s/m² à 0.72

l/s/m^2 , cette estimation vaut pour une température extérieure de -10°C et une différence de pression de 50 Pa au niveau du plancher du premier étage. La valeur proposée pour le cas présent vaut 0.25 l/s/m^2 de la surface de l'enveloppe [11]. En utilisant ces valeurs, l'infiltration estimée en hiver pour le bâtiment en étude est entre 0.15 l/s/m^2 et 0.40 l/s/m^2 ,

4.3.5.4 Planchers souterrains

Les planchers souterrains (figure 33) sont les planchers du sous-sol ou les dalles directement en contact avec le sol, le plancher de notre bâtiment est une dalle.

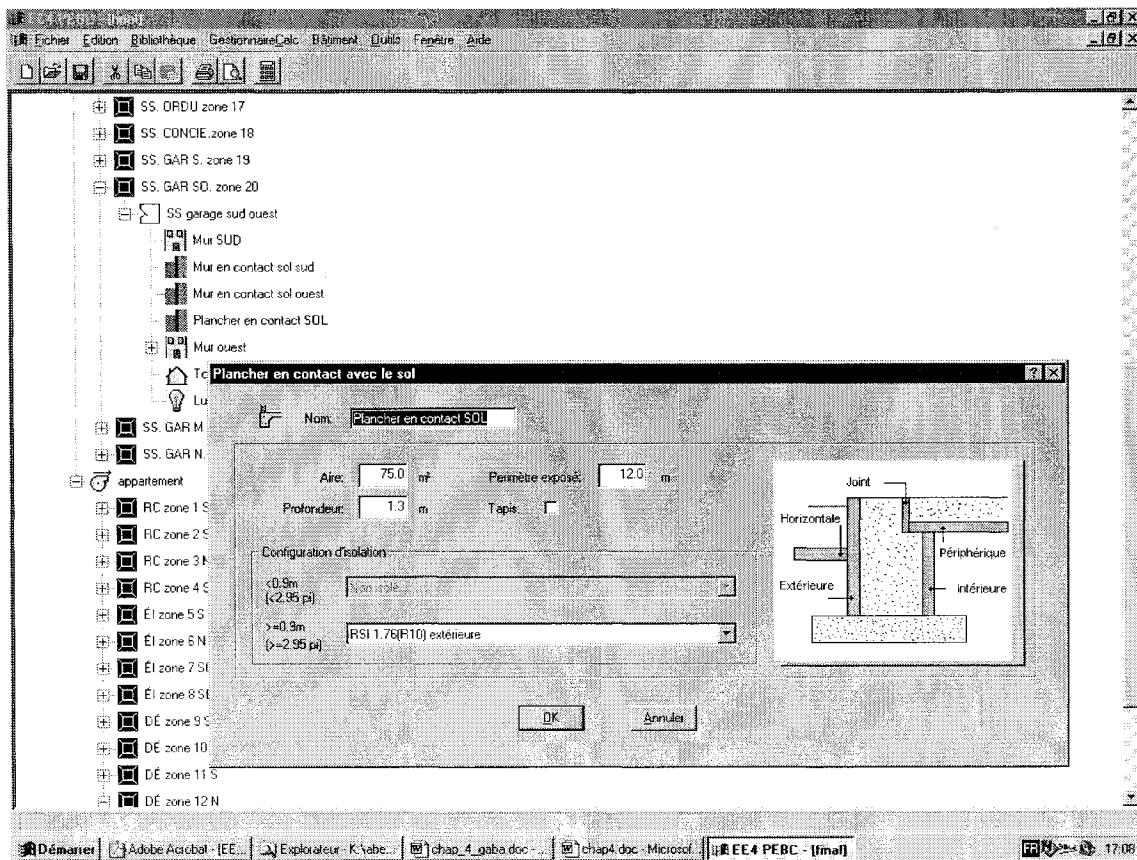


Figure 33 Saisie des données pour le plancher en contact avec le sol

4.3.5.4.1 Superficie

On entre maintenant la superficie d'une zone sélectionnée du plancher, qui est de 75 m² (figure 33).

4.3.5.4.2 Périmètre exposé

Il s'agit de la longueur du mur en contact avec le sol, ou le périmètre de l'espace qui se trouve le long du mur et à l'extérieur du garage orienté vers le nord. Ce périmètre exposé est de 12 m.

4.3.5.4.3 Configuration de l'isolation

Il se peut que la configuration exacte de l'isolation ne soit pas incluse dans la bibliothèque du logiciel EE4. Selon les plans, ce plancher comprend de 2 pouces d'asphalte et 6 pouces de pierres concassées (figure 34).

En conséquence, on sélectionne l'élément « R10 intérieure » dans la liste, parce qu'il est celui qui se rapproche le plus de ce qui est indiqué. Il n'est pas possible d'introduire de nouveaux types de planchers souterrains définis par l'utilisateur du programme EE4.

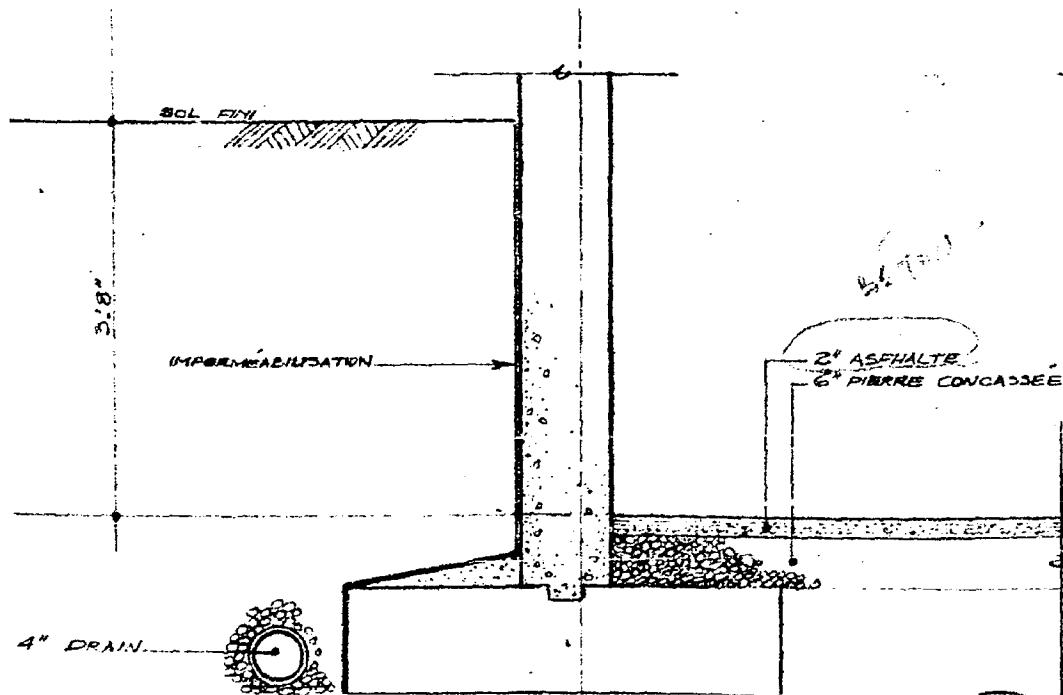


Figure 34 Plan du plancher en contact avec le sol (voir annexe 3)

4.3.5.5 Fenêtres

Comme les fenêtres représentent le maillon thermique faible de l'enveloppe du bâtiment, une description minutieuse des fenêtres oblige à connaître la valeur U de la fenêtre tout entière (y compris le cadre) ainsi que le coefficient d'apport par rayonnement solaire (CARS). Les fabricants de fenêtres ne fournissant pas la valeur U de leurs produits [11], il faut avoir recours au *Guide des principes de base de l'ASHRAE* (Annexe 4). Pour les fenêtres fixes de type *Tp.13mm.LE.1,Ar,Ouv,Al*, la valeur publiée de l'ASHRAE est $U = 3,5 \text{ W/Cm}^2$.

Dans le cas du verre clair, teinté vierge ou à revêtement de faible émissivité, 0,6 est la valeur du CARS [13] pour le verre à double vitrage d'une épaisseur de 13 mm installé verticalement.

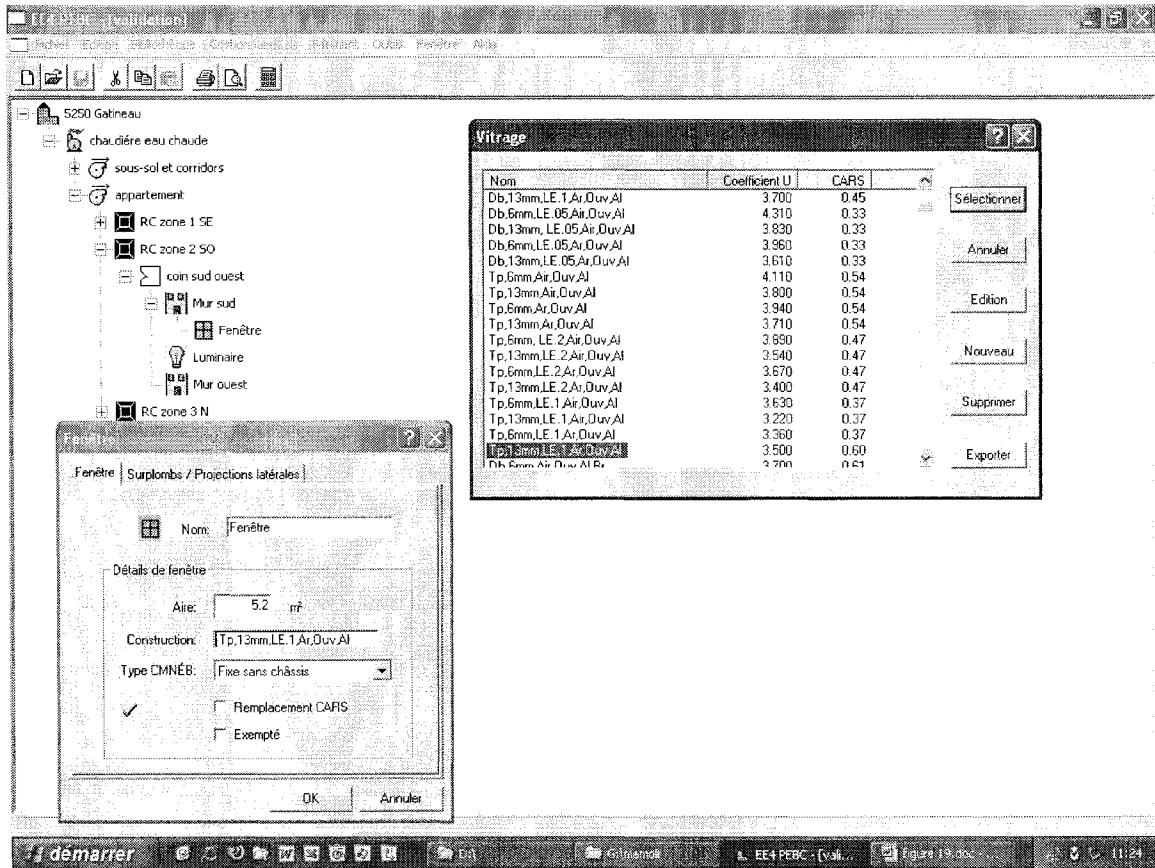


Figure 35 Bibliothèque des vitrages

4.3.5.5.1 Coefficient d'apport par rayonnement solaire (CARS)

La valeur du CARS recommandée pour les surfaces non ombragées est de 0,64 [7]. Un CARS moins élevé signifie une réduction des apports solaires et, par conséquent, une consommation énergétique moindre pour l'équipement de climatisation. Toutefois,

l'énergie thermique nécessaire durant la saison chaude peut s'accroître. Pour qu'un CARS moins élevé fasse décroître la consommation énergétique totale, il y a plusieurs facteurs à considérer, notamment la qualité, la quantité et l'orientation du vitrage.

4.3.6 Modélisation du système d'éclairage

La fonction des espaces permet de définir la densité d'éclairage dans le bâtiment. La densité d'éclairage est multipliée par le facteur de superficie en vue de déterminer la puissance d'éclairage allouée.

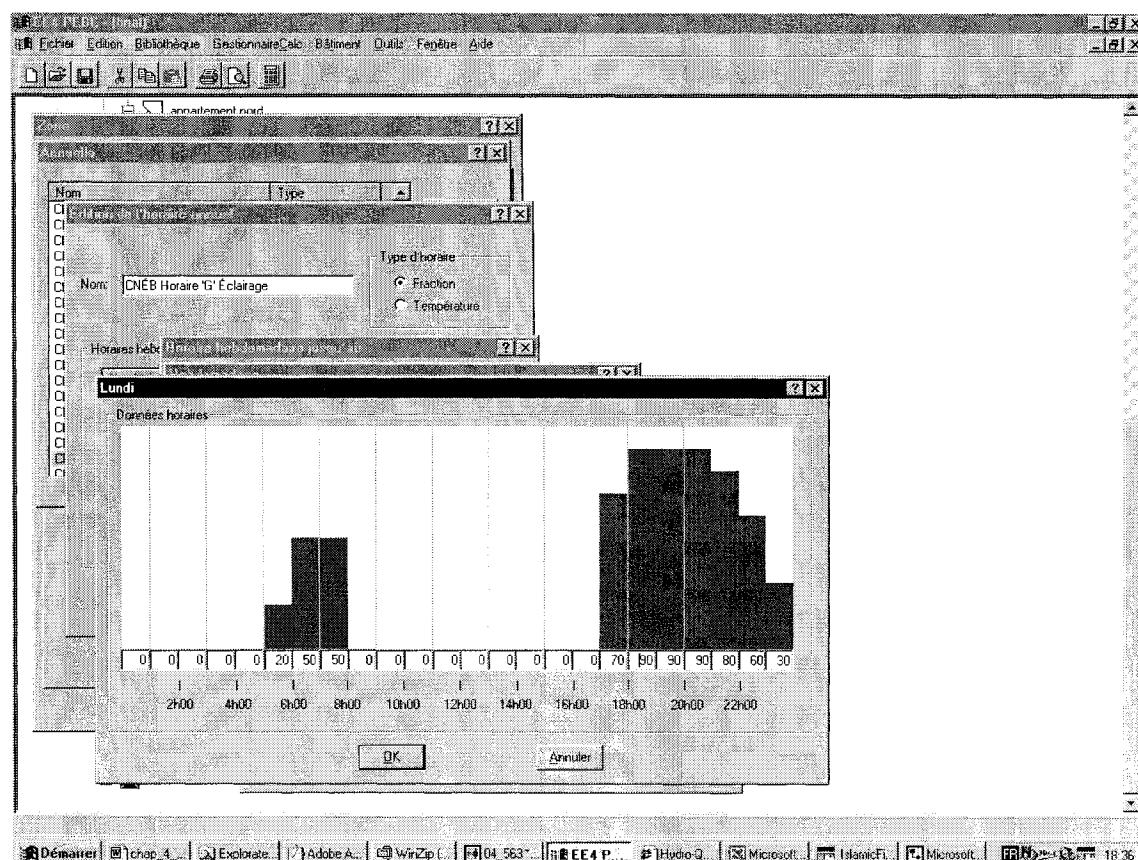


Figure 36 Horaires d'éclairage

Dans les appartements avec une seule chambre à coucher, il existe deux fenêtres et une porte-fenêtre dont superficie totale est de 5.2 m², dans les appartements à deux chambres à couchers, la surface totale de trois fenêtres plus une porte-fenêtre est de 6.8 m². Il est difficile de quantifier le pourcentage de la lumière naturelle. Généralement, de 7.00h à 18.00h, la lumière du soleil contribue à l'éclairage. On présume que de 7.00h à 10.00h, il reste une seule lumière allumée, et que de 16.00h à 18.00h, une seule lumière sera allumée. Ces suppositions représentent la moyenne de la contribution de la lumière naturelle à l'éclairage, cependant, elles restent étroitement liées aux conditions climatiques, à l'état du ciel et surtout au comportement des occupants [17].

4.3.7 Opération des équipements électriques

Les équipements ménagers sélectionnés et leurs caractéristiques ont été définis à partir d'une étude statistique [18]. Les résultats de cette étude sont présentés au tableau XI.

Tableau XI
Caractéristiques des équipements ménagers

Équipements	Puissance W	Consommation moyenne annuelle kWh	Nombre moyen d'heures d'opération par an	Nombre moyen d'heures d'opération par jour
Cuisinière (a)	5000	584	117	0.32
Réfrigérateur à dégivrage automatique (14 pi) (b)	350	1036	3037	8.32
Téléviseur couleur (c)	300	387	1288	3.53
Machine à laver (eau froide) (d)	800	79	99	0.27
Sécheuse (e)	5000	870	174	0.47

Rappelons que le pas de temps de calculs de DOE-2E est d'une heure et que cela a un impact sur l'entrée des données relatives aux équipements fonctionnant en moyenne moins d'une heure par jour [19].

Les horaires d'opération et de dégagement de chaleur des équipements ménagers sont présentés dans le tableau XII. Les indices (a), (b), (c), (d) et (e) du tableau XI permettent d'identifier les équipements utilisés pour chaque période.

Tableau XII
Horaires d'opération des équipements ménagers

Heures	Puissance W	Dégagements de chaleur W
00h00 à 09h00	121 - (b)	424
09h00 à 16h00	333 - (b), (c)	636
16h00 à 17h00	2683 - (b), (c), (e)	636
17h00 à 18h00	1721 - (a), (b)	711
18h00 à 23h00	333 - (b), (c)	636
23h00 à 24h00	121- (b)	424

4.4 Paramètres des variables d'entrée

Les valeurs des paramètres utilisées dans les simulations énergétiques du bâtiment réalisées à l'aide du logiciel DOE-2E sont les mêmes que les valeurs proposées dans l'interface du logiciel EE4.

Tableau XIII
Paramètres variables

Localisation du bâtiment	Montréal, Québec, Canada
Orientation du bâtiment	45° Nord-Est
Superficie des appartements	50.92m ² à 78.82m ²
Nombre d'étages	6 + un sous-sol
Coefficient U des murs	1.29 W/m ² °C
Coefficient U du toit	1.23 W/m ² °C
Coefficient U du plancher	0.59 W/m ² °C
Coefficient U des fenêtres	3.5 W/m ² °C
CARS des fenêtres	0.64
Taux d'infiltration	0.25 l/s/m ² à 50Pa
Durée d'opération du ventilateur des corridors	24/24h
Type d'éclairage	Incandescent
Densité de puissance d'éclairage	9 W/m ²
Densité d'occupation	60 m ² /Occupant.
Chauffage de l'eau	500 W/Occupant.
Horaire d'exploitation	Table G voir annexe 5
Température intérieure de calcul	22°C
Surface du toit	990.45 m ²
Surface des murs	2200.98 m ²
Surface des fenêtres	516.18 m ²
Surface des portes	15.37 m ²
Rendement du ventilateur	0.73
Débit d'air du ventilateur	5700 l/s
Pression différentielle du ventilateur	485 Pa
Puissance du ventilateur	3.77 kW

CHAPITRE 5

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

5.1 Résultats de la simulation

Une fois inclus tous les paramètres requis du bâtiment dans l'arborescence du logiciel EE4, les calculs vont être effectués à l'aide du moteur DOE-2E (Annexe 2). Même si aucun message d'erreur ou d'avertissement n'apparaît, les calculs peuvent prendre plusieurs minutes selon la vitesse d'exécution de l'ordinateur et la complexité du bâtiment. Après l'exécution de la simulation, les résultats sont affichés de la manière suivante :

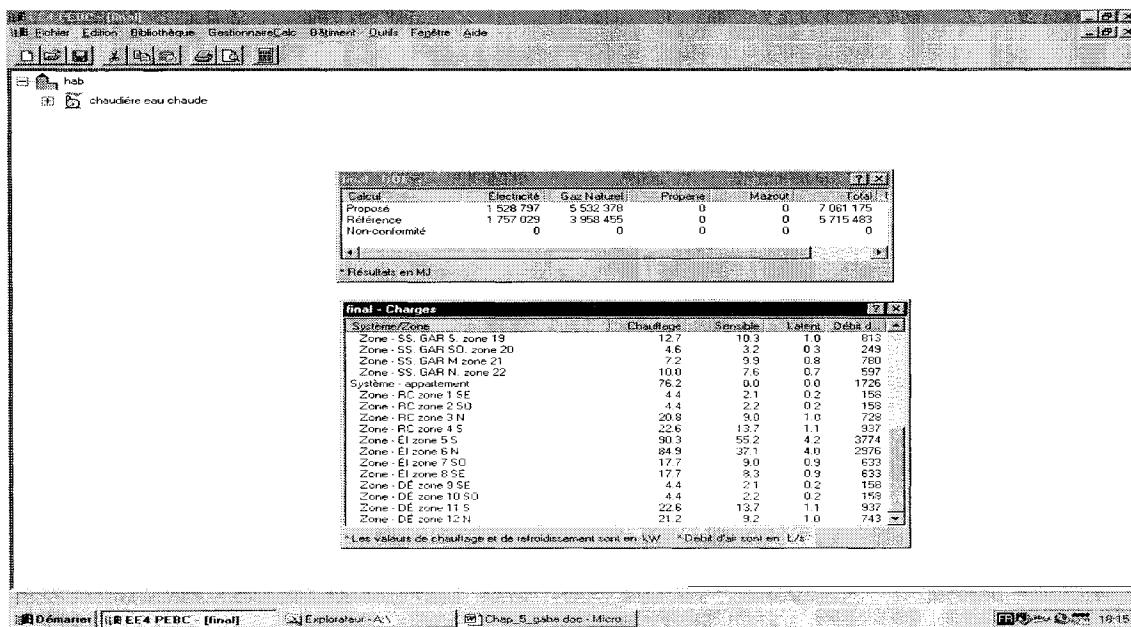


Figure 37 Capitation des résultats de la simulation

À l'aide d'un fichier texte, il est possible de visualiser un grand nombre de rapports produits par le DOE-2E. Le rapport de simulation sera sauvegardé dans le sous-répertoire DOE à l'intérieur du répertoire du PEBC. Les résultats de la simulation se trouvent dans le fichier texte avec une extension SIM (figure 38). La consommation de gaz et d'électricité mensuelle et annuelle est affichée. Plusieurs autres rapports utiles sont produits par le fichier de sortie DOE-2E (Annexe 2).

The screenshot shows a Microsoft Notepad window with the title 'Valid.sim - Bloc-notes'. The content of the window is a text-based report from DOE-2.1Ec133 dated 8/06/2005 at 8:55:48 PDL. The report is a 'Non-Compliance' summary for a building energy performance. It includes a table of energy consumption by category and unit type (Electricity and Natural-Gas), and concludes with a note about system zone throttling.

ENERGY TYPE:	ELECTRICITY	NATURAL-GAS	
SITE UNITS:	KWH	THERM	
CATEGORY OF USE			
AREA LIGHTS	112988.	0.	
MISC EQUIPMT	327623.	0.	
SPACE HEAT	17953.	29374.	
VENT FANS	14725.	0.	
DONHOT WATER	1276.	17660.	
TOTAL	474564.	47834.	
TOTAL ELECTRICITY	474564. KWH	6.993 KWH /SQFT-YR GROSS-AREA	6.993 KWH /SQFT-YR NET-AREA
TOTAL NATURAL-GAS	47834. THERM	0.693 THERM /SQFT-YR GROSS-AREA	0.693 THERM /SQFT-YR NET-AREA

PERCENT OF HOURS ANY SYSTEM ZONE OUTSIDE OF THROTTLING RANGE = 72.2
 PERCENT OF HOURS ANY PLANT LOAD NOT SATISFIED = 0.0
 NOTE: ENERGY IS APPORTIONED HOURLY TO ALL END-USE CATEGORIES.

Figure 38 Captation de la consommation annuelle de gaz et d'électricité

5.2 Validation du modèle

L'objet de cette étude est d'évaluer la consommation d'énergie de l'immeuble 5250 Gatineau au moyen des logiciels EE4 et DOE-2E. Les résultats obtenus montrent une validation entre l'énergie calculée par le logiciel de simulation et l'énergie consommée réellement. Le rapport de simulation décrit en détail l'utilisation d'énergie mensuelle du bâtiment. Les tableaux XIV et XV donnent le résumé des factures d'électricité et de gaz en kWh et en m³ respectivement, consommés mensuellement (consultez les graphiques de consommation d'énergie établis par l'OMHM à l'Annexe 7).

Tableau XIV
Résumé de la facture de consommation d'électricité en kWh

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Moyenne
Janvier	39 113	40 382	39 597	37 633	39 237	39 892	42 154	42 408	40 052
Février	34 745	36 813	35 686	33 459	33 633	35 594	36 480	37 505	35 489
Mars	36 720	37 717	38 050	35 577	37 237	36 770	39 290	41 366	37 841
Avril	35 164	36 030	36 333	34 443	35 107	37 371	36 583	39 325	36 294
Mai	35 396	36 240	36 319	35 335	35 820	39 675	38 620	39 581	37 123
Juin	34 941	34 941	35 378	35 077	35 947	37 748	36 871	38 351	36 157
Juillet	38 202	35 844	35 890	36 084	37 726	38 488	40 122	39 668	37 753
Août	38 418	36 690	35 350	36 624	36 859	38 299	39 316	39 271	37 603
Septembre	36 038	34 650	34 200	35 200	36 583	38 168	38 475	36 805	36 265
Octobre	38 547	37 519	36 951	37 233	38 191	38 845	40 320	39 960	38 446
Novembre	38 411	37 358	35 825	36 421	38 637	37 052	40 568	40 440	38 089
Décembre	42 100	39 395	37 633	38 789	40 194	41 691	43 156	44 280	40 905
Total	447 796	443 580	437 211	431 875	445 170	459 592	471 954	478 960	452 017

La simulation n'utilisant que les données climatiques de l'année 2002, il est impératif de faire la comparaison pour cette année seulement.

Tableau XV
Résumé de la facture de consommation de gaz en m³

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Moyenne
Janvier	27 012	22 927	24 182	21 511	21 010	24 065	21 798	20 460	22 871
Février	20 143		21 292	19 569	19 322	20 712	18 812	18 414	19 752
Mars	17 202	17 842	18 368	19 915	18 476	17 268	18 070	19 311	18 306
Avril	14 839	17 661	13 870	11 929	13 488	14 454	11 840	13 078	13 895
Mai	8 176	9 996	9 371	4 366	6 025	6 274	4 385	9 277	7 234
Juin	3 057	3 471	3 683	2 461	2 926	3 346	2 675	4 022	3 205
JUILLET	2 144	2 520	2 358	2 499	2 486	2 196	2 403	2 470	2 384
Août	2 369	2 016	2 373		2 394	2 634	2 065	2 325	2 311
Septembre	4 456	3 603	3 451	9 404	6 108	3 514	2 268	2 747	4 444
Octobre	8 409	11 534	7 930	9 748	11 963	9 412	7 747	9 658	9 550
Novembre	17 110	17 125	20 694	14 885	13 753	14 008	12 956	15 258	15 724
Décembre	23 165	20 848	21 296	19 605	19 939	20 681	18 053	18 185	20 222
Total	148 081	129 543	148 866	135 894	137 892	138 563	123 072	135 207	137 140

5.2.1 Premier test de simulation

Les figures 39, 40 et 41 montrent des graphiques comparant l'énergie totale (électricité + gaz) en MWh, l'électricité en MWh et le gaz en 1000 m³ consommée mensuellement ainsi que les résultats de la simulation.

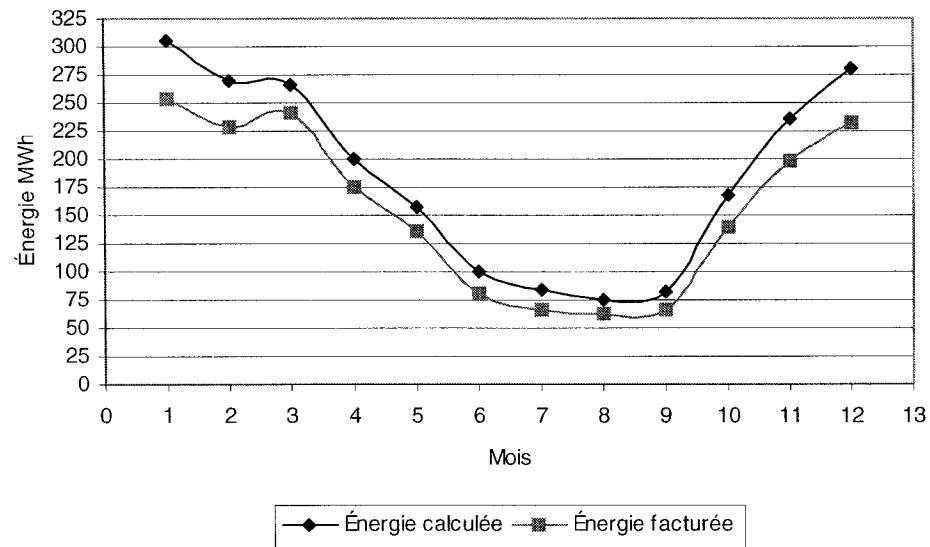


Figure 39 Comparaison des résultats de la simulation et de l'énergie facturée

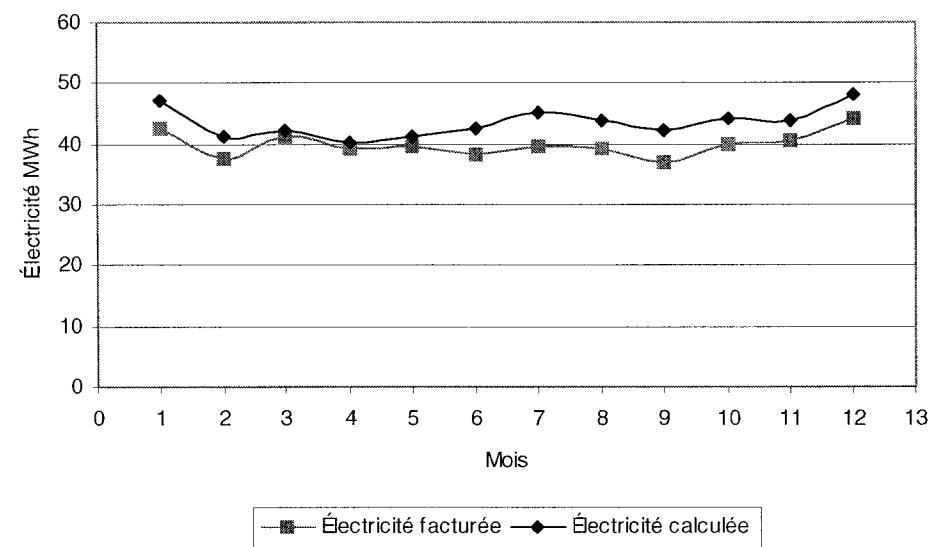


Figure 40 Comparaison des résultats de la simulation et de l'électricité facturée

L'analyse montre que la consommation d'énergie totale facturée pour l'année 2002 est de 1876.09 MWh, comparée à 2223.81 MWh, la valeur de l'énergie estimée par DOE-2E. Ainsi, l'écart existant entre ces deux valeurs est de 18.53%. Pour le cas de l'électricité et du gaz, la différence est évaluée à 8.86% et à 21.84%, respectivement.

Les résultats du premier essai de la validation montrent que DOE-2E a surestimé la consommation mensuelle de l'électricité de 3 à 14% durant toute l'année, alors que celle du gaz a dépassé les 21%.

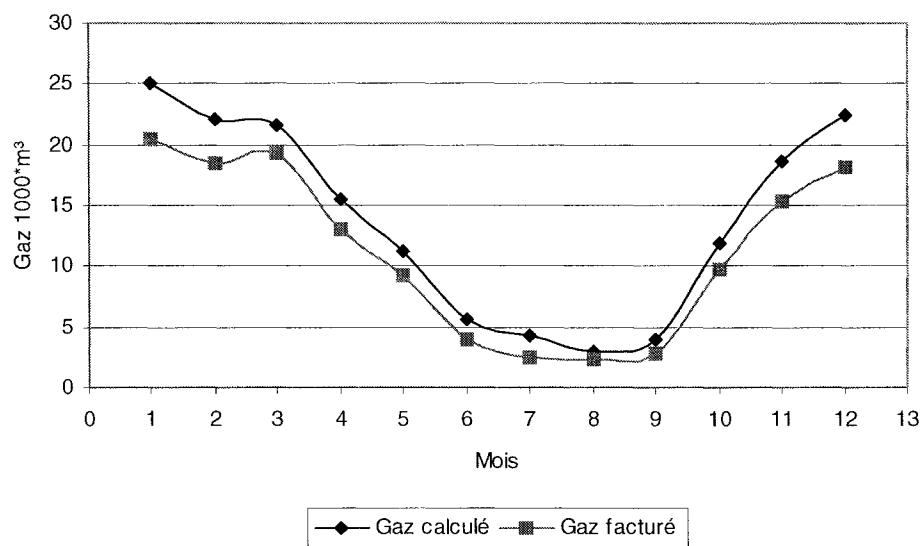


Figure 41 Comparaison des résultats de la simulation et du gaz facturé

La différence de consommation de gaz et d'électricité conduit amène une prise de conscience de beaucoup de facteurs :

- taux d'infiltration d'air pour chacune des zones,
- choix des horaires de l'eau chaude et charge interne,
- choix des horaires d'éclairage,

- utilisation de stores et de rideaux aux fenêtres,
- coefficient d'apport du rayonnement solaire CARS.

5.2.2 Second test de validation

En fait, beaucoup de tests de simulation ont été élaborés dans le but d'améliorer le premier modèle. En se basant sur les résultats du premier essai, on a ajusté les paramètres à l'origine de la surestimation de l'énergie afin d'atteindre des résultats concluants. Les paramètres physiques comme la surface des murs, les matériaux de construction et les systèmes mécaniques, ne sont pas concernés par ces ajustements.

Afin d'améliorer les résultats du premier modèle, la densité d'éclairage est réduite de 9 W/m² à 8 W/m².

La consommation de gaz naturel est surestimée, surtout pendant la saison d'été. La cause principale de cette surévaluation est que le logiciel EE4 prend pour acquis que l'utilisation de l'eau chaude reste sensiblement uniforme toute l'année. Malgré l'inclusion d'horaires différents pour simuler la demande en eau chaude des périodes froides et chaudes, le logiciel EE4 ne prend en considération que le premier horaire, les autres sont complètement ignorés.

Le responsable du logiciel EE4 à Ressources Naturelles Canada à Ottawa a confirmé le fait que EE4 est incapable de travailler avec plusieurs horaires, cette anomalie serait éliminée dans les prochaines versions. Il s'est avéré impératif de créer ces horaires pour le modèle de simulation du logiciel DOE-2E. Au lieu d'un seul horaire, deux autres sont ajoutés. Le premier simule la consommation d'eau chaude du 1^{er} janvier au 15 juin, le 2^e du 15 juin au 15 octobre et le dernier du 15 octobre au 31 décembre (Annexe 6).

L'infiltration est un paramètre difficile à définir. La valeur préconisée par le CNMEB, qui varie de 0.20 l/s/ m² à 0.25 l/s/m², a engendré une surestimation de consommation de gaz dans la saison hivernale. Pour corriger cette différence de consommation de gaz naturel durant la période de chauffage, le taux d'infiltration d'air de l'hiver a été réduit à la valeur de la saison de l'automne et du printemps, qui est de 0.15 l/s/m² de l'enveloppe.

Un autre changement effectué touche le coefficient d'apport de rayonnement solaire (CARS) des fenêtres : sa valeur est corrigée à 0.64, au lieu de 0.60, la valeur recommandée dans la documentation [7].

Tableau XVI
Différence entre électricité et gaz facturés et calculés

	Écart en électricité en%	Écart en gaz en %	Écart en énergie totale en %
Janvier	1,13	7,09	5,81
Février	0,77	3,33	2,92
Mars	0,27	10,14	8,20
Avril	0,15	7,35	5,56
Mai	0,19	11,04	7,50
Juin	2,12	1,37	1,73
Juillet	2,47	10,15	5,35
Août	1,41	6,82	3,40
Septembre	2,01	1,11	0,67
Octobre	0,43	8,44	5,75
Novembre	1,42	5,46	4,61
Décembre	6,04	8,53	6,07
Total	0,93	1,28	1,19

Une fois ajustés l'horaire d'eau chaude, l'infiltration pendant la saison de chauffage et le coefficient d'apport de rayonnement solaire, le logiciel DOE-2E a donné des résultats

plus précis sur la consommation d'énergie de l'immeuble. Les résultats obtenus sont représentés par les tableaux XVI et XVII et les figures 42, 43 et 44.

Tableau XVII
Résumé de la consommation d'énergie facturée et calculée

	Électricité facturée en kWh	Électricité calculée en kWh	Gaz facturé en m ³	Gaz calculé en m ³	Énergie totale (gaz+électricité) facturée en kWh	Énergie totale calculée en kWh
Janvier	42 408	41933,1	20 460	22021,99	253830,94	269493,67
Février	37 505	37795,7	18 414	19048,71	227781,01	234632,33
Mars	41 366	41477,2	19 311	17532,00	240908,54	222641,21
Avril	39 325	39382,4	13 078	12182,70	174463,69	165270,28
Mai	39 581	39656,6	9 277	8354,92	135445,69	125990,77
Juin	38 351	37556,2	4 022	3968,16	79915,93	78560,53
Juillet	39 668	38711,6	2 470	2242,44	65191,46	61883,50
Août	39 271	38724,7	2 325	2176,93	63299,16	61219,64
Septembre	36 805	37559	2 747	2717,19	65193,64	65636,65
Octobre	39 960	40131,7	9 658	8906,24	139760,90	132162,87
Novembre	40 440	39875,6	15 258	14468,81	198108,58	189386,68
Décembre	44 280	41759,7	18 185	19882,21	232195,54	247209,23
Total	478 960	474563,5	135 207	133502,31	1876095,12	1854087,36

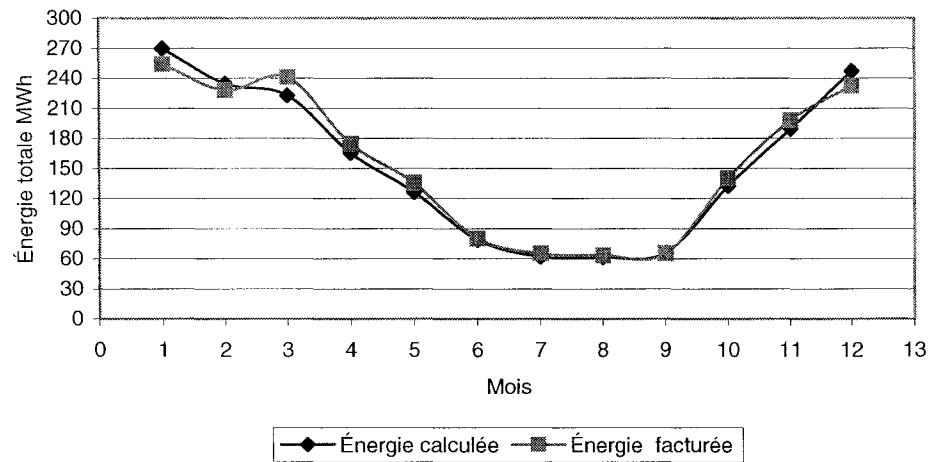


Figure 42 Consommation d'énergie du modèle de validation comparé au réel

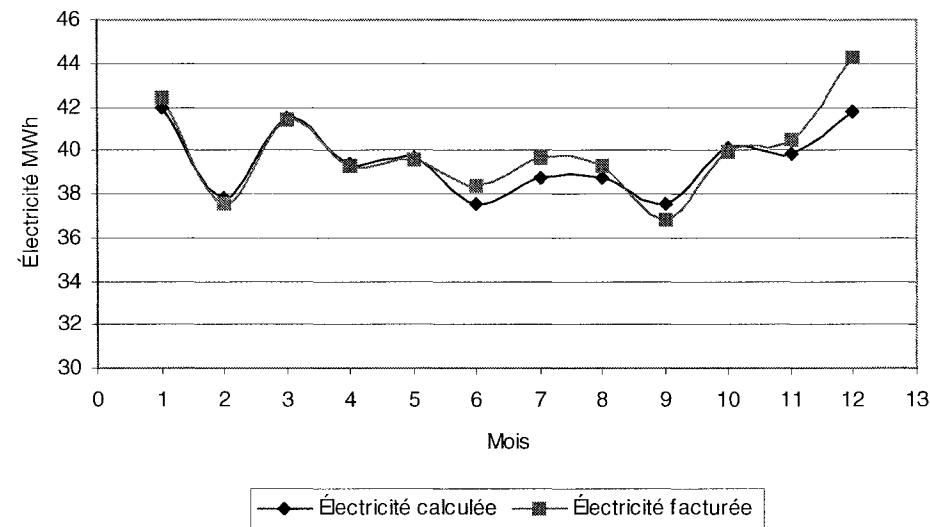


Figure 43 Consommation d'électricité du modèle de validation comparé au réel

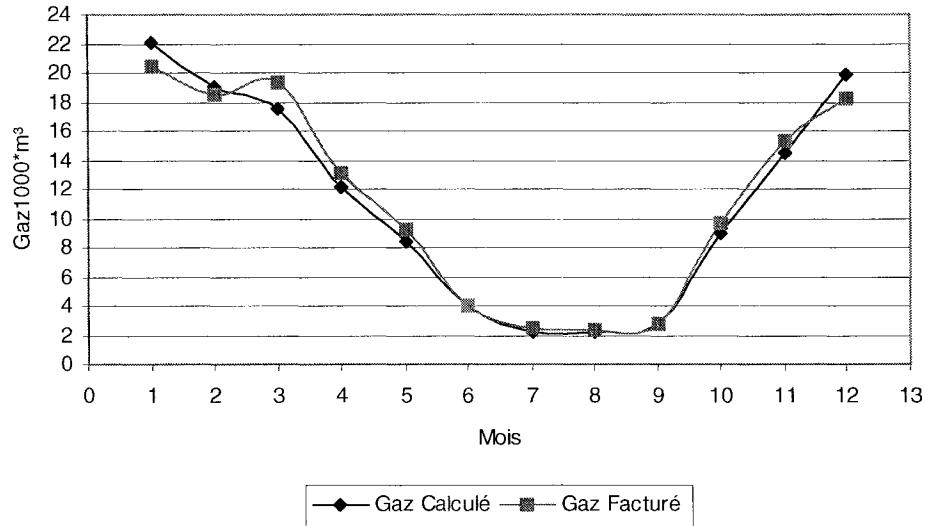


Figure 44 Consommation de gaz du modèle de validation comparé au réel

5.2.3 Résultats du test de validation

Dans le but d'évaluer les résultats finaux de la simulation, une comparaison des consommations d'énergie mensuelles est représentée au tableau XVI. La valeur moyenne mensuelle représente la valeur absolue du pourcentage de l'écart entre l'énergie facturée utilisée par l'immeuble et l'énergie estimée par simulation.

Les tableaux XVI et XVII, ainsi que les graphiques 42, 43 et 44, montrent une convergence des résultats de la simulation. Le modèle de validation présente une légère différence moyenne annuelle de 0.93 % en électricité, de 1.28 % dans le cas du gaz naturel et approximativement de 1.19% pour l'énergie totale.

Lorsqu'on examine les résultats des tableaux XV et XVI à l'aide du niveau de précision accepté par le CMNÉB, l'estimation mensuelle et annuelle de l'énergie consommée trouvée par la simulation est très raisonnable.

En d'autres termes, le modèle de bâtiment simulé avec le logiciel DOE-2E est validé avec le bâtiment réel en ce qui touche la consommation d'énergie.

5.3 Sources de différence

Les résultats de toute simulation énergétique sont limités quant à la précision. La source de différence réside dans la préparation du modèle de bâtiment et dans l'algorithme du calcul, car un modèle théorique ne peut représenter parfaitement un modèle réel. Aussi, une bonne coupe de paramètres, comme ceux cités au paragraphe 5.2.1, est difficile à définir.

Un paramètre additionnel pouvant créer une différence dans les résultats est le fichier des conditions climatiques. Le logiciel DOE-2E utilise les paramètres climatiques de l'Aéroport International Pierre Elliott Trudeau à Dorval, alors que le bâtiment étudié est situé dans le quartier Côte-des-Neiges, presque au centre-ville de Montréal. Une distance de 18 à 20 Km sépare les deux emplacements.

La source probable de la différence des résultats est sans doute le comportement humain dans l'habitat. Une étude de l'efficacité énergétique [20] démontre à quel point les habitudes des occupants, ainsi que leur âge, peuvent réduire ou augmenter la consommation d'énergie de leur foyer.

Le surplus d'énergie facturée pour les mois de Mars, Avril, Mai et Juin est certainement dû à l'avancement en âge des habitants de l'immeuble, dont la moyenne dépasse 50 ans, et aussi à l'existence d'au moins un appartement libre dans l'immeuble pendant un mois ou parfois plus. Ces informations proviennent d'une discussion avec le responsable de l'immeuble

5.4 Étude des paramètres sensibles

La différence qui découle des paramètres d'entrée est une chose inévitable dans les simulations énergétiques. Cependant, il est important de savoir quels sont les facteurs qui influencent considérablement les résultats.

Dans cette partie, une étude préliminaire tentera de déterminer les paramètres sensibles qui méritent d'être revus, et nous observerons le comportement du modèle de bâtiment sur le plan énergétique selon la variation de ces paramètres.

Cette étude analysera l'impact de neuf paramètres utilisés dans le modèle de bâtiment étudié. Chacun de ces paramètres est appliqué indépendamment, et les nouveaux résultats seront comparés aux résultats du modèle qui a servi à la validation.

5.4.1 L'impact de l'enveloppe du bâtiment

5.4.1.1 Murs

Les déperditions thermiques par les murs dépendent essentiellement des paramètres suivants :

- le niveau d'isolation ou la résistance thermique du mur,
- l'orientation du mur.

Dans le bâtiment à l'étude, tous les murs sont en contact avec l'extérieur. La simulation est faite pour cinq valeurs différentes du coefficient U des murs. Chaque valeur du coefficient U correspond à une épaisseur de l'isolant (tableau XVIII).

Tableau XVIII
Correspondance entre la valeur du coefficient U du mur et l'épaisseur de l'isolant

Coefficient U W/ m ² °C	Épaisseur de l'isolant (mm)
1.29	22
1.20	25
1.12	28
1.05	31
0.99	34

Les gains relatifs à la variation du coefficient U du mur sont significatifs. Pour une valeur de $U = 0.99 \text{ W/m}^2\text{°C}$, correspondant à une épaisseur de 34 mm de l'isolant, les gains sont de l'ordre de 3.23% en consommation d'énergie annuelle (figure 45).

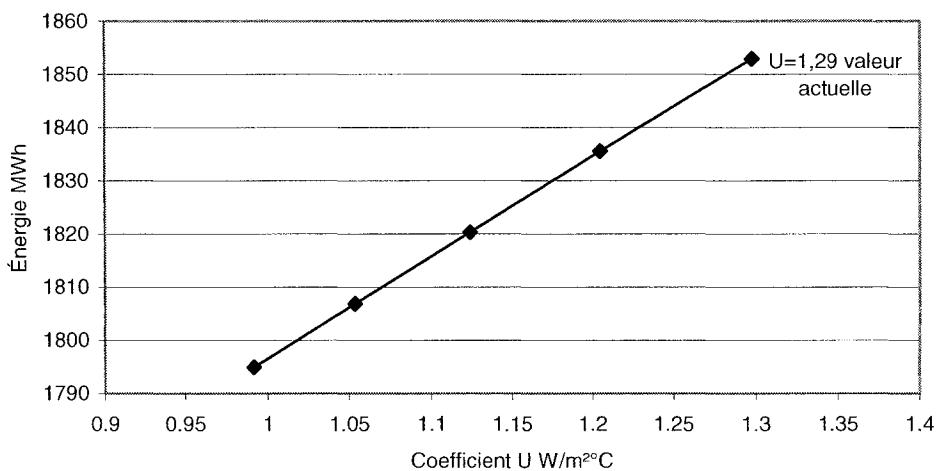


Figure 45 Consommation d'énergie en fonction du coefficient U du mur

Il est vrai que si l'épaisseur de l'isolant augmente au delà de 34 mm, les gains en d'énergie vont s'accroître. Mais la rentabilité de cette modification et le coût des

matériaux de construction (paragraphe 5.4.6) limitent la valeur de l'épaisseur de l'isolant. D'autre part, il faut prendre en considération l'espace maximum réservé à l'isolant au sein de la construction. Dans le cas présent, il y a une augmentation de 12 mm entre l'épaisseur initiale et finale (tableau XVIII). Donc, la nouvelle valeur du coefficient U du mur est $U = 0.99 \text{ W/m}^2\text{C}$. La valeur originale du coefficient U ayant servi à la validation est $U = 1.29 \text{ W/m}^2\text{C}$. Ce raisonnement servira aussi au choix des coefficients U du toit et du plancher.

5.4.1.2 Toits

La variation du coefficient U du toit n'est applicable que pour le toit du dernier étage. La simulation est faite pour cinq valeurs différentes du coefficient U du toit (figure 46). Chaque valeur du coefficient U correspond à une épaisseur de l'isolant (tableau XIX).

Tableau XIX

Correspondance entre la valeur du coefficient U du toit et l'épaisseur de l'isolant

Coefficient U W/ m ² C	Épaisseur de l'isolant (mm)
1.23	25
1.14	28
1.07	31
1.01	34
0.95	37

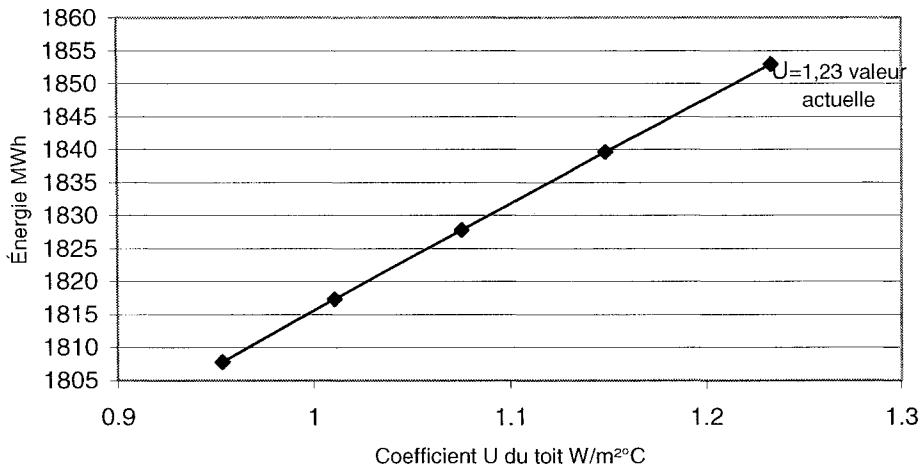


Figure 46 Consommation d'énergie du toit en fonction du coefficient U

Les gains relatifs à la variation du coefficient U du toit représentent 2.49% de la consommation d'énergie annuelle. Donc, l'épaisseur de l'isolant choisi (paragraphe 5.4.1.1) est de 37 mm, ce qui correspond à U= 0.95 W/m²°C.

La même simulation est effectuée pour la toiture en rouleaux d'asphalte, le tableau XX donne la correspondance entre les valeurs du coefficient U et l'épaisseur de la toiture. Une épaisseur de 21.9 mm réduit la consommation d'énergie annuelle de 0.63%.

Tableau XX

Correspondance entre la valeur U du toit et l'épaisseur du rouleau d'asphalte

Coefficient U W/ m ² °C	Épaisseur du rouleau d'asphalte (mm)
1.23	10
1.21	12.9
1.19	15.1
1.17	18.2
1.15	21.9

La combinaison des deux épaisseurs choisies pour l'isolant de fibre de verre et pour la toiture en rouleaux d'asphalte donne 0.90 W/m²°C comme valeur du coefficient U. La valeur originale du coefficient U du toit qui a servi à la validation est U = 1.23 W/m²°C.

5.4.1.3 Planchers

Le plancher est un élément ayant une importante influence sur la consommation d'énergie du bâtiment. Cinq valeurs d'épaisseur d'asphalte ont été choisies (tableau XXI) pour les valeurs des coefficients U et les épaisseurs correspondantes.

L'impact du plancher dans le bilan énergétique est important : il représente un gain de 2.91% de l'énergie consommée annuellement. Donc, la nouvelle valeur proposée du coefficient U du plancher est U= 0.56 W/m²°C, plutôt que celle du modèle de validation, U= 0.59 W/m²°C.

Tableau XXI
Correspondance entre la valeur U du plancher et l'épaisseur d'asphalte

Coefficient U W/ m ² °C	Épaisseur de d'asphalte (mm)
0.59	50
0.588	55
0.580	60
0.57	65
0.56	70

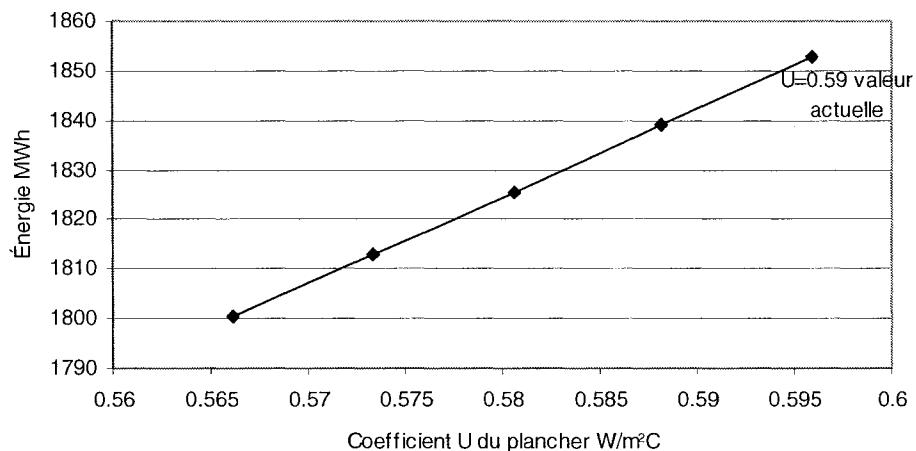


Figure 47 Consommation d'énergie en fonction du coefficient U du plancher

5.4.1.4 Fenêtres

Une bonne fenestration contribue à un gain optimum de lumière, de chaleur et de ventilation, elle assure l'isolation sonore entre l'extérieur et l'intérieur et procure un bien-être et un confort physiologique et psychologique aux occupants.

Cinq valeurs des coefficients U des fenêtres sont choisies dans l'ensemble des valeurs proposées par la bibliothèque du logiciel EE4 : 3.5, 3.05, 2.71, 2.31 et 1.91. Rappelons que la valeur proposée pour le modèle de validation est $U = 3.5 \text{ W/m}^2 \text{ C}$.

Les fenêtres de coefficient $U=1.91 \text{ W/m}^2 \text{ C}$ donnent un gain de 4.91% en énergie annuelle consommée, mais l'inconvénient d'un remplacement réside dans le coût élevé des fenêtres. Leur vitrage à lui seul coûte \$ 15.00/ m^2 dans une quincaillerie (HOME DÉPÔT, par exemple). Bref, la surface totale des verres atteignant 516.18 m^2 , le coût global de leur remplacement s'élève à \$7742.7, sans compter les frais d'installation. Il est clair que cette opération n'est pas très intéressante au point de vue financier et qu'il vaut mieux conserver les mêmes fenêtres.

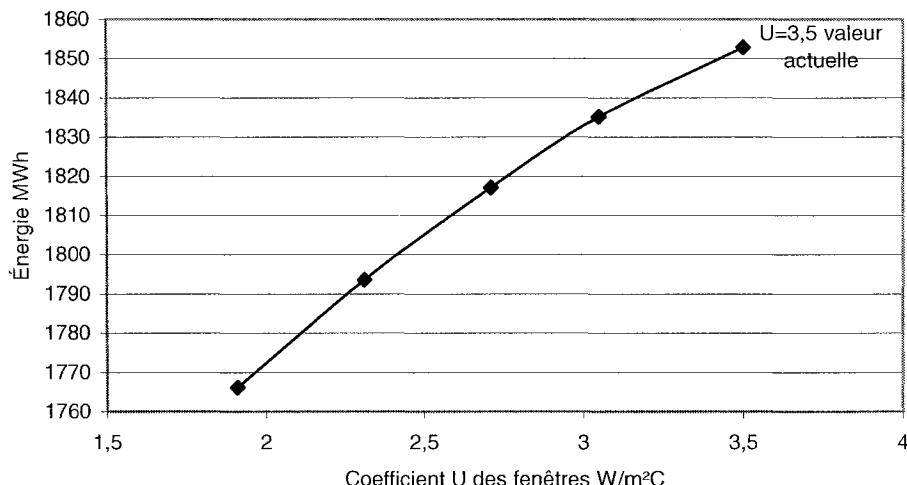


Figure 48 Consommation d'énergie en fonction du coefficient U des fenêtres

Un autre facteur à prendre en considération lors de l'étude des fenêtres est le coefficient d'apport du rayonnement solaire (CARS).

La figure 49 montre que la valeur 0.64 donne de très bons résultats sur le plan de l'économie d'énergie, la même valeur a été prise pour la validation du modèle réel.

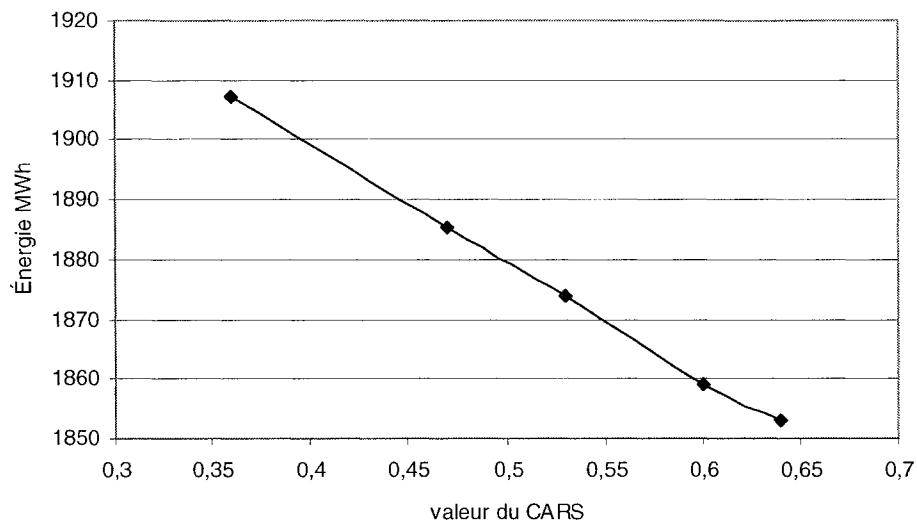


Figure 49 Consommation d'énergie en fonction du CARS

5.4.1.5 Orientation

Le bâtiment est orienté à 45 degré nord – ouest géographique. La figure 50 montre que l'orientation de l'immeuble 5250 Gatineau est optimale car l'écart entre l'orientation actuelle et l'orientation plein nord (0 degré) est non significative, soit 0.017% de la consommation totale annuelle d'énergie.

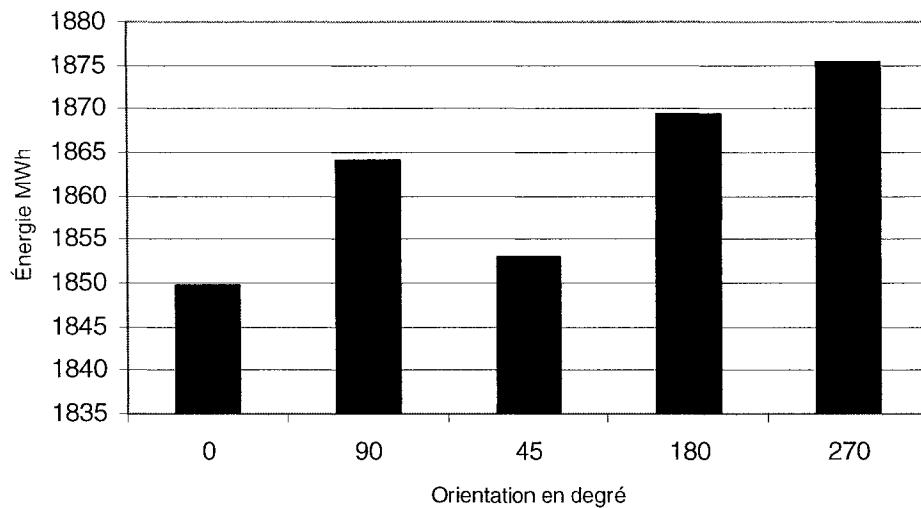


Figure 50 Consommation d'énergie en fonction du degré d'orientation de l'immeuble

5.4.2 Impact de l'infiltration

L'infiltration est la quantité d'air incontrôlée qui traverse l'enveloppe du bâtiment et surtout les fenêtres, elle provient essentiellement de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur en raison de la vitesse du vent [7].

Le logiciel DOE-2E calcule le taux d'infiltration en utilisant la méthode du renouvellement d'air. Cette méthode utilise le taux d'infiltration causé par le renouvellement d'air par heure pour une vitesse du vent de 16 km/h [21]. Le logiciel fera une correction de la vitesse du vent à chaque heure en se basant sur le fichier des conditions climatiques. La formule de calcul est la suivante:

$$\text{Taux d'infiltration} = \text{renouvellement d'air/ heure} * \text{vitesse du vent de } 16 \text{ km/h}$$

Il est clair que le taux d'infiltration d'air de 0.15 l/s/m^2 (figure 51) représente une meilleure valeur pour une économie d'énergie totale de 4.23% par an que le taux d'infiltration de 0.35 l/s/m^2 . Pour le cas présent la valeur du taux d'infiltration se maintient à 0.25l/s/ m^2 .

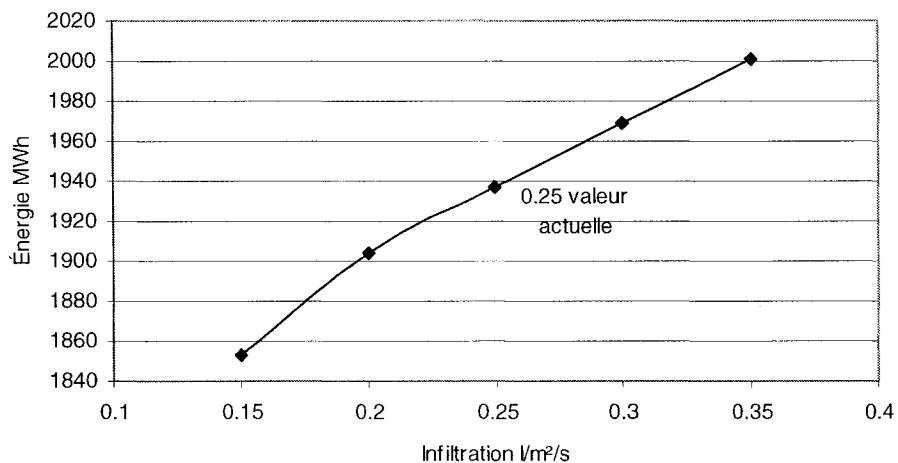


Figure 51 Consommation d'énergie en fonction de l'infiltration

5.4.3 Impact de l'éclairage

La valeur de la densité d'éclairage préconisée par le Code Modèle National de l'Énergie pour le bâtiment (CMNÉB) est de 9W/m^2 . Pour des raisons d'ajustement de modèle, et pour obtenir la validation, il s'est avéré utile de réduire cette valeur à 8W/m^2 .

La réduction de la densité d'éclairage au-dessous de 8W/m^2 peut causer un malaise visuel chez les occupants de l'immeuble, surtout que la moyenne d'âge des habitants dépasse les 50 ans. Il est donc recommandé donc de conserver la même valeur en densité d'éclairage.

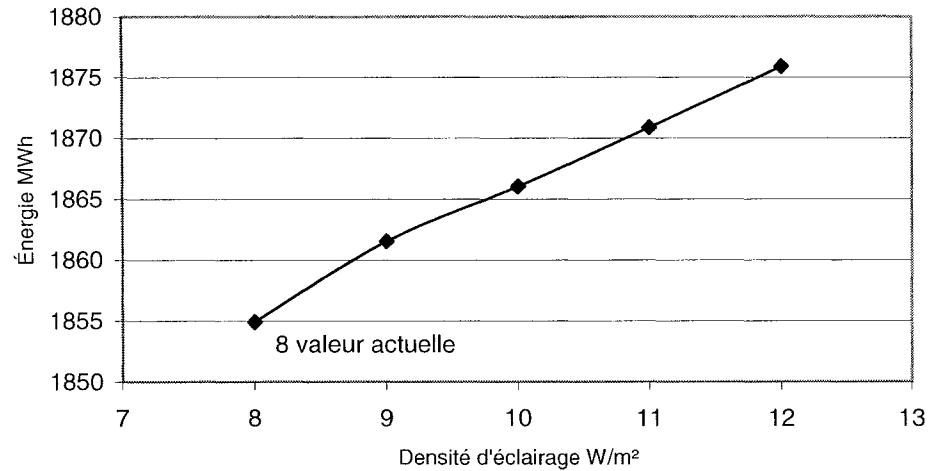


Figure 52 Consommation d'énergie en fonction de la densité d'éclairage

5.4.4 Impact de l'efficacité de la chaudière

Les variations du rendement thermique de la chaudière influencent considérablement la consommation d'énergie. La figure 53 montre que si le rendement de la chaudière était de 79% (l'actuel étant de 75%), la diminution de la consommation annuelle serait de 3.77%.

Il est clair d'après le graphique ci-dessous que la chaudière doit être continuellement sous surveillance afin de maintenir les paramètres de performance à un niveau acceptable. Cela ne se concrétise que par une stratégie de maintenance prédictive permettant d'éviter les mauvaises surprises comme les pannes ou la surconsommation de l'énergie. La valeur retenue pour le modèle final est donc de 79%

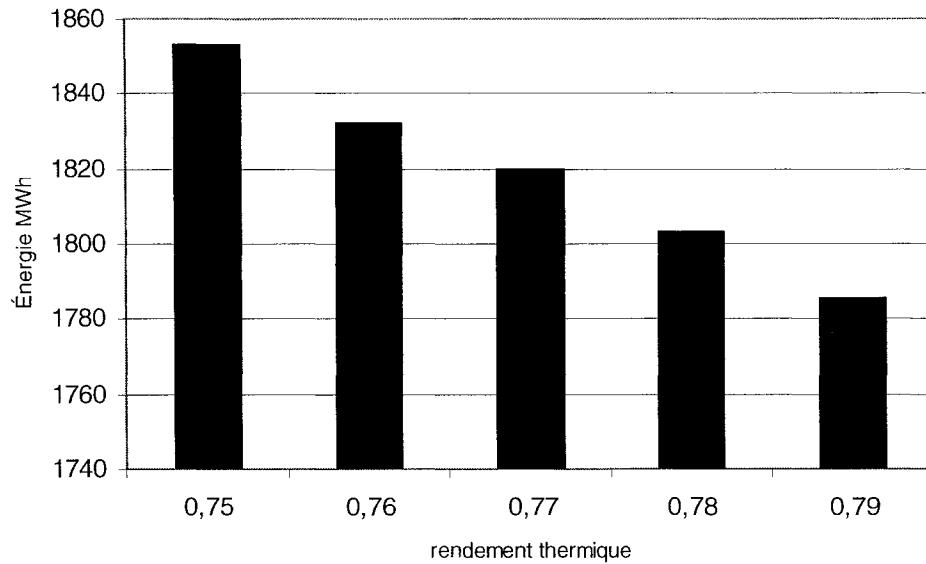


Figure 53 Énergie en fonction du rendement thermique de la chaudière

5.4.5 Impact de la ventilation

Une des mesures d'économie d'énergie consiste à ajuster le débit du ventilateur selon le besoin en air des locaux desservis par le système. Des méthodes appliquées aux endroits suivants [6] sont utilisées dans le but de conditionner le débit de soufflage des ventilateurs :

- registres d'étranglement à la sortie du ventilateur,
- aubage mobile de prérotation,
- variation de la vitesse de rotation des ventilateurs.

Le Code National de l'Énergie du Canada suggère l'utilisation de l'aubage mobile de prérotation pour les ventilateurs dont la gamme de puissance varie entre 7.5kW et 25kW,

il propose l'installation de variateurs de vitesse pour les ventilateurs dont la puissance dépasse 25kW.

Pour le cas présent, il est donc recommandé d'utiliser la première méthode, car la puissance du ventilateur est de 3.77kW.

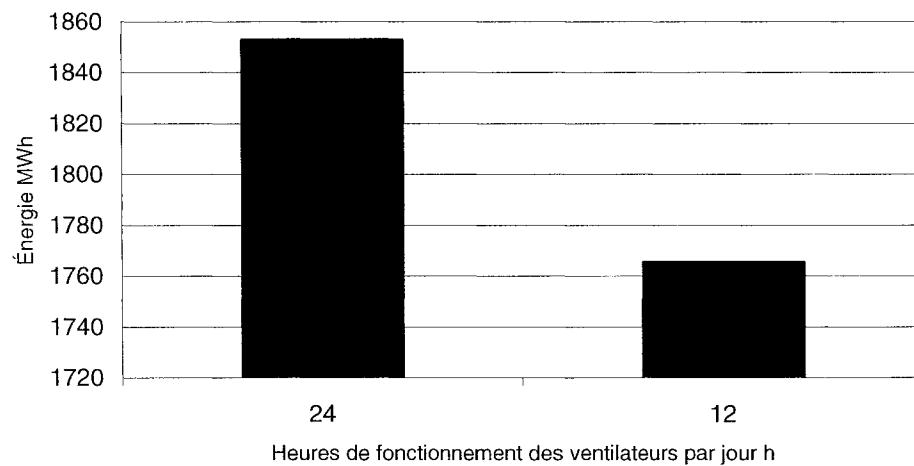


Figure 54 Régime de fonctionnement des ventilateurs en fonction de l'énergie

Cette méthode consiste à créer, au moyen des registres, des pertes de charges supplémentaires. Cette méthode n'est pas aussi efficace que les deux autres, mais le principal avantage de ce système de régulation est la modicité du coût d'investissement.

Comme la ventilation dans l'immeuble à l'étude se limite aux corridors, il est possible de réduire le taux de fonctionnement des ventilateurs. Comme l'illustre la figure 54, si on réduit le taux fonctionnement des ventilateurs de 50%, en d'autres termes si la durée de fonctionnement des ventilateurs est de 12 heures, le gain énergétique l'opération est de 4.95% en consommation annuelle. Cette mesure d'économie d'énergie est adoptée par l'Office Municipal d'Habitation de Montréal.

5.4.6 Coût des matériaux de construction

5.4.6.1 Coût des isolants du mur

Actuellement, il existe sur le marché beaucoup de matériaux utilisés pour l'isolation thermique des bâtiments dont le rapport qualité-prix diffère très peu. Par exemple le Groupe LEGERLITE installé à Pointe-Claire en banlieue de Montréal, produit un polystyrène expansible de plusieurs densités différentes, selon les besoins du client. Ce groupe distribue son produit à plusieurs détaillants (HOME DÉPÔT, RONA, DÉPÔT RÉNO, etc.). Les caractéristiques physiques du polystyrène se rapprochent des caractéristiques de l'isolant utilisé dans les murs et le toit de l'immeuble. Le coût de cet isolant chez le détaillant HOME DÉPÔT est de \$2.17 pour une surface de 12.89 m² et une épaisseur de 12 mm. Donc, pour couvrir la surface totale des murs de l'immeuble (2200,98 m² - tableau XI) avec 12 mm d'épaisseur de cet isolant, il faudra débourser 370.53 \$ (2200.98*2.17/12.89).

5.4.6.2 Coût des isolants du toit et du plancher

Le prix de vente de l'asphalte utilisé pour l'isolation du toit et du plancher est de \$42.00 la tonne chez les distributeurs de ce produit (Piccioni.Inc, Guimax, Fariz, etc.) Pour revêtir la surface totale (990,45 m² - tableau XI) du toit en barreaux d'asphalte d'une épaisseur de 12 mm dont la masse volumique est de 1120 Kg/ m³, il faudra débourser \$559.06, le même investissement sera requis pour le plancher en cas de renforcement, soit \$559.06. Quant à l'isolant en polystyrène utilisé pour augmenter l'isolation de la toiture, son coût est calculé comme suit :

$$\text{Prix de revient} = 990.45 * 2.17 / 12.89 = 166.73 \text{ \$}$$

On calcule le coût global de l'augmentation des isolants des murs, toits et planchers de la façon suivante :

$$370.53 + 559.06 + 559.06 + 166.73 = 1655.92 \text{ \$}$$

5.5 Modèle final

Les résultats de l'étude des paramètres sensibles montrent que la consommation électrique est influencée par les horaires, la puissance et la densité d'éclairage, la variation des paramètres de l'enveloppe, le taux d'infiltration et les conditions climatiques ne l'affecte pratiquement pas.

La consommation de gaz naturel demeure presque inchangée par la variation de l'orientation de la bâisse et de la charge d'éclairage. Cependant, la résistance thermique des vitres, le coefficient d'apport du rayonnement solaire, le taux d'infiltration ainsi que le rendement thermique de la chaudière constituent les facteurs influençant le plus la consommation de gaz.

Comme le gaz naturel représente 73.95% de l'énergie totale annuelle, et l'électricité 26.04%, il est évident qu'il est préférable de prendre en considération les éléments cités au paragraphe précédent en ce qui concerne les bâtiments similaires à l'immeuble 5250 Gatineau.

Tableau XXII
Paramètres du modèle final

Coefficient U du mur	0.99W/m ² °C
Coefficient U du plancher	0.56 W/m ² °C
Coefficient U du toit	0.90W/m ² °C
Durée de ventilation	12h/24h
Rendement thermique de la chaudière	0.79%

Les paramètres du modèle final retenus après cette étude sont énumérés au tableau XXII.

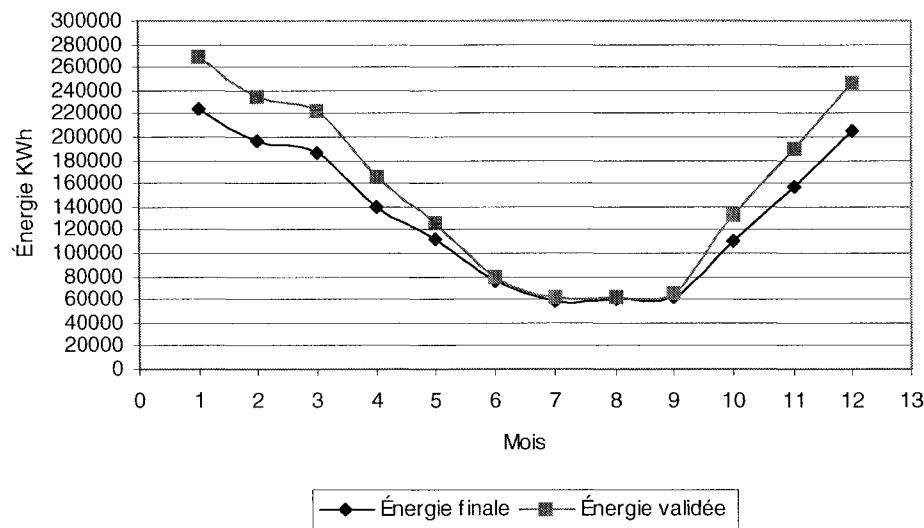


Figure 55 Comparaison entre le modèle de validation et le modèle final

En tenant compte des nouveaux paramètres choisis durant l'étude de sensibilité, une mesure d'économie d'énergie indique que l'écart qui existe entre le modèle ayant servi à la validation et le modèle final est estimé à 16.73%, ce qui représente une différence de

265776.11 kWh par année. Le tarif M [6], dont la structure est la suivante, peut être appliqué:

- 3.72¢ le kWh pour les 210000 premiers kWh,
- 2.42¢ le kWh pour le reste de l'énergie consommée.

Alors, le coût du kWh validé, qui est de l'ordre de 1854087.361 kWh, vaut

$$(210000 * 3.72) + (1854087.361 - 210000) * 2.42 = 47598.91\text{\$}$$

Le modèle final consomme une énergie chiffrée à 1588311.25 kWh. Le coût de cette énergie selon le tarif M est:

$$(210000 * 3.72) + (1588311.25 - 210000) * 2.42 = 41167.13\text{\$}$$

L'économie d'énergie réalisée par cette étude représente la différence entre le coût de la consommation du modèle de bâtiment de validation et celui du modèle final, moins le coût global investit au changement des isolants, elle est évaluée à 4775.86 \$:

$$(47598.91 - 41167.13 - 1655.92) = \mathbf{4775.86\text{\$}}$$

CONCLUSION

L'objectif de cette étude est de procéder à une analyse énergétique d'un bâtiment d'habitation. La méthodologie suivie consistait à valoriser la mesure d'économie d'énergie dans le secteur du bâtiment, à présenter les différentes méthodes d'estimation d'énergie et leurs caractéristiques, à choisir un logiciel de simulation énergétique approprié à l'étude de cas afin de modéliser l'immeuble en question et à entamer une étude préliminaire des paramètres sensibles influençant la consommation d'énergie.

Une revue de la littérature pertinente nous renseigne sur l'existence de plusieurs méthodes d'économie d'énergie, des méthodes simples aux méthodes détaillées par simulation. Les méthodes de simulation sont très performantes dans les analyses énergétiques de bâtiments, car elles traitent la majorité des paramètres signifiants reliés à la consommation d'énergie.

Beaucoup de logiciels de simulation relatifs à l'estimation d'énergie sont disponibles. Cependant, la sélection d'un logiciel dépend de ses capacités. Pour l'étude de cas entreprise dans ce mémoire, le logiciel DOE-2E et son interface EE4 ont été choisis pour faire les calculs. La validation du modèle de bâtiment sur le plan de la consommation d'énergie mensuelle et annuelle montre la précision du logiciel sélectionné. Cette étude peut servir de base pour l'estimation de la consommation d'énergie de bâtiments existants.

L'étude préliminaire des paramètres sensibles fournit des renseignements utiles sur les facteurs qui changent l'allure de la consommation d'énergie. Les résultats de cette étude ont montré que le changement d'éclairage n'a pas un impact aussi fort sur la consommation d'énergie que celui des modifications de l'isolation de l'enveloppe, de la fenestration, du rendement thermique de la chaudière, du régime de la ventilation et du taux d'infiltration.

Durant cette étude, il est apparu évident qu'un certain nombre de paramètres mérite d'être étudié attentivement : en particulier, la définition exacte du taux d'infiltration et le comportement humain. Ce dernier paramètre explique plusieurs choses, dont la ventilation par l'ouverture et la fermeture des fenêtres, l'utilisation des horaires d'éclairage, l'utilisation des thermostats de chauffage, l'utilisation des appareils électroménagers et le taux de présence des occupants à l'intérieur de l'immeuble.

ANNEXE 1

Bibliothèque des systèmes CVCA de DOE-2E

HVAC Systems Types Modeled in DOE-2

Code-	Word Description of System
-------	----------------------------

Single Supply Duct Types

SZRH	Single-Zone Fan with Optional Sub-Zone Reheat
PSZ	Packaged Single-Zone
SZCI	Single-Zone Ceiling Induction
RHFS	Constructed Done, Reheat Fan System
VAVS	Variable Volume Fan
PIU	Power Induction Unit
PVAVS P	Packaged Variable-Air Volume
PVVT	Packaged Variable-Volume, Variable-Temperature
PTGSD	Packaged Total Gas Solid Desiccant
CBVAV	Ceiling Bypass
EVAP-COOL	Evaporative Cooling

Air Mixing Types

MZS	Multi-Zone Fan
PMZS	Packaged Multi-Zone Fan
DDS	Dual Duct Fan

Terminal Units

TPFC	Two-Pipe Fan Coil
FPFC	Four-Pipe Fan Coil
TPIU	Two-Pipe Induction Unit
FPIU	Four-Pipe Induction Unit

PTAC	Packaged Terminal Air-Conditioner
HP	Heat Pump

Residential

RESYS	Residential
RESVVT	Residential Variable-Volume, Variable-Temp

Heating Zone

FPH	Floor Panel Heating
HVSYS	Heating and Ventilating
UHT	Unit Heater
UVT	Unit Ventilator

Diagnostics

SUM	Sum Zone Loads
-----	----------------

ANNEXE 2

Fichier entrée et sortie de DOE-2E

Fichier entrée de DOE-2E

INPUT LOADS ..

ABORT ERRORS ..

DIAGNOSTIC ERRORS ..

TITLE

LINE-1 = *Bensenouci ahmed*

LINE-2 = *Simulation énergétique *

LINE-3 = *Immeuble 5250 Gatineau, Montréal*

LINE-4 = *Non-Compliance*

LINE-5 = *Fonction de l'espace* ..

RUN-PERIOD JAN 1,2002 THRU DEC 31,2002 ..

BUILDING-LOCATION

HOLIDAY = NO

AZIMUTH = 45 ..

\$ Week Schedule for: CNÉB Horaire 'G' Éclairage \$

SCHED-W-49 = WEEK-SCHEDULE

(Mon)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

(Tue)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

(Wed)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

(Thu)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

(Fri)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

(Sat)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

(Sun)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

(Hol)

(1,8) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.20,0.50,0.50)

(9,16) (0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)

(17,24) (0.00,0.00,0.90,0.90,0.90,0.80,0.60,0.30)

..

\$ Lame d'air \$

MAT-0 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.01000 DENS = 0.0 S-H = 0.00 ..

\$ Panneau de gypse \$

MAT-2 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.09259 DENS = 50.0 S-H = 0.26 ..

\$ Panneau d'isolant rigide de fibre de verre \$

MAT-43 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.02914 DENS = 8.5 S-H = 0.18 ..

\$ Béton, agrégat sèché, 2240 kg/m3 \$

MAT-75 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.75758 DENS = 140.0 S-H = 0.20 ..

\$ Béton, agrégat humide, 2240 kg/m3 \$

MAT-76 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 1.04167 DENS = 140.0 S-H = 0.20 ..

\$ Toiture, rouleau d'asphalte \$

MAT-107 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.13125 DENS = 70.0 S-H = 0.36 ..

\$ Bois mou, sapin Douglas et mélèze \$

MAT-145 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.08418 DENS = 35.0 S-H = 0.39 ..

\$ Reference PolyStyrene \$

MAT-154 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.01667 DENS = 1.8 S-H = 0.29 ..

\$ Reference Concrete \$

MAT-155 = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 1.04167 DENS = 140.0 S-H = 0.20 ..

\$ Porte en bois plein \$

DOOR-6 = CONSTRUCTION ROUGHNESS = 6 ABSORPTANCE = 0.70

U-VALUE = 0.4175 ..

\$ Cloison intérieure \$

L-2-INT-PART-16-LAYERS = MATERIAL

TH = 0.0000 COND = 0.34561 DENS = 3.1 S-H = 0.12 ..

INT-PART-16-LAYERS = LAYERS INSIDE-FILM-RES = 0.68

MAT= (MAT-2,L-2-INT-PART-16-LAYERS,MAT-2,)

TH= (0.0427,0.2920,0.0427,) ..

INT-PART-16 = CONSTRUCTION ROUGHNESS = 5 ABSORPTANCE = 0.00

LAYERS = INT-PART-16-LAYERS ..

\$ toit 1 \$

ROOF-I-22-LAYERS = LAYERS INSIDE-FILM-RES = 0.62

MAT= (MAT-107,MAT-75,MAT-43,)

TH= (0.0197,0.6398,0.0820,) ..

ROOF-I-22 = CONSTRUCTION ROUGHNESS = 5 ABSORPTANCE = 0.00

LAYERS = ROOF-I-22-LAYERS ..

\$ mur test \$

WALL-24-LAYERS = LAYERS INSIDE-FILM-RES = 0.68

MAT= (MAT-76,MAT-43,MAT-2,)

TH= (0.6496,0.0722,0.0394,) ..

WALL-24 = CONSTRUCTION ROUGHNESS = 5 ABSORPTANCE = 0.70

LAYERS = WALL-24-LAYERS ..

\$ NECB Reference UG Floor 6.136 \$

FLOOR-I-27-LAYERS = LAYERS INSIDE-FILM-RES = 0.91

MAT= (MAT-154,MAT-155,)

TH= (0.0816,0.3333,) ..

FLOOR-I-27 = CONSTRUCTION ROUGHNESS = 1 ABSORPTANCE = 0.70

LAYERS = FLOOR-I-27-LAYERS ..

\$ NECB Reference UG Wall 13.636 \$

WALL-28-LAYERS = LAYERS INSIDE-FILM-RES = 0.68

MAT= (MAT-154,MAT-155,)

TH= (0.2106,0.3333,) ..

WALL-28 = CONSTRUCTION ROUGHNESS = 1 ABSORPTANCE = 0.70

LAYERS = WALL-28-LAYERS ..

TO-PLENUM = CONSTRUCTION ROUGHNESS = 5 ABSORPTANCE = 0.00

U-VALUE = 0.3170 ..

\$ G-0.616-0.700 Tp,13mm,LE.1,Ar,Ouv,Al \$

G-0.616-0.700 = GLASS-TYPE

GLASS-CONDUCTANCE = 0.6887 PANES = 2 SHADING-COEF = 0.644 ..

EXTERIOR-WALL

HEIGHT = 8.00
WIDTH = 32.29
CONSTRUCTION = WALL-24
TILT = 90
AZIMUTH = 90

\$ RC zone 4 S \$

ZONE-26 = SPACE

ZONE-TYPE = CONDITIONED
TEMPERATURE = (72)
PEOPLE-SCHEDULE = SCHED-48
LIGHTING-SCHEDULE= SCHED-49
EQUIP-SCHEDULE = SCHED-50
SOURCE-SCHEDULE = SCHED-52
AREA/PERSON = 538
PEOPLE-HG-SENS = 256
PEOPLE-HG-LAT = 188
LIGHTING-TYPE = INCAND
LIGHT-TO-SPACE = 1.000
LIGHTING-W/SQFT = 0.736
EQUIPMENT-W/SQFT = 1.30
EQUIP-SENSIBLE = 1.0
EQUIP-LATENT = 0.0
INF-METHOD = AIR-CHANGE
INF-CFM/SQFT = 0.032
SOURCE-TYPE = ELECTRIC

SOURCE-BTU/HR = 2435
 SOURCE-SENSIBLE = 0.500
 SOURCE-LATENT = 0.500
 FLOOR-WEIGHT = 70.00
 VOLUME = 38389
 AREA = 3839

PLANT-1 = PLANT-ASSIGNMENT

SYSTEM-NAMES = (

)

DHW-TYPE = GAS
 DHW-SIZE = 396.3
 DHW-HEAT-RATE = 229273
 DHW-EIR = 1.33
 DHW-LOSS = 0.000
 DHW-GAL/MIN = 11.082
 DHW-SUPPLY-T = 150.0
 DHW-INLET-T-SCH = SCHED-DHW-INLET-T
 DHW-SCH = PLANT-1-DHW
 DHW-FUEL-METER = M1

\$ Hot Water Pumps \$

HW-SUPPLY-T = 130.000
 HW-SUPPLY-RESET = NO-RESET
 HWP-IMPELLER-EFF = 0.770
 HWP-MOTOR-EFF = 0.850
 HWP-HEAD = 0.000
 HWP-CTRL = STANDBY
 HWP-CAP-CTRL = ONE-SPEED-PUMP
 HWP-MIN-SPEED = 0.750

HW-PIPE-LOSS-DT = 0.000

HWP-GPM = 341.180

Fichier de sortie (résultants)

MONTH	ELECTRICITY		NATURAL-GAS
	KWH		THERM
JAN			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	41933.1	7765.1	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	121.9	19.3	
PEAK DAY/HR	1/19	15/ 9	
FEB			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	37795.7	6716.7	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	121.9	19.7	
PEAK DAY/HR	4/19	4/ 9	
MAR			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	41477.2	6181.9	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	121.9	16.9	
PEAK DAY/HR	2/19	11/ 9	
APR			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	39382.4	4295.7	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	121.1	14.8	
PEAK DAY/HR	1/19	1/ 9	
MAY			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	39656.6	2946.0	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	119.4	10.6	
PEAK DAY/HR	6/19	7/ 9	
JUN			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	37556.2	1399.2	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	117.6	5.6	
PEAK DAY/HR	8/19	9/17	
JUL			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	38711.6	750.7	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	116.4	3.2	
PEAK DAY/HR	9/19	30/ 9	
AUG			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	38724.7	767.6	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	116.9	3.7	
PEAK DAY/HR	31/19	31/ 9	
SEP			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	37559.0	958.1	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	117.3	4.5	
PEAK DAY/HR	19/19	20/ 9	
OCT			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)	40131.7	3140.4	
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)	120.7	13.1	

	PEAK DAY/HR	26/19	28/ 9
NOV			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)		39875.6	5101.8
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)		121.9	17.0
	PEAK DAY/HR	23/19	22/ 9
DEC			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/MO)		41759.7	7010.6
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)		121.9	17.8
	PEAK DAY/HR	2/19	20/ 9
-----	-----	-----	-----
TOTAL			
ENERGY CONSUMPTION (UNITS/YR)		474563.5	47033.7
PEAK DEMAND (UNITS/HR OR DAY)		121.9	19.7
		DOE-2.1Ec133	8/04/2005 14:10:53 PDL RUN 1
	Non-Compliance	Fonction de l'espace	
REPORT- PS-C EQUIPMENT PART LOAD OPERATION			WEATHER FILE- Montreal Que CWEC
-----	-----	-----	-----

ANNEXE 3

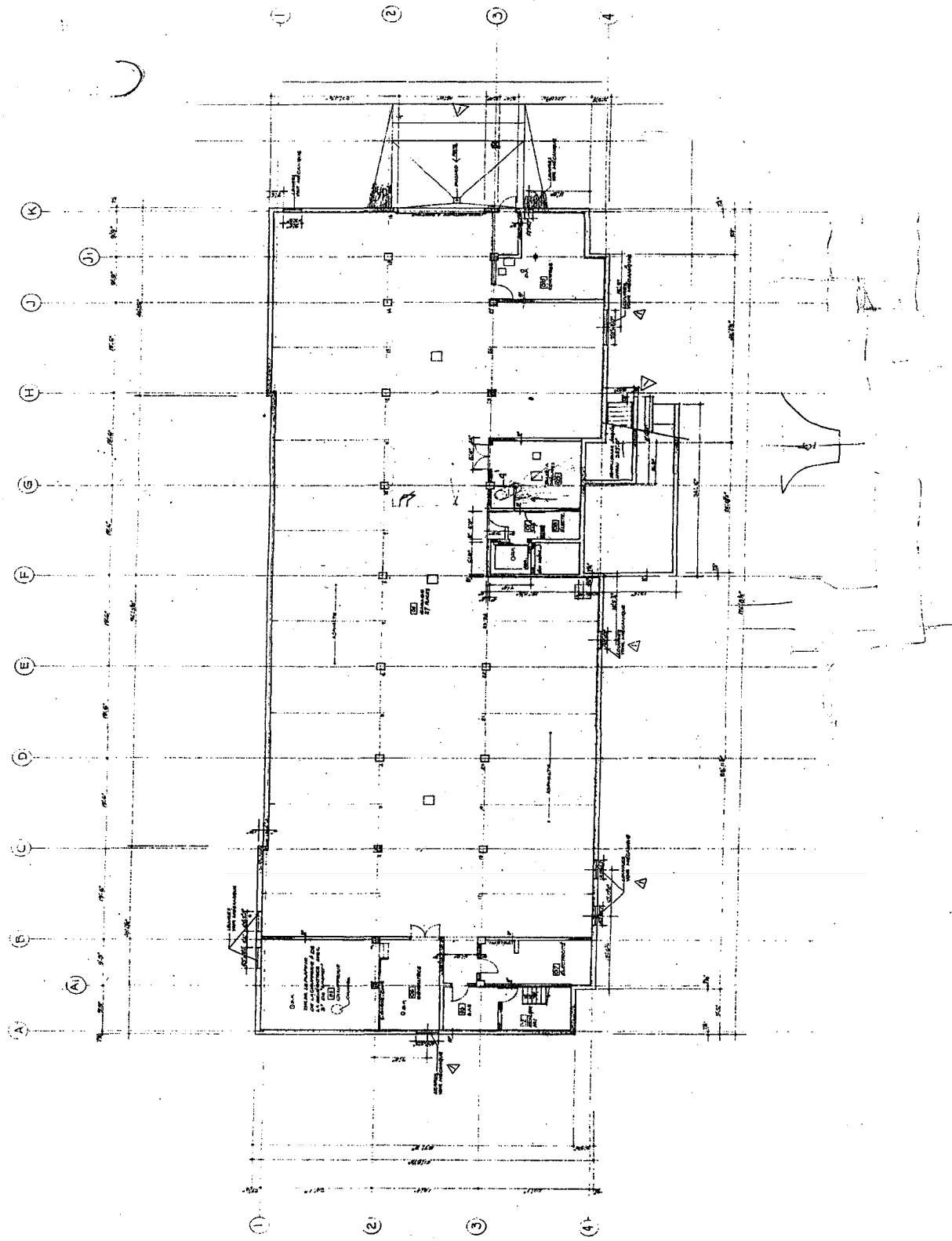
Plans architecturaux

HABITATIONS
CÔTE DES NEIGES

J. dom
la mare
pratte
architectes

A.2.1
 1342
 2. 5.75
 1351.10
 1351.10

SOL - 500



NO.	DATES	SYNTHÈSE	RÉSUMÉS
1	5-7-75	⚠️	CONFONCTION GÉNÉRALE

360

NOTE 1: LA PARTIE ENTRETIEN DE LA GRILLE A RÉGARDS ET LES CLÉS SONT INCLUS DANS L'IMPORTATION DES CLÉS. LA CLÉ DE RÉGARDS A UNE DISTANCE DE 1000 MM DU PAREMENT.

TYPE 1
GLOISON DANS ESCALIERS

TYPE 2
GLOISON ENTRE CORRID. & FLO.
ET PATURE L'ESCALIER

TYPE 3
GLOISON DANS CHAMBRE

**NOTE : LA TURBINE ENTRETIENANT LA CHUTE A DÉCHET
ET LES CLOCHE'S DOUBLÉES ENTRETIENANT DES
CONDENSEURS DE VENTILATION AURONT UNE
RÉSISTANCE AU FEU DE 2 HRS.**

TYPE 1
CLOISON DANS ESCALIERS

TYPE ②

TYPE 3
CLOSED OUT AGREEMENT

FIG. 10^e ÉLÉVATION BOITES AUX LETTRES

1-nd / 000-000
 M.C.
 10' x 10'
 2.5-75
 1343
 A.22

REZ. DE CHAUSSEE :

Num	Date	Échelle
1	25/7/75	1/100ème
2		
3		
4		

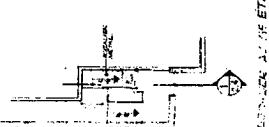
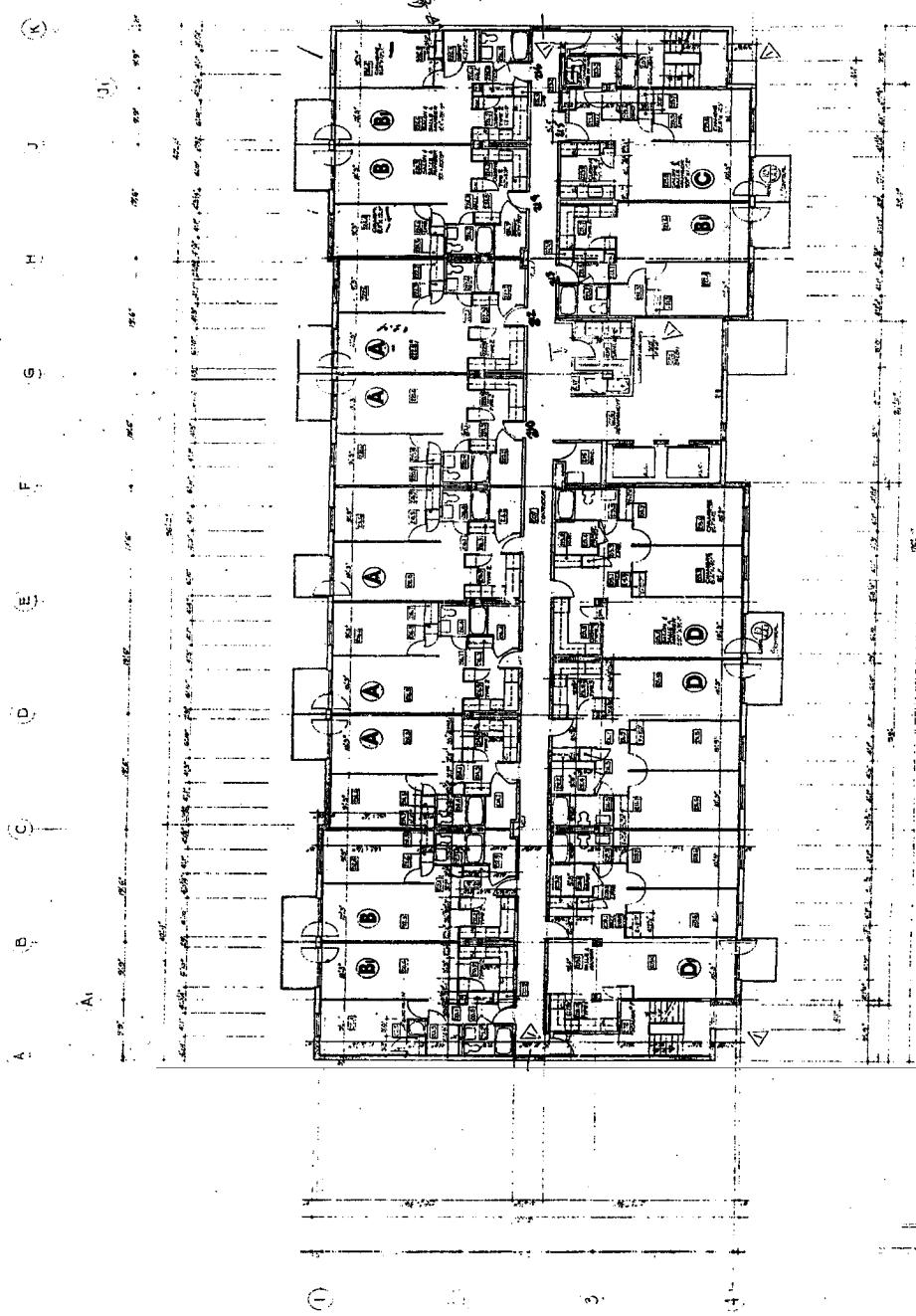
NOTRE PLAN DE CONSTRUCTION
EST UN DOCUMENT CONFIDENTIEL
DÉCRITURE : PLAN D'ASSEMBLAGE
DU LOGEMENTS
COTERESSES

HABITATIONS COTERESSES

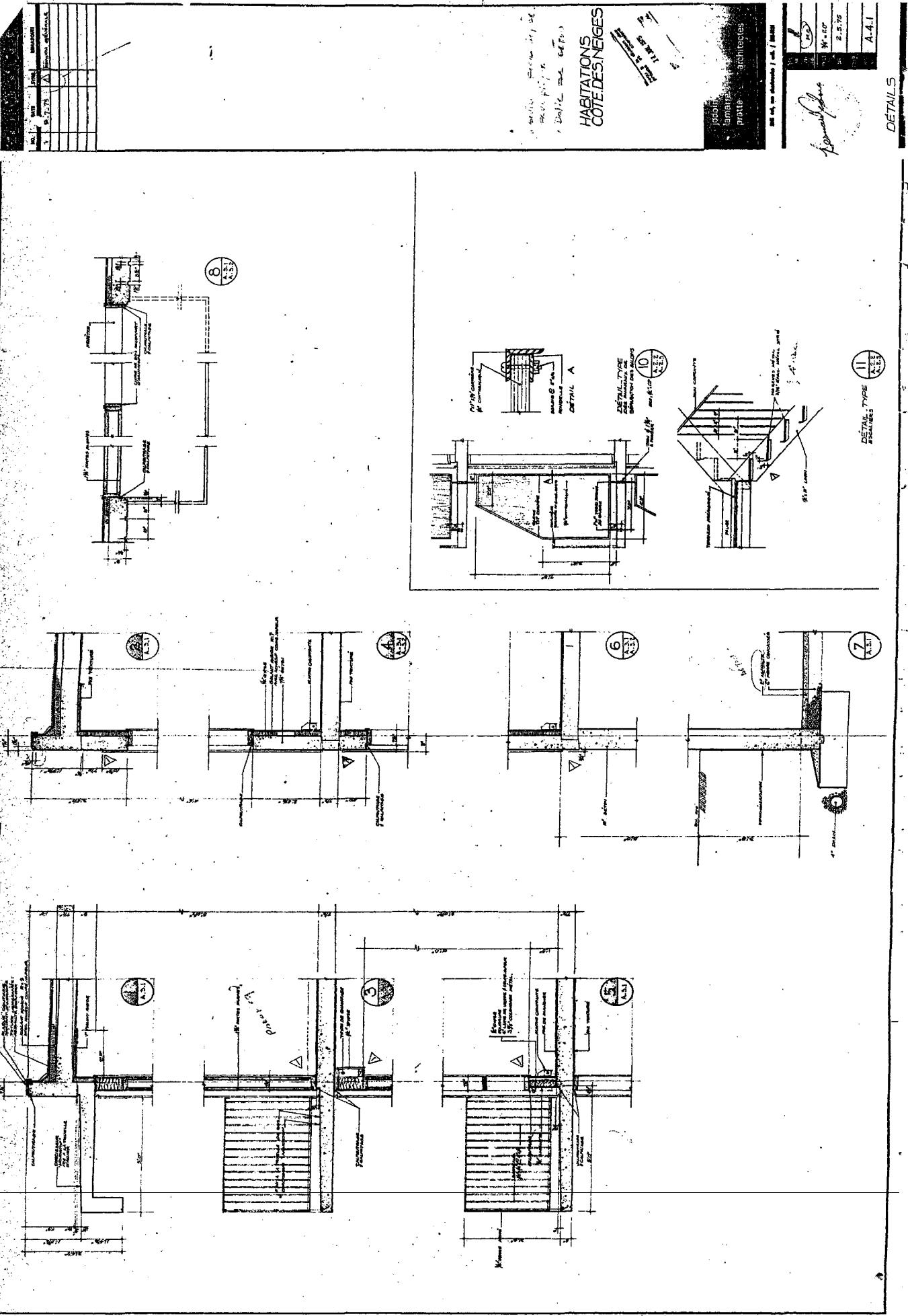
Architectes :
J. BONNET
M. MARIN
Praticien :
J. P. LAFAYETTE

Plan n° 1000000 / 1/100ème
A 2/3

Jean-Pierre Lafayette



CROISSEMENT A 1/100ème



ANNEXE 4

Tableaux des caractéristiques des fenêtres

Table 3. U-Factors for Various Penetrating Products in W/(m² K) (Concluded)

Vertical Insulation				Horizontal Insulation									
Garden Windows		Earthwall		Metal Only (Skylight)		Minimizes Daylight		Structural Glazing		Structural Glazing			
Garden Without Thermal Break	Wood/ Steel	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Center of Glass	Edge of Glass	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Wood/ Aluminum Clad Wood	Wood/ Vinyl	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Structural Glazing	10
14.25	15.42	6.93	6.39	4.10	4.76	11.21	10.75	9.96	8.28	3.73	3.09	7.09	1
15.25	16.71	6.11	5.48	5.43	5.85	10.51	9.93	9.03	7.85	5.99	5.29	6.36	2
16.25	17.45	6.32	5.69	5.69	6.30	9.59	9.07	9.52	7.89	5.51	5.21	6.02	3
16.50	9.16	4.47	3.86	3.59	3.97	7.61	6.87	5.95	4.79	3.68	3.09	3.78	4
9.72	3.68	4.14	3.51	3.26	3.24	7.39	6.57	5.66	4.53	3.49	3.05	3.78	5
9.97	3.88	4.20	3.58	3.30	3.20	7.19	6.46	5.58	4.51	3.49	3.28	3.78	6
9.47	3.67	3.99	3.36	3.18	3.01	7.29	6.46	5.58	4.51	3.48	3.25	3.78	7
16.85	8.91	4.43	3.78	3.45	3.67	7.24	6.43	5.55	4.59	3.45	3.06	3.78	8
9.98	3.69	3.94	3.31	3.06	3.07	7.19	6.40	5.52	4.48	3.40	3.01	3.78	9
9.61	4.05	4.26	3.53	3.20	3.20	6.98	6.16	5.28	4.26	3.20	2.86	3.78	10
9.13	3.79	3.89	3.37	3.02	2.78	6.99	6.16	5.29	4.26	3.20	2.86	3.78	11
9.80	8.73	4.26	3.65	3.30	3.59	7.07	6.26	5.38	4.43	3.30	2.96	3.41	12
9.13	3.73	3.81	3.37	3.02	2.89	7.03	6.21	5.34	4.35	3.26	2.93	3.41	13
9.29	3.83	3.91	3.36	3.01	2.89	6.79	6.07	5.21	4.29	3.29	2.97	3.41	14
8.71	7.86	3.55	3.02	2.87	2.61	6.93	6.26	5.38	4.43	3.30	2.96	3.41	15
9.47	3.47	3.50	3.36	3.11	2.67	5.95	6.23	5.39	4.44	3.35	3.11	3.16	16
8.62	7.76	3.59	3.07	2.85	2.61	5.99	6.25	5.45	4.49	3.34	3.11	3.16	17
8.88	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.91	6.17	5.31	4.39	3.37	3.07	3.16	18
8.19	7.49	3.26	2.85	2.63	2.37	5.97	6.11	5.39	4.44	3.32	3.07	3.16	19
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	20
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	21
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	22
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	23
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	24
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	25
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	26
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	27
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	28
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	29
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	30
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	31
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	32
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	33
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	34
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	35
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	36
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	37
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	38
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	39
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	40
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	41
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	42
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	43
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	44
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	45
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	46
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	47
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	48
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	49
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	50
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	51
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	52
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	53
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	54
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	55
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	56
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	57
9.64	3.61	3.61	3.39	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	58
9.24	3.59	3.59	3.37	3.13	2.75	5.56	6.71	5.63	5.18	4.06	3.66	3.02	59
9.19	8.24	3.54	3.23	2.97	2.59	5.29	6.75	5.69	5.24	4.08	3.68	3.02	60
9.56	3.65	3.66	3.35	3.11	2.77	5.59	6.75	5.66	5.21	4.09	3.69	3.02	61
9.64	3.61	3.61	3.39	3.1									

Table II. Visible Transmission (VT), Shading Coefficient (SC), and Solar Heat Gain Coefficients (SHGC) at Normal Incidence for Single Pane Glass and Insulating Glass

Glass Thickness Dowm	Glazing System		Glazing SHGC at Specified Incidence Angles						Total Window SHGC at Normal Incidence			Total Window VT at Normal Incidence		
	Center Glazing VT	Outer Glazing SC	Normal			45°			60°			70°		
			Diffuse	Aluminum	Other Frame	Diffuse	Aluminum	Other Frame	Diffuse	Aluminum	Other Frame	Diffuse	Aluminum	Other Frame
<i>Uncoated Single Glazing</i>														
1/8 32 Clear	0.90	1.00	0.88	0.85	0.83	0.78	0.73	0.67	0.73	0.70	0.63	0.71	0.65	0.76
1/8 64 Clear	0.89	0.91	0.81	0.89	0.77	0.73	0.62	0.73	0.71	0.74	0.60	0.71	0.65	0.78
1/8 32 Bronze	0.66	0.60	0.73	0.71	0.69	0.64	0.55	0.65	0.64	0.67	0.54	0.64	0.49	0.59
1/8 64 Bronze	0.55	0.53	0.63	0.59	0.58	0.56	0.46	0.53	0.55	0.57	0.46	0.54	0.40	0.58
1/8 32 Green	0.81	0.82	0.78	0.88	0.86	0.82	0.73	0.83	0.82	0.85	0.73	0.82	0.69	0.71
1/8 64 Green	0.74	0.68	0.78	0.76	0.71	0.64	0.52	0.71	0.72	0.73	0.61	0.71	0.54	0.64
1/8 32 Grey	0.62	0.57	0.70	0.68	0.66	0.61	0.53	0.63	0.61	0.64	0.52	0.61	0.45	0.54
1/8 64 Grey	0.40	0.62	0.56	0.53	0.51	0.49	0.41	0.49	0.50	0.51	0.43	0.42	0.31	0.39
1/8 64 Bluegreen	0.75	0.71	0.62	0.59	0.51	0.54	0.48	0.53	0.53	0.57	0.46	0.53	0.51	0.65
<i>Insulating Single Glazing</i>														
1/8 64 SS on CLR 10%	0.08	0.07	0.09	0.10	0.10	0.11	0.15	0.17	0.16	0.16	0.15	0.17	0.06	0.07
1/8 64 SS on CLR 14%	0.14	0.13	0.20	0.23	0.24	0.23	0.20	0.23	0.23	0.24	0.19	0.22	0.10	0.12
1/8 64 SS on CLR 20%	0.20	0.16	0.31	0.30	0.30	0.28	0.24	0.28	0.28	0.29	0.24	0.27	0.15	0.17
1/8 64 SS on GAN 14%	0.12	0.20	0.23	0.25	0.24	0.23	0.20	0.23	0.23	0.24	0.19	0.22	0.09	0.10
1/8 64 TI on CLR 20%	0.20	0.16	0.29	0.28	0.26	0.23	0.21	0.27	0.27	0.27	0.22	0.26	0.15	0.17
1/8 64 TI on CLR 10%	0.30	0.43	0.38	0.39	0.31	0.30	0.30	0.35	0.35	0.36	0.29	0.34	0.23	0.26
<i>Uncoated Double Glazing</i>														
1/8 32 CLR CLR	0.81	0.81	0.75	0.73	0.70	0.61	0.49	0.61	0.65	0.68	0.55	0.63	0.59	0.71
1/8 64 CLR CLR	0.78	0.81	0.70	0.68	0.65	0.58	0.45	0.60	0.61	0.64	0.52	0.61	0.57	0.68
1/8 32 BRZ CLR	0.62	0.72	0.62	0.59	0.57	0.51	0.39	0.51	0.53	0.57	0.46	0.54	0.43	0.54
1/8 64 BRZ CLR	0.48	0.59	0.52	0.49	0.46	0.40	0.31	0.42	0.45	0.46	0.37	0.44	0.35	0.42
1/8 32 GRN CLR	0.74	0.70	0.60	0.57	0.55	0.48	0.38	0.51	0.51	0.53	0.43	0.53	0.34	0.54
1/8 64 GRN CLR	0.66	0.54	0.47	0.44	0.42	0.34	0.30	0.40	0.42	0.43	0.33	0.41	0.29	0.57
1/8 32 GRY CLR	0.56	0.59	0.59	0.57	0.54	0.48	0.37	0.50	0.52	0.54	0.44	0.53	0.41	0.49
1/8 64 GRY CLR	0.40	0.31	0.44	0.42	0.40	0.35	0.28	0.39	0.39	0.41	0.27	0.39	0.29	0.35
1/8 64 BLU GRN CLR	0.67	0.58	0.56	0.57	0.45	0.40	0.32	0.43	0.43	0.46	0.37	0.44	0.39	0.58
1/8 64 BLU PGRN CLR	0.59	0.46	0.39	0.37	0.35	0.31	0.29	0.33	0.33	0.36	0.29	0.34	0.23	0.31
<i>Reflective Double Glazing</i>														
1/8 64 SS on CLR 5% CLR	0.07	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.10	0.12	0.13	0.13	0.10	0.12	0.05	0.06
1/8 64 SS on CLR 14% CLR	0.13	0.20	0.17	0.17	0.16	0.15	0.12	0.15	0.17	0.16	0.13	0.15	0.09	0.11
1/8 64 SS on CLR 20% CLR	0.18	0.26	0.22	0.21	0.21	0.19	0.16	0.19	0.21	0.21	0.17	0.20	0.13	0.16
1/8 64 SS on GBR 14% CLR	0.13	0.18	0.16	0.16	0.15	0.14	0.13	0.14	0.16	0.16	0.13	0.14	0.08	0.10
1/8 64 TI on CLR 20% CLR	0.18	0.24	0.21	0.20	0.20	0.18	0.15	0.19	0.20	0.20	0.16	0.19	0.13	0.16
1/8 64 TI on CLR 10% CLR	0.37	0.33	0.29	0.28	0.27	0.25	0.20	0.28	0.27	0.27	0.22	0.26	0.20	0.24
<i>Low-e Double Glazing, ε = 0.1 vs Surface 2</i>														
1/8 32 LEC CLR	0.76	0.76	0.69	0.63	0.59	0.43	0.37	0.57	0.59	0.49	0.37	0.55	0.55	0.66
1/8 64 LEC CLR	0.73	0.70	0.60	0.58	0.56	0.51	0.40	0.53	0.53	0.53	0.41	0.53	0.53	0.64
<i>Low-e Double Glazing, ε = 0.3 vs Surface 2</i>														
1/8 32 CLR CLR	0.76	0.81	0.70	0.68	0.65	0.59	0.46	0.61	0.61	0.64	0.52	0.61	0.55	0.66
1/8 64 CLR CLR	0.73	0.75	0.65	0.63	0.60	0.54	0.42	0.56	0.57	0.59	0.48	0.57	0.53	0.64
1/8 32 BRZ CLR	0.58	0.66	0.57	0.54	0.52	0.46	0.36	0.48	0.50	0.52	0.42	0.50	0.42	0.51
1/8 64 BRZ CLR	0.45	0.52	0.48	0.42	0.40	0.35	0.27	0.37	0.40	0.41	0.34	0.40	0.33	0.39
1/8 32 GRN CLR	0.70	0.67	0.65	0.62	0.58	0.54	0.44	0.66	0.66	0.66	0.50	0.61	0.51	0.61
1/8 64 GRN CLR	0.64	0.68	0.62	0.59	0.57	0.53	0.45	0.58	0.58	0.58	0.41	0.58	0.44	0.59
1/8 32 GRY CLR	0.53	0.67	0.54	0.51	0.49	0.41	0.31	0.46	0.46	0.50	0.40	0.47	0.35	0.46
1/8 64 GRY CLR	0.37	0.46	0.39	0.36	0.34	0.31	0.24	0.33	0.35	0.36	0.29	0.34	0.27	0.32
1/8 64 BLU GRN CLR	0.62	0.53	0.45	0.43	0.40	0.35	0.27	0.37	0.40	0.41	0.34	0.40	0.34	0.44
1/8 64 BLU PGRN CLR	0.53	0.40	0.34	0.31	0.29	0.26	0.20	0.31	0.32	0.35	0.26	0.33	0.24	0.38
<i>Low-e Double Glazing, ε = 0.1 vs Surface 2</i>														
1/8 32 LEC CLR	0.73	0.62	0.54	0.52	0.49	0.44	0.34	0.46	0.46	0.50	0.40	0.47	0.34	0.45
1/8 64 LEC CLR	0.73	0.59	0.51	0.49	0.47	0.42	0.34	0.45	0.45	0.47	0.36	0.45	0.32	0.43
1/8 32 BRZ CLR	0.57	0.66	0.46	0.44	0.43	0.39	0.31	0.41	0.43	0.44	0.36	0.43	0.31	0.40
1/8 64 BRZ CLR	0.43	0.49	0.39	0.37	0.34	0.31	0.24	0.33	0.35	0.36	0.29	0.34	0.22	0.38
1/8 32 GRN CLR	0.68	0.57	0.49	0.47	0.44	0.40	0.34	0.42	0.44	0.45	0.37	0.43	0.39	0.49
1/8 64 GRN CLR	0.53	0.45	0.39	0.36	0.34	0.32	0.24	0.31	0.33	0.35	0.26	0.34	0.24	0.33
1/8 32 GRY CLR	0.52	0.53	0.46	0.44	0.41	0.37	0.29	0.39	0.41	0.42	0.34	0.41	0.28	0.35
1/8 64 GRY CLR	0.37	0.40	0.33	0.33	0.31	0.28	0.22	0.29	0.32	0.33	0.26	0.31	0.27	0.32
1/8 64 BLU GRN CLR	0.62	0.48	0.42	0.39	0.37	0.33	0.26	0.35	0.36	0.39	0.32	0.37	0.25	0.34

Table 11. Visible Transmission (VT), Shading Coefficient (SC), and Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) at Normal Incidence for Single Panel Glass and Insulating Glass (Continued)

Glass Thickness, ID mm	Glazing System	Center Glazing Thickness, mm	Outer Glazing Thickness, mm	Glazing SHGC at Specified Incidence Angles					Total Window SHGC* at Normal Incidence			Total Window VT at Normal Incidence			
				Normal					Sheets (Doubled)			Operable Fixed			
				VT	SC	9°	45°	50°	60°	70°	Doubled	Operable Fixed	Operable Fixed		
<i>Double Glazing, $r = 0.05$ on Surface 2</i>															
15a 12 12 CLR		0.72	0.49	0.41	0.36	0.38	0.36	0.34	0.35	0.37	0.38	0.31	0.38	0.32	
15b 6.4 12 CLR		0.78	0.40	0.37	0.34	0.31	0.29	0.23	0.22	0.24	0.24	0.13	0.31	0.26	
15c 6.4 12G 12 LECLR		0.43	0.36	0.38	0.34	0.32	0.31	0.10	0.23	0.24	0.24	0.13	0.16	0.21	
15d 6.4 12G W4 CLR		0.66	0.35	0.39	0.36	0.35	0.30	0.19	0.26	0.26	0.26	0.23	0.23	0.32	
15e 6.4 GRY W4 CLR		0.55	0.37	0.39	0.32	0.31	0.16	0.03	0.26	0.27	0.27	0.18	0.21	0.20	
15f 6.4 12 GBL W4 CLR		0.45	0.32	0.27	0.21	0.13	0.15	0.10	0.23	0.23	0.23	0.21	0.23	0.23	
15g 6.4 12 GORN W4 CLR		0.53	0.31	0.27	0.20	0.18	0.21	0.18	0.24	0.24	0.24	0.20	0.20	0.20	
<i>Triple Glazing</i>															
15h 12 CLR CLR CLR		0.74	0.76	0.57	0.65	0.63	0.51	0.39	0.57	0.59	0.61	0.50	0.29	0.54	0.64
15i 6.4 CLR CLR CLR		0.70	0.71	0.61	0.66	0.53	0.48	0.33	0.51	0.54	0.56	0.45	0.24	0.51	0.61
15j 6.4 H PGH2N CLR CLR		0.33	0.39	0.34	0.31	0.29	0.24	0.19	0.27	0.31	0.32	0.26	0.30	0.38	0.46
<i>Triple Glazing, $r = 0.2$ on Surface 2</i>															
15k 12 LECLR CLR		0.66	0.60	0.60	0.56	0.48	0.45	0.39	0.51	0.53	0.55	0.43	0.33	0.46	0.59
15l 6.4 12 CLR CLR		0.64	0.61	0.59	0.50	0.47	0.41	0.38	0.44	0.47	0.49	0.39	0.37	0.46	0.56
<i>Triple Glazing, $r = 0.2$ on Surface 3</i>															
15m 12 LECLR CLR		0.66	0.60	0.60	0.56	0.48	0.45	0.39	0.51	0.53	0.55	0.43	0.33	0.46	0.59
15n 6.4 12 CLR CLR		0.64	0.61	0.59	0.50	0.47	0.41	0.38	0.44	0.47	0.49	0.39	0.37	0.46	0.56
<i>Triple Glazing, $r = 0.2$ on Surface 3 and 5</i>															
15o 12 LECLR LR		0.62	0.32	0.43	0.45	0.39	0.36	0.30	0.38	0.40	0.41	0.34	0.40	0.45	0.51
15p 6.4 12 CLR LR		0.59	0.42	0.41	0.39	0.42	0.32	0.23	0.34	0.37	0.38	0.31	0.36	0.49	0.51
<i>Triple Glazing, $r = 0.05$ on Surface 2 and 4</i>															
15q 12 LECLR CLR		0.58	0.37	0.32	0.30	0.29	0.26	0.19	0.27	0.29	0.30	0.24	0.26	0.42	0.51
15r 6.4 12 LECLR CLR		0.55	0.36	0.31	0.29	0.26	0.23	0.19	0.26	0.28	0.29	0.24	0.27	0.40	0.48

KEY:

* Total window SHGC = glass, SHGT + glass, SR = standard solar reflective coating.

** VT = visible transmittance, See Visible Transmission, Sec. 39 WEC, or Solar Heat Gain Coefficients, and HEWES in the Hemispherical SHGC.

** SC = solar heat gain coefficient, 0.05 = glass with 1 mm low-e coating, 0.02 = glass with 1 mm low-e coating with air transmission of $r = 0.05$.

Total window SHGC = glass, SHGT + glass, SR = standard solar reflective coating.

** VT = visible transmittance, See Visible Transmission, Sec. 39 WEC, or Solar Heat Gain Coefficients, and HEWES in the Hemispherical SHGC.

** SC = solar heat gain coefficient, 0.05 = glass with 1 mm low-e coating.

** SR = standard solar reflectance value in U-factors in Table 3 SHGC or SHGT is 0.

Copyright 1997, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. www.ashrae.org. Reproduced with permission, ASHRAE 1997 Fundamentals Handbook

ANNEXE 5

Horaire d'exploitation, Table G

TABLEAU 4.3.2.C. HORAIRE D'EXPLOITATION G

	18	24	30	42	54	66	78	90	102	114	12	1p	2p	3p	4p	5p	5p	7p	8p	9p	10p	11p	12	
Occupation																								
Lun - ven	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
Sam	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
Dim	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
Éclairage																								
Lun - ven	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.3
Sam	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.3
Dim	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.3
Pr. courant																								
Lun - ven	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.2	0.9	0.9	0.7	0.5	0.5	0.3	
Sam	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.2	0.9	0.9	0.7	0.5	0.5	0.3	
Dim	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.2	0.9	0.9	0.7	0.5	0.5	0.3	
Ventilateurs																								
Lun - ven	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
Sam	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
Dim	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
Refroid.																								
Lun - ven	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
Sam	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
Dim	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
Chaudrage																								
Lun - ven	18	18	18	18	18	18	20	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
Sam	18	18	18	18	18	18	20	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
Dim	18	18	18	18	18	18	20	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
Eau chaude																								
Lun - ven	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2	0.8	0.7	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.7	0.7	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	
Sam	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.9	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	
Dim	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2		

ANNEXE 6

Cédule d'utilisation de l'eau chaude

SCHED-DHW-INLET-T = SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (55) ..

PLANT-1-DHW-W = WEEK-SCHEDULE

(Mon)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)

(9,16) (0.50,0.40,0.20,0.21,0.21,0.30,0.50,0.50)

(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)

(Tue)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)

(9,16) (0.50,0.40,0.20,0.21,0.21,0.30,0.50,0.50)

(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)

(Wed)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)

(9,16) (0.50,0.40,0.20,0.21,0.21,0.30,0.50,0.50)

(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)

(Thu)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)

(9,16) (0.50,0.40,0.20,0.21,0.21,0.30,0.50,0.50)

(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)

(Fri)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)

(9,16) (0.50,0.40,0.20,0.21,0.21,0.30,0.50,0.50)

(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)

(Sat)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.50)

(9,16) (0.50,0.50,0.30,0.31,0.31,0.31,0.70,0.90)

(17,24) (0.70,0.70,0.60,0.50,0.40,0.30,0.20,0.10)

(Sun)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20)

(9,16) (0.30,0.30,0.20,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60)
(17,24) (0.70,0.40,0.30,0.20,0.20,0.20,0.20,0.10)
(Hol)
(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20)
(9,16) (0.30,0.30,0.20,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60)
(17,24) (0.70,0.40,0.30,0.20,0.20,0.20,0.20,0.10)

..
SCHED-W-401 = WEEK-SCHEDULE

(Mon)
(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)
(9,16) (0.55)
(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)
(Tue)
(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)
(9,16) (0.55)
(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)
(Wed)
(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)
(9,16) (0.55)
(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)
(Thu)
(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)
(9,16) (0.55)
(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)
(Fri)
(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.79,0.69)
(9,16) (0.55)
(17,24) (0.70,0.70,0.40,0.40,0.20,0.20,0.10,0.10)

(Sat)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20,0.50)

(9,16) (0.55)

(17,24) (0.70,0.70,0.60,0.50,0.40,0.30,0.20,0.10)

(Sun)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20)

(9,16) (0.55)

(17,24) (0.70,0.40,0.30,0.20,0.20,0.20,0.20,0.10)

(Hol)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.20)

(9,16) (0.55)

(17,24) (0.70,0.40,0.30,0.20,0.20,0.20,0.20,0.10)

\$SCHED-DHW-INLET-T = SCHEDULE THRU SEP 30 (ALL) (1,24) (70) ..\$

SCHED-W-402 = WEEK-SCHEDULE

(Mon)

(1,8) (0.01,0.01,0.02,0.04,0.04,0.03,0.03,0.01)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.03,0.03,0.03,0.02,0.02,0.03,0.03,0.03)

(Tue)

(1,8) (0.01,0.01,0.01,0.01,0.02,0.02,0.02,0.02)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.02,0.01,0.03,0.01,0.03,0.02,0.03,0.03)

(Wed)

(1,8) (0.02,0.01,0.01,0.02,0.02,0.02,0.02,0.02)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.01,0.01,0.02,0.02,0.03,0.01,0.02,0.03)

(Thu)

(1,8) (0.01,0.01,0.01,0.01,0.02,0.02,0.02,0.01)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.02,0.03,0.02,0.02,0.02,0.02,0.02,0.01)

(Fri)

(1,8) (0.01,0.01,0.00,0.01,0.01,0.02,0.03,0.01)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.01,0.01,0.01,0.03,0.03,0.03,0.03,0.02)

(Sat)

(1,8) (0.00,0.00,0.05,0.00,0.02,0.03,0.03,0.03)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.03,0.03,0.02,0.01,0.02,0.02,0.01,0.03)

(Sun)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.04)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.09,0.09,0.10,0.08,0.08,0.09,0.09,0.10)

(Hol)

(1,8) (0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.06)

(9,16) (0.35)

(17,24) (0.09,0.11,0.08,0.09,0.05,0.07,0.09,0.10)

..

PLANT-1-DHW = SCH

THRU JUN 15, SCHED-W-401

THRU OCT 15, SCHED-W-402

THRU DEC 31, PLANT-1-DHW-W ..

ANNEXE 7

Consommation d'énergies, données selon OMHM



Office municipal
d'habitation
de Montréal

Fiche immeuble

NUMÉRO IMMEUBLE 5630100

Données physiques

Adresse	5250 GATINEAU	Type d'immeuble	GGG
Nom d'habitation	Cote-Des-Neiges	Nombre d'étages	6
Secteur	8 200 OUEST	Nombre de logements	81
Sous secteur	8 240	Nombre de personnes	97
Construction/Acquisition	1976	Superficie (m ²)	6 998
Stationnement intérieur	Oui	Logement familiale	
NOTE		Taux d'occupation	72,14

Ventilation

		<u>Chambres à couché</u>	
Active	Oui	1 cc	63
Débit d'air 1 (CFM)		2 cc	18
Heure départ		3 cc	
Heure fin		4 cc	
Puissance (HP)		5 cc	
Temp. soufflage		6 cc	
		7 cc	

Compteur

Numéro compteur	Ratio
5630100E000	100,00 %
5630100G000	100,00 %





Office municip
d'habitation
de Montréal

Évolution de la consommation mensuelle par poste énergétique

GROUPE D'HABITATIONS

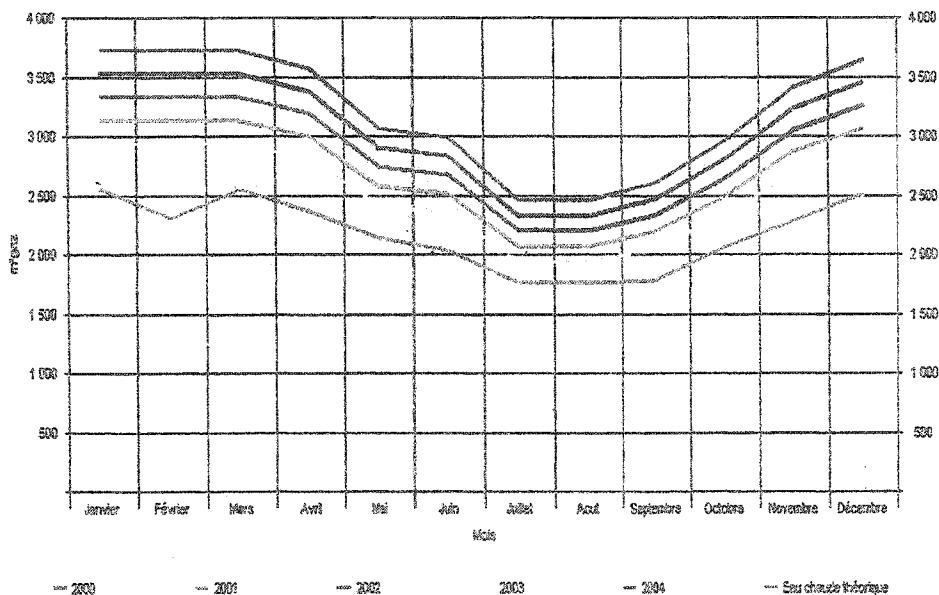
Numéro d'habitation : 563

Nombre d'immeuble : 1

Superficie totale : 6 998 m²

DÉTAILS DE LA CONSOMMATION

Eau chaude total





Office municipal
d'habitation
de Montréal

Évolution de la consommation mensuelle par poste énergétique

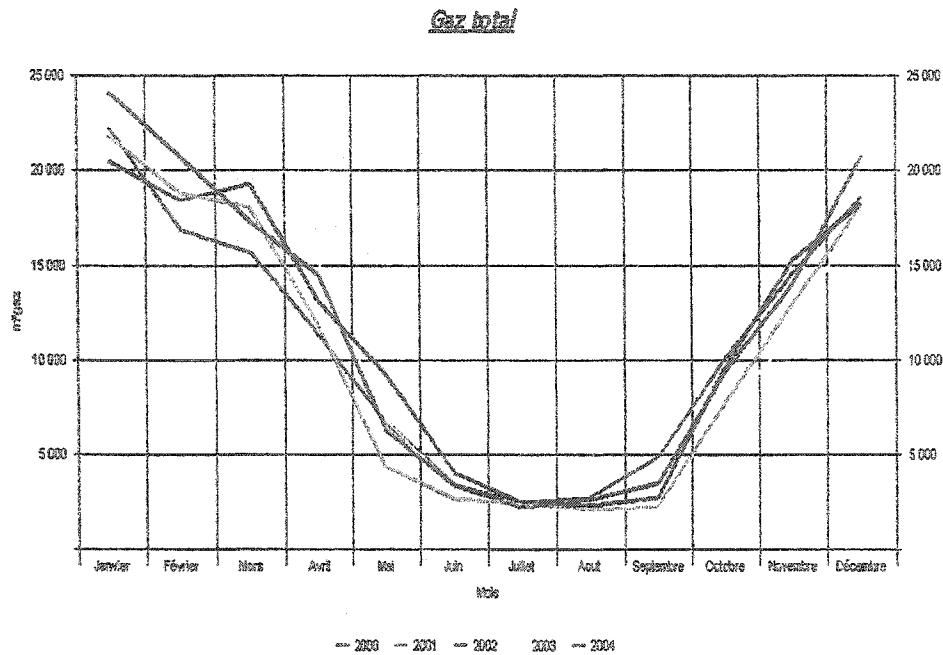
GROUPÉ D'HABITATIONS

Numéro d'habitation : 563

Nombre d'immeuble : 1

Superficie totale : 6 998 m²

DÉTAILS DE LA CONSOMMATION





Office municipa
l d'habitation
de Montréal

Évolution de la consommation mensuelle par poste énergétique

GROUPE D'HABITATIONS

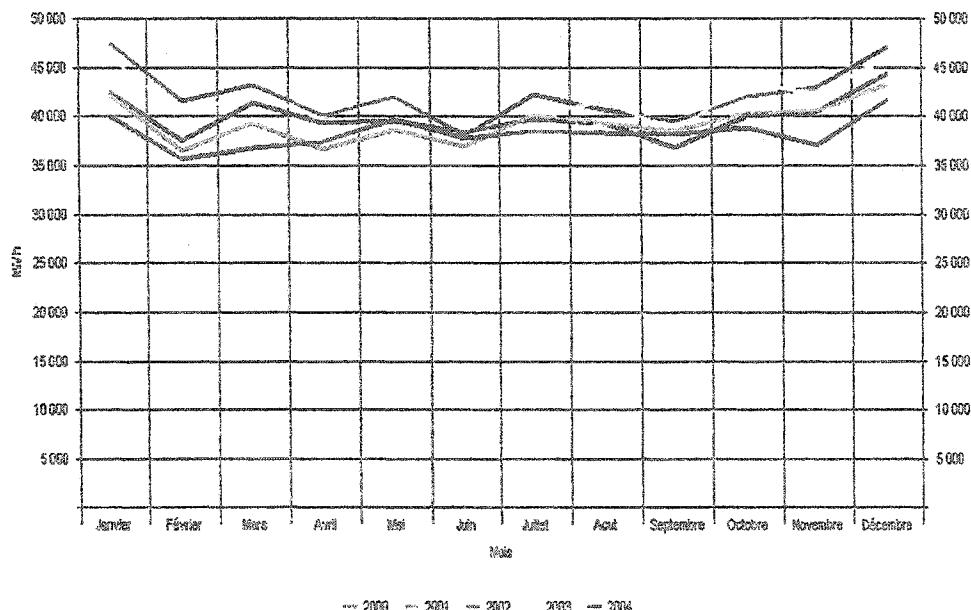
Numéro d'habitation : 563

Nombre d'immeuble : 1

Superficie totale : 6 998 m²

DÉTAILS DE LA CONSOMMATION

Électricité totale



ANNEXE 8

Fichier données de l'habitation 5250 Gatineau

CIBLE - OMHM
DEFINITION DU SITE No 2

Nom du site : COTE DES NEIGES Surface : 6975. (m2)

Nom du fichier de releve : COTEDESN code locatif : 5630100

Mois et annee pour le debut du calcul des cibles : 1 1987

Dernier calcul des factures : 88/08/25

TEMPERATURES	-de climatisation : 25.0	de chauffage :	- normal : 21.0
			- setback : 21.0
			- garage : 10.0

		elec.	comb.
EFFICACITE	- du chauffage :	1.00	.68
	du chauffe-eau :	1.00	.60
C.O.P.	de climatisation :	3.0	
Pourcentage des gains internes			
	Credites au chauffage :	.00	.80

Respons : ROBERT THOUIN titre GERANT D IMMEUBLE
 Adresse : 4085 ST- ANDRE
 MONTREAL

CALCUL DES CIBLES DE CONSOMMATION

de JAN 1987 a DEC 1987

Mois	Puiss. elec.(kW)		Cons elec (kWh)		Cons de comb (kWh)	
	normale	reelle	normale	reelle	normale	reelle
JAN	293.	333	80777	68470	129385	117719
FEV	287	360	69632	65023	107705	105963
MAR	245	285	65259	58830	89026	72638
AVR	179	188	46995	40531	45918	37831
MAI	117	141	35460	36182	39092	39092
JUN	74	96	28607	28519	37831	37831
JUL	66	85	27686	27533	39092	39092
AOU	69	104	28579	29885	39092	39092
SEP	95	137	31839	32108	37831	37831
OCT	130	173	41861	43066	39092	39092
NOV	200	246	52744	51578	70134	72858
DEC	265	291	70308	59692	113301	95046
			-----	-----	-----	-----
	Total :		579154	537423	787506	737543

SITE : COTE DES NEIGES

BATIMENT 1 : 5250 AVE. GATINEAU DATE DE RELEVE 85/17/31

CHARGES DE BASE

Description	Puiss.	%	----horaire----				J/S	%	%	E/C
	Instal.	S.P	HD	HA	MD	MA	G.I..	clim.		
1 ECLAIR GARAGE	1.5	1.00	0	24	1	12	7	1.00	0.00	E
2 ECLAIR CORRIDOR	2.9	0.96	0	24	1	12	7	1.00	0.00	E
3 ECLAIR LOGE.	47.4	0.20	19	23	1	12	7	1.00	0.00	E
4 ECLAIR EXTER.	1.6	0.30	17	9	1	12	7	0.00	0.00	E
5 ASCENSEUR	30.0	1.00	12	18	1	12	7	1.00	0.00	E
6 BUANDRIE	11.0	0.40	8	18	1	12	7	1.00	0.00	E
6 EQUIP.ELCTROMEC.	0.6	1.00	8	20	1	12	7	1.00	0.00	E
7 POMPE CIRCUL.	1.9	1.00	0	24	1	12	7	1.00	0.00	E
8 MOT.CONST.	4.6	1.00	0	24	1	12	7	1.00	0.00	E
9. MOT. INCONST.	1.4	0.30	0	2	1	12	7	1.00	0.00	E

CHARGES DE TRANSMISSION DE MUR

Description	Surf. mur	RSI	----horaire----				J/S	% clim	Chauffage	
			HD	HA	MD	MA			E/C	Temp.
1 MUR GARAGE	284	0.75	0	24	1	12	7	0.00	C	G
2 MUR BRIQUE	2013	3.16	0	24	1	12	7	0.00	C	N
3 TOITURE	996	3.62	0	24	1	12	7	0.00	C	N

CHARGES DE VENTILATION

Description	Debit. (l/s)	----horaire----				J/S	% clim	Chauffage		
		HD	HA	MD	MA			E/C	Temp.	
1. TOILETTE HOTTE	1200	0	24	1	12	7	0.00	E		N
2 CORRIDOR SECH	200	0	24	1	12	7	0.00	E		N
3 GARAGE	4500	0	1	1	12	7	0.00	E		G

GAINS INTERNES DES OCCUPANTS

Description	Nombre de personnes	----horaire----				J/S	% clim.	Chauffage		
		HD	HA	MD	MA			E/C	Temp.	
1 LOGEMENT	101	0	24	1	12	7	0.00			
0.	0	0	0	0	0	0	0.00			

EAU CHAUEDE DE CONSOMMATION

Description	Nombre type D unites	----horaire----				J/S	%	E/C	Max. Moy.	
		HD	HA	MD	MA				S/P	I/h/u I/j/u
1 LOGEMENT	81	L	0	24	1	12	7	1.00	C	32.2 144.6

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Guerracine.G (2005). *Génie climatique dans le bâtiment*; Volume BE4 techniques de l'ingénieur.
- [2] Ressource Naturelles Canada., Ed. (juillet 2001). *Évolution de l'efficacité énergétique au Canada 1990 à 1999*.
- [3] M.Benhaddadi, G. O. (2004). *L'énergie dans le monde, au Canada et au Québec*.
- [4] Office Municipal d'Habitation de Montréal. (Décembre 1997). *Les HLM à Montréal, un portrait d'ensemble*.
- [5] Simulation Research Group, Lawrence. Berkeley. Laboratory. (May 1981). *DOE-2 REFERENCE MANUEL* (Version 2.1A).
- [6] Kajl S. (2003). *Efficacité énergétique*; Notes de cours.
- [7] ASHRAE,.Handbook (1997). *Fundamentals* Volume. Atlanta, GA.
- [8] Faye C. McQuiston, Jerald D. Parker. (1994). *Heating, Ventilating, and Air Conditioning analysis and designs*.
- [9] American society of mechanical engineers. (1992). *Computers in engineering*.
- [10] Kreider, J. F. (2001). *Heating Ventilating and air conditioning Handbook*.
- [11] Ressource Naturelles Canada. (Février 2001). *Procédure de modélisation des bâtiments en fonction du CMNÉB et du PEBC section 1*.
- [12] Kreider, J. F. (1994). *Heating and Cooling of buildings design for efficiency*.
- [13] Ressources Naturelles Canada. (Février 2001). *Procédure de modélisation des bâtiments en fonction du CMNÉB et du PEBC section 2*.

- [14] Kurshid. A.S. (2002). *;Impact of building rezoning and change of use on energy consumption and occupants thermal confort*, king fahd university of petroleum and minerals.
- [15] Société Canadienne d'Hypothèque et de Logement (1991). *Developement of design procedur and guidlines for reducing electric demand by air leakage control in high rise residential building*.
- [16] Société Canadienne d'Hypothèque et de Logement. (1994). *Research highlight 98-123 establishing the protocol for measuring air leakage and air flow patterns in high rise apartment building*. 1994.
- [17] Canada, Ressources Naturelles Canada. (Avril 2002). *Dossier sur la consommation électriques dans les foyers canadiens*
- [18] *Que consomme vos appareils électriques, dossier énergie.* <http://www.hydroquebec.com/consommation/tableau.html>.
- [19] Roberge.M.A (1998). *Développement d'un système d'aide aux estimations énergétiques basé sur la logique floue et les réseaux de neurones*, École de Technologie Supérieure
- [20] Zmeureanu, R. a. Marceau. M. (1999). "Evaluating energy impact of people's behavior in a house: case study." Journal of Architectural Engineering 5(3): 99-102.
- [21] Simulation Research Group, Lawrence Bertkeley Laboratory. (Août 1991). *DOE-2 BASICS*.