

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique

ÉTUDE D'UNE MAISON À FAIBLE CONSOMMATION D'ÉNERGIE : HABITASOL 2000

Mémoire de maîtrise es Sciences Appliquées
Spécialité : Génie Mécanique

Eric DUMONT

Sherbrooke(Québec), CANADA

Décembre 1996



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-26567-6

RÉSUMÉ

Ce document présente l'étude d'une maison à faible consommation d'énergie. Cette maison unifamiliale, construite en 1992, est située à St-Luc, près de St-Jean-sur-Richelieu au Québec. Celle-ci possède les caractéristiques d'une maison solaire passive, c'est à dire qu'elle a une importante fenestration au sud et une imposante masse thermique constituée entre autres d'une petite piscine intérieure. De plus, pour augmenter son efficacité énergétique, elle possède une isolation et une étanchéité supérieures aux normes ainsi que des ventilateurs récupérateur de chaleur.

On retrouve dans ce mémoire de recherche les résultats d'une campagne de mesure qui s'est tenue dans cette maison du 1^{er} novembre 93 au 31 octobre 94. Celle-ci a permis de mesurer la consommation d'électricité selon différentes utilisations, le temps de fonctionnement des ventilateurs récupérateur de chaleur et du chauffe-piscine ainsi que différentes températures. La valeur de tous les points de mesure a été enregistrée toutes les quinze minutes. Durant la période étudiée, la maison a consommé 5040 kWh pour le chauffage, soit environ le tiers de la moyenne des habitations unifamiliales québécoises. La consommation totale mesurée s'est chiffrée quant à elle à 26 584 kWh, mais il a été déterminé par cette étude que s'il n'y avait pas eu de piscine, la consommation se serait plutôt chiffrée à 20 676 kWh, soit environ 27 % de moins que la moyenne québécoise et ce, malgré que le garage soit partiellement chauffé et que cette maison abrite une famille de six personnes.

Ce rapport présente aussi les résultats d'une modélisation numérique de la maison. Ces résultats permettent d'identifier dans quelles proportions les différentes sources d'énergie contribuent au bilan énergétique de la maison. Ils permettent aussi d'évaluer quelle aurait été la consommation de la maison pour des conditions météorologiques typiques.

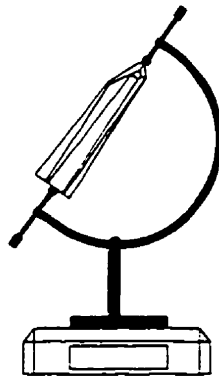
REMERCIEMENTS

La tenue d'une telle étude nécessite l'aide et la collaboration de plusieurs personnes. C'est pourquoi je tiens à remercier tous ceux et celles qui m'ont aidé, de près ou de loin, dans la réalisation de ce travail. Je désire remercier plus particulièrement les personnes suivantes :

- M. Robert Châteauneuf, l'instigateur de ce projet et une merveilleuse source d'inspiration;
- M. Nicolas Galanis, mon directeur de recherche, un exemple de rigueur et d'intégrité;
- Mme Madeleine Banville et M. Guy Châteauneuf, les propriétaires d'Habitasol qui m'ont apporté leur précieuse collaboration tout au long de cette longue campagne de mesure;
- M. Paul Champagne, technicien en électronique du département de génie mécanique, pour toutes ces heures travaillées, parfois jusqu'à très tard le soir;
- M. Luc Muyldermans, concepteur d'Habitasol;
- Les professeurs du groupe de recherche THERMAUS,
- Les étudiants et stagiaires de La Bastille, en particulier François Robichaud, Mohamed Ouzzane, Gaël Viossat et Maxime Nicole, qui ont tous quatre travaillé au projet Habitasol;
- Le ministère des ressources naturelles du Québec et l'Université de Sherbrooke pour leur important support financier au projet et finalement ;
- Mes proches, en particulier ma compagne Marie-Josée, qui m'ont supporté dans ma décision de faire un retour aux études et m'ont encouragé et soutenu tout au long de celles-ci.

À vous tous et à tous ceux que j'oublie, merci.

Éric



Catégorie Projet étudiant

Éric Dumont

AQME Énergia 1995

Une partie des travaux réalisés dans le cadre de ce projet a permis à l'auteur de ce mémoire, ainsi qu'à M. François Robichaud, d'être nommés le 26 octobre 95 par l'Association Québécoise pour la maîtrise de l'Énergie, lauréats du Gala Énergia, Catégorie projet étudiant.

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction	1
2. Description de la maison étudiée	5
2.1 Description générale	5
2.2 Particularités	8
2.2.1 Isolation supérieure de l'enveloppe	8
2.2.2 Étanchéité supérieure	9
2.2.3 Utilisation d'espaces tampons	10
2.2.4 Chauffage solaire passif	11
2.2.5 Masse thermique importante	13
2.2.6 Ventilation avec récupération de chaleur	13
2.3 Prévisions énergétiques	14
3. Description du système d'acquisition	16
3.1 Mesure des températures	16
3.2 Mesure des consommations électriques	19
3.3 Acquisition des temps de fonctionnement	21
3.4 Ordinateur et logiciels	21
3.5 Discussion	25
4. Analyse des mesures	27
4.1 Températures mesurées	27
4.2 Climat	31
4.3 Consommation mesurée	33
4.4 Espace tampon	41
4.5 Ventilation	42
4.6 Comparaison avec Hot-2000	44
4.7 Profil de chauffage	45
4.7.1 Effet de la masse thermique	48
4.8 Discussion	51
5. Modélisation numérique	53
5.1 Présentation de TRNSYS	54
5.2 Description de la modélisation d'Habitasol	56
5.2.1 Description architecturale	57
5.2.2 Système de chauffage	64

5.2.3 Infiltrations	65
5.2.4 Ventilation.....	68
5.2.5 Gains internes.....	68
5.2.6 Modélisation de la piscine	71
5.2.7 Conditions extérieures et autres utilitaires	73
5.3 Étalonnage et validation du modèle.....	76
5.3.1 Étalonnage du modèle pour la garage	77
5.3.2 Étalonnage du modèle pour la piscine.....	78
5.3.3 Étalonnage du modèle pour la ventilation.....	81
5.3.4 Étalonnage pour le chauffage	83
5.4 Résultats pour une année typique.....	85
5.5 Discussion.....	88
Conclusion.....	90
Annexe A : Plans d'Habitasol	92
Annexe B : Énoncés des Programmes servant à l'acquisition de données	99
B.1 Programme de commande <i>DOS</i>	100
B.2 Programme de démarrage.....	101
B.3 Programme de contrôle de l'acquisition de données.....	104
Annexe C : Graphiques des profils moyens de température pour différents endroits dans la maison	115
Annexe D : Fichiers de données d'entrées de TRNSYS.....	128
D.1 Fichier de description du bâtiment (<i>BID</i>) utilisé dans la simulation de Habitasol 2000.....	129
D.2 <i>Deck</i> de TRNSYS utilisé pour la simulation d'Habitasol 2000.....	148
Annexe E : Graphiques des comparaisons entre résultats obtenus par simulation et valeurs mesurées.....	154
Bibliographie	170

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Répartition selon les secteurs de consommation d'énergie pour le Québec en 1993 [1].....	2
Figure 2.1	Orientation d'Habitasol	7
Figure 2.2	Fraction de la superficie totale de vitrage selon chacune des surfaces d'Habitasol	12
Figure 2.3	Schéma de l'avant toit <i>Sombbrero</i>	12
Figure 2.4	Fraction des déperditions annuelles totales prévues d'Habitasol selon le type de perte	15
Figure 2.5	Provenances de l'énergie comblant les besoins de chauffage selon les prévision du logiciel HOT-2000.....	15
Figure 3.1	Disposition des thermocouples au sous-sol	17
Figure 3.2	Disposition des thermocouples au rez-de-chaussée	18
Figure 3.3	Disposition des thermocouples dans la chambre des maîtres.....	18
Figure 3.4	Schéma de branchement des modules de mesure de la consommation électrique.	20
Figure 3.5	Plan des modules d'acquisition de temps de fonctionnement	21
Figure 3.6	Plan du chien de garde.....	22
Figure 4.1	Répartition de la consommation annuelle d'électricité d'Habitasol selon l'utilisation.....	34
Figure 4.2	Profil de puissance de chauffage d'Habitasol pour une journée moyenne du mois de janvier 94.....	46
Figure 4.3	Profils de la consommation de chauffage pour les journées du 9 et du 26 janvier 94.	47
Figure 4.4	Profils de la température extérieure pour les journées du 9 et du 26 janvier 94.	47
Figure 4.5	Profils de température de la surface du mur et du solarium pour les journées du 9 et du 26 janvier 94.....	49
Figure 4.6	Profils moyens de température pour le solarium et la surface du mur pour le mois de janvier 94.....	49

Figure 4.7	Écart moyen, pour le mois de janvier 94, entre la température du solarium et celle mesurée à la surface du mur de béton en fonction de l'heure de la journée.	50
Figure 5.1	Diagramme de modélisation d'Habitasol	57
Figure 5.2	Schéma démontrant la répartition du rayonnement solaire sur les surfaces intérieures.....	60
Figure 5.3	Domaine de résolution par différences finies pour déterminer le profil des déperditions par les fondations	62
Figure 5.4	Profil des températures appliquées aux surfaces extérieures et flux de chaleur traversant les surfaces intérieures des murs de fondations.....	63
Figure 5.5	Débits d'infiltration tels que définis pour les équations 5.6 à 5.8	67
Figure 5.6	Profil des gains internes pour les jours de semaine	70
Figure 5.7	Profil des gains internes pour les jours de fin de semaine.....	70
Figure 5.8	Schéma représentant la période utilisée pour comparer les résultats de la simulation aux mesures prises chez Habitasol	74
Figure 5.9	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de janvier 94.	78
Figure 5.10	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de janvier 94.....	79
Figure 5.11	Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de janvier 94.	80
Figure 5.12	Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRNSYS avec celui mesuré chez Habitasol, pour le mois de janvier 94.....	82
Figure 5.13	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de janvier 94.....	84
Figure A1	Habitasol-2000 Rez-de-chaussée.....	93
Figure A2	Habitasol-2000 Sous-sol.....	94

Figure A3	Habitasol-2000 Étage	95
Figure A4	Habitasol-2000 Façade Ouest	96
Figure A5	Habitasol-2000 Façade Est	96
Figure A6	Habitasol-2000 Façade Sud	97
Figure A7	Habitasol-2000 Façade Nord	97
Figure A8	Habitasol-2000 Coupe	98
Figure C1	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de novembre 1993[11]	116
Figure C2	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de décembre 1993[11]	117
Figure C3	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de janvier 1994[11]	118
Figure C4	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de février 1994[11]	119
Figure C5	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de mars 1994[11]	120
Figure C6	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de avril 1994[11]	121
Figure C7	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de mai 1994[11]	122
Figure C8	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de juin 1994[11]	123
Figure C9	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de juillet 1994[11]	124
Figure C10	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de août 1994[11]	125

Figure C11	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de septembre 1994[11].....	126
Figure C12	Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de octobre 1994[11].....	127
Figure E1	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de janvier 94.....	155
Figure E2	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de février 94.....	156
Figure E3	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de mars 94.....	157
Figure E4	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de janvier 94.....	158
Figure E5 :	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de février 94.....	159
Figure E6 :	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de mars 94.....	160
Figure E7	Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de janvier 94.....	161
Figure E8	Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de février 94.....	162
Figure E9	Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de mars 94.....	163

Figure E10	Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRNSYS avec celui mesuré chez Habitasol. pour le mois de janvier 94.....	164
Figure E11	Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRNSYS avec celui mesuré chez Habitasol. pour le mois de février 94.....	165
Figure E12	Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRNSYS avec celui mesuré chez Habitasol. pour le mois de mars 94.....	166
Figure E13	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol. pour le mois de janvier 94.....	167
Figure E14	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol. pour le mois de février 94.....	168
Figure E15	Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol. pour le mois de mars 94.....	169

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Niveaux d'isolation de l'enveloppe d'Habitasol	9
Tableau 3.1	Division de la consommation électrique selon l'utilisation et appareil de mesure employé	19
Tableau 3.2	Caractéristiques des modules de mesure de la consommation électrique.....	20
Tableau 4.1	Températures moyennes mensuelles pour différents endroits dans la maison	28
Tableau 4.2	Degrés-jours enregistrés à la station météo de St-Hubert pour l'année 93-94	32
Tableau 4.3	Consommation d'électricité par utilisation pour la période du 1 ^{er} novembre 93 au 31 octobre 94	34
Tableau 4.4	Comparaison des mesures de consommation vs les lectures du compteur d'Hydro-Québec	35
Tableau 4.5	Comparaison de la consommation Énergétique d'Habitasol avec la consommation moyenne québécoise.....	36
Tableau 4.6	Échange thermique entre l'air de la piscine et la maison pour la période du 1 ^{er} novembre 93 au 30 avril 94 ($\Sigma U_i A = 51,0 \text{ W/}^\circ\text{C}$).....	39
Tableau 4.7	Échange thermique entre l'eau de la piscine et la maison pour la période du 1 ^{er} novembre 93 au 30 avril 94 ($\Sigma U_i A = 9,3 \text{ W/}^\circ\text{C}$)	39
Tableau 4.8	Estimation de ce qu'aurait été les déperditions par la surface qui sépare la piscine de la maison ($\Sigma U_i A = 6,0 \text{ W/}^\circ\text{C}$).....	40
Tableau 4.9	Consommation rajustée d'habitasol sans la piscine.....	40
Tableau 4.10	Économies réalisées grâce à l'utilisation du garage comme espace tampon.....	42
Tableau 4.11	Temps de fonctionnement en heures pour chacun des deux ventilateurs récupérateur de chaleur	43
Tableau 4.12	Comparaison du chauffage mesuré vs chauffage prédit par Hot-2000	44

Tableau 5.1	Traitement du chauffage dans TRNSYS selon la méthode de l'énergie	65
Tableau 5.2	Chaleur dégagée par les occupants d'une maison.....	69
Tableau 5.3	Normales mensuelles utilisées pour l'élaboration des données météorologiques synthétiques.....	75
Tableau 5.4	Nombre d'heures de ventilation mesuré chez Habitasol et obtenu par simulation, pour la période de comparaison.....	82
Tableau 5.5	Consommation électrique mesurée chez Habitasol et obtenue par simulation, pour la période de comparaison.....	84
Tableau 5.6	Température moyenne mesurée chez Habitasol et obtenue par simulation, pour la période de comparaison.....	85
Tableau 5.7	Comparaison de l'énergie de chauffage mesurée chez Habitasol avec celle obtenue par simulation pour une année typique	86
Tableau 5.8	Répartition des sources d'énergie de chauffage d'Habitasol pour une année typique, tel que déterminé à l'aide de TRNSYS.....	88

1. INTRODUCTION

L'énergie est essentielle à toutes les sociétés évoluées. Le développement de celles-ci à d'ailleurs toujours été associé à une augmentation de l'utilisation de l'énergie. Au début, c'est la maîtrise des différentes sources d'énergie qui gouvernait ce développement. Puis, l'identification de nouvelles sources d'énergie et l'élaboration de nouvelles méthodes pour l'exploiter ont permis d'atteindre le niveau de développement que l'on connaît aujourd'hui.

La première crise pétrolière, dans le milieu des années soixante-dix, est cependant venu rappeler qu'il existe une limite quant au potentiel énergétique de la planète. Bien que la découverte plus récente de nouvelles réserves assure aujourd'hui un approvisionnement pour plusieurs années à venir, un autre problème demeure : celui de l'effet de la consommation d'énergie sur l'environnement. La pollution urbaine, l'effet de serre et l'accumulation de déchets nucléaires sont des exemples de problèmes qui peuvent être reliés à la consommation d'énergie nécessaire à la vie moderne. Étant donné qu'il n'existe pas de solution miracle permettant d'enrayer l'effet de cette consommation sur l'environnement, il s'est initié dans le monde occidental un mouvement visant à utiliser de façon plus efficace et plus rationnelle l'énergie, de façon à minimiser ainsi sa consommation. La société québécoise ne fait pas exception et doit maintenant elle aussi viser à utiliser de façon optimale l'énergie nécessaire à son fonctionnement et à son développement.

En 1993 au Québec, il s'est consommé au total 32 703 641 tep¹[1]. La figure 1.1 présente la répartition de l'énergie selon les secteurs de consommation pour cette année. On peut y constater que le secteur résidentiel représente 21 % de toute la consommation. Certaines données [2] permettent de croire qu'environ 50 % de l'énergie utilisée dans le secteur résidentiel

¹-Un tep = Une Tonne équivalent pétrole = 116 630 kWh

l'est à des fins de chauffage. C'est donc dire qu'environ un dixième de toute l'énergie consommée au Québec est utilisé pour maintenir des conditions de confort à l'intérieur des habitations résidentielles.

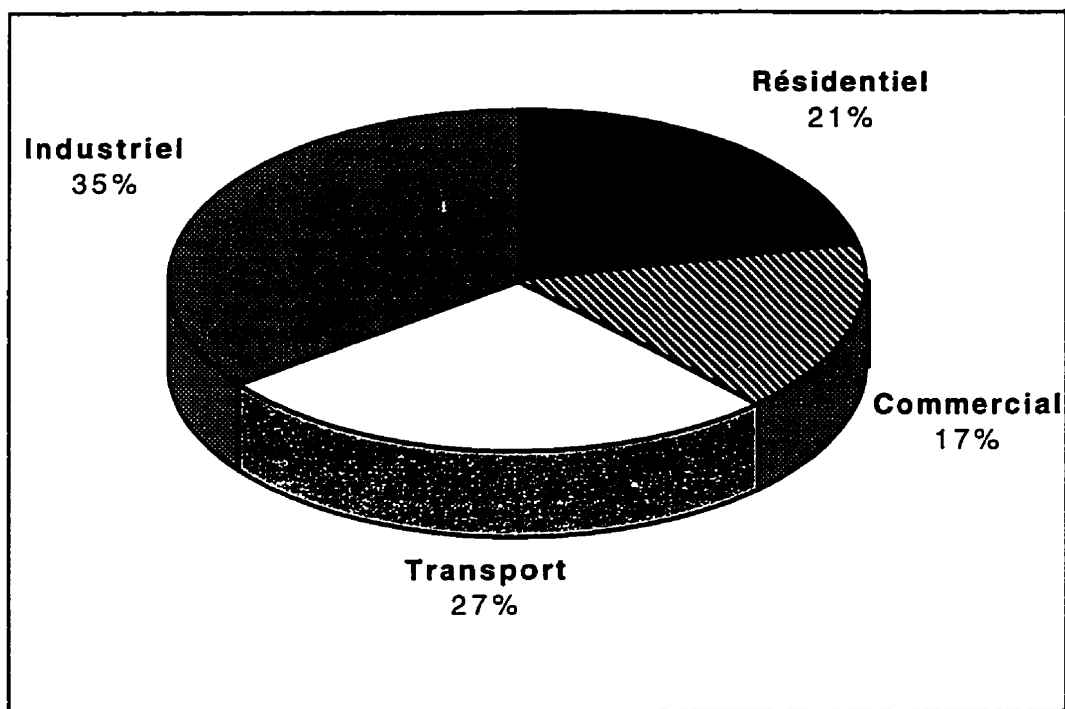


Figure 1.1 Répartition selon les secteurs de consommation d'énergie pour le Québec en 1993 [1]

Ces statistiques révèlent l'importance de ce secteur de la consommation au Québec et, par conséquent, de l'intérêt qui doit être porté à l'efficacité énergétique des résidences québécoises, particulièrement au niveau thermique. Dans ces conditions, la minimisation des déperditions vers l'extérieur et l'utilisation maximale des gains internes et solaires dans les maisons québécoises semblent être des voies particulièrement intéressantes dans l'amélioration du bilan énergétique de la province.

En 1992 était construit à St-Luc, près de St-Jean-sur-Richelieu, une habitation devant être très économe tout en assurant le même niveau de confort à ses occupants qu'une maison conventionnelle. Cette maison, qualifiée de solaire passive, doit tirer profit au maximum de l'énergie des rayons du soleil et minimiser les déperditions thermiques vers l'extérieur grâce à

l'optimisation de certains paramètres de construction. Elle se distingue par une importante fenestration au sud, une imposante masse thermique comprenant un mur de béton et une piscine, une isolation et une étanchéité supérieure ainsi que des récupérateurs de chaleur pour minimiser les pertes dues à la ventilation.

Ce projet a pour but d'étudier le comportement thermique de cette maison. Pour ce faire, une analyse détaillée de sa consommation énergétique sera réalisée afin de déterminer si cette maison est réellement plus efficace qu'une maison normale. Il sera aussi tenter d'évaluer la pertinence de certaines particularités de cette maison,. Des données de consommation électrique amassées sur toute une année seront utilisées à cette fin. De plus, une modélisation numérique de la maison sera effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS dans le but de vérifier son applicabilité pour une maison québécoise d'une part, et afin de réaliser une généralisation des résultats obtenus pour une année spécifique d'autre part. Finalement, cette étude permettra de déterminer si les objectifs d'économie fixés avant la construction ont effectivement été atteints.

Le présent document expose la démarche empruntée pour atteindre ces objectifs. Ainsi, la maison est dans un premier temps décrite en détails, en mettant l'accent sur les caractéristiques qui font de celle-ci une maison particulière et en exposant les raisons pour lesquelles ces caractéristiques doivent rendre cette maison plus économe. Le chapitre suivant présente l'instrumentation utilisée pour effectuer l'acquisition des données de consommation électrique, de température et de temps de fonctionnement de certains appareils. L'analyse de ces données est par la suite présentée au chapitre 4. Celle-ci permet non seulement de déterminer le niveau de consommation de la maison, mais aussi d'établir si elle offre un niveau de confort comparable à une maison normale. Le chapitre 5 est pour sa part consacré à la modélisation de la maison. On y retrouve une brève description du logiciel TRNSYS, la démarche utilisée, les difficultés rencontrées et les moyens utilisés pour les surmonter. Une comparaison des résultats obtenus numériquement avec les mesures effectuées est présentée, de même qu'une généralisation des

résultats pour une année typique. Un retour est par la suite effectué pour mettre en valeur les résultats obtenus par cette étude.

2. DESCRIPTION DE LA MAISON ÉTUDIÉE

Le centre de cette recherche est une maison solaire passive. Comme toute autre maison, celle-ci a pour rôle d'abriter ses occupants tout en leur fournissant un milieu de vie agréable et confortable. Elle a toutefois la particularité d'avoir été dès le début pensée et conçue de façon à minimiser sa consommation d'énergie. Cette maison fut nommée Habitasol-2000 par le promoteur du projet, M. Robert Châteauneuf. Le nom Habitasol provient de la concaténation de "habitat" et de "soleil" alors que la présence du nombre 2000 s'explique par le fait qu'elle constitue, selon M. Châteauneuf, la maison des années 2000.

La présent chapitre a pour but de présenter Habitasol-2000. La description générale de la maison en constitue la première partie. Ensuite, les points spécifiques qui font de cette résidence une maison plus efficace sont expliqués en détail afin de bien faire ressortir les raisons pour lesquelles cette maison est plus économe. Finalement, les prévisions de la performance énergétique de la maison, telles qu'anticipées par son constructeur avant la construction, sont exposées pour conclure ce chapitre.

2.1 Description générale

Habitasol-2000 a été construite en 1992 à St-Luc, près de St-Jean-sur-Richelieu. La maison a été conçue à l'origine par Monsieur Robert Châteauneuf et fait suite à la réalisation de deux autres maisons solaires passives similaires intégrant une piscine intérieure. La conception d'Habitasol-2000 a ensuite été revue et remodelée par M. Luc Muyldermans, ing., qui en a par ailleurs assuré la construction via son entreprise de construction Thermtech inc. Habitasol-2000 est la propriété de M. Guy Châteauneuf et de Mme Madeleine Banville qui y résident avec leurs quatre enfants.

Les plans d'Habitasol apparaissent à l'annexe A. Celle-ci possède une surface habitable d'environ 200 m² répartie sur un étage et demi en plus du sous-sol qui est complètement aménagé. Un garage de 61 m² constitue le prolongement ouest de la maison et représente un espace tampon entre les espaces habités et l'extérieur. La maison se situe à un angle de 10 degrés selon l'axe nord-sud (voir figure 2.1). Une piscine de 3.6 m par 4.6 m est intégrée à même les fondations dans le but d'augmenter la masse thermique de la maison tout en constituant un lieu de détente pour les occupants. Cette piscine se trouve dans une pièce fermée et ventilée afin d'éviter que la vapeur d'eau ne se propage dans toute la maison.

Au sous-sol de la maison se retrouvent les trois chambres d'enfants, une salle de bain, deux petites pièces techniques et une salle de séjour (figure A1 en annexe). Cette salle de séjour se trouve au sud et profite d'un éclairage naturel grâce à de grandes fenêtres faisant face au sud et laissant pénétrer un maximum de lumière. C'est pourquoi cette pièce est qualifiée de solarium. Les pièces techniques, quant à elles, contiennent les chauffe-eau (au nombre de deux, de 135 litres chacun et d'une puissance maximale de 3000 Watts chacun), les ventilateurs récupérateurs de chaleur, le panneau électrique central, l'aspirateur central et l'équipement nécessaire à la circulation et la filtration de l'eau de la piscine. À mi-hauteur entre le sous-sol et le rez-de-chaussée se trouve un palier qui donne accès à la piscine de même qu'à la terrasse arrière. Un escalier mène au rez-de-chaussée où se trouve la cuisine, la salle à manger, une seconde salle de bain, le salon et le vestibule d'entrée (figure A2). Finalement, à l'étage se trouve la chambre principale (figure A3).

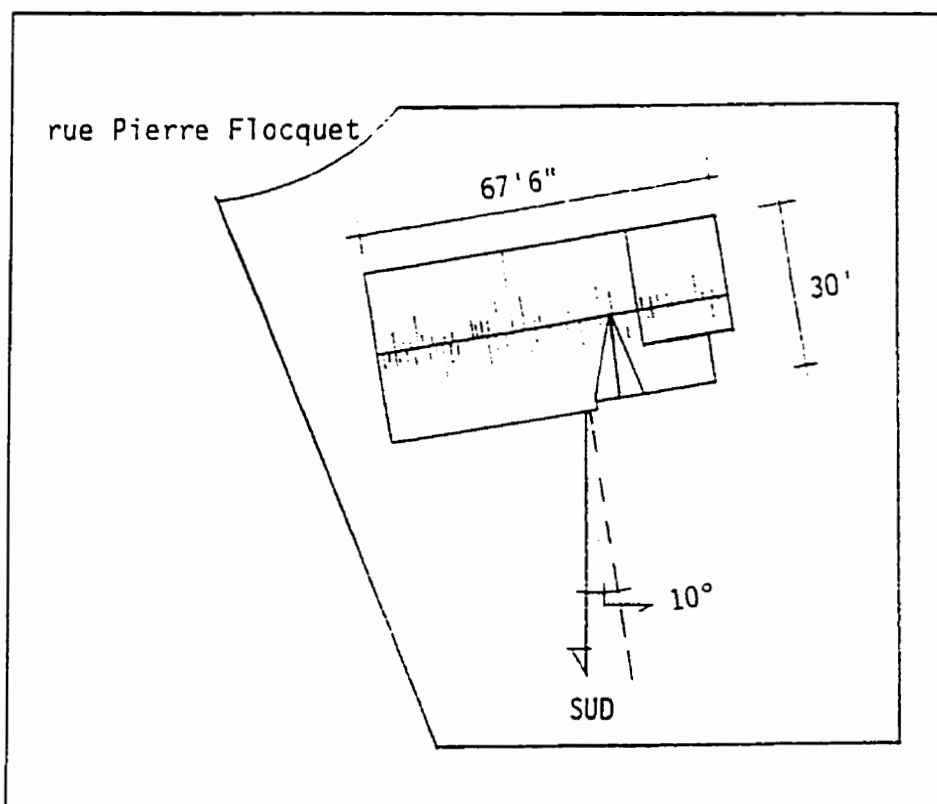


Figure 2.1 Orientation d'Habitasol

Des convecteurs électriques de marque *convect-air* se retrouvent dans chacune des pièces de la maison et assurent le chauffage de la maison. La puissance totale de chauffage installée est de 12 750 watts. Ces convecteurs sont munis de thermostats électroniques intégrés de grande précision qui permettent de maintenir la température de consigne. Celle-ci est de 19.5 °C dans l'ensemble des pièces sauf pour la chambre du bébé qui est maintenue à 21 °C . L'apport d'air frais dans la maison est assuré par deux ventilateurs récupérateurs de chaleur (un pour la maison et un pour la piscine) de marque Venmar dont l'opération est fonction du taux d'humidité relative à l'intérieur de la maison. Généralement, la consigne se situe entre 40% et 60% d'humidité relative.

2.2 Particularités

Cette maison se distingue par l'optimisation de certains paramètres de construction dans le but d'en améliorer l'efficacité énergétique. Les principes suivants ont été appliqués à la maison afin que celle-ci soit le plus économe possible en énergie :

- Minimiser les pertes de chaleur vers l'extérieur.
- Maximiser l'exploitation des apports gratuits d'énergie.
- Utiliser le chauffage auxiliaire qu'au moment où les autres sources de chaleur ne suffisent plus.

Pour ce faire, certains éléments de construction ont du être modifiés par rapport à une maison normale. Habitasol se distingue donc des autres maison par :

- Son isolation supérieure.
- Son étanchéité supérieure.
- L'utilisation d'espaces tampons.
- L'optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire d'une façon passive.
- La présence d'une importante masse thermique.
- L'utilisation d'une ventilation avec récupération de chaleur.

2.2.1 Isolation supérieure de l'enveloppe

Pour minimiser les déperditions thermiques vers l'extérieur, il est important de réduire au minimum la conductance thermique des murs. C'est là le rôle de l'isolation. L'isolation thermique d'Habitasol dépasse de beaucoup celle d'une habitation québécoise standard. Les caractéristiques de la couche isolante pour différentes parties de la maison sont présentées au tableau 2.1. On peut y constater que le coefficient de résistance thermique y atteint même $60 \text{ (hr}\cdot\text{pi}^2\text{-F)/BTU}$ à certains endroits. Même les parois du garage sont isolées. De plus, une attention spéciale fut portée afin de ne laisser aucun pont thermique entre l'extérieur et

l'intérieur, c'est à dire que l'isolation est présente sous une forme continue tout autour de l'enveloppe.

TABLEAU 2.1 NIVEAUX D'ISOLATION DE L'ENVELOPPE D'HABITASOL

Surface	R (hr-pié-F/BTU)	RSI (m ² -°C/W)	Description de la couche isolante
Planchers Sous-sol	10	1.8	Polystyrène 2"
Murs Externes	29	5.1	Polystyrène 1" Laine minérale R-20 Polystyrène 1"
Murs Sous-sol	24	4.2	Polystyrène 1" Laine minérale R-20
Plafonds Horizontaux	60	10.6	Polystyrène 1" Laine soufflée R-55
Plafonds inclinée	45	7.9	Polystyrène 1" Laine R-40

2.2.2 Étanchéité supérieure

L'isolation a pour but de diminuer le flux de chaleur qui traverse l'enveloppe par conduction. Elle n'empêche cependant pas l'air d'y circuler. Un échange d'air se produit donc entre l'intérieur et l'extérieur, obligeant le système de chauffage à fournir l'énergie nécessaire au conditionnement de l'air frais selon la relation suivante:

$$Q = mC_p(T_i - T_e) \quad (2.1)$$

- où
- Q est l'énergie à fournir en kilojoules
 - m est la masse d'air échangée en kilogrammes
 - C_p est la chaleur spécifique de l'air en kJ/(kg-°C)
 - T_i est la température intérieure en °C
 - T_e est la température extérieure en °C

Bien qu'une ventilation soit souhaitable, les infiltrations qui se produisent au travers des surfaces ou par les fentes autour des orifices (autour des fenêtres par exemple) sont à éviter

parce qu'elles ne peuvent être contrôlées d'aucune manière. De plus, le déplacement de l'air chaud et humide de l'intérieur vers l'extérieur a pour effet de créer de la condensation et de réduire la qualité de l'isolant en plus de créer un milieu propice au développement des bactéries. C'est pourquoi la plupart des maisons québécoises sont dotées de pare-vapeur. Habitasol ne fait pas exception à cette règle mais se distingue par l'attention qui fut apportée à l'installation de ce pare-vapeur (un polyéthylène de 6 millièmes de pouce). En effet, tous les joints ont été calfeutrés à l'aide d'un scellant afin de s'assurer qu'il n'y ait pas d'infiltrations. De même, tous les orifices qui permettent le passage de canalisations de toutes sortes ont eux aussi été calfeutrés minutieusement. Ces précautions permettent ainsi de réduire au minimum les pertes par infiltration.

2.2.3 Utilisation d'espaces tampons

La transmission de la chaleur étant proportionnelle à l'écart de température entre deux milieux, il en découle un avantage certain à diminuer la différence de température entre les pièces à chauffer et l'environnement autour de celles-ci. Le garage joue ce rôle d'espace tampon et permet de diminuer les déperditions thermiques du mur ouest de trois façons :

-La température à l'intérieur du garage est généralement plus élevée qu'à l'extérieur et ce principalement à cause du gain solaire qui s'y produit (grâce aux fenêtres disposées en grande quantité au sud) et des déperditions inévitables de la maison vers le garage. Cette température plus élevée permet donc de diminuer la conduction à travers la paroi ouest de la maison.

-Le coefficient de convection à la surface extérieure du mur ouest est diminué étant donné que celui-ci n'est pas directement exposé au vent extérieur.

-Les infiltrations par le mur ouest de la maison sont pratiquement éliminées vu l'absence de vent sur cette surface.

De plus, pour assurer un plus grand confort des occupants à l'intérieur de la maison, une attention particulière a été portée à la répartition des pièces. Ainsi, on retrouve un petit vestibule à l'entrée pour minimiser les courants d'air lorsque la porte est ouverte. Au sous-sol, les chambres, endroit où les activités sont généralement réduites, se trouvent au nord alors que la salle de séjour se trouve au sud, profitant pleinement de l'éclairage naturel. Voilà l'exemple de petits détails qui font d'Habitasol une maison à la fois plus performante et plus agréable.

2.2.4 Chauffage solaire passif

Habitasol a été conçue dans le but de maximiser l'apport des gains solaires au bilan énergétique de la maison. C'est pour cette raison que l'on retrouve sur la surface sud de la maison plus de 23 m² de vitrage. La figure 2.2 présente la superficie de vitrage pour chaque face de la maison. On peut y remarquer qu'à l'exception de la surface sud, toutes les autres surfaces présentent de faibles superficies de vitrage. Ces faibles superficies ont d'abord pour but de diminuer les déperditions thermiques car, bien que les fenêtres sur les façades nord et est soient très performantes, il n'en demeure pas moins que leur résistance thermique est beaucoup plus faible que celle des murs (0.70 (m²-°C)/W vs 5.1 (m²-°C)/W). De plus, des fenêtres à l'est et à l'ouest permettent la pénétration des rayons du soleil lors du lever et du coucher du soleil en été, favorisant ainsi les surchauffes désagréables et inconfortables. Au sud, le soleil est bas en hiver, période de l'année où l'on souhaite maximiser les gains solaires alors que l'été, celui-ci est plus haut dans le ciel. La fraction du rayonnement traversant une paroi verticale est donc moindre en été. À cet égard, Habitasol est muni d'un avant toit spécialement conçu pour maximiser la pénétration des rayons du soleil en hiver. Celui-ci possède une surface blanche réfléchissant le rayonnement solaire vers l'intérieur en hiver, alors qu'en été il protège la fenêtre

du soleil grâce à l'ombre qu'il projette. Un schéma de cet avant-toit, surnommé *Sombrero*, est présenté à la figure 2.3

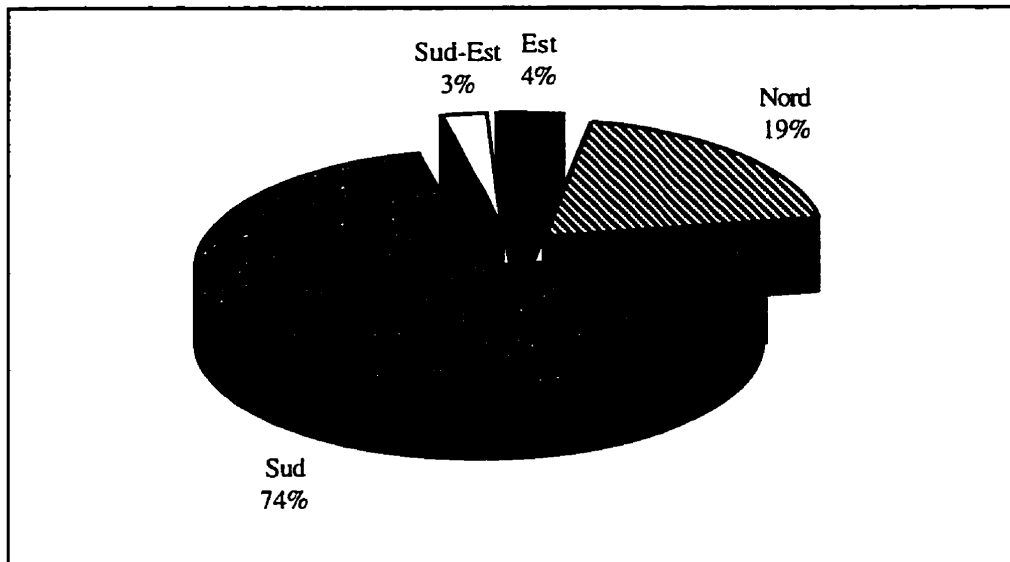


Figure 2.2 Fraction de la superficie totale de vitrage selon chacune des surfaces d'Habitasol

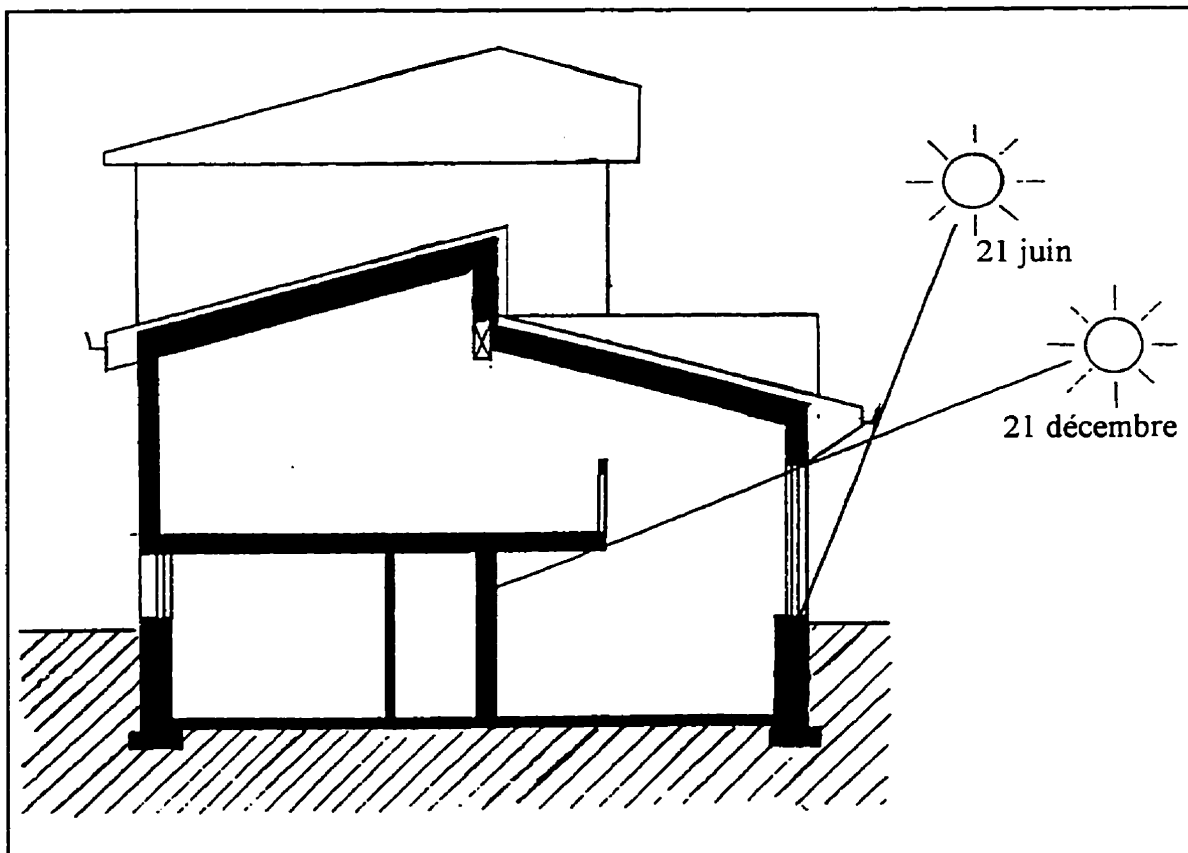


Figure 2.3 Schéma de l'avant toit *Sombrero*

2.2.5 Masse thermique importante

L'utilisation d'une masse thermique importante a pour but de répartir dans le temps l'apport des différents gains énergétiques afin de diminuer les surchauffes. Cette masse thermique permet aussi de redistribuer l'énergie qu'elle contient lorsque les autres formes de gains sont moins importants. Chez Habitasol, la principale composante de cette masse thermique est constituée d'un mur de béton se trouvant au sous-sol et délimitant le solarium d'une des chambres adjacentes (Voir figure A1). Ce mur de béton, qualifié de mur thermique, est directement exposé aux rayons solaires durant une bonne partie des journées d'hiver. Possédant une surface foncée, il accumule la chaleur du soleil pour la redistribuer le soir après le coucher du soleil. Le revêtement de céramique du plancher du solarium joue le même rôle puisqu'il est lui aussi exposé au rayonnement du soleil pour une bonne partie de sa superficie. La piscine, possédant un volume d'eau de 15 m^3 , contribue aussi de façon importante à la masse thermique de la maison. Son action est cependant moins immédiate puisque celle-ci est isolée. Elle contribue néanmoins à uniformiser dans le temps la température de la maison.

2.2.6 Ventilation avec récupération de chaleur

Comme il a été dit précédemment, cette maison possède une étanchéité supérieure à la moyenne. Cette étanchéité a cependant pour effet négatif de diminuer l'apport naturel d'air frais aux occupants et d'augmenter ainsi la quantité des polluants à l'intérieur de la maison. Pour palier à cet inconvénient, Habitasol est munie d'une ventilation mécanique assurée par deux ventilateurs récupérateur de chaleur. La ventilation constitue une charge de chauffage puisqu'il faut absolument chauffer l'air frais que l'on fait entrer dans la maison tout comme s'il s'agissait d'infiltration (voir équation 2.1). Cependant, les ventilateurs dont est munie Habitasol ont l'avantage de récupérer jusqu'à 70 % de la chaleur présente dans l'air vicié expulsé vers l'extérieur. Il s'agit là d'une quantité non négligeable d'énergie et une économie appréciable de chauffage. Le fonctionnement de ces ventilateurs est intermittent, le taux d'humidité de la

maison servant à moduler leur fonctionnement. En utilisant la ventilation uniquement lorsque nécessaire, on permet ainsi de minimiser la charge de chauffage due à la ventilation et on réalise ainsi une autre économie d'énergie.

2.3 Prévisions énergétiques

Des prévisions ont été faites par le constructeur afin d'estimer les besoins énergétiques d'Habitasol. Un aperçu de ces prévisions est présenté ici pour donner l'ordre de grandeur de la consommation projetée pour Habitasol. Ces prévisions ont été obtenues à l'aide du logiciel Hot-2000, version 6.02, de Ressources Naturelles Canada. Ce logiciel estime les besoins énergétiques d'une maison en fonction de différents paramètres de construction tels la superficie des murs, leur isolation, leur orientation, la superficie des fenêtres, le type de ventilation, etc. Le climat est fonction de moyennes mensuelles de température, d'ensoleillement, d'humidité, etc. Les figures 2.4 et 2.5 présentent les résultats de cette modélisation réalisée à l'aide d'un fichier météo de Montréal (4471 degrés-jours, base 18 °C). On peut y constater que l'ensemble des besoins de chauffage de 20 610 kWh est comblé par les gains solaires, les gains internes et le chauffage auxiliaire dans une proportion d'environ un tiers chacun. Le chauffage auxiliaire se situe à 6000 kWh par année soit environ 350 \$ d'électricité (à 0.05 \$/kWh + taxe). À titre de comparaison, une modélisation a été réalisée avec une maison de même surface mais rectangulaire, avec un niveau d'isolation et de ventilation répondant aux normes en vigueur et avec des fenêtres réparties tout autour de la maison. Cette modélisation a permis de situer la consommation du chauffage auxiliaire de cette maison plus standard à 20 500 kWh par année, soit environ 1200 \$ d'électricité.

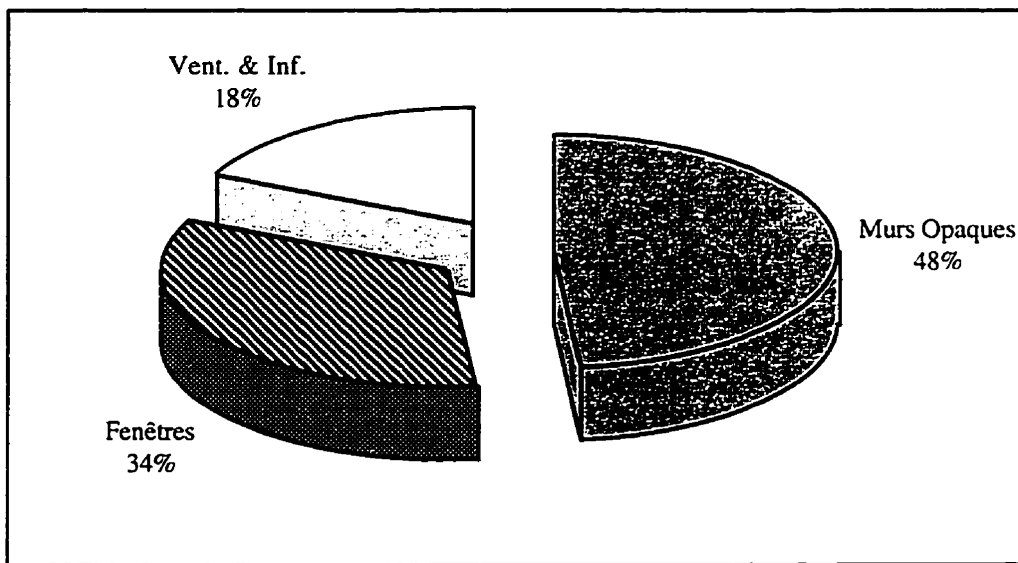


Figure 2.4 Fraction des déperditions annuelles totales prévues d'Habitasol selon le type de perte

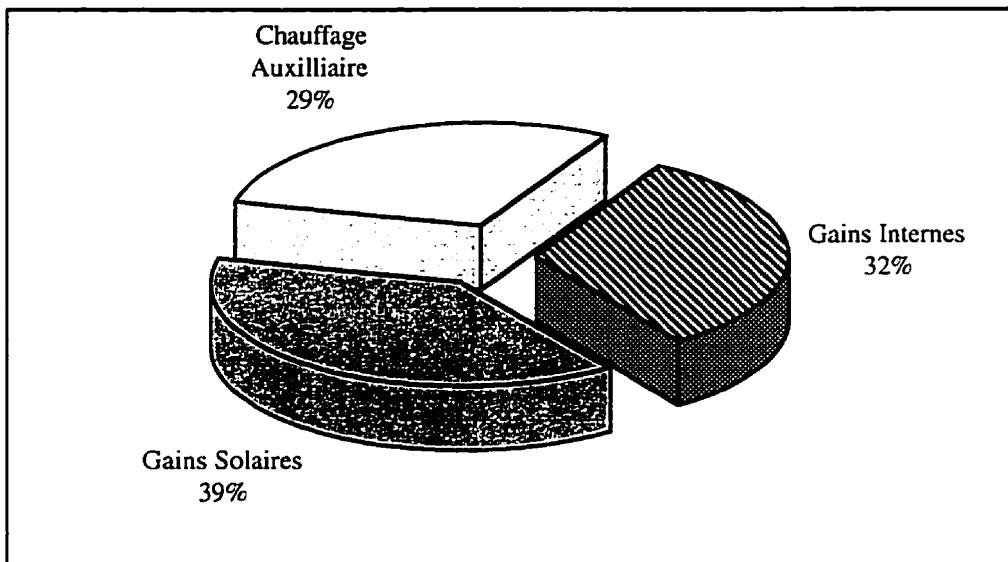


Figure 2.5 Provenances de l'énergie comblant les besoins de chauffage selon les prévisions du logiciel HOT-2000

La présente étude sera utile pour vérifier l'exactitude de ces prévisions. En effet, une campagne de mesure complète de la consommation énergétique de la maison a été réalisée sur une année entière. Les résultats provenant de cette campagne de mesure sont exposés au chapitre 4. Le prochain chapitre présente quant à lui la description du système d'acquisition utilisé pour réaliser celle-ci.

3. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ACQUISITION

L'un des objectifs de ce projet étant la démonstration de l'apport de certains paramètres de construction au bilan énergétique de la résidence, l'utilisation d'un système d'acquisition est essentielle. Celui-ci a pour rôle d'enregistrer des températures intérieures et extérieures, de recueillir des mesures de consommation électrique tout en permettant de déterminer le profil de puissance de la maison et, finalement, de stocker le temps de fonctionnement de certains appareils. Ce système d'acquisition doit être à la fois fiable pour assurer une collecte de données continue, précis pour assurer la qualité de ces données, flexible pour permettre la modification des variables mesurées advenant des changements au cours du projet, simple pour en faciliter la compréhension et abordable pour respecter les budgets destinés au projet. Le but de ce chapitre est de présenter le système ayant servi à la collecte des données du projet.

3.1 Mesure des Températures

Les dispositifs les plus utilisés pour mesurer la température en vue d'en faire l'acquisition sont généralement : le thermocouple, le détecteur de résistance-température (RTD), le thermistor et la sonde à circuits intégrés [3]. Le thermocouple a été choisi pour les raisons suivantes : sa simplicité, son faible coût et le fait qu'il ne soit pas nécessaire de l'alimenter (contrairement aux trois autres). Ces caractéristiques font en sorte qu'il est le plus approprié pour cette utilisation. Étant donné la plage de température mesurée ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $40\text{ }^{\circ}\text{C}$), le thermocouple de type T (Constantan - cuivre) fut retenu. Le modèle utilisé possède une tige de $1/16$ " de diamètre et de six pouces de long en acier inoxydable 316. Il est complètement isolé électriquement de sa tige de protection. Sa précision est de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou 0.8% pour les températures de -200 à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou 0.4% pour les températures de 0 à $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les thermocouples ont été étalonnés préalablement dans un bain thermostaté afin de s'assurer de leur précision.

Treize thermocouples sont installés à l'intérieur d'Habitasol. Les figures 3.1, 3.2 et 3.3 spécifient la localisation de chacun. Huit thermocouples ont été dispersés dans différentes pièces afin de mesurer la température de chacune des zones de la maison. Un thermocouple fut installé à l'extérieur pour connaître la température ambiante. Quatre thermocouples furent installés aux sorties des échangeurs d'air afin de connaître la température à la sortie des récupérateurs de chaleur et ce, autant du côté chaud que du côté froid de l'échangeur. Cette dernière information, couplée aux températures de la chambre des maîtres, de la piscine et de l'extérieur, ainsi qu'aux débits et aux temps de fonctionnement des ventilateurs, permet d'estimer la quantité d'énergie récupérée par les appareils ainsi que la part de la ventilation dans la charge de chauffage de la maison.

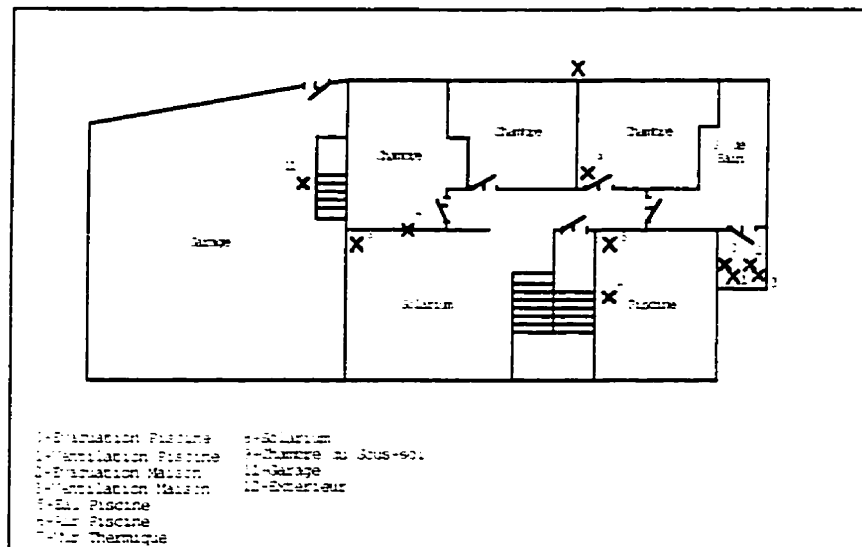


Figure 3.1 Disposition des thermocouples au sous-sol

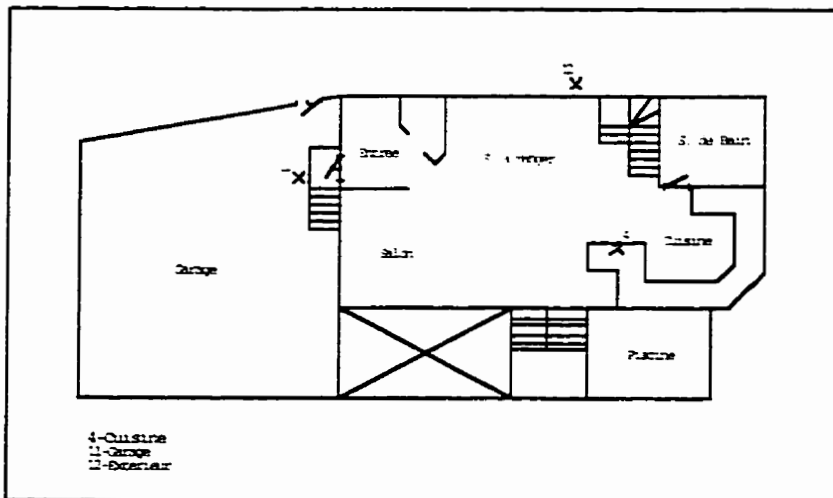


Figure 3.2 Disposition des thermocouples au rez-de-chaussée

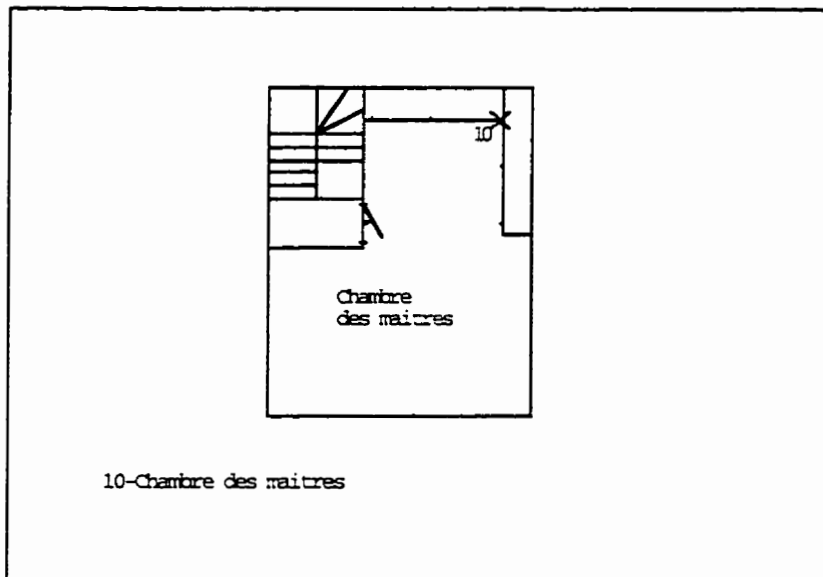


Figure 3.3 Disposition des thermocouples dans la chambre des maîtres

Ces treize thermocouples sont branchés à l'ordinateur acquieseur de données par l'intermédiaire d'un multiplexeur CIO-EXP16 de la compagnie Computer board, inc. muni d'une jonction froide de compensation pour les thermocouples. Ce multiplexeur est relié à son tour à l'ordinateur via une carte d'acquisition CIO-DAS08. Un gain de 800 est appliqué au signal entre le multiplexeur et la carte analogue/digital. C'est une routine en langage C qui permet la lecture, la conversion du voltage en degrés Celcius et l'enregistrement des données. Cette routine, qui apparaît à l'annexe B, effectue la conversion du voltage en degrés Celcius grâce à

un polynôme de linéarisation. L'enregistrement se fait toutes les quinze minutes et est contrôlé par un logiciel qui sera décrit dans une section subséquente.

3.2 Mesure des consommations électriques

Pour établir le bilan énergétique de la maison, il est nécessaire de mesurer sa consommation énergétique. Dans le cas d'Habitasol, la seule source d'énergie auxiliaire est l'électricité, limitant ainsi l'instrumentation à des appareils de mesure de la consommation électrique. Cette consommation est divisée selon les différentes utilisations indiquées au Tableau 3.1.

TABLEAU 3.1 DIVISION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE SELON L'UTILISATION ET APPAREIL DE MESURE EMPLOYÉ

Utilisation	Modèle des transducteurs d'énergie
Chauffage des locaux	W-059CX5-T
Chauffe-eau Sanitaire	W-059CX5-T
Garage et extérieur	W-061CX5-T
Poêle et sècheuse	W-059CX5-T
Reste (Prises de courant, lumière, etc.)	W-061CX5-T

Pour l'acquisition, des transducteurs modèles W-059CX5-T et W-061CX5-T de Ohio Semitronics, inc. sont utilisés. Le premier est destiné à l'acquisition des circuits de 240 Volts alors que le second est conçu pour les circuits de type Edison (type de circuit généralement utilisé dans les maison nord-américaine. Voir figure 3.4). La raison de l'utilisation de deux modèles différents en est une d'économie. En effet, le premier modèle convient tout à fait aux circuits sur lesquels ne sont branchés que des appareils fonctionnant sous une tension de 240 Volts (poêle, sècheuse, plinthe électrique) et est moins dispendieux, justifiant ainsi son utilisation pour ces circuits. Quant au second modèle, il peut être employé sur les circuits où se retrouvent des appareils fonctionnant sous une tension de 240 Volts ou de 120 Volts puisqu'il

additionne la consommation de chacune des phases. Les principales caractéristiques de ces appareils apparaissent au tableau 3.2 et leur schéma de branchement à la figure 3.4.

TABLEAU 3.2 CARACTÉRISTIQUES DES MODULES DE MESURE DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Modèle	Voltage (V)	Courant (A)	Puissance Maximum (W)	Nombre de pulsations Maximum/Heure
W-059CX5-T	0-300	0-100	20 000	20 000
W-061CX5-T	0-150	0-100	20 000	20 000

Ces appareils permettent de connaître la puissance instantanée grâce à une sortie 0-5 Vdc ou encore l'énergie consommée grâce à l'envoi d'une pulsation pour chaque Wattheure mesuré. Ils s'alimentent à même le circuit et possèdent une précision de +/- 0.5 % de leur échelle maximum. Dans le cas présent, les transducteurs sont reliés à une carte d'acquisition CIO-CTR10 de Computer Board, inc. qui compte le nombre de pulsations. Les compteurs de la carte sont lus et réinitialisés toutes les quinze minutes grâce à une routine QBasic fournie avec la carte d'acquisition. Ces lectures sont alors enregistrées sur le disque rigide de l'ordinateur. Cette procédure est contrôlée par le programme d'acquisition qui sera décrit en détail plus loin.

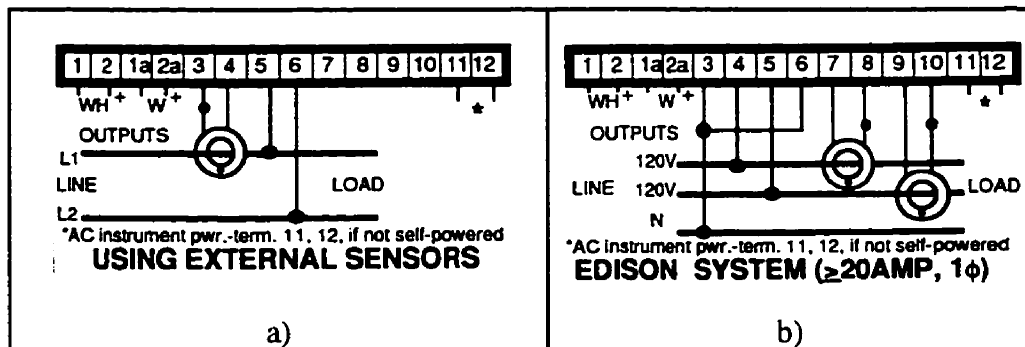


Figure 3.4 Schéma de branchement des modules de mesure de la consommation électrique a) W-059CX5-T, b) W-061CX5-T

3.3 Acquisition des temps de fonctionnement

Parmi les caractéristiques propres à cette maison, il y a la présence de deux ventilateurs récupérateur de chaleur (VRC) et d'une piscine chauffée. La connaissance du temps de fonctionnement des ventilateurs permet d'évaluer la charge de chauffage due à la ventilation. La connaissance du temps de fonctionnement du chauffe-piscine multiplié par sa puissance électrique donne l'énergie dissipée dans celle-ci. Des modules développés par le technicien en électronique du département de génie mécanique, Paul Champagne, ont été installés pour mesurer ces temps de fonctionnement (voir figure 3.5). Ils utilisent la fréquence du courant (60 hertz) pour déterminer le temps que chacun de ces appareils fonctionne. À chaque 60 oscillations, une pulsation, correspondant à une seconde de fonctionnement, est comptabilisée par la carte CIO-CTR10. Les compteurs de la carte sont lus et réinitialisés selon le même processus que les consommations électriques. Le temps de fonctionnement en seconde de chacun des appareils déjà mentionnés est ainsi connu pour chaque période de quinze minutes.

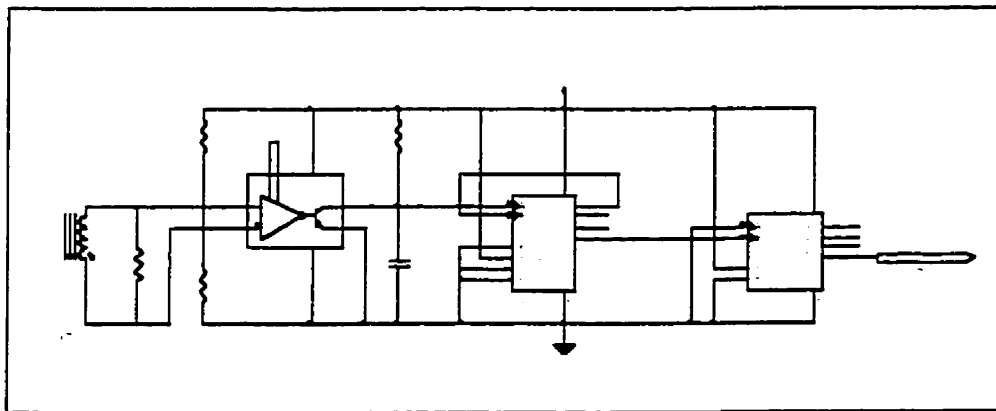


Figure 3.5 Plan des modules d'acquisition de temps de fonctionnement

3.4 Ordinateur et logiciels

Au centre de tous ces dispositifs se trouve un ordinateur personnel de type compatible IBM muni d'un processeur 80286, d'un co-processeur 80287, de 512 ko de mémoire vive et possédant un disque rigide de 20 Mo. Cet ordinateur a pour rôle de récolter les données toutes

les quinze minutes et de les enregistrer sur le disque. Il doit aussi permettre d'avoir accès aux données afin de pouvoir les traiter et les analyser. Finalement, celui-ci se doit d'être fiable pour assurer la collecte des données sans interruption. C'est pourquoi un petit périphérique nommé "chien de garde" a été conçu par le technicien du département pour s'assurer que la collecte des données se fait d'une façon continue. Celui-ci est en fait une alarme qui, si elle n'est pas réinitialisée toutes les quinze minutes, retentit pour avertir les occupants de la maison qu'il y a un problème avec l'acquisiteur. Ce "chien de garde", dont le plan apparaît à la figure 3.6, permet d'être avertit rapidement de la présence d'un problème technique. Il permet ainsi d'y remédier dans les plus brefs délais. Dans la majorité des cas, une simple réinitialisation de l'ordinateur permet de relancer l'acquisition. La perte de données se limite alors à quinze ou vingt minutes. En cas de problème plus grave ou récurrent, l'équipe de recherche de l'Université de Sherbrooke peut alors être rapidement mise au courant et ainsi chercher les causes du problème. Ce petit périphérique joue ainsi un rôle important en permettant de laisser l'ordinateur sans surveillance pendant plusieurs jours tout en sachant que si une panne survenait, le problème serait rapidement détecté.

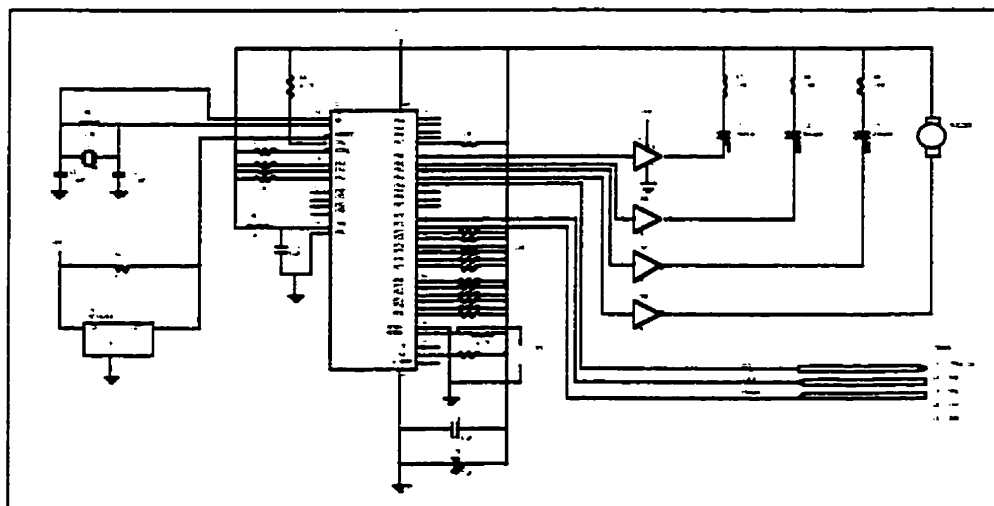


Figure 3.6 Plan du chien de garde

En ce qui concerne le logiciel d'acquisition, celui-ci fut développé par l'auteur de ce mémoire. Il s'agit d'un programme Qbasic présenté à l'annexe B. Le choix du langage s'est fait en fonction

de sa simplicité, de son efficacité pour afficher les résultats dans une présentation convenable, des fonctions intrinsèques disponibles pour obtenir l'heure et la date et pour la possibilité de lancer facilement des programmes développés dans un autre langage. Le travail du logiciel peut se diviser en deux parties : d'abord lors du démarrage de celui-ci, il doit initialiser les variables et les paramètres qui le contrôlent: ensuite, il entame une boucle dans laquelle il s'assure de réaliser les acquisitions toutes les quinze minutes. Les prochains paragraphes décrivent étape par étape l'exécution du programme.

Le programme d'acquisition est lancé à partir d'un programme de commande DOS (*Batch file*). Celui-ci appelle en premier lieu un programme exécutable développé en QBasic et qui a pour rôle d'inscrire dans un fichier l'heure et la date du démarrage. Cette information peut être utile pour expliquer l'absence de certaines données causée par une panne d'électricité ou du système d'acquisition par exemple. Ensuite, le programme initialise la carte CIO-CTR10 et le chien de garde dans le but de mettre fin à une alarme s'il y en a une. Le programme de commande reprend alors la relève et lance le module principal du programme d'acquisition .

La première opération accomplie par le module principal est la lecture dans un fichier de l'heure et la date de la dernière acquisition. Il compare ensuite cette lecture à l'heure et à la date présentes pour déterminer si ces informations sont conciliables. Sinon, un message est transmis à l'utilisateur pour l'informer du problème et un signal sonore se fait entendre pour attirer son attention. Ce signal persiste tant qu'il n'y a pas d'action entreprise par l'utilisateur.

Le programme fait ensuite la lecture de certains fichiers pour connaître la date des samedis à venir ainsi que celle de la dernière copie de fin de semaine (cette procédure sera décrite plus loin) puis les dernières données acquises sont extraites des fichiers de données pour être assignées à des variables. La carte CIO-CTR10 est ensuite initialisée. L'ordinateur est alors prêt pour entamer la boucle d'acquisition.

Les instructions de la boucle sont constamment effectuées par l'ordinateur. En fait, celui-ci passe la majeure partie du temps à effectuer une série de comparaisons. Lorsqu'une condition ou une série de conditions sont remplies, il effectue alors l'opération correspondante. Les deux seules exceptions à ce principe sont l'affichage des valeurs mesurées et de l'heure. L'heure, la date, l'heure de la dernière acquisition et les dernières valeurs de température, de consommation et de temps de fonctionnement sont ainsi continuellement affichées à l'écran. Ces informations permettent à l'utilisateur de juger de la pertinence des dernières valeurs mesurées. De plus, la mise à jour continue de l'heure permet de vérifier si le logiciel est bien en marche.

Ensuite, l'heure est comparée à différentes valeurs. S'il est XX:00, XX:15, XX:30 ou XX:45 ou encore s'il s'est écoulé plus de seize minutes depuis la dernière acquisition, il y a un appel à la routine d'acquisition. Cette routine réinitialise le chien de garde, met à jour les paramètres qui indiquent le moment de la dernière acquisition, lit les compteurs de la CIO-CTR10 (qui contiennent les données de consommation et de temps de fonctionnement), les remet à zéro et inscrit finalement ces lectures dans un fichier de données. La routine d'acquisition des températures est ensuite lancée et les valeurs de température sont récupérées d'un fichier de données. Chaque samedi, entre 23:45 et 23:59, les données des fichiers courants sont copiées à des fichiers identifiés à la date du jour (le samedi qui termine la semaine). Cette opération est effectuée afin d'avoir des fichiers ne contenant qu'une semaine d'acquisition. La manipulation de ces fichiers en est ainsi simplifiée. De même, les données sont copiées dans des fichiers où l'on accumule les données de semaine en semaine et qui servent de sauvegarde en cas de problèmes avec les fichiers de semaine.

Le programme a été conçu avec l'intention de minimiser l'intervention des résidents de la maison. Cependant, quelques fonctions relativement simples ont été programmées dans le but de simplifier la tâche de l'utilisateur à réaliser certains ajustements sans arrêter l'exécution du programme. En voici la liste:

-
- F1 Dépannage
 - F2 Communication
 - F3 Changement de l'heure ou de la date
 - F4 Mettre fin à l'exécution du programme
 - F5 Faire une copie de sûreté

De ces fonction, celle concernant la communication offre des possibilités qu'il est intéressant d'exposer. Lorsqu'activé, le logiciel commercial "*PC Anywhere*" est lancé. Celui-ci permet à un usager éloigné, relié par ligne téléphonique. de prendre le contrôle de l'ordinateur d'acquisition afin de modifier les fichiers ou les programmes ou encore de transférer les fichiers de données de l'ordinateur d'acquisition vers son propre ordinateur. Pour lancer le programme, l'usager présent à la maison de St-Luc n'a qu'à appuyer sur F2. L'ordinateur est alors mis en attente et répond dès qu'il y a appel téléphonique. C'est dès lors l'usager à distance qui prend le contrôle de l'ordinateur d'acquisition. Lorsque la communication est terminée, l'ordinateur d'acquisition est réinitialisé. Toute la procédure de démarrage est alors exécutée de nouveau.

3.5 Discussion

Le système d'acquisition fut développé au début du projet par le candidat avec l'aide technique d'autres intervenants. Des modifications apportées à la tactique d'acquisition en cours de développement ont fait en sorte que certains aspects développés au début se sont révélés moins utiles qu'initialement prévu. Bien que le système réponde aux besoins de l'expérimentation, l'expérience et l'utilisation ont démontrées que certaines opérations auraient pu être traitées différemment et plus avantageusement. Par exemple, l'utilisation d'une routine de lecture et de linéarisation des thermocouples en Qbasic aurait évité l'utilisation d'une routine extérieure au programme d'acquisition et n'aurait nécessité que peu d'heures de programmation de plus. Il en aurait résulté une plus grande flexibilité du programme d'acquisition. Cette amélioration aurait permis d'augmenter la fréquence des lectures de température. La valeur de température inscrite

au fichier aurait pu être alors une moyenne de quinze températures prises chacune à une minute d'intervalle par exemple.

Quoiqu'il en soit, le système d'acquisition a bien fonctionné pendant toute l'année et a permis de récolter les données désirées pour fin d'analyse. Ces données sont exposées et analysées au prochain chapitre.

4. ANALYSE DES MESURES

L'objectif de ce chapitre est de présenter et d'analyser les données obtenues lors d'une campagne de mesure tenue du 1^{er} novembre 93 au 31 octobre 94. Des données de consommation, de temps de fonctionnement et de température ont alors été enregistrées toutes les quinze minutes pendant toute cette année afin de réaliser une étude sur la consommation de la maison. Cette étude a entre autres pour but de vérifier si cette maison est vraiment efficace et si elle assure à ses occupants un confort équivalent à celui d'une maison standard.

4.1 Températures mesurées

L'analyse des températures permet de vérifier l'aspect confort de la maison. Il est alors possible de démontrer que l'économie réalisée ne se fait pas au détriment de la qualité de vie des occupants. Pour un maximum de confort, la température doit être suffisante sans être trop élevée et la plus constante possible. Le tableau 4.1 présente les moyennes mensuelles des températures mesurées à l'intérieur et à l'extérieur d'Habitasol. Seules les moyennes sont présentées dans ce tableau, mais il est démontré dans la suite de l'analyse qu'étant donné que la température de consigne du chauffage est basse, l'observation des moyennes suffit pour conclure à la stabilité de la température.

TABLEAU 4.1 TEMPÉRATURES MOYENNES MENSUELLES POUR DIFFÉRENTS ENDROITS DANS LA MAISON

Mois	Chambre (°C)	Jeune Pleine (°C)	Air Pleine (°C)	Min Thermique (°C)	Solarium (°C)	Sous-sol (°C)	Chambre Nour (°C)	Garde (°C)	Extérieur (°C)
Nov 93	20.2	25.2	21.6	20.1	19.7	20.9	19.5	13.0	.8
Déc 93	19.7	22.5	19.2	20.1	19.3	21.2	19.3	10.4	-6.0
Jan 94	19.8	24.1	19.6	20.0	19.2	21.5	19.5	5.3	-17.2
Fév 94	20.1	24.5	20.5	20.4	19.7	21.5	20.0	7.6	-12.2
Mars 94	20.3	21.7	19.3	20.0	19.5	21.4	19.8	10.1	-3.5
Avril 94	20.6	23.0	20.8	20.0	19.8	21.4	20.2	12.8	5.1
Mai 94	22.2	25.0	23.2	21.0	21.0	21.5	22.3	16.3	12.1
Juin 94	24.4	25.2	25.0	23.6	23.6	23.6	24.8	20.7	20.2
Juil 94	25.2	24.9	25.7	24.6	24.5	24.5	25.6	22.5	22.5
Août 94	24.6	25.0	25.3	24.0	23.9	24.0	25.0	22.2	18.2
Sept 94	23.0	24.2	24.0	22.7	22.5	22.6	23.5	20.7	13.8
Oct 94	21.8	20.3	20.7	21.5	21.2	21.1	22.2	18.1	8.2

Le tableau 4.1 ne donne qu'un bref aperçu des températures mesurées. L'annexe C regroupe des graphiques de profils moyens de température pour chaque mois et ce, pour différents endroits dans la maison. De plus, les figures 4.4, 4.5 et 4.6 donnent des profils de certaines journées en particulier.

La température de consigne est généralement de 19.5 °C. Seul le sous-sol fait exception à cette règle puisque la consigne dans la chambre du bébé (où se situe le thermocouple) se situe plutôt autour de 21 °C. Cette différence de consigne explique les valeurs de température plus grandes du sous-sol en hiver. Cette température de confort est maintenue partout dans la maison grâce à des convecteurs électriques munis de thermostats électroniques très précis (à 0.1 °C selon le manufacturier). Il est possible de constater sur la tableau précédent que la température moyenne du solarium et de la chambre des maîtres en hiver est toujours près de cette consigne de 19.5 °C. Il faut noter que les habitants de la maison ne pratiquent pas la stratégie qui consiste à abaisser le point de consigne du chauffage la nuit ou lorsqu'ils sont absents et que de plus, la

maison est généralement occupée toute la journée. Il est donc raisonnable de supposer que la température ait peu variée autour de cette consigne. En effet, une température ambiante plus basse que 19 °C aurait été inconfortable. Avec un thermostat bimétallique conventionnel, la température oscille généralement de deux ou trois degrés autour de la consigne, causant ainsi un certain inconfort lorsqu'elle descend trop bas. Ce phénomène oblige généralement les occupants à déterminer la température de consigne en fonction de la plus basse température atteinte dans un cycle, haussant ainsi la température moyenne de la maison. Cette température moyenne plus élevée a pour conséquence d'augmenter les déperditions vers l'extérieur et ainsi les coûts de chauffage. L'utilisation de thermostats plus précis semble donc une mesure qui contribue à l'économie de chauffage d'Habitasol. L'évaluation de cette économie à cette étape de l'étude n'est cependant pas possible.

La poursuite de l'analyse permet de constater une température moyenne légèrement supérieure dans la cuisine. Lorsque l'on regarde les profils moyens présentés à l'annexe C, il est possible de constater que durant les mois d'hiver, il y a élévation de la température du solarium en début de journée. Cette chaleur se propage ensuite à la cuisine et à la chambre des maîtres, grâce à un effet de cheminée (élévation de l'air chaud qui est plus léger que l'air froid). Ensuite, la température de ces pièces rediminue lentement. Cependant, vers 17h00, on remarque une nouvelle augmentation dans la cuisine. Cette augmentation est probablement due aux gains internes plus importants à cette heure, gains provenant des activités reliées à la préparation du souper (utilisation du four micro-ondes, du poêle, du lave-vaisselle, etc.). Il est donc logique de supposer que les gains solaires et internes sont responsables de la moyenne de température plus élevée dans la cuisine.

Pour ce qui est de la piscine, la température de l'air est généralement plus basse que celle de l'eau sauf pour juillet et août. L'air ambiant de la piscine n'étant pas chauffé de façon directe, (seul l'eau l'est) le maintien de la température de l'air se fait par convection naturelle entre l'eau et l'air d'une part et par les gains solaires d'autre part. Par contre, la majorité des

dépertitions se fait par conduction à travers les murs et les fenêtres ainsi que par l'apport d'air de ventilation. Ces dépertitions sont plus importantes que les gains solaires, ce qui explique la température plus basse de l'air en hiver. En été, les dépertitions à travers les murs sont beaucoup plus faibles et les gains solaires plus importants, contribuant ainsi à réchauffer l'air de la piscine. Celle-ci devient alors plus chaude que l'eau. Ces variations de température étaient prévisibles et les mesures observées ne viennent que confirmer ce qui était intuitivement attendu.

Le mur thermique quant à lui présente, pour la période hivernale, une température moyenne légèrement supérieure à celle de la pièce où il se trouve (solarium). Il serait donc tentant de conclure qu'il remplit bien son rôle d'accumulateur thermique et qu'il accumule de la chaleur durant le jour pour la redistribuer ensuite le soir et la nuit. Par contre, l'étude des profils de température a permis d'identifier des valeurs particulièrement élevées. Il est donc possible que malgré les efforts pour éliminer le rayonnement solaire à la surface du thermocouple, celui-ci soit tout de même influencé par ce rayonnement. Une étude plus approfondie est donc nécessaire avant de conclure sur ce point. Celle-ci est présentée plus loin à l'intérieur de ce chapitre. En été, la température du mur est équivalente à celle du solarium. Ce fait semble démontrer que ce mur n'est donc pas exposé au soleil. De plus, on constate que le solarium, bien qu'abondamment vitré, n'est pas plus chaud en moyenne que la cuisine, le sous-sol ou la chambre des maîtres. Cette constatation permet de conclure à l'efficacité du *sombrero* pour éviter les surchauffes durant l'été. En fait, c'est la chambre des maîtres qui constitue le point le plus chaud de la maison en été. L'effet de cheminée est l'explication la plus naturelle et la plus probable de ce phénomène.

Les températures à l'intérieur du garage et à l'extérieur ont été mesurées pour évaluer à quelles conditions extérieures la maison était soumise. Les températures relativement douces à l'intérieur du garage s'expliquent par le convecteur électrique qui y est présent et qui sert à y maintenir une température minimale. Il s'agit d'un convecteur portatif muni d'un thermostat intégré, probablement de type bimétallique, et qui ne maintient qu'approximativement la

température de consigne. De plus l'ouverture des portes du garage provoque un changement d'air important qui peut modifier rapidement la température à l'intérieur du garage. Ces deux raisons expliquent probablement la variation des températures moyennes mensuelles durant l'hiver. La connaissance du comportement de la température du garage sans l'apport de chauffage auxiliaire aurait été une donnée particulièrement pertinente. Comme mentionné précédemment, celui-ci a été conçu dans le but de minimiser les déperditions thermiques de la maison, en constituant un espace tampon, et il aurait été intéressant de connaître dans quelle mesure il parvient à jouer ce rôle. Cependant, des contraintes dues à l'occupation de la maison ont empêché de déterminer expérimentalement cet apport. Dans la section 4.4, l'économie découlant de l'utilisation du garage comme espace tampon est quantifiée de façon théorique.

4.2 Climat

Comme mentionné précédemment, l'année d'étude s'est déroulée du 1^{er} novembre 93 au 31 octobre 94. Pour les fins de cette étude, les données météorologiques du service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada ont été utilisées. Les données de température, d'humidité, de vent et d'insolation proviennent de la station de St-Hubert, située non loin de St-Jean-sur-Richelieu, alors que les données de rayonnement solaire proviennent de la station de Dorval. Le tableau suivant présente les degrés-jours de chauffe (base 18 °C) enregistrés à St-Hubert, tel que communiqué par Environnement Canada. Il est cependant important de noter qu'Habitasol étant une maison performante, sa température de référence est sûrement plus basse que 18 °C, température de référence standard d'Environnement-Canada. Ces données sont tout de même présentées afin que le lecteur puisse apprécier les conditions climatiques observées durant la période d'étude et les comparer aux conditions normales.

TABLEAU 4.2 DEGRÉS-JOURS ENREGISTRÉS À LA STATION MÉTÉO DE ST-HUBERT POUR L'ANNÉE 93-94

Mois	Normal (°C)	Degrés-jours enregistrés (°C)	Ecart (°C)	Ecart (%)
Nov 93	498.2	510.9	12.7	2.55%
Déc 93	776.9	732.7	-44.2	-5.69%
Jan 94	878.5	1074	195.5	22.25%
Fév 94	760.6	831.2	70.6	9.28%
Mars 94	632.2	653.5	21.3	3.37%
Avril 94	371.4	371	-0.4	-0.11%
Mai 94	173.6	193.3	19.7	11.35%
Juin 94	42.9	35.5	-7.4	-17.25%
Juil 94	10.3	1.5	-8.8	-85.44%
Août 94	29.8	37.7	7.9	26.51%
Sept 94	130.3	108.6	-21.7	-16.65%
Oct 94	311.2	267.1	-44.1	-14.17%
Total	4615.9	4817.0	201,1	4.36%

L'hiver s'est révélé particulièrement rigoureux avec une température moyenne mensuelle record de -16.7°C en janvier. Il s'agit de la moyenne de température de janvier la plus faible enregistrée à St-Hubert depuis les 56 dernières années. On peut constater à l'aide du tableau précédent que le mois de janvier a présenté 22.25 % plus de degrés-jours qu'un hiver normal. Bien que pour l'année entière la différence ne représente que 4.36 %, on peut constater que cette différence est principalement due aux mois de janvier, février et mars, des mois où le chauffage est très important. Parmi les mois d'hiver, seul décembre présente un bilan favorable. Les variations durant l'été, bien que proposant des valeurs importantes lorsque exprimées d'une façon relative, ne sont pas significatives puisqu'à ce moment le chauffage est à toute fin pratique nul. Lorsque les courbes et les valeurs de consommation d'électricité pour le chauffage seront abordées, il sera important de se rappeler que l'hiver 93-94 a été particulièrement rigoureux et que ces basses températures ont pu gonfler, ou du moins modifier à la hausse, les

consommations mesurées. Celles-ci risquent donc d'être plus élevées comparativement à ce qui pourrait être considéré comme une année normale ou moyenne.

4.3 Consommation mesurée

Le tableau 4.3 présente la consommation totale en kilowattheure pour chaque mois d'acquisition et pour chaque utilisation étudiée. La figure 4.1 présente quant à elle la répartition, en pourcentage, de la consommation annuelle totale entre les différentes utilisations. Voici une description de chacune de ces utilisations telles que définies à l'intérieur de cette étude :

Chauffage: Comprend toute la consommation des convecteurs électriques situés à l'intérieur de la maison (celui du garage est donc exclu).

Chauffe-eau: Comprend la consommation électrique des deux chauffe-eau destinés à la consommation domestique (cuisine, lavage, douche, etc.). Ce terme n'inclut donc pas l'énergie destinée au chauffage de l'eau de la piscine.

Extérieur & Garage: Ce terme inclut l'énergie consommée à l'extérieur de la maison (exemple: les prises de courant extérieures) ainsi que l'énergie utilisée dans le garage (Chauffage, etc.).

Poêle & sècheuse : Ce terme est constitué de la consommation du poêle et de la sècheuse.

Chauffe-Piscine : Ce terme est le produit du temps de fonctionnement de l'élément du chauffe-piscine par sa puissance nominale. Il s'agit de l'énergie électrique dissipée dans l'eau de la piscine.

Reste: Comprend toutes les autres utilisations qui ne sont pas incluses dans les utilisations précédentes soient : les prises de courants, les lumières, etc.

Total: La somme de toutes ces utilisations.

TABLEAU 4.3 CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ PAR UTILISATION POUR LA PÉRIODE DU 1^{ER} NOVEMBRE 93 AU 31 OCTOBRE 94

Mois	Chauffage (kWh)	Chauffe-eau (kWh)	Garage & Extérieur (kWh)	Poêle & Sécheuse (kWh)	Chauffe-Piscine (kWh)	Reste (kWh)	Total (kWh)
Nov 93	401.24	314.70	261.13	121.07	678.85	552.35	2329.34
Déc 93	908.85	393.93	409.64	149.93	883.71	643.89	3389.95
Jan 94	1430.51	386.26	597.13	133.94	935.18	581.17	4064.19
Fév 94	913.28	373.85	440.77	142.97	755.37	503.78	3130.02
Mars 94	746.24	437.42	366.48	172.13	737.85	532.33	2992.45
Avril 94	458.93	407.48	237.05	160.82	710.84	482.04	2457.16
Mai 94	127.24	455.73	168.12	182.77	658.77	523.51	2116.14
Juin 94	2.50	215.98	113.94	44.14	456.23	396.16	1228.95
Juil 94	0.00	164.98	1.65	19.67	101.37	346.00	633.67
Août 94	9.10	241.00	103.72	57.26	314.74	426.00	1151.82
Sept 94	4.82	280.98	176.85	154.30	301.24	568.61	1486.80
Oct 94	37.10	336.10	191.25	177.80	210.02	651.41	1603.66
Total	5039.81	4008.41	3067.73	1516.8	6744.17	6207.25	26584.15

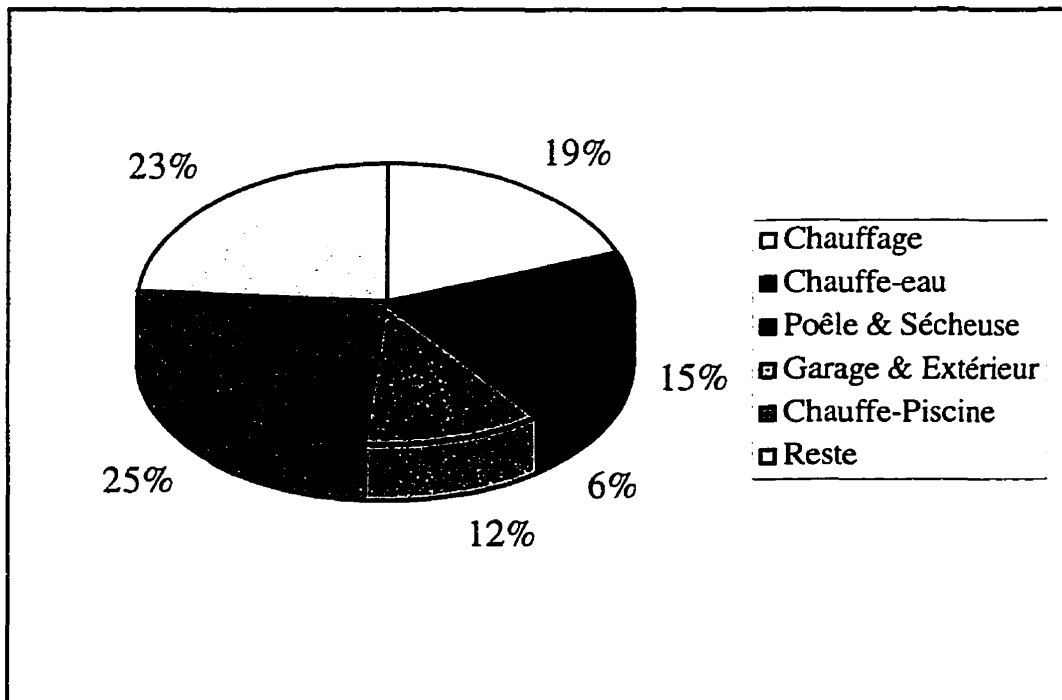


Figure 4.1 Répartition de la consommation annuelle d'électricité d'Habitasol selon l'utilisation

La consommation d'électricité totale d'Habitasol est de 26 584 kWh. Étant donné que l'électricité constitue la seule source d'énergie de la maison, ce chiffre représente la consommation d'énergie totale. Le chauffage constitue 19 % de toute l'énergie consommée par Habitasol et représente la troisième utilisation en importance, la première étant le chauffage de la piscine avec 26 %. L'éclairage et l'électricité consommés par l'entremise des prises de courant constituent 23 % de la consommation, le restant étant partagé principalement par les chauffe-eau avec 15 % et les gros électroménagers (poêle et sècheuse) avec 6 %. Les prises extérieures et le garage représentent 12 % de toute la consommation.

TABLEAU 4.4 COMPARAISON DES MESURES DE CONSOMMATION VS LES LECTURES DU COMPTEUR D'HYDRO-QUÉBEC

Date	Lecture Compteur	Consommation selon HO (kWh)	Consommation selon UdeS (kWh)	Écart (kWh)	Écart relatif	Écart cumulatif (kWh)	Écart cumulatif relatif
8 nov 93	2783						
5 déc 93	3010	2270	2297	27	1.19%	27	1.19%
1 jan 94	3303	2930	2970	40	1.37%	67	1.29%
4 fév 94	3739	4360	4414	54	1.24%	121	1.27%
6 mars 94	4066	3270	3335	65	1.99%	186	1.45%
4 avril 94	4322	2560	2582	22.33	0.87%	208.33	1.35%
1 mai 94	4551	2290	2248	-41.77	-1.82%	166.56	0.94%
5 juin 94	4779	2280	2305	25.06	1.10%	191.62	0.96%
4 juil 94	4884	1050	1054	3.73	0.36%	195.35	0.93%
13 août 94	4958	740	743	2.93	0.40%	198.28	0.91%
5 sept 94	5070	1120	1135	14.51	1.30%	212.79	0.93%
2 oct 94	5208	1380	1406	26.18	1.90%	238.97	0.99%
23 oct 94	5310	1020	1044.73	24.73	2.42%	263.7	1.04%

Le tableau 4.4 présente une comparaison de la compilation des résultats mesurés avec les lectures du compteur d'Hydro-Québec. Ce tableau permet de valider les mesures effectuées pour cette étude. Le faible écart qui existe entre les mesures et les lectures du compteur peuvent s'expliquer par différents facteurs. D'abord la résolution (10 kWh) du compteur électrique peut causer des erreurs allant jusqu'à près de 20 kWh. Pour de courtes périodes, ces erreurs peuvent

être importantes comparativement à la consommation mesurée. Ensuite, la consommation du chauffe-piscine est calculée en multipliant le temps de fonctionnement de l'élément par sa puissance nominale. Dans les faits, la puissance consommée par l'élément peut varier avec le temps (en fonction de la tension entre autres) et être légèrement différente de ce qui est indiqué. Finalement, l'écart d'environ 1 % remarqué se situe en deçà de la précision affichée des instruments utilisés. Ces écarts ne mettent toutefois pas en doute les résultats de cette étude puisqu'ils sont négligeables comparativement aux valeurs mesurées. Il est donc possible de comparer les mesures prises sur Habitasol avec différentes moyennes québécoises. Ces comparaisons sont présentées au tableau 4.5.

TABLEAU 4.5 COMPARAISON DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE D'HABITASOL AVEC LA CONSOMMATION MOYENNE QUÉBÉCOISE

	Habitasol (kWh)	Consommation énergétique moyenne par ménage ^[1] (kWh)	Consommation électrique moyenne pour une maison unifamiliale T.A.É. ^[2] (kWh)
Total	26 584	27 679 ³	28 338
Chauffage	5040		14 341
Poêle, sècheuse	1517		2738
Eau chaude	4008		4812

Les résultats démontrent une consommation d'environ 3.9 % moindre que l'ensemble des ménages québécois, bien que la plupart d'entre eux ne vivent pas dans une maison unifamiliale avec quatre enfants. Ce résultat est tout de même décevant si l'on considère qu'Habitasol devrait être une maison particulièrement économe. Lorsqu'on compare Habitasol avec la

²- T.A.É signifie "Tout À l'Électricité".

³- Ce chiffre, exprimé en kWh, provient de la conversion de la valeur de 2.38 tep (tonne équivalent pétrole).

moyenne des résidences unifamiliales "tout à l'électricité". Habitasol ne révèle qu'une économie de 6.2 %. Par contre, au niveau du chauffage, Habitasol présente une économie de 64.9 % comparé à la moyenne des maisons "tout à l'électricité" et ce, malgré les rigueurs de l'hiver 93-94. Les autres utilisations relèvent plus des habitudes de vie des occupants que des paramètres de construction et par conséquent ne feront pas l'objet d'analyses plus poussées. En regardant de plus près les résultats de consommation d'Habitasol, on remarque que l'utilisation la plus importante d'énergie est le chauffage de l'eau de la piscine avec 6744.2 kWh. Ce qui devait être un paramètre de construction permettant de diminuer la consommation d'énergie en distribuant la chaleur de façon plus uniforme dans le temps, se révèle donc fort coûteux du point de vue énergétique. L'utilisation de la piscine comme lieu de détente oblige le maintien de la température de l'eau à un niveau acceptable pour la baignade. D'un autre côté, pour éviter des dégâts causés par l'humidité, une ventilation est assurée pour maintenir le niveau d'humidité relative à environ 50 %. Ce taux d'humidité, combiné à une température de l'eau relativement chaude (généralement supérieure à 22 °C) a pour conséquence de produire un taux d'évaporation élevé, absorbant ainsi une partie de l'énergie contenue dans l'eau de la piscine. Cette nouvelle quantité d'eau dans l'air est alors évacuée par la ventilation pour être remplacée par de l'air extérieur plus sec et plus froid, abaissant ainsi la température de la pièce. L'eau réchauffe ensuite l'air en y transférant de la chaleur par convection naturelle. L'eau étant maintenue à une température fixe, le chauffe-piscine compense pour l'énergie perdue par évaporation et par convection. Ce cycle a pour effet qu'une importante partie de l'énergie fournie à la piscine est rejetée à l'extérieur sous forme latente et sensible et ce, malgré la présence d'un récupérateur de chaleur. La présence de la piscine ne permet pas une économie d'énergie mais constitue plutôt une dépense d'énergie supplémentaire. La question se pose alors à savoir quelle aurait été la consommation de la maison sans la piscine. En effet, bien qu'il soit supposé que la partie la plus importante de l'énergie dissipée dans la piscine se soit retrouvée à l'extérieur, une autre partie de cette énergie a traversé les cloisons par conduction et a ainsi contribué au bilan thermique du reste de la maison. On ne peut donc éliminer la consommation de la piscine sans

ajouter une certaine quantité d'énergie au chauffage de la maison. Pour déterminer cette quantité d'énergie, des moyennes mensuelles de température ont été utilisées à l'intérieur de l'équation suivante :

$$\dot{Q} = (\sum U_i A_i) \Delta T \quad (4.1)$$

- où
- \dot{Q} = Flux de chaleur moyen mensuel en Watts
 - U = Conductance thermique de chacun des murs i
 - A = Aire de chacun des murs i
 - ΔT = Différence entre la température moyenne mensuelle de l'air ou de l'eau et celle de la maison.

Ce flux de chaleur moyen connu, il peut être intégré sur chaque mois pour obtenir une quantité d'énergie. Celle-ci est approximativement la quantité de chaleur transférée de la piscine à la maison. Par ailleurs, si la piscine n'avait pas été là, la surface qui sépare la maison et la piscine aurait été exposée directement aux conditions extérieures. Une approximation de ce qu'auraient été les déperditions vers l'extérieur peut être obtenue de façon similaire. Les tableaux 4.6 et 4.7 présentent les résultats du calcul de l'échange thermique entre l'air de la piscine et la maison et entre l'eau de la piscine et la maison, et le tableau 4.8 présente les résultats de l'estimation de ce qu'auraient été les déperditions de la surface qui sépare la piscine de la maison. Dans ce dernier cas, la composition de la surface est supposée identique à celle des murs extérieurs pour la partie supérieure et identique aux fondations pour la partie inférieure.

TABLEAU 4.6 ÉCHANGE THERMIQUE ENTRE L'AIR DE LA PISCINE ET LA MAISON POUR LA PÉRIODE DU 1^{ER} NOVEMBRE 93 AU 30 AVRIL 94 ($\Sigma U_i A = 51,0 \text{ W/}^\circ\text{C}$)

Mois	Temp. Air piscine ($^\circ\text{C}$)	Temp. Cuisine ($^\circ\text{C}$)	Temp. Solarium ($^\circ\text{C}$)	Écart ($^\circ\text{C}$)	Énergie transférée (kWh)
Nov 93	21,6	20,2	19,7	1,65	60,62
Déc 93	19,2	19,7	19,3	-0,3	-
Jan 94	19,6	19,8	19,2	0,1	3,8
Fév 94	20,5	20,1	19,7	0,6	20,58
Mars 94	19,3	20,3	19,5	-0,6	-
Avril 94	20,8	20,6	19,8	0,6	22,04
Oct 94	20,7	21,8	20,7	-0,7	-

TABLEAU 4.7 ÉCHANGE THERMIQUE ENTRE L'EAU DE LA PISCINE ET LA MAISON POUR LA PÉRIODE DU 1^{ER} NOVEMBRE 93 AU 30 AVRIL 94 ($\Sigma U_i A = 9,3 \text{ W/}^\circ\text{C}$)

Mois	Temp. Eau piscine ($^\circ\text{C}$)	Temp. Solarium ($^\circ\text{C}$)	Écart ($^\circ\text{C}$)	Énergie transférée (kWh)
Nov 93	25,2	19,7	5,5	36,67
Déc 93	22,5	19,3	3,2	22,05
Jan 94	24,1	19,2	4,9	33,76
Fév 94	24,5	19,7	4,8	29,87
Mars 94	21,7	19,5	2,2	15,16
Avril 94	23,0	19,8	3,2	21,34
Oct 94	20,3	21,2	-0,9	-6,20

TABLEAU 4.8 ESTIMATION DE CE QU'AURAIT ÉTÉ LES DÉPERDITIONS PAR LA SURFACE QUI SÉPARE LA PISCINE DE LA MAISON ($\Sigma U_i A = 6,0 \text{ W/}^\circ\text{C}$)

Mois	Temp. Cuisine (°C)	Temp. Extérieure (°C)	Écart (°C)	Déperditions Estimées (kWh)
Nov 93	20,2	0,8	19,4	83,9
Déc 93	19,7	-6	25,7	114,9
Jan 94	19,8	-17,2	37	165,4
Fév 94	20,1	-12,2	32,3	130,4
Mars 94	20,3	-3,5	23,8	106,4
Avril 94	20,6	5,1	15,5	67,1
Oct 94	8,2	21,8	13,6	60,8

Le tableau suivant présente l'estimation de la consommation d'Habitasol pour l'année 93-94 si la piscine n'avait pas été chauffée. La consommation rajustée (dernière colonne) est obtenue en retranchant de la consommation totale mesurée celle du chauffe-piscine et en lui ajoutant le chauffage supplémentaire estimé aux tableaux 4.6 et 4.7 et 4.8.

TABLEAU 4.9 CONSOMMATION RAJUSTÉE D'HABITASOL SANS LA PISCINE

Mois	Consommation mesurée (kWh)	Consommation du chauffe-piscine (kWh)	Contribution de l'air de la piscine (kWh)	Contribution de l'eau de la piscine (kWh)	Déperditions supplémentaires par les murs (kWh)	Consommation rajustée (kWh)
Nov 93	2329,3	678,9	60,6	36,7	83,9	1831,6
Déc 93	3390,0	883,7	0,0	22,1	114,9	2643,3
Jan 94	4064,2	935,2	3,8	33,8	165,4	3332,0
Fév 94	3130,0	755,4	20,6	29,9	130,4	2555,5
Mars 94	2992,5	737,9	0,0	15,2	106,4	2376,2
Avril 94	2457,2	710,8	22,0	21,3	67,1	1856,8
Mai 94	2116,1	658,8	0,0	0,0	0,0	1457,3
Juin 94	1229,0	456,2	0,0	0,0	0,0	772,8
Juil 94	618,4	101,4	0,0	0,0	0,0	517,0
Août 94	1069,5	314,7	0,0	0,0	0,0	754,8
Sept 94	1486,8	301,2	0,0	0,0	0,0	1185,6
Oct 94	1603,7	210,0	0,0	0,0	60,8	1454,5
Total	26486,7	6744,2	107,0	159,0	728,9	20737,4

Ce dernier résultat permet de constater que si la piscine n'avait pas été chauffée. Habitasol aurait consommée environ 27 % moins d'énergie que la moyenne des maisons "tout à l'électricité" du Québec. Il est donc maintenant possible d'affirmer que les normes de construction sévères appliquées à Habitasol ont effectivement permis de bâtir une maison plus performante. Il est aussi possible de conclure dès maintenant que la piscine ne constitue pas une mesure qui permet d'économiser de l'énergie, du moins lorsque celle-ci est chauffée.

4.4 Espace tampon

Comme mentionné précédemment, le garage, situé à une extrémité, constitue un espace tampon entre la maison et l'extérieur. Celui-ci a pour but de diminuer les déperditions par le mur ouest. Il est possible de déterminer approximativement les économies réalisées grâce à cet espace tampon en appliquant une méthode semblable à celle appliquée aux parois de la piscine. Dans ce cas-ci l'équation à appliquer est de la forme :

$$\text{Puissance moyenne économisée} = UA(T_m - T_{\text{ext}}) - UA(T_m - T_g) \quad (4.2)$$

- où
- UA = La somme des produits des conductances par la superficie des surfaces d'échange entre la maison et le garage (7,2 W/°C)
 - T_m = La température moyenne mensuelle de la maison (Solarium)
 - T_g = La température moyenne mensuelle du garage
 - T_{ext} = La température moyenne mensuelle extérieure

L'intégration de cette puissance moyenne sur chaque mois permet de déterminer l'économie réalisée grâce à l'utilisation de l'espace tampon. Le tableau 4.10 présente les résultats de ce calcul.

TABLEAU 4.10 ÉCONOMIES RÉALISÉES GRÂCE À L'UTILISATION DU GARAGE COMME ESPACE TAMPON

Mois	Température Maison (°C)	Température Garage (°C)	Température Extérieure (°C)	Économies (kWh)
Nov 93	19,7	13	0,8	63,40
Déc 93	19,3	10,4	-6	88,07
Jan 94	19,2	5,3	-17,2	120,83
Fév 94	19,7	7,6	-12,2	96,04
Mars 94	19,5	10,1	-3,5	73,04
Avril 94	19,8	12,8	5,1	40,02
Total				481,40

D'après le tableau 4.10, on constate une économie de chauffage approximative de près de 500 kWh grâce à l'utilisation du garage comme espace tampon. Si la maison possédait des parois moins bien isolées, l'économie serait encore plus importante. Il faut noter cependant que cette approximation ne tient pas compte des infiltrations évitées d'une part et de la consommation du garage d'autre part. En effet, l'énergie dissipée en chauffage dans le garage permet d'élever sa température et d'augmenter l'économie liée à l'espace tampon. Si celui-ci n'était pas chauffé, le résultat présenté serait sûrement moins élevé. D'autre part, les infiltrations évitées à l'intérieur de la maison grâce à l'espace tampon sont sûrement très importantes et constituent certainement elles aussi une économie non négligeable, mais leur évaluation est cependant difficile. Cette tâche dépasse le cadre de cette étude et sera donc laissée à d'autres.

4.5 Ventilation

Des données sur le fonctionnement des ventilateurs récupérateur de chaleur ont été enregistrées. Il s'agit du temps de fonctionnement de ceux-ci de même que la température à la sortie des échangeurs de chaleur. Ces données pourront éventuellement servir pour quantifier la charge de chauffage due à la ventilation ou encore pour estimer la performance des récupérateurs de chaleur. Dans la présente étude, les temps de fonctionnement des ventilateurs sont présentés

pour démontrer que l'économie d'énergie à l'intérieur de cette maison ne s'est pas faite au détriment de la qualité de l'air. Ces données se retrouvent à l'intérieur du tableau 4.11.

TABLEAU 4.11 TEMPS DE FONCTIONNEMENT EN HEURES POUR CHACUN DES DEUX VENTILATEURS RÉCUPÉRATEUR DE CHALEUR

Mois	Ventilateur de la maison	Ventilateur de la piscine
Nov 93	283,3	603,0
Déc 93	282,8	638,9
Jan 94	190,5	463,0
Fév 94	112,4	462,3
Mars 94	230,8	678,4
Avril 94	234,2	497,9
Mai 94	208,7	553,9
Juin 94	353,9	330,7
Juil 94	358,8	235,4
Août 94	355,1	331,0
Sept 94	720,0 ⁴	497,8
Oct 94	744,0	652,9

On peut remarquer sur le tableau précédent que le ventilateur de la piscine fonctionne beaucoup plus que celui de la maison. La principale raison expliquant ce temps de fonctionnement plus important est le haut taux d'évaporation de l'eau de la piscine. La pose d'une membrane étanche à la surface de l'eau permettrait d'éviter tout contact entre l'air et l'eau et de réduire ainsi l'évaporation. Le temps de fonctionnement du ventilateur (et la charge thermique y étant associée) devrait alors diminuer de façon importante. En plus de l'économie liée à la charge de ventilation, le besoin de chauffage de l'eau de la piscine devrait diminuer grâce à la diminution

⁴- À partir de septembre, le fonctionnement du ventilateur a été modifié d'un mode intermittent à continu.

du phénomène d'évaporation (celui-ci demandant une importante quantité d'énergie). Cette stratégie permettrait une importante économie d'énergie.

4.6 Comparaison avec Hot-2000

Il est intéressant à ce moment-ci de comparer les résultats de consommation mesurée versus les résultats de la modélisation effectuée par le constructeur à l'aide du logiciel Hot-2000. Le tableau suivant présente la quantité d'énergie utilisée par le chauffage pour chaque mois telle que mesurée d'une part et telle que prévue par Hot-2000 d'autre part.

TABLEAU 4.12 COMPARAISON DU CHAUFFAGE MESURÉ VS CHAUFFAGE PRÉDIT PAR HOT-2000

Mois	Réel (MJ)	Prévu (MJ)	Écart (MJ)
Nov 93	1444,5	2484,9	-1040,4
Déc 93e	3271,9	5943,9	-2672,0
Jan 94	5149,8	6376,6	-1226,8
Fév 94	3287,8	4225,5	-937,7
Mars 94	2686,5	1974,8	711,7
Avril 94	1652,2	542,8	1109,4
Mai 94	458,1	0,0	458,1
Juin 94	9,0	0,0	9,0
Juil 94	0,0	0,0	0,0
Août 94	32,8	0,0	32,8
Sept 94	17,4	0,0	17,4
Oct 94	133,6	39,9	93,7
Total	18143,6	21588,4	-3444,8

De ce tableau, on peut remarquer qu'Habitasol est plus économique que prévu par Hot-2000 en ce qui concerne le chauffage. En effet, la consommation totale d'énergie pour le chauffage se chiffre à 18 143,6 MJ alors que Hot-2000 l'établissait à 21 588,4 MJ ; une différence de 3444,8 MJ (20,0 %) et ce, malgré un hiver plus rigoureux que la normale. La présence d'un espace tampon comme le garage peut expliquer que la consommation prévue soit plus forte

puisque Hot-2000 ne tient pas compte de la présence de tels espaces. Le logiciel a donc tendance à surestimer les déperditions par le mur ouest. Cette constatation permet d'expliquer, en partie du moins, l'écart qui existe entre les mesures et les prévisions. Une autre information intéressante pouvant être dégagée de ce tableau est le fait que Hot-2000 semble surestimer la consommation de chauffage pour les mois d'hiver (décembre à février) alors qu'il sous-estime la consommation l'automne et le printemps. Cette constatation porte à croire que Hot-2000 n'est peut-être pas adéquat pour une analyse de la consommation mois par mois. mais on ne peut conclure que sur la base de la présente étude. Une étude plus en profondeur du programme a été réalisée au département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke [4]. Celle-ci a permis d'effectuer une analyse de l'influence de certains paramètres d'entrée sur les prévisions. De plus, Habitasol étant une maison particulière (espace tampon, piscine, masse thermique), l'étude a permis de déterminer la configuration de modélisation qui permettait d'obtenir la meilleure concordance avec les résultats mesurés.

4.7 Profil de chauffage

Consommer moins d'électricité constitue une économie pour le consommateur. Par contre, les compagnies d'électricité sont en plus intéressées à connaître à quel moment de la journée se réalise cette réduction de la consommation. En effet, les producteurs et les distributeurs d'électricité doivent non seulement livrer une quantité suffisante d'électricité répartie sur une certaine période, il doivent aussi répondre à la demande de puissance à chaque instant. Ainsi, ils doivent posséder l'infrastructure nécessaire à la production et la distribution de la puissance maximale appelée sur le réseau et ce, même si cette demande ne se produit qu'une seule fois dans l'année. Au Québec, ces pointes se produisent généralement les jours de semaine, le matin et en début de soirée. Une maison qui permettrait de diminuer la consommation d'électricité à ces heures serait donc non seulement avantageuse pour le consommateur, mais aussi pour le

producteur d'électricité. La figure suivante présente le profil moyen de la consommation de chauffage d'Habitasol pour le mois de janvier 94.

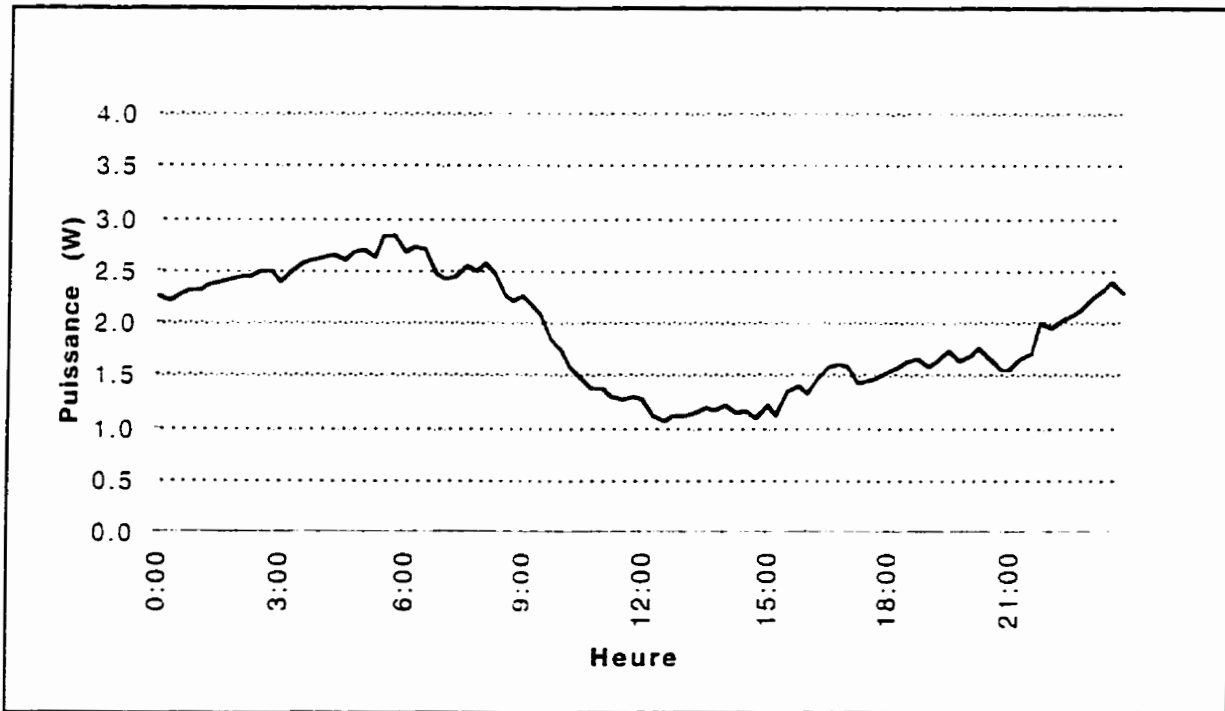


Figure 4.2 Profil de puissance de chauffage d'Habitasol pour une journée moyenne du mois de janvier 94.

On constate d'abord sur ce graphique que la pointe de puissance de la journée moyenne pour le chauffage se situe très tôt le matin, soit vers 5h30. La puissance moyenne y est alors de 2839 Watts. La puissance appelée diminue alors jusqu'à 12h30, où elle atteint sa valeur minimale de 1069 Watts. La puissance demeure relativement faible jusqu'à 15h15, heure à laquelle elle commence à augmenter de nouveau mais plus lentement. À 21h00, la puissance moyenne n'est encore que de 1556 Watts. On ne peut conclure que ce profil est typique d'une maison solaire passive. Pour ce faire, il faudrait le comparer avec le profil d'une maison non-solaire. Il est cependant possible de visualiser l'apport de l'énergie solaire en comparant deux journées où la température est semblable mais où l'ensoleillement est différent. Le graphique de la figure 4.3 montre le profil de la consommation de chauffage pour les journées du 9 et du 26 janvier alors que la figure 4.4 présente les profils de la température extérieure pour ces mêmes journées.

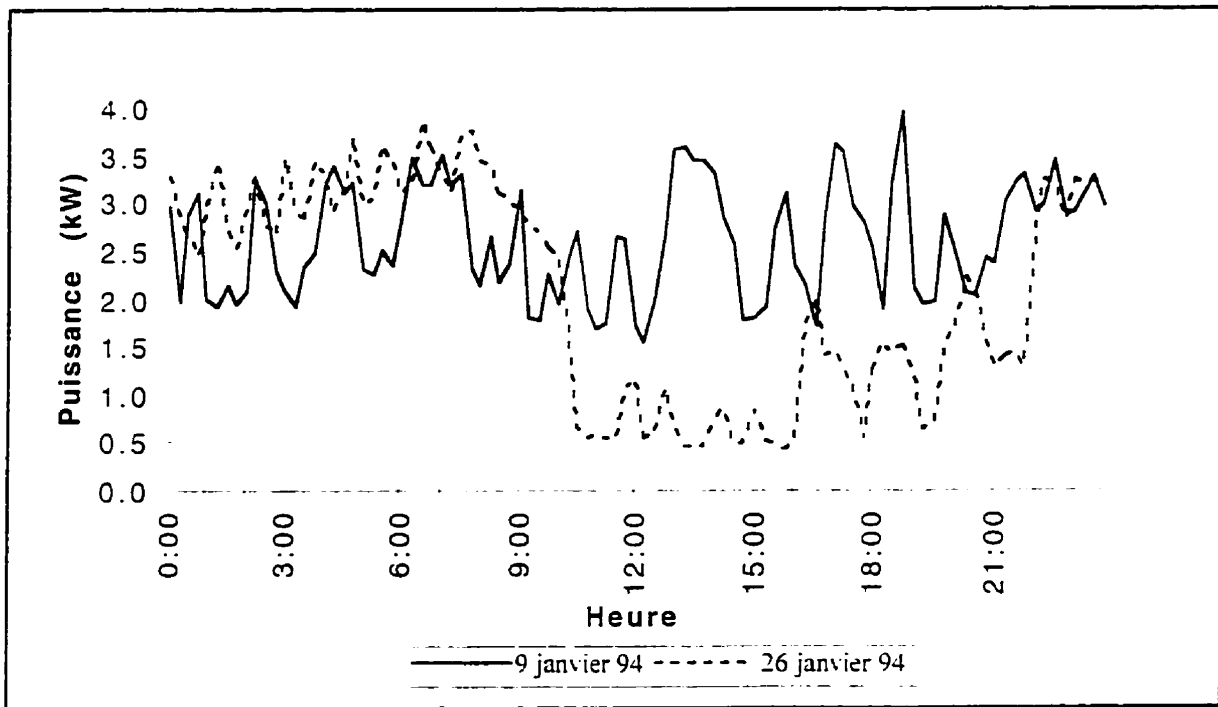


Figure 4.3 Profils de la consommation de chauffage pour les journées du 9 et du 26 janvier 94.

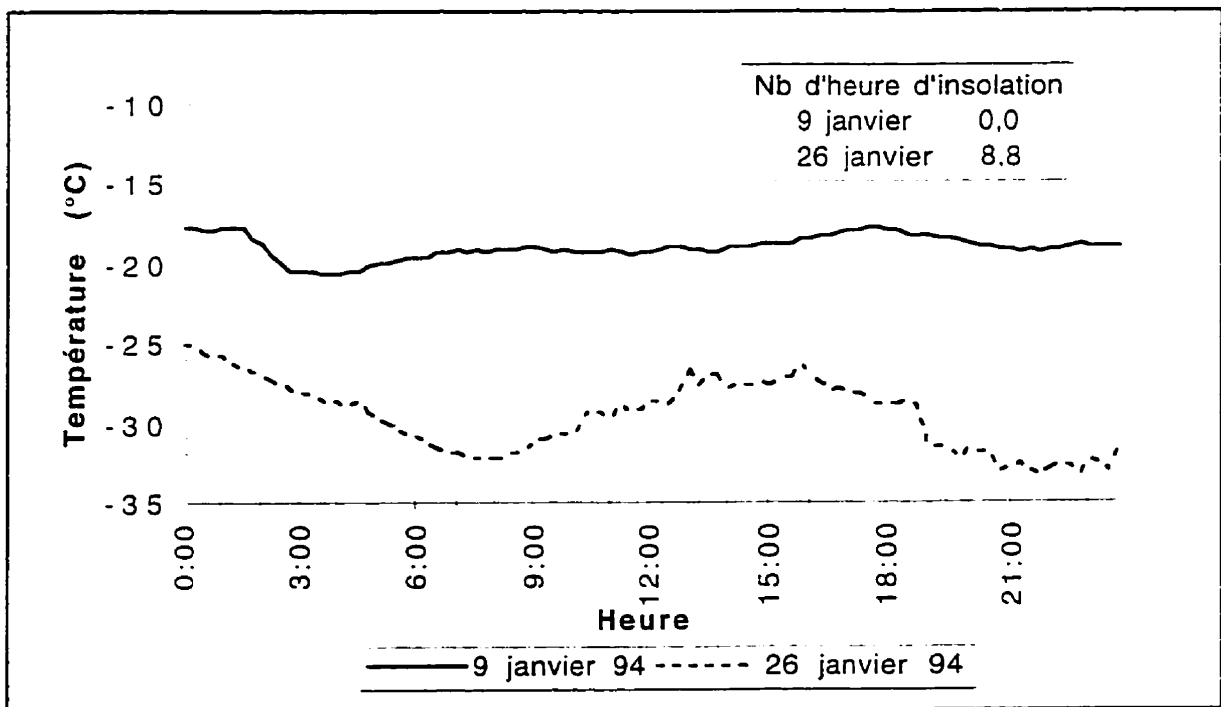


Figure 4.4 Profils de la température extérieure pour les journées du 9 et du 26 janvier 94.

Comme cela est souvent le cas en janvier, la journée plus ensoleillée, soit celle du 26 janvier avec 8.8 heures d'insolation, est plus froide que celle du 9 où il n'y a pas eu de soleil. Ainsi, à

8h00 il fait $-31,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ le 26 alors que le 9 la température est de $-18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ à la même heure. À 15h00, la température est de $-25,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ le 26 alors qu'elle est de $-18,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ le 9. Malgré cette différence de température, la puissance de chauffage est généralement plus basse durant la journée du 26 et cette différence se maintient même jusque vers 21h30 en soirée, contribuant ainsi à diminuer la pointe de soir du réseau. Pour la journée au complet, la consommation de chauffage est de 63,2 kWh le 9 alors qu'elle n'est que de 50,6 kWh le 26 et ce, même si la température moyenne du 9 janvier est plus clémente par plus de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ comparativement à $-29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Il apparaît donc de façon évidente que le soleil a un effet sur la consommation de cette maison.

4.7.1 Effet de la masse thermique

La raison pour laquelle la chaleur des rayons du soleil se fait toujours sentir sur le niveau de la puissance de chauffage à 21h30, est la présence d'une importante masse thermique dans la maison. Cette masse thermique se présente sous différentes formes : un mur de béton incorporé à la structure de la maison, un revêtement de céramique sur le plancher du solarium et bien sûr la piscine. Comme il a déjà été mentionné que la piscine, étant donné son importante consommation d'énergie, ne peut être considérée comme une mesure d'efficacité énergétique, celle-ci ne sera pas abordée dans cette section. Pour ce qui est du mur et du plancher, ceux-ci sont directement exposés aux rayons du soleil. Ils absorbent donc de la chaleur durant le jour, lorsque les besoins en chauffage sont moins grands, et redistribuent celle-ci le soir et la nuit. Ils contribuent donc à diminuer le risque de surchauffe le jour d'une part, et à diminuer la consommation de chauffage le soir d'autre part. Un thermocouple a été installé sur la surface du mur de béton et isolé de l'air de la pièce afin de déterminer la température de la surface. La figure 4.5 présente le profil de température enregistré avec ce thermocouple, ainsi qu'avec celui situé dans le solarium pour les deux journées de janvier dont il a déjà été question. Les profils moyens de ces deux températures pour le mois de janvier sont présentés à la figure 4.6.

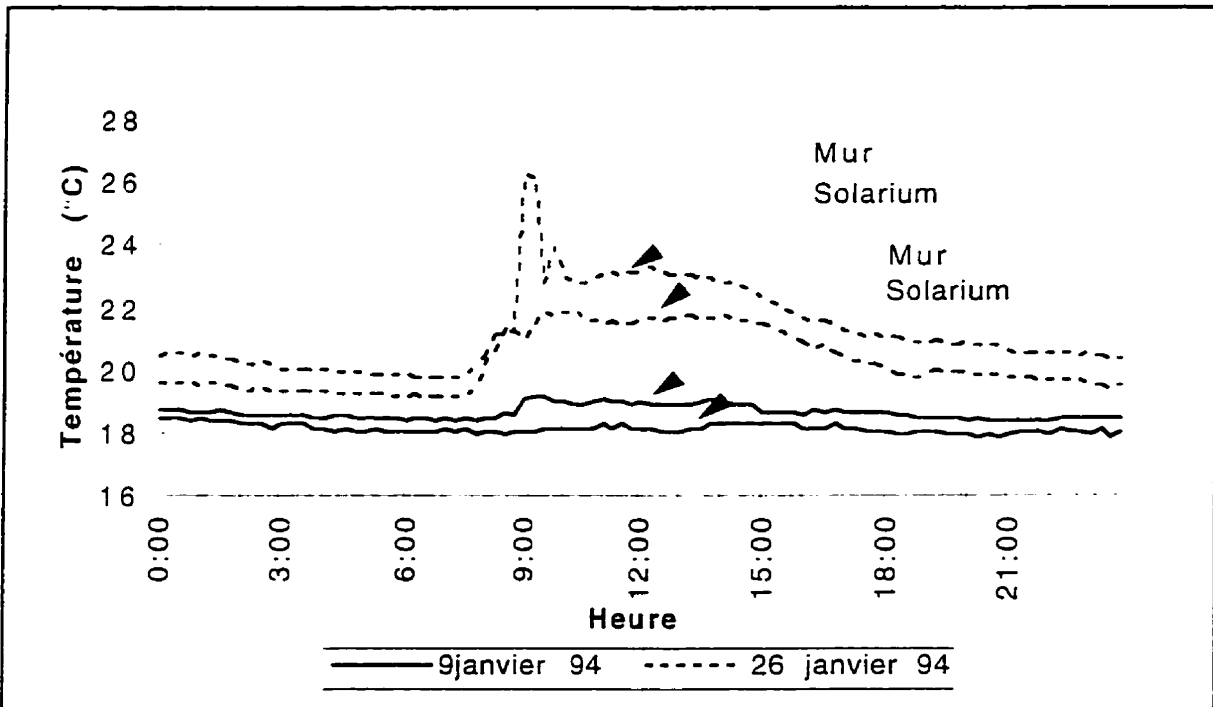


Figure 4.5 Profils de température de la surface du mur et du solarium pour les journées du 9 et du 26 janvier 94.

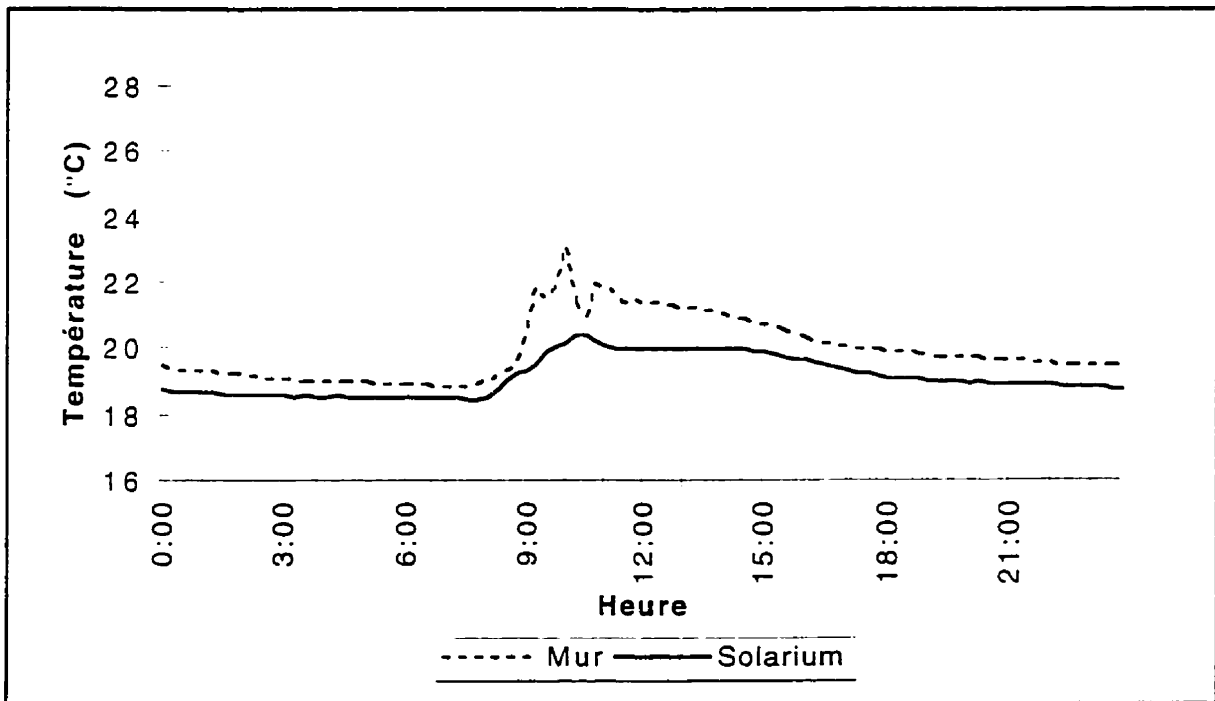


Figure 4.6 Profils moyens de température pour le solarium et la surface du mur pour le mois de janvier 94.

Le graphique suivant présente l'écart moyen entre les deux températures déjà mentionnées en fonction de l'heure de la journée.

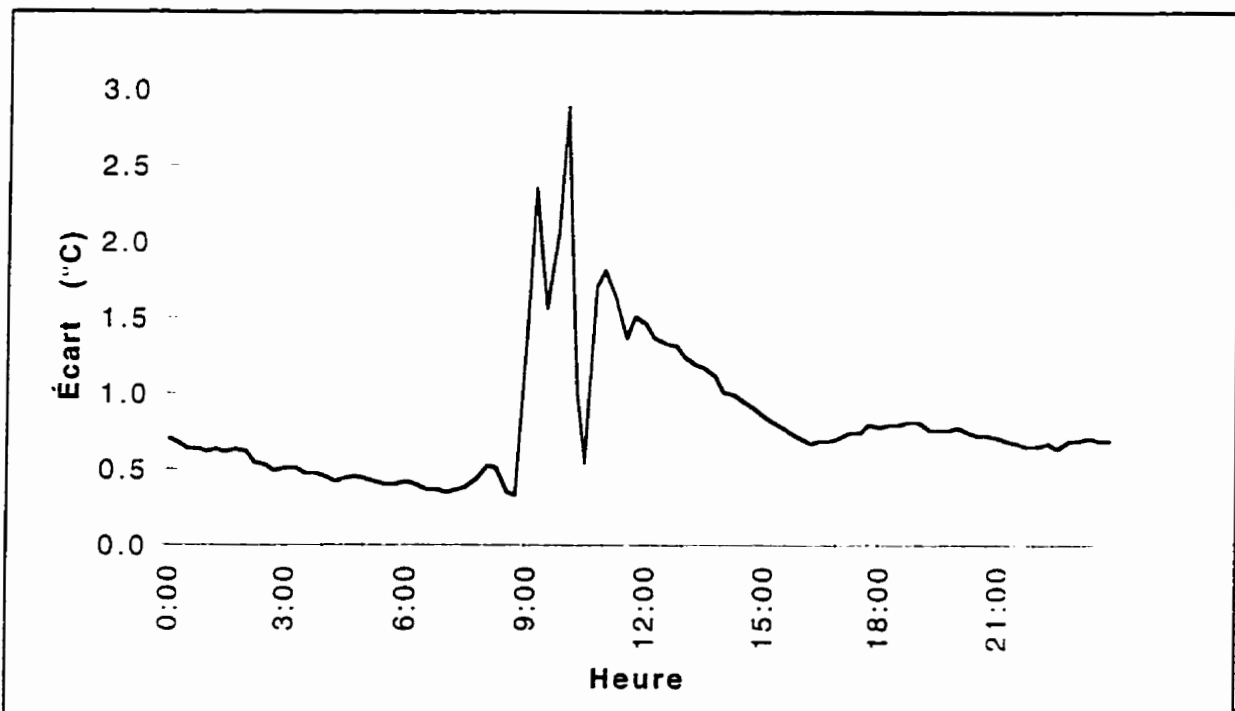


Figure 4.7 Écart moyen, pour le mois de janvier 94, entre la température du solarium et celle mesurée à la surface du mur de béton en fonction de l'heure de la journée.

L'interprétation de ces graphiques doit être faite avec circonspection. D'abord, la présence de la pointe entre 9h00 et 10h00 s'explique probablement par le rayonnement direct exactement à l'endroit où se trouve le thermocouple du mur. Malgré l'isolation utilisée pour éviter que cela ne se produise, cette pointe permet de constater que le thermocouple réagit tout de même à la présence de rayonnement. Le creux qui suit cette pointe vers 10h30 peut pour sa part être expliqué par une augmentation de la température du thermocouple du solarium soit à cause du rayonnement direct du soleil ou encore par du rayonnement émis par la surface momentanément très chaude du mur. Même si des précautions ont été prises pour éviter ce problème, la localisation du thermocouple était un compromis entre l'aspect esthétique, pour minimiser l'impact de notre présence aux occupants de la maison, et l'aspect scientifique. Le temps nécessaire à la chaleur pour se propager par conduction jusqu'au thermocouple, celui-ci se trouvant derrière un écran qui empêche le soleil de rayonner directement sur le mur à cet endroit.

peut aussi expliquer ce creux. Ces graphiques permettent tout de même de constater un écart appréciable entre la température du solarium et celle du mur. Cette dernière est plus élevée en moyenne pour le restant de la journée d'une valeur variant de 1,5 °C à un peu moins de 0.5 °C. À ce dernier niveau cependant, la précision des thermocouples est un facteur qui peut influencer les résultats de l'étude. C'est probablement ce qui explique la légère différence de température entre le mur et le solarium pour le 9 janvier et ce, même s'il n'y avait pas de soleil cette journée. Mais pour une journée ensoleillée, la différence est cependant suffisamment grande pour juger d'une façon qualitative que le mur est généralement plus chaud que la pièce et qu'il contribue ainsi à réchauffer celle-ci. Celui-ci permet alors de diminuer la quantité d'énergie à mettre en oeuvre pour maintenir les conditions de confort à l'intérieur de la pièce et ce, même après le coucher du soleil. Cette énergie, le mur la puise dans ses réserves qu'il a accumulées durant le jour, grâce au rayonnement solaire.

4.8 Discussion

D'après ces constatations, il est possible de conclure que cette maison est effectivement économe. Sa consommation de chauffage est de beaucoup inférieure à la moyenne des maisons du Québec (de l'ordre du tiers). De plus, celle-ci contribue à diminuer l'appel de puissance sur le réseau au moment de la pointe de soirée. Il est cependant aussi possible de constater qu'elle est inefficace pour diminuer la pointe se produisant le matin. Au niveau de la qualité de vie, il a été possible de constater que les économies réalisées par Habitasol ne se font pas au détriment du confort. En hiver la température est toujours adéquate et il n'y a pas de surchauffe en été. Pour ce qui est de la piscine, bien que celle-ci soit probablement économique comparativement à d'autres installations visant les mêmes buts de loisirs et de détente, elle ne peut être considérée comme une mesure visant à économiser de l'énergie étant donné son importante proportion dans la consommation totale de la maison. Des correctifs pourraient y être apportés pour diminuer sa consommation, mais ceux-ci ne parviendraient probablement pas

à rendre celle-ci plus attrayante du côté purement énergétique. du moins sans sacrifier son utilisation pour une partie de l'année.

Comparer Habitasol avec une maison ne possédant pas tous ces atouts est cependant difficile. Dans les faits, chaque fenêtre d'une maison est un capteur solaire et toutes les maisons, à différents degrés, tirent profit de l'énergie solaire. Habitasol a simplement été conçue de façon à optimiser l'utilisation de ces apports solaires pour diminuer la consommation énergétique et pour y augmenter la qualité de vie. Des monitorings semblables devraient être menés sur de plus larges échantillons comprenant autant des maisons économes que des maisons standards. Ces études permettraient alors de quantifier de façon plus précise les économies réalisées. Il demeure toutefois que cette étude démontre le potentiel de telles maisons efficaces, justifiant ainsi d'y porter dans le futur un plus grand intérêt.

5. MODÉLISATION NUMÉRIQUE

L'utilisation d'un modèle numérique en calcul thermique de bâtiment offre la possibilité d'étudier l'influence de différents paramètres sur la performance thermique d'une habitation. Différents logiciels existent actuellement sur le marché pour effectuer de telles modélisations : Enerpass, DOE-2, TRNSYS et Hot-2000 en sont quelques uns. Dans le présent projet, les logiciels TRNSYS et Hot-2000 sont abordés.

La disponibilité d'Hot-2000 au Canada et sa simplicité d'utilisation sont les principales raisons de sa sélection. Celui-ci ne constitue cependant pas un outil de recherche mais plutôt un outil de conception destiné à une diffusion auprès des constructeurs et des entrepreneurs. Il n'offre pas toutes les possibilités nécessaires à la modélisation rigoureuse d'une résidence, particulièrement si celle-ci présente des spécificités propres. Une modélisation d'Habitasol avec ce logiciel à tout de même été réalisée et est présentée, ainsi qu'une brève analyse du logiciel, dans la référence [4].

Pour ce projet, une modélisation plus précise et plus complète est souhaitée. Dans ce contexte, TRNSYS constitue une option plus intéressante. Différentes raisons supportent ce choix. La première est le fait que TRNSYS est conçu pour résoudre des problèmes en régime transitoire, permettant ainsi l'obtention de résultats sur une base horaire ou selon tout autre pas de temps, un compromis devant être fait entre la précision désirée et le temps de calcul. Une autre raison du choix de TRNSYS est qu'il est particulièrement bien adapté au traitement du rayonnement solaire. La maison modélisée étant jugée solaire passive, cette propriété de TRNSYS constitue un net avantage vis-à-vis d'autres logiciels. Ensuite, sa conception modulaire permet l'ajout de sous-programmes ou de modules extérieurs qui ne sont pas inclus avec le programme de base. Cette caractéristique est particulièrement intéressante dans le cadre d'un projet de recherche, surtout lorsque la résidence à modéliser présente des particularités hors normes. De plus, celle-

ci apporte une flexibilité à TRNSYS que peu de logiciels possèdent. Finalement, l'expertise déjà acquise par l'équipe de l'Université de Sherbrooke sur TRNSYS est venue s'ajouter aux raisons de ce choix.

Ce chapitre est donc consacré à la modélisation d'Habitasol avec TRNSYS. Dans un premier temps, le logiciel est décrit brièvement. Dans cette section, la structure, le fonctionnement et les données nécessaires au fonctionnement de TRNSYS sont décrits. Ensuite, une liste des paramètres utilisés pour la modélisation est exposée. Cette partie permet du même coup de présenter les méthodes utilisées pour évaluer certains paramètres ou pour modéliser quelques éléments un peu particuliers d'Habitasol. Une présentation des résultats obtenus avec le modèle ainsi que l'analyse de ceux-ci viennent compléter ce chapitre.

5.1 Présentation de TRNSYS

C'est la version 13.1 du logiciel TRNSYS qui a été utilisée pour modéliser le comportement thermique d'Habitasol-2000. Celui-ci a été développé au Solar Energy Laboratory de l'Université du Wisconsin à Madison, États-Unis. La version utilisée pour cette étude date de 1990 mais la première version est apparue dès le début des années 70. Le lecteur est prié de se référer aux documents cités à la bibliographie pour une description plus complète du logiciel [5, 6], mais un aperçu du fonctionnement de celui-ci est tout de même présenté ici afin d'assurer un minimum de compréhension au lecteur.

Ce logiciel est de type modulaire, c'est-à-dire que chaque composante du modèle mathématique est simulée par un sous-programme différent. Les résultats d'un module de calcul devenant les données d'entrées du module suivant, et ainsi de suite. Cette caractéristique offre la possibilité de développer de nouveaux modules et d'insérer ceux-ci à l'intérieur d'une simulation. Les entrées et sorties de chaque module sont régies par un standard commun, permettant ainsi une circulation adéquate de l'information entre les différents sous-programmes. Chaque module

contient en général trois types de variables. Les paramètres, le premier type, sont des valeurs constantes tout au long de la simulation. Ils peuvent représenter, entre autres, la dimension géométrique d'un élément de la simulation (une surface de capteur par exemple) ou une propriété intrinsèque de celui-ci (un coefficient de performance par exemple). Ces valeurs représentent généralement une caractéristique constante et propre à l'élément modélisé. Il y a ensuite les entrées (*inputs*). Ces valeurs sont parfois constantes (débit d'une pompe par exemple) mais le plus souvent varient avec le temps et le déroulement de la simulation. Ces valeurs peuvent provenir de l'utilisateur par l'entremise d'un fichier de données (c'est habituellement le cas avec les données météorologiques), ou encore sont le résultat de calculs effectués par un autre module. Les résultats d'un module sont nommés sorties (*outputs*) et constituent le troisième type de variables. Encore ici, ces dernières valeurs peuvent être constantes (le débit d'une pompe qui fonctionne constamment dans les mêmes conditions) mais sont le plus souvent variables (la température d'un caloporteur par exemple).

Les renseignements nécessaires à l'élaboration d'une simulation sont inclus dans un fichier de données nommé "*Deck*". Ce "*Deck*" spécifie d'abord les renseignements destinés au contrôle de la simulation tels la durée de celle-ci, le pas de temps utilisé, les tolérances de convergence, etc. Il contient aussi, et c'est là son principal rôle, la liste des modules à utiliser avec les paramètres propres à chacun de ces modules ainsi que leurs interconnexions, c'est à dire à quelle sortie d'un module correspond l'entrée d'un autre. Ces indications se trouvent dans un fichier texte possédant un format prédéfini pour que TRNSYS puisse bien les interpréter. Le "*Deck*" de la simulation d'Habitasol est présenté à l'annexe D comme exemple.

Pour ce qui est du logiciel lui-même, il se présente sous la forme d'une série de sous-programmes en FORTRAN. La première tâche de l'utilisateur est de compiler ces programmes. Une fois cette opération effectuée, il doit réunir dans un fichier exécutable les modules nécessaires pour l'exécution de sa simulation. Cette opération s'effectue avec l'aide d'un utilitaire fourni avec le compilateur. Une fois le fichier exécutable prêt, il suffit de le lancer pour

démarrer le logiciel. Celui-ci demande alors à l'utilisateur d'entrer le nom du fichier contenant les indications nécessaires au déroulement de la simulation. Celle-ci se déroule ensuite selon ces indications.

TRNSYS est un logiciel qui ne fait qu'exécuter des calculs avec les nombres qui lui sont soumis. Les unités lui sont inconnues et il n'est donc pas nécessaire de lui fournir ces nombres dans un système d'unité spécifiée. Il appartient cependant à l'utilisateur de s'assurer que les grandeurs introduites sont homogènes avec le système qu'il désire utiliser et que ces valeurs lui fourniront bien les résultats désirés. Par exemple, la base de temps étant généralement l'heure, l'unité de puissance correspondante n'est pas le Watt mais plutôt le kilojoule par heure. Des précautions doivent donc être prises tout au long du processus afin de s'assurer que les résultats soient bien exprimés avec les unités voulues.

5.2 Description de la modélisation d'Habitasol.

La présente section traite de la modélisation d'Habitasol. La figure 5.1 présente le diagramme du modèle. On peut y observer les modules utilisés de TRNSYS, leur rôle dans la simulation ainsi que la circulation de l'information. Le module le plus important de cette simulation est celui de la maison (type 56). C'est à l'intérieur de ce module que sont calculés les charges thermiques de la maison et les besoins en chauffage de celle-ci. Cette partie du modèle est abordée en premier lieu. D'autres modules, extérieurs au type 56 mais interagissant avec celui-ci, sont aussi abordés dans cette partie lorsque jugé pertinent. La description des modules définissant les conditions extérieures suit, de même qu'un bref aperçu des modules à caractère utilitaire.

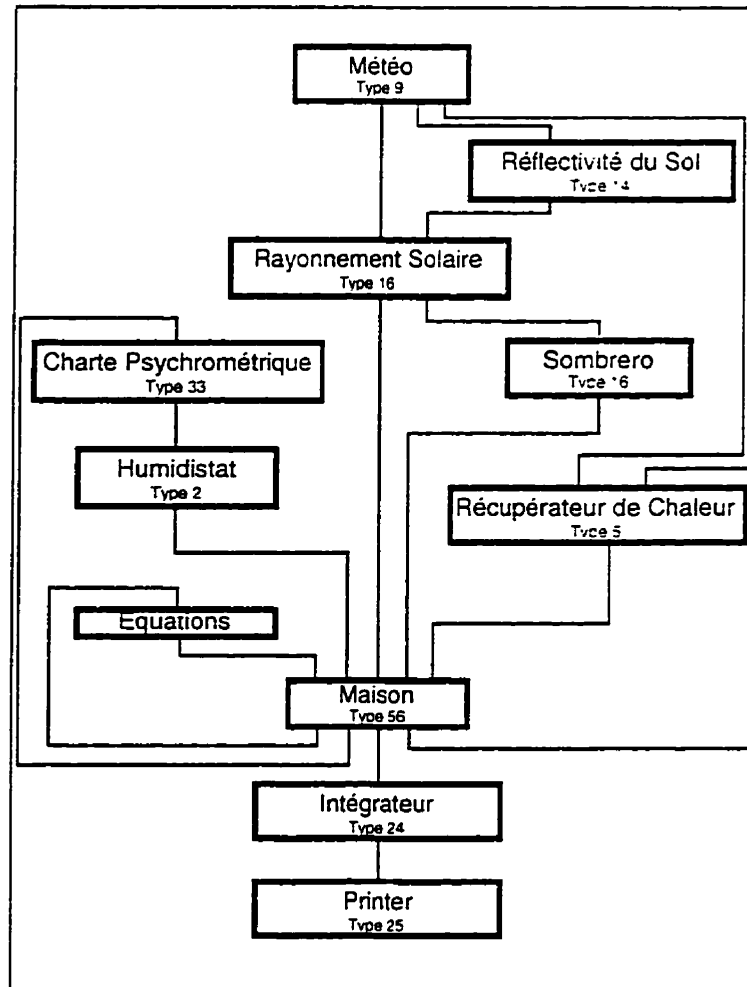


Figure 5.1 Diagramme de modélisation d'Habitasol

5.2.1 Description architecturale

Pour ce projet, le module utilisé pour la modélisation de la maison se nomme "*Multi-Zone building*" (Type 56). Celui-ci présente la particularité de nécessiter l'exécution d'un préprocesseur : le "*Building Input Description program*" (BID). Ce programme fait la lecture et l'interprétation d'un fichier de données qui contient la description de la maison à modéliser et crée trois fichiers de données : le premier contenant des informations dédiées à l'utilisateur et les deux autres, la description de la maison sous forme codée. Ces deux derniers fichiers sont par la suite utilisés lors de l'exécution du programme principal. L'avantage de l'utilisation de ce module est la possibilité d'introduire d'une façon descriptive les paramètres architecturaux de la

maison. le préprocesseur convertissant ces données dans un format plus concis pour TRNSYS. De plus, l'exécution du programme en deux étapes (pré processeur BID et TRNSYS) permet de respecter les limites imposées par la mémoire de l'ordinateur.

Pour la simulation, la maison est divisée en zones. La principale hypothèse de travail est que chacune de ces zones possède une température uniforme, qui peut cependant être différente d'une zone à l'autre. Chaque zone peut posséder un système de chauffage, un système de ventilation, un taux d'infiltration et un profil de gains internes différents. La charge thermique d'une zone est dépendante des échanges thermiques se produisant entre cette zone et l'extérieur d'une part, et entre cette zone et les zones voisines d'autre part. Ces échanges peuvent être soit par conduction au travers des murs ou par échange d'air. Pour cette étude, Habitasol est divisée en six zones soit : 1) la zone principale qui inclut le solarium, la salle à manger, le salon, la cuisine et la salle de bain du rez-de-chaussée; 2) le sous-sol qui inclut les chambres et la salle de bain du bas; 3) la chambre des maîtres; 4) le garage et deux autres zones pour la piscine soit 5) une pour l'eau et 6) l'autre pour l'air.

Chacune de ces zones est délimitée par des murs dont chaque surface possède une absorptivité ainsi qu'un coefficient d'échange avec l'air. C'est la méthode des fonctions de transfert de l'ASHRAE [7] qui est utilisée par le logiciel pour déterminer les flux de chaleur traversant la surface de ces murs en fonction du temps. Ces murs sont décrits dans le fichier de données qui est traité par le préprocesseur. Ils sont composés par la juxtaposition de couches qui sont entièrement définies par une résistance thermique ou, lorsque leur masse thermique n'est pas négligeable, elles sont décrites par la conductivité, la densité et la capacité thermique du matériau duquel elles sont constituées ainsi que par leur épaisseur. Lorsque ces matériaux forment une couche uniforme dans le mur (le gypse par exemple), les propriétés de ceux-ci ont été introduites directement dans la description en spécifiant l'épaisseur. Par contre, ces couches sont parfois composées de matériaux posés en parallèle. La structure du mur, où les matelas de laine minérale sont séparés par des pièces de bois composant la structure, en est un exemple. Dans

ces cas, des moyennes pondérées en fonction de la proportion de la surface occupée ou de la masse des matériaux, tout dépendant de la variable, ont été calculées et ont servi à la description des couches.

Une faiblesse du type 56, identifiée lors des simulations, est la distribution du rayonnement solaire aux différentes surfaces intérieures d'une zone. Cette distribution s'effectue en proportion de la surface de chacun des murs et de l'absorptivité de ceux-ci telle que démontrée par l'équation 5.1 [8] :

$$f_{s,s} = \frac{\alpha_s A_s}{\sum_{\text{surfaces}} (1 - \rho_{d,s}) A_s} \quad (5.1)$$

- où $f_{s,s}$ est la fraction de l'énergie solaire totale pénétrant dans la zone et absorbée par ce mur
 α_s est l'absorptivité de la surface
 A_s est l'aire de la surface
 $\rho_{d,s}$ est la réflectivité de la surface au rayonnement solaire.

Ainsi, la surface intérieure du mur sud d'un bâtiment (donc un mur ayant sa surface intérieure face au nord) reçoit, selon la simulation, autant de rayonnement par mètre carré que la surface du mur lui faisant face (donc ayant une surface faisant face au sud) alors que dans la réalité, seul du rayonnement diffus parvient à cette première surface (voir figure 5.2). Dans une maison normale, où tous les murs sont sensiblement identiques, cette approximation peut être valable puisque l'élévation de la température de la surface du mur exposé, estimée plus faible que la réalité, est compensée par l'estimation plus élevée de celle du mur non-exposé. Dans le cas d'Habitasol cependant, cette approximation n'est pas valable puisque le mur qui est exposé au rayonnement direct possède une masse thermique beaucoup plus importante que le mur non-exposé. Lors du déroulement de la simulation, la température du mur non exposé s'élève donc beaucoup plus que dans la réalité, transférant ainsi plus d'énergie à l'air de la pièce. Le mur massif pour sa part reçoit beaucoup moins d'énergie dans la simulation qu'en réalité. L'effet de la masse thermique ne peut être ainsi bien représenté dans la simulation. Cette faiblesse a pour

conséquence d'engendrer des surchauffes plus nombreuses lors des jours ensoleillés et de diminuer la quantité d'énergie disponible pour la nuit. Pour compenser ce point faible de TRNSYS, l'absorptivité des murs n'a pas seulement été déterminée en fonction des caractéristiques de leur surface, mais aussi en fonction de leur localisation dans la maison. Par conséquent, une surface, telle la surface A de la figure 5.2, s'est vu attribuer une absorptivité normale alors que celle d'une surface telle la surface B a été fixée tout près de zéro. En conséquence, la majeure partie du rayonnement est attribuée aux surfaces qui reçoivent le rayonnement direct. L'effet de la masse thermique est ainsi mieux simulé.

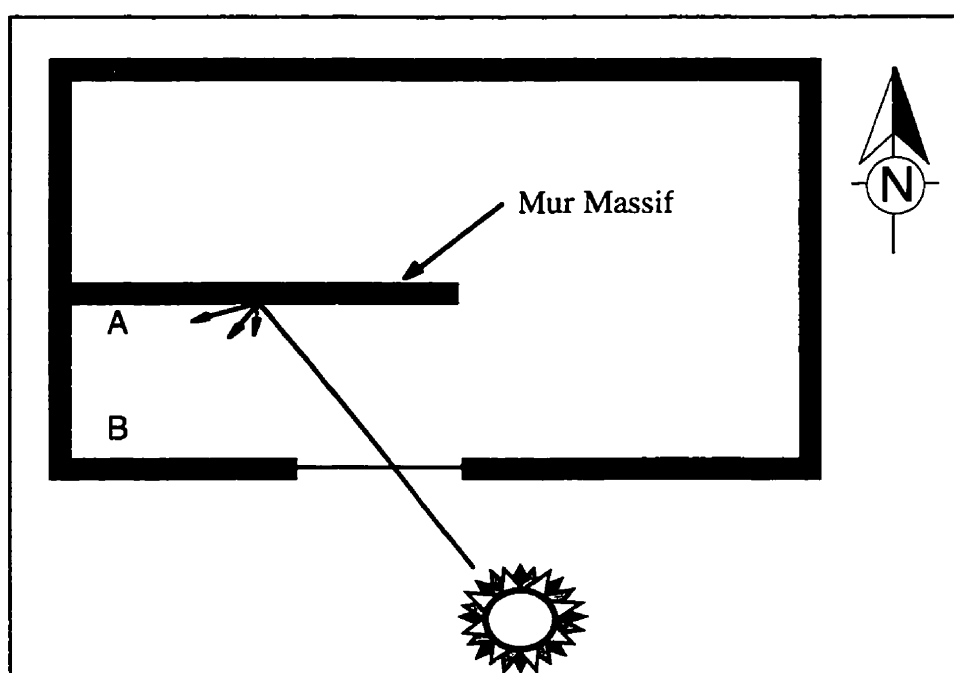


Figure 5.2 Schéma démontrant la répartition du rayonnement solaire sur les surfaces intérieures. Le traitement par le type 56 de TRNSYS fait en sorte que la concentration de rayonnement est la même sur les surfaces A et B alors qu'en réalité celle-ci est beaucoup plus importante sur la surface A étant donné que cette surface est exposée directement aux rayons du soleil alors que la surface B n'est exposée qu'au rayonnement diffus.

Une autre faiblesse de TRNSYS se situe au niveau du traitement des pertes par les fondations. En fait, aucune routine n'est prévue pour tenir compte de l'inertie thermique du sol autour des fondations et des conséquences que cela entraîne sur les déperditions thermiques. Étant donné l'utilisation importante du sous-sol dans Habitasol, cette faiblesse constitue un problème pour la

présente modélisation. Celle-ci est suppléée dans la simulation par l'application d'une température connue à la frontière extérieure des murs de fondation. Cette façon de faire a pour effet de conserver dans la simulation l'effet de masse du mur de béton. Le problème est donc ramené à celui de trouver la bonne température à appliquer sur cette frontière extérieure. Une étude numérique par différences finies a été réalisée afin de déterminer le profil approximatif des déperditions par les fondations. Cette étude a été effectuée à l'aide du logiciel CONDUCT [9]. Les fondations furent modélisées comme un cylindre possédant la même surface verticale que la partie enfouie des murs de fondation de la maison, ramenant ainsi le problème à un problème de conduction en deux dimensions puisque le domaine de calcul est alors axisymétrique. Ce domaine est illustré à la figure 5.3. Les deux frontières verticales sont supposées adiabatiques alors que la frontière inférieure est supposée isotherme à la température moyenne du site. Un échange convectif se produit à la frontière supérieure ainsi que sur les surfaces intérieures des fondations. Dans un cas la température de l'air varie en fonction du temps, selon des données météorologiques synthétisées à partir de moyenne, et dans l'autre cas elle est assumée constante à environ 20°C. La simulation du comportement thermique de ce domaine fut réalisée sur plusieurs années successives jusqu'à ce qu'un cycle s'établisse sur la concentration moyenne du flux de chaleur traversant chacune des parois des fondations. Différents essais ont aussi été réalisés en faisant varier les dimensions du domaine ainsi que le nombre de noeuds de calcul pour s'assurer de minimiser l'impact de ces paramètres sur les résultats finaux.

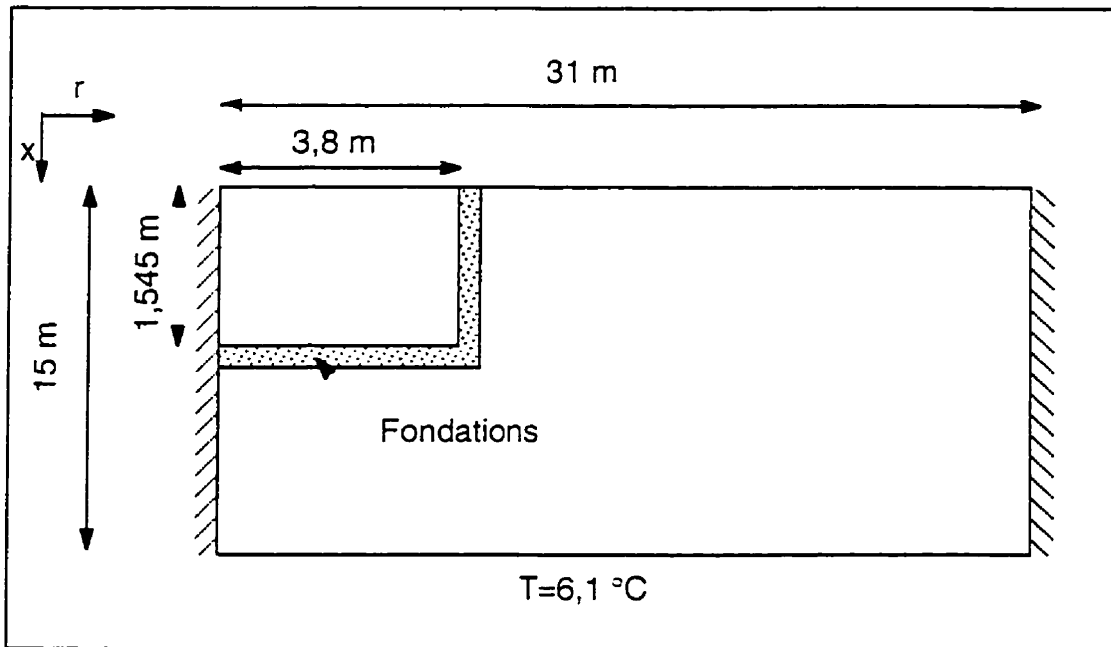


Figure 5.3 Domaine de résolution par différences finies pour déterminer le profil des déperditions par les fondations

Une fois le flux de chaleur connu en fonction de la période de l'année, celui-ci doit être transformé en profil de température à la frontière extérieure des fondations. Cette opération est effectuée à l'aide de la modélisation, toujours par différences finies, de chacun des deux murs de fondations (verticale et horizontale). Pour ces modélisations, le transfert de chaleur a été supposé unidimensionnel. Les profils des flux de chaleur obtenus se rapprochant beaucoup de profils sinusoïdales, ce sont des fonctions de la forme de l'équation 5.2 qui ont été appliquées aux frontières extérieures des murs. Les nouveaux profils de flux de chaleur sont alors comparés à ceux désirés jusqu'à ce que, par essais et erreurs, des profils satisfaisants soient obtenus.

$$T = M + A \cos \left[\frac{360}{365} (j + \tau) \right] \quad (5.2)$$

- Où
- T est la température appliquée à la surface extérieure (°C)
 - M est la moyenne de la température appliquée (°C)
 - A est l'amplitude de la fonction (°C)
 - j représente le jour de l'année. Il s'agit de la variable indépendante de la fonction
 - τ est le décalage entre le début de l'année et le jour où se produit l'amplitude maximum de la fonction

Les équations 5.3 et 5.4 présentent les fonctions de température retenues et la figure 5.4 les profils des fonctions de température et des flux de chaleur obtenus.

$$T_h = 14.425 + 0.1635 \cos \left[\frac{360}{365} (j + 18) \right] \quad (5.3)$$

$$T_v = 7.02 + 6.05 \cos \left[\frac{360}{365} (j + 130) \right] \quad (5.4)$$

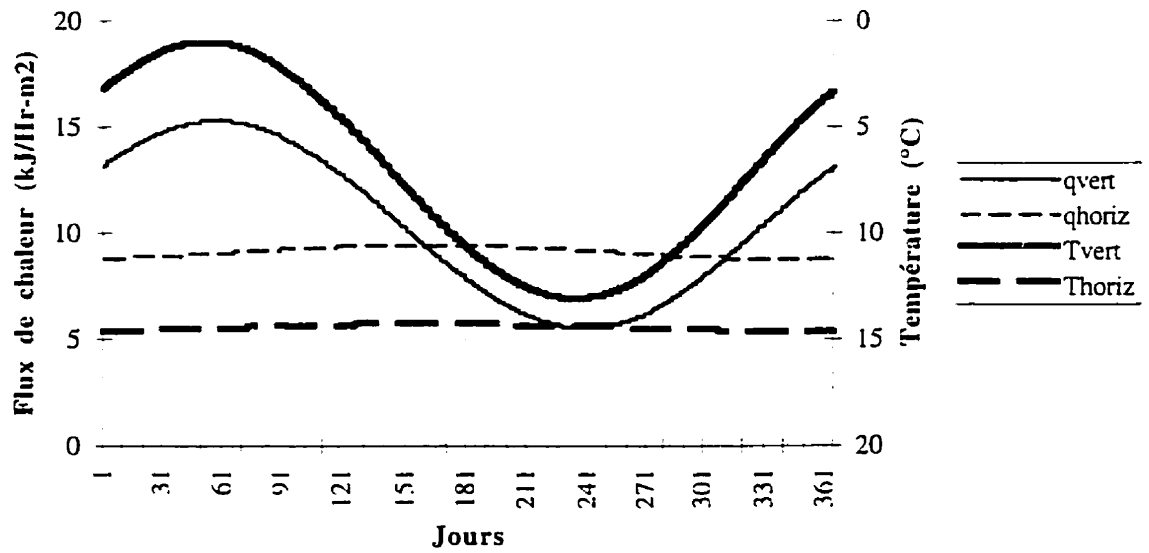


Figure 5.4 Profil des températures appliquées aux surfaces extérieures et flux de chaleur traversant les surfaces intérieures des murs de fondations.

On constate sur la figure précédente un léger décalage entre le moment où la température atteint son extremum et le moment où le flux atteint à son tour son extremum. Ce décalage s'explique évidemment par l'inertie thermique du mur de fondation. On constate aussi la très faible variation du flux pour la paroi horizontale indiquant ainsi l'influence plus importante des conditions intérieures qu'extérieures. Une fois les profils de température connus, ceux-ci ont été intégrés à l'intérieur de la simulation avec TRNSYS.

5.2.2 Système de chauffage

Il existe deux possibilités de traitement du chauffage à l'intérieur du type 56. La première, dite de l'énergie (*Energy method*), consiste à fixer la température de consigne et la puissance de chauffage disponible. La charge thermique de la zone est calculée pour un pas de temps en fonction de la température à la fin du pas de temps précédent. Lorsque cette charge est inférieure à la puissance disponible, la température est fixée à la température de consigne et la charge de chauffage est déterminée comme étant la charge thermique. Si la puissance disponible n'est pas suffisante, la puissance de chauffage est fixée à la puissance disponible et la différence se reflète par une baisse de la température de la zone. Si la charge est négative (plus d'apports que de pertes), la température s'élève alors au-dessus du point de consigne et le chauffage est nul. Ces trois possibilités sont illustrées au tableau 5.1.

La seconde méthode, dite du niveau de température, consiste à fixer la puissance de chauffage et à laisser fluctuer la température. Un contrôle externe au type 56 joue le rôle d'un thermostat et met le chauffage en marche lorsque la température descend sous le point de consigne et l'arrête lorsque celle-ci atteint ou dépasse ce point. L'avantage de cette méthode est qu'elle reflète mieux la réalité du chauffage dans une maison. Elle peut cependant présenter une certaine instabilité et oblige l'utilisation d'un pas de temps plus petit, augmentant ainsi le temps de calcul. Pour la simulation d'une année, il a été jugé que la première méthode serait suffisante pour obtenir la précision recherchée. De plus, comme mentionné au chapitre précédent, l'utilisation de thermostats électroniques a pour conséquence de maintenir la température plus stable à l'intérieur de la maison, rapprochant ainsi la méthode de l'énergie de la réalité à simuler.

TABLEAU 5.1 TRAITEMENT DU CHAUFFAGE DANS TRNSYS SELON LA MÉTHODE DE L'ÉNERGIE

Plus d'apport que de perte	Puissance de chauffage suffisante	Puissance de chauffage insuffisante
$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_i}{C_i}$ $P_i = 0$	$\frac{dT_i}{dt} = 0$ $P_i = Q_i$	$\frac{dT_i}{dt} = \frac{P_{i, \max} - Q_i}{C_i}$ $P_i = P_{i, \max}$

5.2.3 Infiltrations

Les infiltrations sont exprimées dans le type 56 de TRNSYS sous la forme d'un changement d'air à l'heure qui peut varier selon différents paramètres d'entrées (le vent par exemple) ou encore être fixe. Cette variable est une des plus difficiles à évaluer pour un bâtiment, et bien qu'il existe des méthodes pour quantifier le débit d'air traversant les différentes parois d'une maison (test d'infiltrométrie par exemple), ceux-ci ne permettent souvent que de connaître ces infiltrations que dans des conditions bien précises. Toutefois, le taux de renouvellement de l'air varie généralement avec le temps, principalement à cause du changement des conditions extérieures ou de l'opération de certains appareils (sècheuse, hotte de cuisine, etc.). Puisqu'il est presque impossible de déterminer exactement la valeur des infiltrations à un moment donné, il est de pratique courante de poser cette valeur constante et d'ajuster les résultats de la simulation aux mesures prises sur place en faisant varier cette valeur à l'intérieur de certaines limites jugées réalistes.

Pour le garage, les infiltrations ont été estimées à une valeur moyenne de deux changements d'air à l'heure. Celle-ci fut déterminée à la suite de différents essais numériques. Des résultats, qui seront présentés plus loin, permettent de croire que cette valeur est près de la réalité. Pour la zone représentant l'air de la piscine, cette valeur a été estimée à 0,35 changement d'air à l'heure alors que pour l'eau, une valeur nulle a été retenue. L'importante variation d'une zone à l'autre est justifiée par la différence qui existe entre ces zones. En effet, le garage est doté de plusieurs

portes par lesquelles circulent les personnes et les voitures. Cette circulation, les fentes présentes autour de ces ouvertures de même qu'une attention souvent moindre au moment de la construction (étant donné qu'il s'agit d'un garage) ont pour conséquence d'augmenter la quantité d'air s'infiltrant dans cette zone, justifiant ainsi une valeur plus élevée d'infiltration dans la simulation. Pour ce qui est de la zone représentant l'eau de la piscine, celle-ci est souterraine et ne constitue donc pas un endroit susceptible de laisser pénétrer l'air extérieur.

Le traitement des trois autres zones est un peu plus complexe. Étant donné que ces zones (le sous-sol, la zone principale et la chambre des maîtres) possèdent des ouvertures permettant des échanges d'air entre elles, un équilibre doit se créer entre la somme des infiltrations (l'air qui pénètre dans la maison) et des exfiltrations (l'air qui s'échappe de la maison) de ces trois zones. La première estimation du taux d'infiltration a été faite en se servant de la méthode LBL présentée dans la référence [7]. La façon de procéder pour déterminer ces débits a été la suivante :

- 1) À l'aide de tables, déterminer les surfaces d'infiltration équivalentes pour une différence de pression standard de 4 kPa et ce, pour chaque surface de la zone exposée à l'extérieur.
- 2) Transformer ces surfaces équivalentes en coefficients d'infiltration selon l'équation suivante :

$$C = C_{DL} \left(\frac{2}{\rho} \right)^{0.5} (\Delta p_r)^{0.5-n} \quad (5.5)$$

- 3) Former un système d'équation non-linéaire en combinant les équations des débits.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (5.6)$$

$$Q_4 = Q_5 + Q_3 - Q_3 \quad (5.7)$$

$$Q_6 = Q_7 - Q_8 \quad (5.8)$$

où $Q_i = C(\Delta p)^n$ lorsque l'air s'infiltré par les fentes d'une paroi ou $Q_i = C_d A \sqrt{2\Delta p / \rho}$ lorsque l'air est échangé par une ouverture entre deux zones. Les trois inconnues sont en fait les pressions des trois zones. La figure 5.5 permet d'identifier les différents débits.

4) Résoudre ce système d'équation, en utilisant une méthode numérique (dans ce cas-ci Newton-Raphson), et déterminer les pressions inconnues ainsi que les débits nets d'infiltration, d'exfiltration et d'échange entre les zones pour une vitesse de vent moyenne.

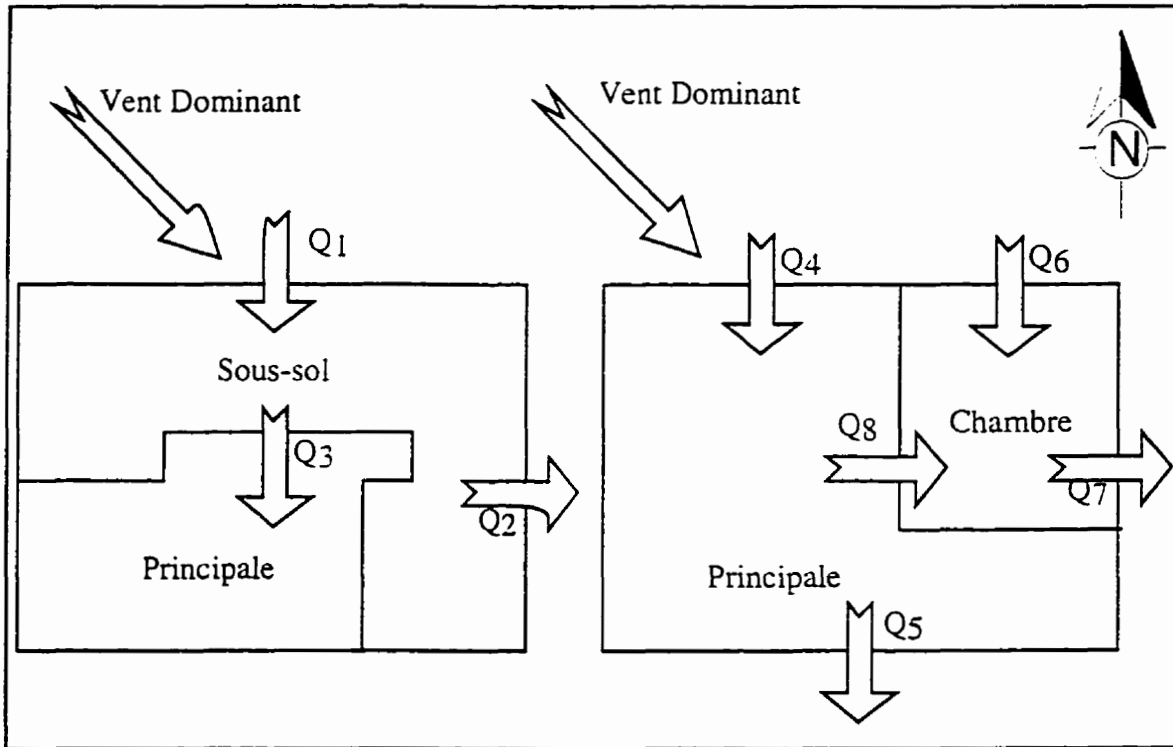


Figure 5.5 Débits d'infiltration tels que définis pour les équations 5.6 à 5.8

Certaines hypothèses ont été posées : 1) il n'y a pas d'infiltration par la paroi ouest de la maison à cause de la présence du garage; 2) La pression est la même sur les parois est et sud de la maison parce que les vents dominants arrivent avec un angle de 45° sur la maison, 3) il n'y a pas d'échange d'air entre la zone principale et la piscine et 4) l'effet de cheminée est négligeable dans la détermination des pressions intérieures. Cette méthode a donné des débits d'infiltration moyens ainsi que des débits d'échange moyens entre les zones. Ces débits ont par la suite été introduits dans TRNSYS. Ces valeurs moyennes sont posées constantes pour toute la simulation, mais sont ajustées dans des proportions identiques afin de calibrer la simulation. Les valeurs finales (après ajustement) des infiltrations provenant de l'extérieur sont 0,14 changement d'air à l'heure pour la zone principale (Q4), 0,25 pour le sous-sol (Q1) et 0,53 pour la chambre des maîtres (Q6).

5.2.4 Ventilation

La ventilation dans Habitasol est assurée par deux ventilateurs récupérateur de chaleur. Le contrôle de ces ventilateurs est assuré par deux humidistats. Dans la simulation, il s'agit d'un module spécifique (type 2) qui indique à celui de la maison que le ventilateur doit être mis en marche lorsque le taux d'humidité relative dans la zone principale dépasse le point de consigne. Un autre module extérieur, celui-ci représentant le récupérateur de chaleur (type 5), permet de calculer la température de l'air de ventilation en fonction de la température extérieure et intérieure. Le débit de ventilation dans la maison ne représentant, en nombre de changement d'air à l'heure, qu'une fraction du volume de celle-ci, sa modélisation n'a pas causée de difficulté. Pour ce qui est de la piscine cependant, le débit de ventilation en changement d'air à l'heure représente plus du triple du volume ventilé. Ce rapport élevé a pour conséquence de créer une l'instabilité numérique lors du déroulement de la simulation. Pour remédier à ce problème, le débit de ventilation a été fixé pour toute la durée de la simulation à une valeur représentant 80 % du débit de ventilation. Cette valeur correspond environ à la portion de temps pendant laquelle le ventilateur a fonctionné dans Habitasol durant la période étudiée. Ainsi, la quantité d'air échangée avec l'extérieur pendant une certaine période de temps lors de la simulation correspond environ avec la quantité d'air réellement échangée avec l'extérieur. Les bilans énergétiques demeurent ainsi valables.

5.2.5 Gains internes

Les gains internes à l'intérieur d'une maison ont généralement deux sources soit : 1) la chaleur dégagée par les occupants et 2) l'utilisation de l'électricité pour l'éclairage et le fonctionnement de certains appareils. La chaleur dégagée par les occupants est variable. Elle dépend entre autres de l'âge de ceux-ci, de leur sexe et de leur niveau d'activité. Pour les fins de cette étude, des valeurs provenant de l'ASHRAE [7] ont été utilisées. Celles-ci apparaissent au tableau 5.2. Pour mieux refléter la réalité, des profils ont été élaborés afin de tenir compte des moments

d'inoccupation et ce, pour les jours de semaine et de fin de semaine. Ces gains sont inclus dans les profils de gains internes présentés aux figures 5.5 et 5.6.

TABEAU 5.2 CHALEUR DÉGAGÉE PAR LES OCCUPANTS D'UNE MAISON

	Chaleur Sensible (W)	Chaleur Latente (W)	% de la chaleur sensible qui est radiative
Personne assise ou travaillant très légèrement	70	45	De 27 à 60 %

L'utilisation de l'électricité est pour sa part beaucoup plus difficile à prévoir. Elle dépend de plusieurs facteurs dont les habitudes propres à chaque famille. Pour cette raison, les mesures de consommation d'électricité recueillies ont été utilisées afin de déterminer un profil de gains internes s'approchant le plus possible de la réalité. Ici encore, le niveau des gains internes est fonction de l'occupation de la maison et du niveau d'activité à l'intérieur de celle-ci. Les gains ont donc été distribués selon un horaire jugé réaliste. La grandeur des gains internes a par la suite été ajustée pour calibrer la simulation avec les mesures. Les figures 5.5 et 5.6 présentent les profils de gains internes retenus.

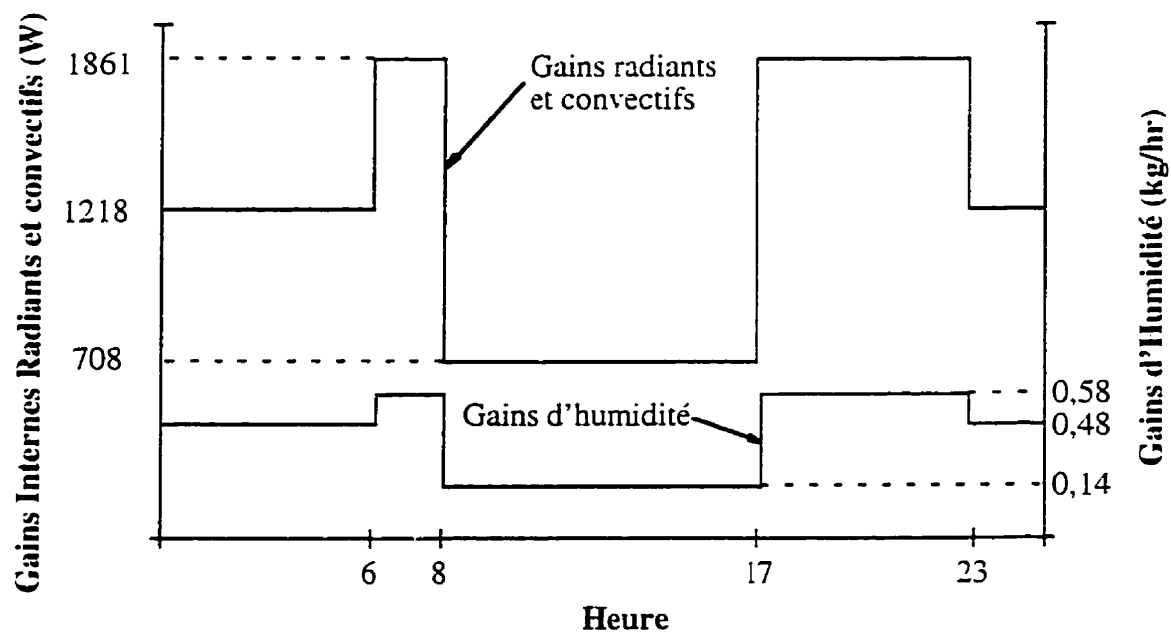


Figure 5.6 Profils des gains internes pour les jours de semaine

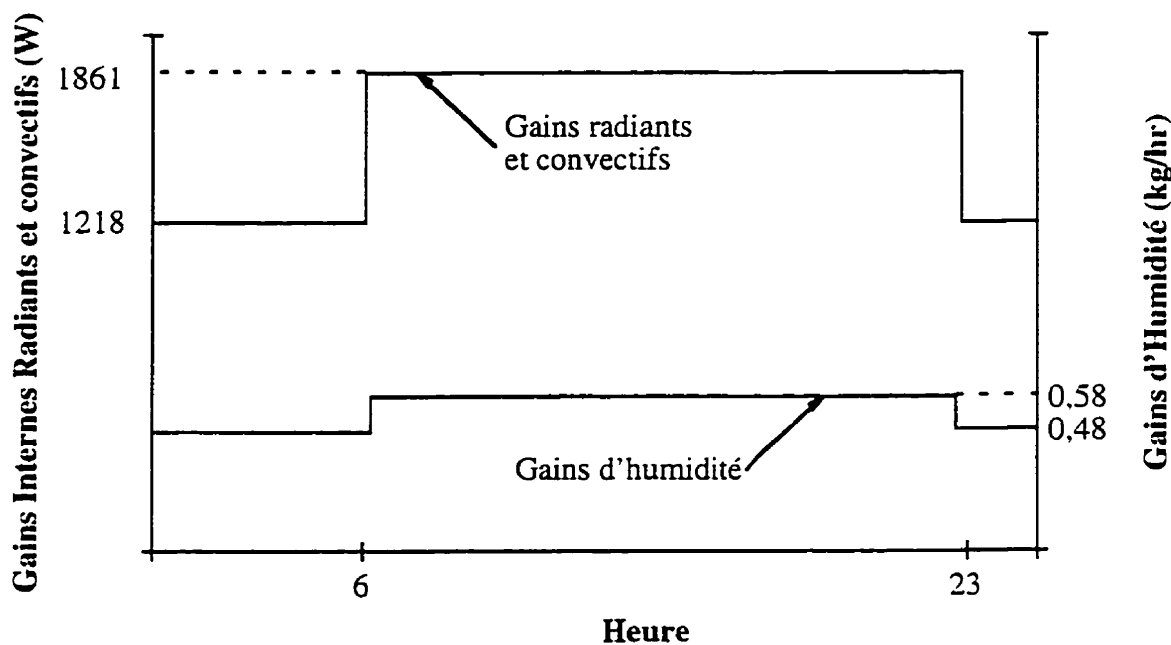


Figure 5.7 Profils des gains internes pour les jours de fin de semaine

Il faut noter que les gains internes dus aux occupants influent aussi sur le taux d'humidité puisqu'une partie de ceux-ci sont sous forme de vapeur d'eau. Différentes activités ont aussi

pour effet d'apporter une certaine quantité de vapeur d'eau dans l'air de la maison (douche, utilisation du lave-vaisselle, etc.). Cette variable prend de l'importance lorsque l'on sait que le taux d'humidité contrôle la ventilation dans Habitasol. Une attention spéciale a donc été portée aux gains latents afin de s'assurer que le taux de ventilation soit bien réaliste. Un ajustement a été effectué afin de s'assurer que le nombre d'heures de ventilation corresponde bien à la réalité.

5.2.6 Modélisation de la piscine

La piscine constitue une particularité difficile à modéliser. En effet, celle-ci possède une masse thermique beaucoup plus importante que les autres pièces de la maison. Les phénomènes d'échange thermique qui s'y produisent sont différents étant donné la surface d'eau et de plus, l'évaporation qui s'y produit modifie le comportement thermique de la zone. Il aurait été possible de concevoir un nouveau module qui aurait déterminé la température de l'eau et de l'air de la piscine mais une solution plus simple fut retenue. L'espace de la piscine a été divisé en deux zones : d'abord, une zone possédant une masse thermique très importante : l'eau; et une zone plus standard : l'air. Cette dernière possède en général les mêmes caractéristiques que les autres zones sauf quelques exceptions. D'abord, celle-ci ne possède pas de chauffage. En effet, il n'y a pas de chauffage direct dans l'espace piscine d'Habitasol. L'apport de chaleur dans l'air est assuré par la convection au-dessus de l'eau d'une part, et par les gains solaires d'autre part. Il n'y a pas de gains internes non plus. Par contre, il y a un important apport d'humidité provenant de l'évaporation de l'eau de la piscine. Les relations physiques gouvernant les échanges thermiques et massiques se ressemblent et se retrouvent dans la littérature [10] :

$$\dot{Q} = \bar{h}_s A_s (T_s - T_\infty) \quad (5.9)$$

$$n_A = \bar{h}_{m,s} A_s (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \quad (5.10)$$

$$\frac{\dot{h}}{\dot{h}_\infty} = \rho C_p Le^{1-n} \quad (5.11)$$

$$Le = \frac{\alpha}{D_{12}} \quad (5.12)$$

- où \dot{Q} est le flux de chaleur (W)
- \bar{h} est le coefficient de convection moyen pour la surface (W/m²)
- A_S est l'aire de la surface (m²)
- T sont les températures de l'air à la surface de l'eau et à l'infini (°C). La température de l'air à la surface de l'eau est supposée égale à la température de l'eau alors que la température à l'infini est supposée la même que celle mesurée dans l'air de la piscine.
- n_A est le taux de transfert de masse (kg/s)
- \bar{h}_m est le coefficient de transfert de masse convectif moyen (m/s)
- ρ sont les densités de vapeur d'eau à la surface et à l'infini (kg/m³). L'air est supposé saturé à la surface de l'eau alors que pour l'infini, la densité est déterminée à l'aide du taux d'humidité calculé de l'air de la piscine.
- C_p est la chaleur spécifique de la vapeur d'eau (kJ/Kg-°C)
- α est la diffusivité thermique de l'air (m²/s)
- D_{AB} est le coefficient de diffusion binaire de masse

Connaissant la température de l'eau et de l'air de même que le taux d'humidité de l'air, il devient possible d'évaluer les différentes variables nécessaires au calcul des gains thermiques et humides de la zone constituée par l'air. Certains de ces calculs sont effectués par le module de la charte psychrométrique (type 33) alors que d'autres sont effectués à l'aide d'un énoncé d'équation. La quantité d'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est aussi calculée afin de soustraire celle-ci de l'eau.

Pour ce qui est de la masse d'eau, elle est chauffée par une résistance électrique qui fonctionne selon un horaire prédéfini. La simulation du comportement thermique de l'eau de façon acceptable est cependant difficile en respectant cette façon de faire. Le but de la modélisation étant principalement la simulation du comportement du chauffage de la maison, il est jugé plus important d'obtenir une température de l'eau le plus près possible de la température mesurée. Ainsi, une température de consigne, différente pour chaque mois et équivalente à la température mesurée, fut désignée et introduite dans la simulation. Un modèle de chauffage semblable à

celui des autres zones est alors utilisé. Cette façon de faire assure que la température de l'eau s'approche toujours de celle mesurée.

Un second apport de chaleur à l'eau de la piscine provient du rayonnement solaire. Dans la modélisation avec TRNSYS, cet apport est assuré par la transmission des rayons du soleil à travers une fenêtre. Cette fenêtre se trouve cependant déjà dans la zone air et le dédoublement de celle-ci apporterait deux fois plus d'énergie solaire dans la simulation que dans la réalité en plus de doubler les pertes par conduction associées à celle-ci. La façon de contourner ce problème est d'inclure dans le modèle une fenêtre dite virtuelle. Celle-ci se retrouve dans la zone eau. Elle possède des caractéristiques semblables à une fenêtre réelle mais sa conductivité est très faible dans le but d'éviter les déperditions vers l'extérieur. La distribution du rayonnement solaire entre les deux zones se fait en multipliant la transmissivité de chacune des fenêtres par une fraction, en proportion du rayonnement absorbé par chacune de ces zones. Dans ce cas-ci, cette proportion est estimée à 50% pour chacune des zones

5.2.7 Conditions extérieures et autres utilitaires

La connaissance de certaines conditions extérieures est généralement nécessaire au déroulement de la simulation. Ces conditions sont généralement de nature météorologique et varient avec le temps. Pour l'étalonnage du modèle, des données météorologiques (température sèche, humidité relative et rayonnement solaire) provenant de stations d'Environnement Canada sont utilisées. Ces données couvrent la période de janvier à mars 1994. Pour le reste de l'année, une deuxième série de données météorologiques est utilisée. Ces dernières données ont été synthétisées par TRNSYS à partir de moyennes mensuelles de température, d'humidité et de rayonnement. Celles-ci permettent de faire tourner la simulation sur toute une année avant de prendre les résultats des trois mois suivants. Ce faisant, les valeurs initiales de la simulation n'ont plus d'influence sur les résultats. Ce n'est cependant que les résultats de la période pour laquelle des données réelles sont disponibles qui sont comparés aux données de chauffage

mesurées (voir figure 5.8). La comparaison de ces valeurs est abordée à la section suivante. On doit noter que les données de température présentées au chapitre 4 proviennent de l'instrumentation en place chez Habitasol. À ce moment, aucune autre information sur l'environnement météorologique d'Habitasol n'était recueillie.

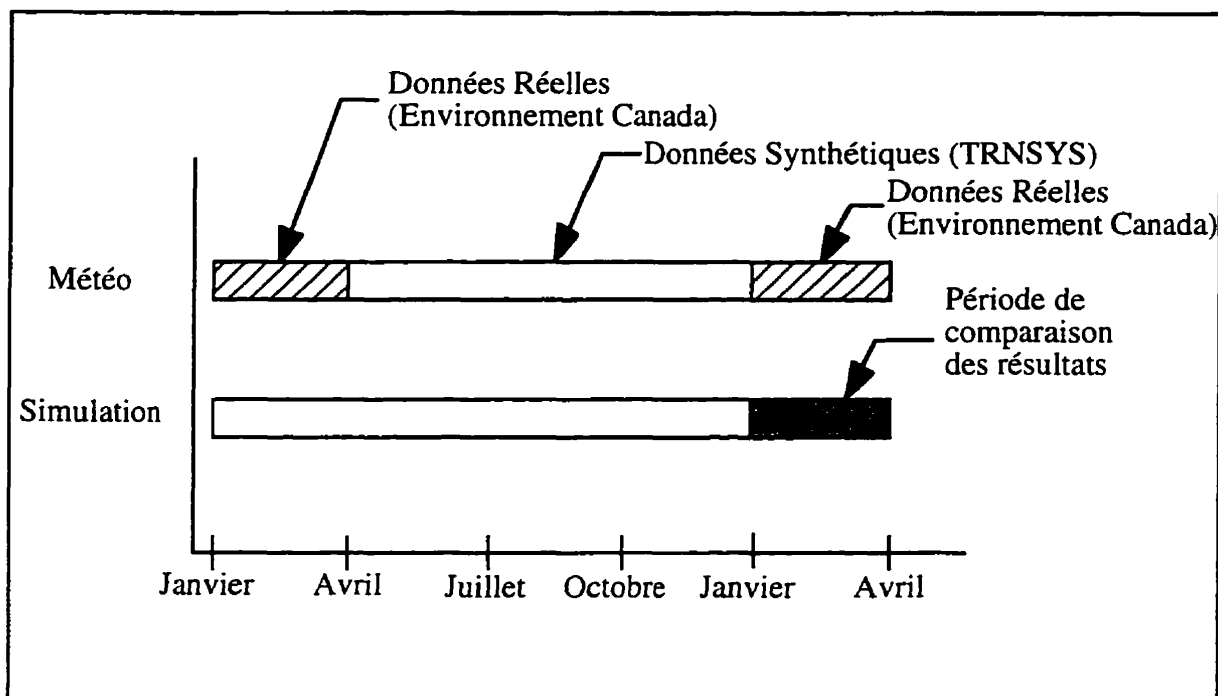


Figure 5.8 Schéma représentant la période utilisée pour comparer les résultats de la simulation aux mesures prises chez Habitasol

Les données synthétiques ont pour leur part été élaborées à partir des normales de la station météorologique d'Environnement Canada situé à St-Hubert. Ces normales apparaissent au tableau 5.3. Pour éviter toute modification des données météo d'une simulation à l'autre, les données synthétiques ont été créées lors d'une exécution préliminaire de TRNSYS et enregistrées dans des fichiers. Ce sont ces fichiers qui ont ensuite servi, par l'intermédiaire du Type 9 (*Card Data Reader*), dans la simulation de TRNSYS. Cette façon de faire a aussi permis de compléter les données météo réelles, tel qu'il est décrit précédemment.

TABLEAU 5.3 NORMALES MENSUELLES UTILISÉES POUR L'ÉLABORATION DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES SYNTHÉTIQUES

Mois	Rayonnement Solaire Quotidien (kJ/m ²)	Température Sèche (°C)	Humidité Absolue (kg/an/kgair)
Janvier	6157	-10,1	0,0017
Février	9605	-9,0	0,0017
Mars	13 704	-2,4	0,0025
Avril	17 442	5,7	0,0038
Mai	20 078	12,8	0,0060
Juin	21 603	18,2	0,0091
Juillet	21 687	20,7	0,0106
Août	18 619	19,2	0,0102
Septembre	13 859	14,4	0,0080
Octobre	9291	8,4	0,0054
Novembre	5061	1,8	0,0036
Décembre	4706	-7,0	0,0021

Pour ce qui est du traitement du rayonnement solaire, le type 16 (*Solar Radiation Processor*) est utilisé de façon standard, tel que décrit dans le manuel de TRNSYS. Il peut être intéressant de noter cependant que le coefficient de réflexion du sol n'est pas constant. Il varie grâce au type 14 (*Forcing Function*) : il est de 0,2 du 15 mars au 15 novembre et de 0,7 pour le reste du temps. Le type 34 (*Overhang and Wingwall Shading*) est quant à lui utilisé pour déterminer la quantité de rayonnement pénétrant par les fenêtres situées sous le *Sombrero*. Finalement, des modules d'intégration et d'impression sont utilisés en conjonction avec des énoncés d'équation afin de connaître les résultats de la simulation. Ces résultats sont généralement enregistrés dans des fichiers afin d'être récupérés par la suite dans un chiffrier électronique pour consultation et analyse.

5.3 Étalonnage et validation du modèle

L'interprétation des résultats d'une simulation numérique doit toujours se faire avec une grande prudence, car ceux-ci peuvent dissimuler des erreurs. Une méconnaissance du fonctionnement du logiciel ou un manque de rigueur dans la vérification des résultats peut faire en sorte que des illogismes soient retenus comme résultats. Les sources d'erreur sont variées. Il y a d'abord le fait que les phénomènes physiques simulés sont représentés par des équations mathématiques, parfois empiriques, qui peuvent être plus ou moins précises ou reposées sur certaines hypothèses, notamment quant à leur domaine d'applicabilité. La précision des lois mathématiques utilisées pour exprimer la physique et la qualité des hypothèses posées constituent donc une première source d'erreur. Ensuite, les systèmes d'équations mathématiques sont résolus à l'aide d'algorithmes numériques. La précision de ces algorithmes peut être variable d'un à l'autre et peut dépendre de certains paramètres comme le pas de temps utilisé pour la résolution du problème par exemple. Finalement, la qualité des données introduites par l'utilisateur (paramètre physique, constante, coefficient) peut être imparfaite, soit à cause d'un manque de connaissance du phénomène, d'une erreur de saisie ou simplement parce que la grandeur exacte de la quantité n'est pas connue et difficile à évaluer. On constate donc que la résolution d'un problème à l'aide de méthodes numériques constitue une chaîne dans laquelle des erreurs peuvent s'introduire à chaque maillon, et que les résultats obtenus doivent être vérifiés soigneusement afin d'éviter que des aberrations soient présentées comme des résultats valables.

Dans cette étude, des résultats obtenus avec le modèle numérique sont comparés aux valeurs mesurées chez Habitasol. Comme les données météo complètes (température, rayonnement solaire et humidité relative) ne sont disponibles que pour une partie de l'année, la comparaison des résultats obtenus par simulation avec les valeurs mesurées chez Habitasol n'est effectuée que pour une période de trois mois, soit de janvier 94 à mars 94. La figure 5.8, présentée à la section précédente, illustre cette période. Cette comparaison est faite pour différentes zones de

la maison et pour différentes variables, étape par étape. D'abord les zones périphériques, ensuite les paramètres ayant une influence directe sur une variable (humidité vs ventilation par exemple) et finalement les paramètres plus incertains (infiltrations et gains internes). Les graphiques sont présentés dans la sous-section suivante dans l'ordre dans lequel ils ont été obtenus. Une fois l'étalonnage effectué, celui-ci permet d'obtenir un certain niveau de confiance dans le modèle. Il devient alors possible de prédire quelle aurait été la consommation électrique sous d'autres conditions. Comme mentionné au chapitre 4, les résultats des mesures présentés ont été obtenus pour un hiver (93-94) où des records de froid ont été atteints. Cette année n'est donc pas représentative pour établir la consommation typique d'Habitasol. Le modèle peut par contre prévoir quelle aurait été la consommation d'Habitasol pour des conditions typiques. Les résultats de ces prévisions sont présentés dans une seconde sous-section. Finalement, une discussion termine cette analyse.

5.3.1 Étalonnage du modèle pour la garage

Deux variables peuvent être facilement comparées et sont bien représentatives du comportement thermique du garage. Il s'agit de la température et de la puissance de chauffage. De ces deux variables, seule la température a un effet sur l'espace intérieur de la maison, parce qu'elle a un impact sur les déperditions du mur ouest de la maison. Le système de chauffage du garage est cependant difficile à modéliser puisqu'il s'agit d'un convecteur muni d'un thermostat peu précis et ne maintenant pas vraiment une température de consigne, comme il est possible de le constater sur la figure 5.9. De plus, le garage est un endroit où le va-et-vient peut faire augmenter de façon abrupte mais temporaire la puissance de chauffage, comportement impossible à reproduire de façon exacte dans une simulation. Pour ces raisons, l'attention est principalement portée sur l'obtention d'une température reflétant bien la réalité, expliquant pourquoi les puissances électriques diffèrent de façon importante telles qu'illustrées à la figure 5.9. La qualité des résultats en ce qui concerne le chauffage de l'intérieur de la maison n'est

cependant aucunement affectée par cette différence. L'étalonnage de la température s'est effectué en ajustant la puissance de chauffage disponible, la température de consigne du chauffage et le taux d'infiltration du garage. ce qui a permis d'obtenir les courbes présentées à la figure 5.9 ainsi qu'à l'annexe E.

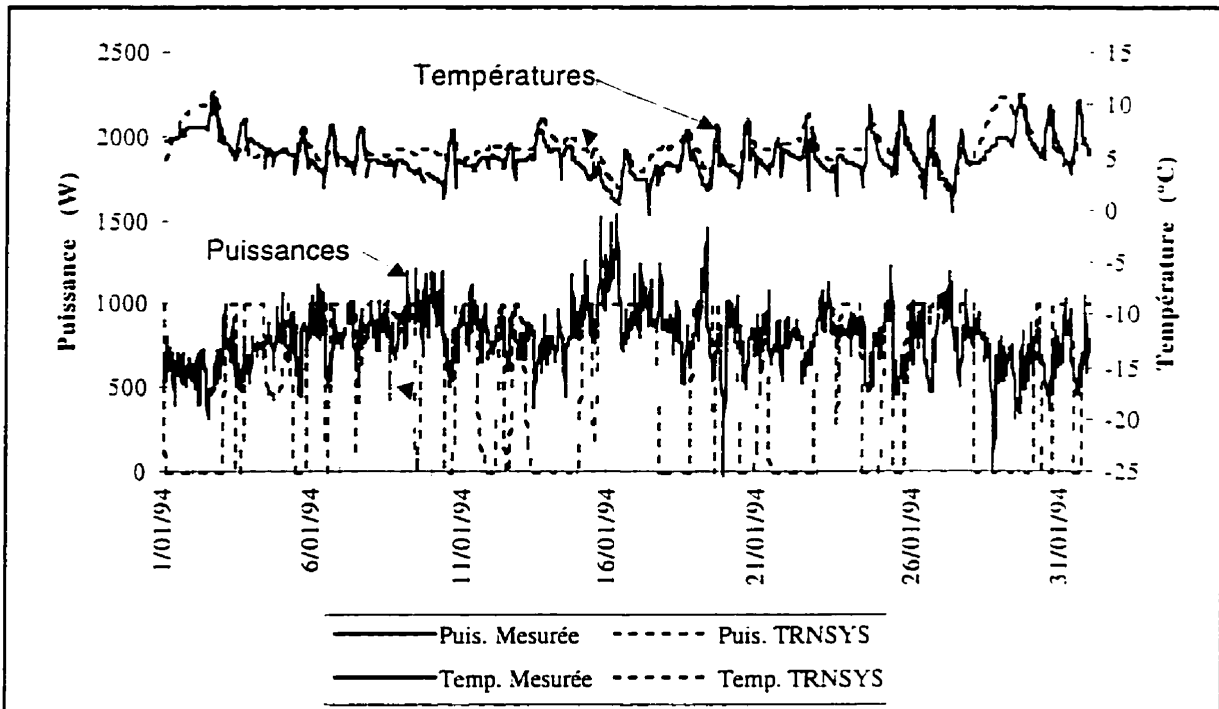


Figure 5.9 Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de janvier 94.

5.3.2 Étalonnage du modèle pour la piscine

Pour la piscine, deux zones doivent être observées : l'eau et l'air. La figure 5.10 présente les courbes de puissance et de température de l'eau pour janvier 94. Il est possible d'y constater que les courbes de puissance de chauffage diffèrent l'une de l'autre. Il est important de se rappeler que la méthode utilisée pour modéliser le chauffage de l'eau ne respecte pas le comportement réel du chauffage qui est contrôlé par une minuterie. Cependant, lorsque l'on compare l'énergie totale dissipée dans l'eau durant le mois, on constate que les valeurs calculées et mesurées possèdent le même ordre de grandeur soit respectivement 899 kWh contre 638

kWh, une surestimation de 261 kWh. Bien que cette différence puisse sembler importante, il faut se rappeler que TRNSYS n'est pas conçu à l'origine pour simuler un tel équipement et que plusieurs approximations ont dues être faites pour parvenir à modéliser la piscine sans réaliser de nouveau module. Cependant, comme dans le cas du garage, la quantité d'énergie dissipée à l'intérieur de la piscine n'influe pas sur l'évaluation du chauffage du reste de la maison. La température peut cependant avoir une influence, mais comme il est possible de le constater sur la figure 5.10, de même que sur les figures semblables présentées en annexe, la température de la simulation est assez bien représentative de la température réellement mesurée.

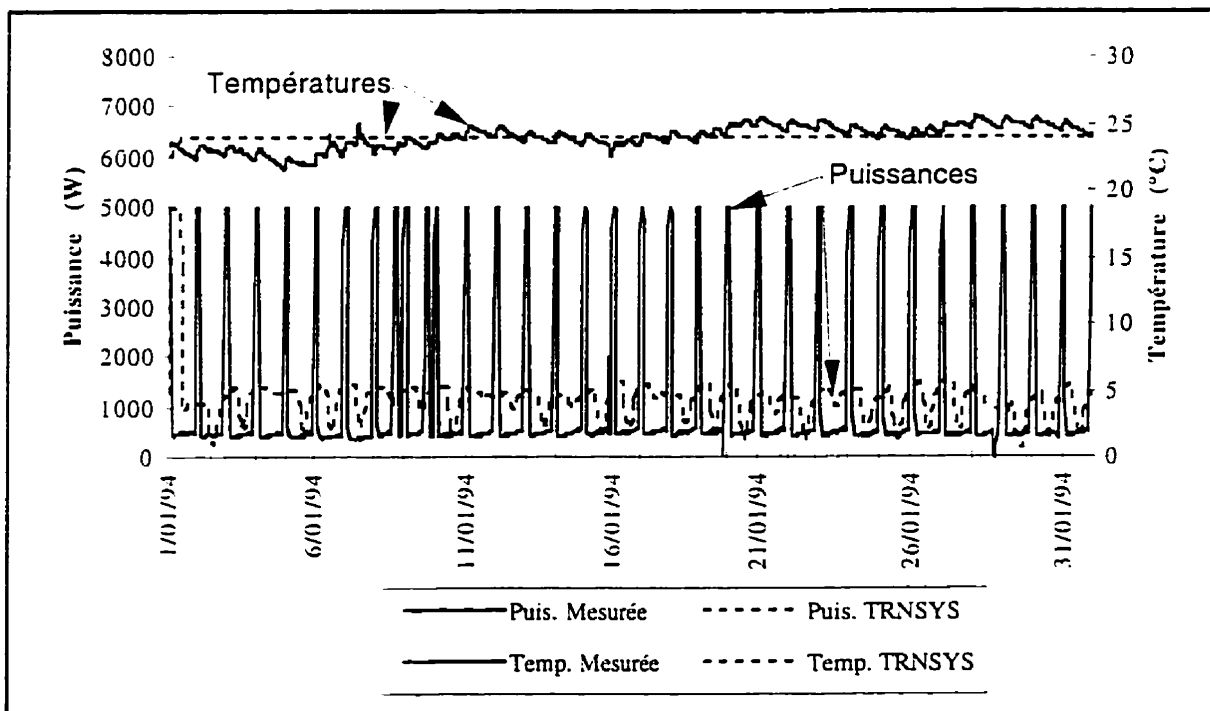


Figure 5.10 Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de janvier 94.

Pour l'air, il n'y a pas de puissance dissipée. Il est donc impossible d'utiliser cette variable pour fin de comparaison. Cependant, contrairement à l'eau où la température était maintenue à l'aide d'une consigne, la température de l'air à l'intérieur de la simulation est flottante, c'est à dire qu'elle oscille en fonction des échanges par conduction à travers les parois, des échanges d'air par ventilation et par infiltrations et des échanges convectifs avec l'eau, généralement plus

chaude. Le comportement de la température représente donc un bon point de comparaison afin de déterminer la validité de la simulation. De même, bien que le niveau réel et exact d'humidité relative soit inconnu, son ordre de grandeur est lui connu étant donné que celle-ci est maintenue à un point de consigne à l'aide d'un humidistat. Cette consigne était généralement de 50 % durant la durée de l'étude. On peut constater sur la figure 5.11 que l'humidité relative s'est effectivement maintenue environ à ce niveau lors de la simulation. Dans l'ensemble, ces résultats permettent d'afficher un niveau de confiance suffisant quant à l'impact de la piscine sur le reste de la maison, du moins pour cette étude. Les figures des mois de février et mars, présentées en annexe viennent corroborer cette affirmation.

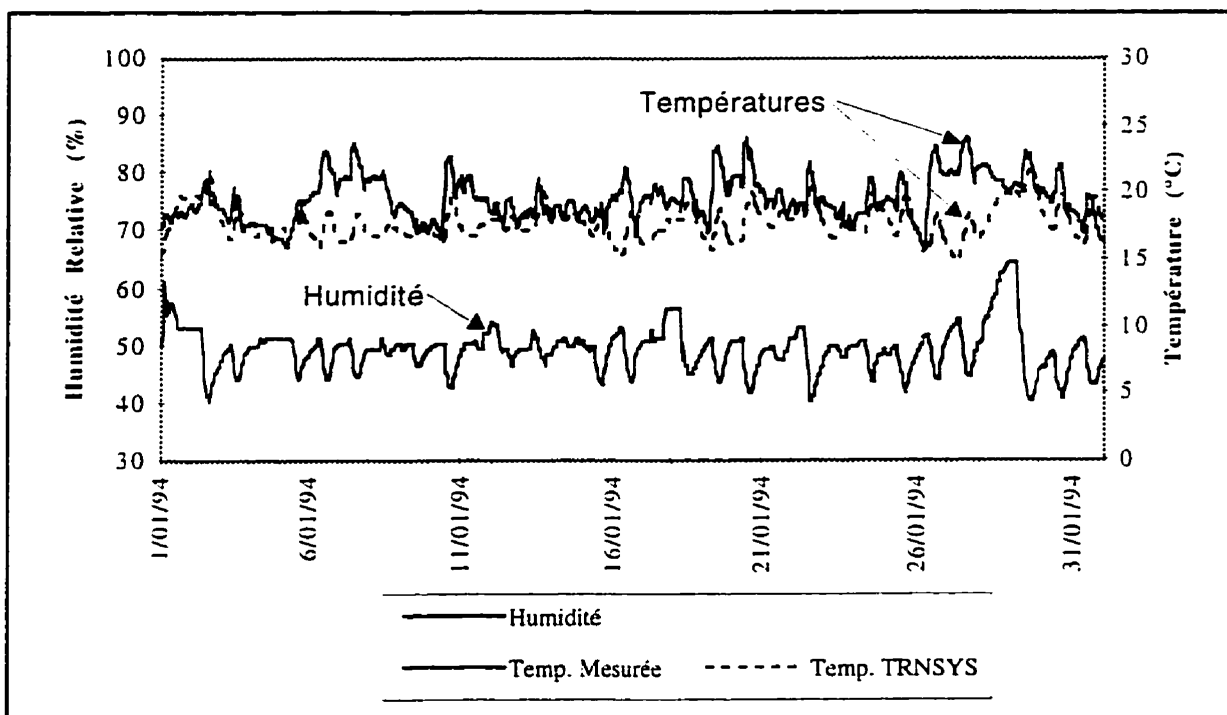


Figure 5.11 Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de janvier 94.

Les deux figures précédentes permettent d'affirmer que l'astuce utilisée pour modéliser la piscine, bien qu'approximative et empirique, est satisfaisante pour rencontrer les objectifs visés par cette étude. En effet, plusieurs paramètres peuvent être ajustés pour parvenir aux résultats voulus : débits d'infiltration, coefficients d'échange de chaleur et de masse au-dessus de la

piscine, efficacité du récupérateur de chaleur. etc. D'autres, bien que mieux connus, peuvent aussi varier légèrement: le débit de ventilation et la transmissivité du vitrage en sont des exemples. Un ajustement beaucoup plus fin de cette partie de la simulation aurait pu être obtenu mais au prix d'efforts et de temps importants. Il a donc été jugé plus judicieux de disposer de ces ressources à d'autres niveaux et de laisser le raffinement de cette partie du modèle à d'autres.

5.3.3 Étalonnage du modèle pour la ventilation

Chez Habitasol, le taux de ventilation est déterminé en fonction de l'humidité relative de l'air intérieur. Bien que l'humidité relative soit fonction de la quantité d'eau présente dans l'air et de la température, dans la simulation un seul paramètre peut être modifié de façon directe par l'utilisateur afin d'influencer le taux de ventilation; il s'agit des gains internes latents ou, tels qu'ils sont introduits à l'intérieur de la simulation, de la quantité d'eau évaporé dans l'air à chaque heure. La figure 5.12 présente les courbes du nombre d'heures de ventilation par jour, afin de comparer le taux de ventilation obtenu par simulation avec celui mesuré chez Habitasol. Évidemment, la quantité d'eau évaporé est reliée de façon importante à l'activité humaine et la simulation exacte de ce paramètre est impossible à moins de connaître de façon précise le taux d'activité des occupants de la maison à tout moment. Cependant, l'humidité de l'air extérieur et la température interne viennent aussi modifier cette variable. On peut donc s'attendre à observer certaines tendances communes aux deux courbes, soit celle de la simulation et celle des valeurs mesurées. C'est en effet ce que l'on retrouve sur le graphique de la figure 5.12. Ainsi, la hauteur des pointes n'est pas toujours la même, mais on constate tout de même une certaine tendance commune aux deux courbes. La comparaison du nombre total d'heures pour chacun des mois est aussi intéressante afin de s'assurer que la quantité globale d'air ventilé est semblable dans la simulation à ce qu'elle est en réalité. Le tableau 5.4 est présenté à cet effet. On y constate que le nombre d'heures de ventilation obtenu par simulation est un peu inférieur à la réalité en janvier et mars mais plus élevé pour février. Il est difficile d'expliquer de façon

exacte la raison de ce comportement. Quoi qu'il en soit, l'ordre de grandeur est réaliste et étant donné l'importance du facteur humain sur cette variable, ces résultats tendent à confirmer la pertinence des valeurs de gains humides introduites dans la simulation. Ces valeurs ont déjà été présentées aux figures 5.6 et 5.7.

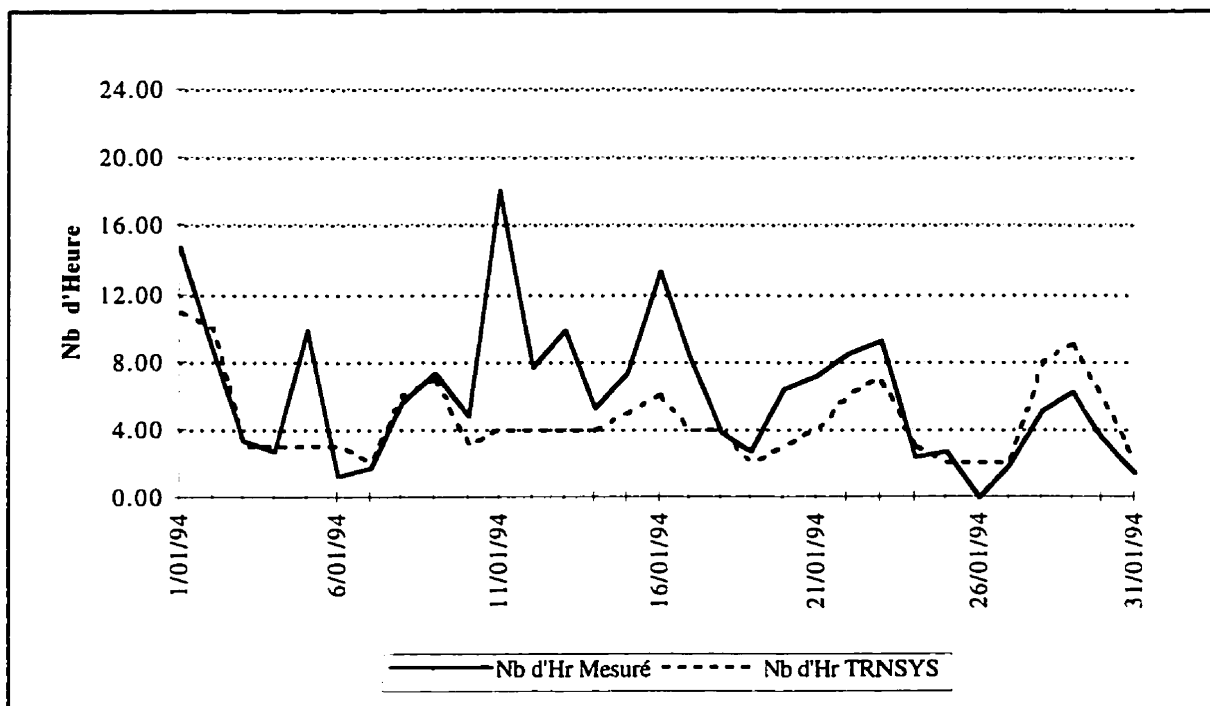


Figure 5.12 Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRNSYS avec celui mesuré chez Habitasol, pour le mois de janvier 94.

TABLEAU 5.4 NOMBRE D'HEURES DE VENTILATION MESURÉ CHEZ HABITASOL ET OBTENU PAR SIMULATION, POUR LA PÉRIODE DE COMPARAISON

Mois	Nb d'heure mesuré	Nb d'heure obtenu par simulation
Janvier 94	191	142
Février 94	112	127
Mars 94	230	212

5.3.4 Étalonnage pour le chauffage

L'étalonnage pour le chauffage est effectué pour la même période de trois mois que pour les sections précédentes. Celui-ci est fait d'une part, en comparant la somme des puissances de chauffage obtenues par simulation pour la zone principale, le sous-sol et la chambre avec la puissance de chauffage mesurée chez Habitasol et d'autre part, en comparant la température de la zone principale avec la moyenne des températures mesurées dans la cuisine et le sous-sol d'Habitasol. Les courbes illustrant l'évolution de ces variables sont présentées à la figure 5.13 de même qu'à l'annexe E. On peut y remarquer une parfaite synchronisation entre les valeurs mesurées et obtenues numériquement et ce autant pour la température que pour la puissance de chauffage. Des différences demeurent cependant au niveau de la dimension des pointes. Ces différences sont particulièrement apparentes pour la puissance au moment des grandes demandes de chauffage et, pour la température, lors de l'adoucissement de la température extérieure. Le comportement humain peut probablement expliquer en partie ce phénomène. En effet, lorsque la température est plus douce à l'extérieur, les gens font moins attention. Ils en profitent souvent pour ventiler la maison en ouvrant les fenêtres pendant un certain temps ou sont moins pressés pour refermer la porte lorsqu'ils circulent par celle-ci. Ils cherchent aussi à éviter les surchauffes le jour et vont avoir tendance à se débarrasser rapidement d'un surplus de chaleur, quitte à chauffer durant la nuit. Ces comportements sont évidemment difficiles à recréer dans un modèle numérique.

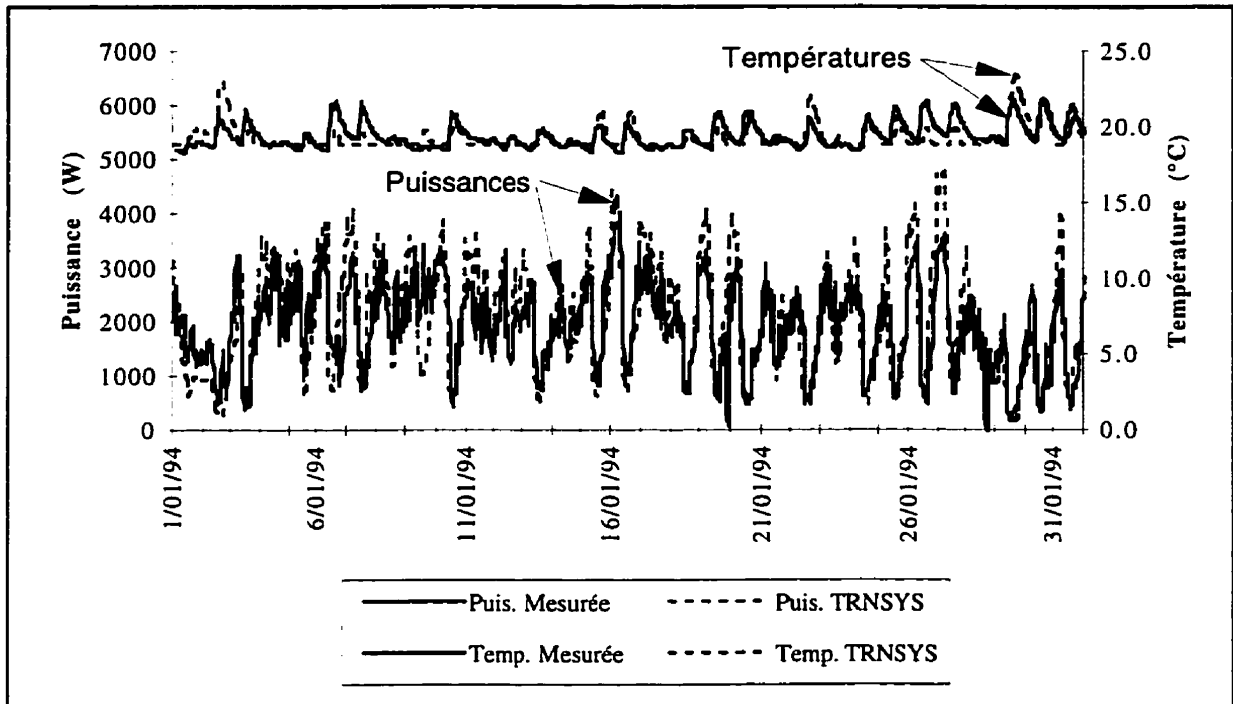


Figure 5.13 Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de janvier 94

Les tableaux 5.5 et 5.6 permettent d'observer les résultats obtenus pour la consommation d'énergie et la température moyenne. Les moyennes obtenues avec le modèle, légèrement plus élevées que celles mesurées, sont cohérentes avec les consommations de chauffage moins élevées pour ces mois et indiquent la présence de surchauffes plus importantes ou plus longues dans la simulation que dans la réalité. Le comportement des occupants, tel que décrit précédemment, peut s'appliquer pour expliquer cette différence.

TABLEAU 5.5 CONSOMMATION ÉLECTRIQUE MESURÉE CHEZ HABITASOL ET OBTENUE PAR SIMULATION, POUR LA PÉRIODE DE COMPARAISON

Mois	Consommation énergétique mesurée (kWh)	Consommation énergétique obtenue par simulation (kWh)
Janvier 94	1431	1520
Février 94	913	840
Mars 94	746	529

TABLEAU 5.6 TEMPÉRATURE MOYENNE MESURÉE CHEZ HABITASOL ET OBTENUE PAR SIMULATION, POUR LA PÉRIODE DE COMPARAISON

Mois	Température moyenne mesurée (°C)	Température moyenne obtenue par simulation (°C)
Janvier 94	19,5	19,4
Février 94	19,9	20,4
Mars 94	19,9	20,8

5.4 Résultats pour une année typique

Le tableau 5.7 présente une comparaison entre la consommation de chauffage mesurée chez Habitasol pendant l'année 93-94 et celle obtenue par simulation à l'aide de TRNSYS. Cette simulation a été réalisée en utilisant les données météorologiques synthétisées par TRNSYS à partir des normales mensuelles.

Étant donné que les résultats présentés au tableau 5.7 sont obtenus dans des conditions différentes (les données météorologiques ne sont pas les mêmes), il est normal que les valeurs diffèrent. Il est cependant intéressant de comparer ces résultats en les mettant en perspective avec les conditions climatiques réelles observées durant l'hiver 93-94. Ces conditions climatiques sont représentées ici par le nombre de degrés-jours de chauffage (base 18 °C) et le nombre d'heures d'insolation, ces deux variables étant exprimées sous forme de variation, en pourcentage, par rapport à une année normale.

TABLEAU 5.7 COMPARAISON DE L'ÉNERGIE DE CHAUFFAGE MESURÉE CHEZ HABITASOL AVEC CELLE OBTENUE PAR SIMULATION POUR UNE ANNÉE TYPIQUE

Mois	Variation des degrés-jours par rapport à une année typique (%)	Variation du nb d'insolation par rapport à une année typique (%)	Énergie de chauffage mesurée (kWh)	Énergie de chauffage obtenue par simulation pour une année typique (kWh)	Écart (%)
Novembre 93	2,55	3.1	401	437	-9,0%
Décembre 93	-5,69	16.9	909	1053	-15,8%
Janvier 94	22,25	20.8	1431	1131	21,0%
Février 94	9,28	21.5	913	801	12,3%
Mars 94	3,37	-12.3	746	533	28,6%
Avril 94	-0,11	-16.0	459	182	60,4%
Mai 94	11,35	N/D	127	2	98,6%
Juin 94	-17,25	N/D	3	0	-
Juillet 94	-85,44	-5.1	0	0	-
Août 94	26,51	2.0	9	0	-
Septembre 94	-16,65	-4.4	5	1	-
Octobre 94	-14,17	14.4	37	99	168,6%
Total	4,36 %	2,0 %	5040	4238	15,9 %

En comparant mois par mois, on remarque d'abord une assez bonne estimation de la consommation de chauffage pour le mois de novembre; on peut remarquer que le climat est très près de la normale pour cette période. Au mois de décembre, la consommation mesurée est légèrement inférieure à celle prévue, mais la température fut plus clémente que la normale et l'ensoleillement plus important. En janvier et février, la consommation de chauffage mesurée est plus élevée que la consommation prévue, mais bien que ces mois ait été plus ensoleillés que la normale, ils ont surtout été beaucoup plus froids. En effet, on doit noter qu'en janvier, un ensoleillement supérieur de 20,8 % à la moyenne représente 21,4 heures de plus de soleil, ce qui équivaut à 2,16 % du nombre d'heures d'ensoleillement annuel. Pour les degrés-jours, un nombre supérieur de 22,25 % représente 195,5 degrés-jours ou 4,2 % du nombre total de degrés-jours d'une année typique. Si la base de calcul des degrés-jours serait plus basse (et par

le fait même probablement plus près de la vraie température d'équilibre d'Habitasol) cette tendance serait encore plus importante. Cet exercice tend à démontrer, pour cette période de l'année, un impact plus important lors d'une variation des degrés-jours que lors d'une variation du nombre d'heures d'ensoleillement. Mais cette démonstration ne diminue cependant en rien l'importance du rayonnement solaire sur le bilan énergétique annuel de la maison.

La poursuite de l'analyse permet de constater que le modèle sous-estime la consommation d'énergie de mars malgré une température près de la normale, mais on doit mentionner que le soleil fut moins présent, expliquant ainsi ce comportement. En avril, la consommation de chauffage mesurée, plus importante que celle calculée par le modèle, peut s'expliquer en partie par la différence d'ensoleillement, mais à cette époque de l'année le comportement des occupants, tel que déjà décrit, peut constituer une cause d'erreur importante. Même chose pour le mois de mai. En octobre, l'estimation est légèrement supérieure. La température plus chaude et l'ensoleillement plus important viennent corroborer ce résultat.

D'après ce qui précède, il apparaît que les résultats obtenus pour une année typique, lorsque comparés avec les résultats mesurés et en tenant compte des différences météorologiques, s'avèrent réalistes. Une exception se situe au moment du printemps, le modèle ayant alors tendance à sous-évaluer la consommation énergétique d'Habitasol, probablement à cause du comportement des occupants. La quantité affichée de 4238 kWh, énergie nécessaire pour maintenir les conditions de confort durant une année typique, n'est donc probablement que légèrement inférieure à la valeur exacte de la consommation de chauffage pour une telle année.

Le tableau 5.8 présente une répartition des sources d'énergie contribuant au chauffage d'Habitasol. Ce tableau est obtenu en faisant la somme des gains internes radiatifs et convectifs, la somme du rayonnement solaire traversant les parois vitrées d'Habitasol et finalement, la somme du chauffage de la zone principale, du sous-sol et de la chambre des maîtres. L'énergie dissipée dans le garage et dans la piscine est donc exclue de ce tableau.

TABLEAU 5.8 RÉPARTITION DES SOURCES D'ÉNERGIE DE CHAUFFAGE D'HABITASOL POUR UNE ANNÉE TYPIQUE, TEL QUE DÉTERMINÉ À L'AIDE DE TRNSYS

Mois	Gains Internes (kWh)	Énergie Solaire (kWh)	Chauffage Auxiliaire (kWh)
Novembre	977	500	437
Décembre	1007	657	1053
Janvier	1027	841	1131
Février	917	991	801
Mars	1007	982	533
Avril	986	749	182
Total	5921	4720	4137

À l'origine, les concepteurs de la maison prévoient un apport à peu près équivalent de chacune des trois sources d'énergie suivantes : les gains internes, le rayonnement solaire et le chauffage auxiliaire. En effet, si on se rapporte à la figure 2.5, le logiciel HOT 2000 prévoyait des apports respectifs de 32 %, 39 % et 29 % pour chacune de ces sources, estimant à 6000 kWh la demande d'Habitasol pour une année typique. Bien que le total des chiffres présentés ici soit légèrement inférieur, leurs proportions demeurent dans le même ordre de grandeur puisque celles-ci se trouvent être 40 %, 32 % et 28 %. Même dans les mois les plus froids de l'hiver (janvier plus particulièrement), les gains internes et solaires demeurent un apport important au bilan énergétique de la maison. C'est donc dire que les concepteurs et constructeurs de la maison ont bien atteint leur but.

5.5 Discussion

La modélisation est un moyen intéressant pour comprendre et étudier certains comportements physiques. Les modèles ne sont cependant jamais parfaits et les résultats obtenus avec ceux-ci doivent donc être utilisés avec prudence.

Dans ce cas-ci, l'étalonnage du modèle permet d'obtenir un certain niveau de confiance dans les résultats obtenus. Au niveau de la reproduction des phénomènes physiques, la simulation se comporte très bien, reproduisant les élévations de température et les appels de puissance d'Habitasol au moment exact où ceux-ci se produisent. La grandeur des échanges thermiques n'est cependant pas reproduite de façon exacte en toutes occasions. L'étalonnage permet alors de connaître les forces et les faiblesses du modèle et de tenir compte de celles-ci lors de l'analyse des résultats. Pour ce cas-ci, le modèle semble sous-évaluer la consommation de chauffage durant les mois du printemps. Il serait peut être possible d'ajuster les différents paramètres ou encore d'utiliser certaines astuces pour améliorer les résultats du modèle, mais probablement au prix d'importants investissements en temps. De plus, une question se pose alors : à quel moment l'étalonnage d'un modèle se transforme en une manipulation injustifiée de données? Comme mentionné précédemment, la modélisation est une chaîne où peut être introduits des approximations et des erreurs à chaque maillon. Il est donc normal que les résultats obtenus par modélisation diffèrent de ceux obtenus par mesure directe. Ceci est encore plus vrai dans le cas d'un modèle visant à simuler le comportement thermique d'une habitation où des personnes résident et modifient constamment les variables d'entrées.

Il a été possible de constater au cours de cette étude que TRNSYS est un logiciel flexible et puissant. En contrepartie, il est complexe et difficile à employer. Cette étude a aussi permis de constater une faiblesse de TRNSYS au niveau de la modélisation du sous-sol. Ce point faible est un handicap pour modéliser une maison québécoise puisqu'une bonne partie de celles-ci possèdent un sous-sol habitable. Un dernier point intéressant ressort de cette étude, soit que les deux logiciels utilisés, HOT-2000 et TRNSYS, tendent tous les deux à sous-estimer la consommation de chauffage pour les mois printaniers. Ce comportement identique des deux logiciels vient corroborer une fois de plus l'hypothèse avancée plus tôt, soit que le comportement humain est en partie responsable de ce phénomène.

CONCLUSION

Ce projet avait pour but l'étude d'une maison à faible consommation d'énergie. Il s'agit d'une maison solaire passive qui fut construite à St-Luc, près de St-Jean-sur-Richelieu, en 1992. La description de celle-ci a permis de mettre en valeur le fait qu'elle possède une importante fenestration au sud, une imposante masse thermique, une isolation et une étanchéité supérieure et qu'elle tire en plus profit de l'utilisation d'espaces tampons ainsi que de ventilateurs récupérateur de chaleur.

Il a été mentionné que durant un an, soit du 1^{er} novembre 93 au 31 octobre 94, une campagne de mesure a été effectuée afin de connaître la consommation d'électricité, le temps de fonctionnement de certains appareils ainsi que la température à différents endroits de la maison. Une lectures de tous les points de mesure a été effectuée toutes les quinze minutes pendant cette période.

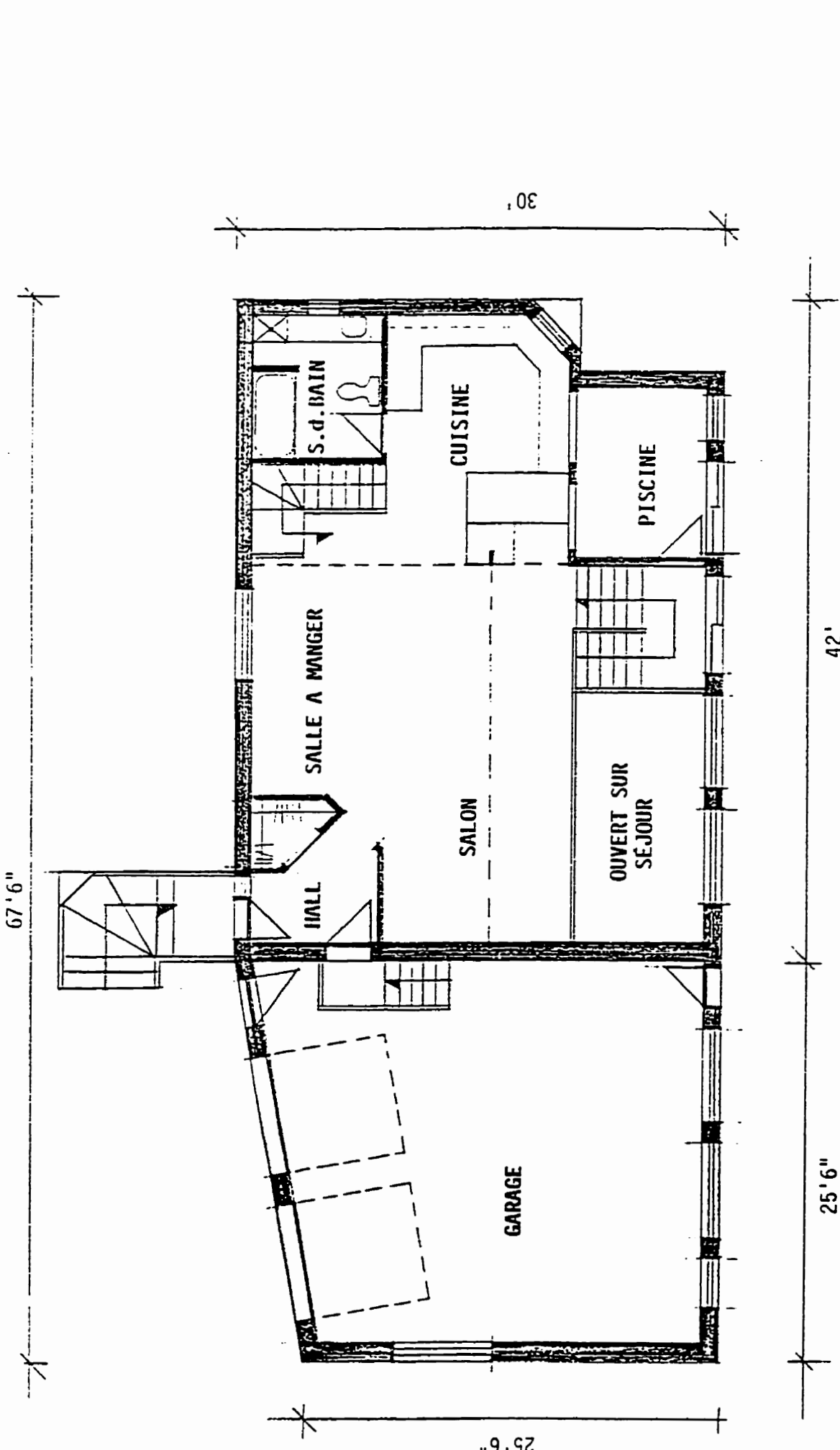
Les résultats présentés montrent une consommation de la maison pour le chauffage 5040 kWh, soit environ le tiers de la moyenne québécoise des habitations unifamiliales. La piscine cependant, avec 25 % de la consommation totale de la maison est apparue comme n'étant pas une mesure d'économie d'énergie efficace. Celle-ci a pour but d'agir comme masse thermique mais sa consommation électrique, pour son utilisation actuelle du moins, est beaucoup trop importante pour justifier sa présence. La consommation totale mesurée s'est chiffrée quant à elle à 26 584 kWh, mais s'il n'y avait pas eu de piscine, les résultats présentés montrent que la consommation aurait été de 20 676 kWh, soit environ 27 % de moins que la moyenne québécoise et ce, malgré que le garage soit partiellement chauffé et que la maison abrite une famille de six personnes. À la lumière de ces chiffres, il est clairement démontré qu'Habitasol, abstraction faite de la piscine, est une maison très économe et très performante énergétiquement.

Une modélisation numérique, effectuée à l'aide du logiciel TRNSYS, est venue confirmer que n'eut été des rigueurs de l'hiver 93-94, le bilan thermique d'Habitasol aurait été encore meilleur. Par ailleurs, ce logiciel est apparu flexible et puissant mais plutôt complexe à utiliser. Employé dans un but de recherche, sa performance s'est révélée supérieure à celle de HOT-2000.

Étant donné son étendue, cette étude ne prétend pas avoir répondu à toutes les questions. Au contraire, elle ouvre la porte à des études plus précises et plus profondes. L'auteur de ce mémoire espère que les résultats étonnants présentés dans ce document susciteront suffisamment d'intérêt pour ouvrir la voie à d'autres recherches et qu'ils inciteront, dans un proche avenir, des décideurs à investir dans l'amélioration de l'efficacité énergétique des résidences québécoises.

Annexe A

Plans d'Habitasol

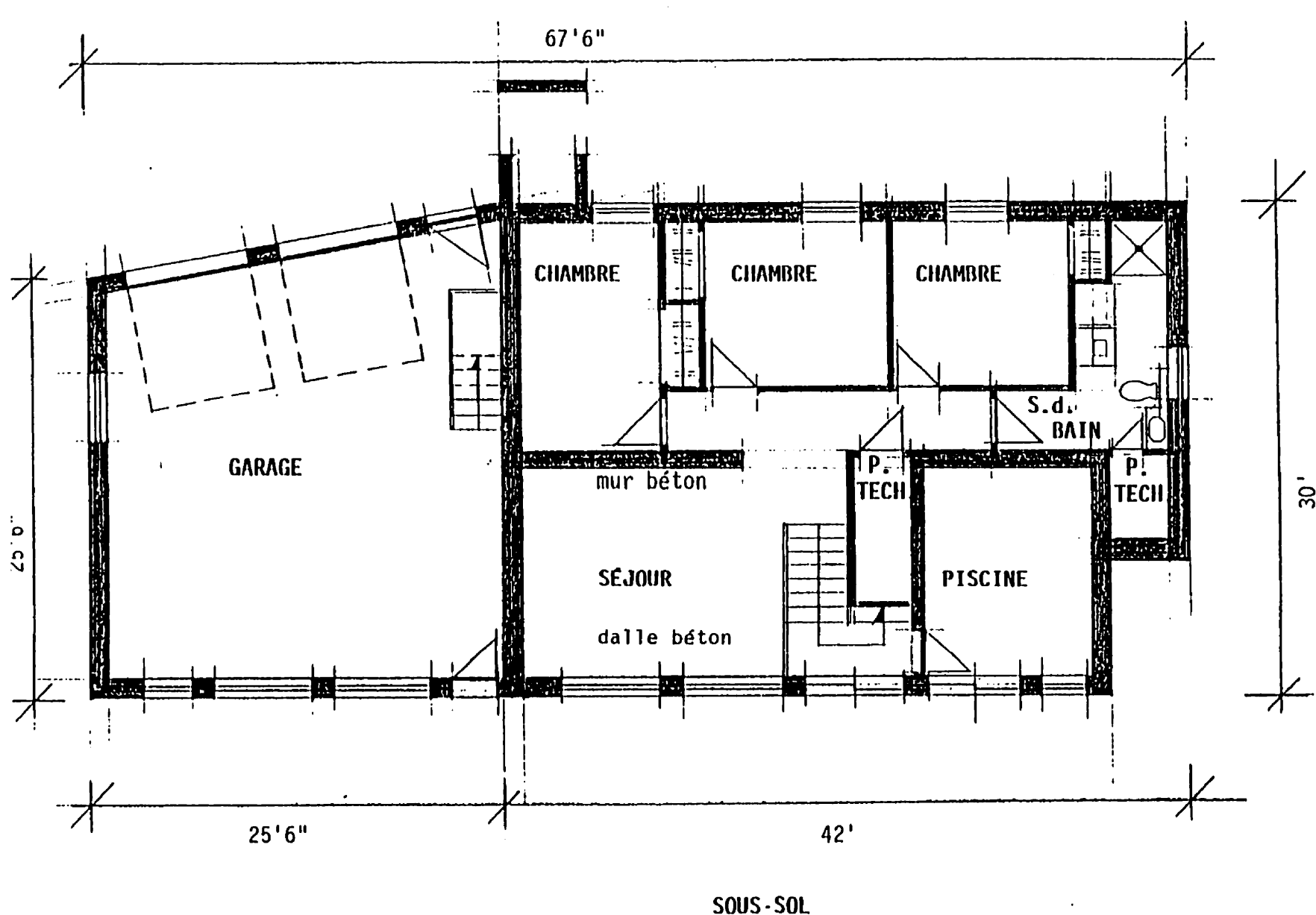


REZ DE-CHAUSSÉE

HABITASOL - 2000

1225, rue Pierre Flocquet, St-Luc, Québec

CONCEPTION : Châteaucneuf - Muyldermans
 CONSTRUCTION : Thermtech inc.
 PROPRIÉTAIRES : G. Châteaucneuf - M. Banville



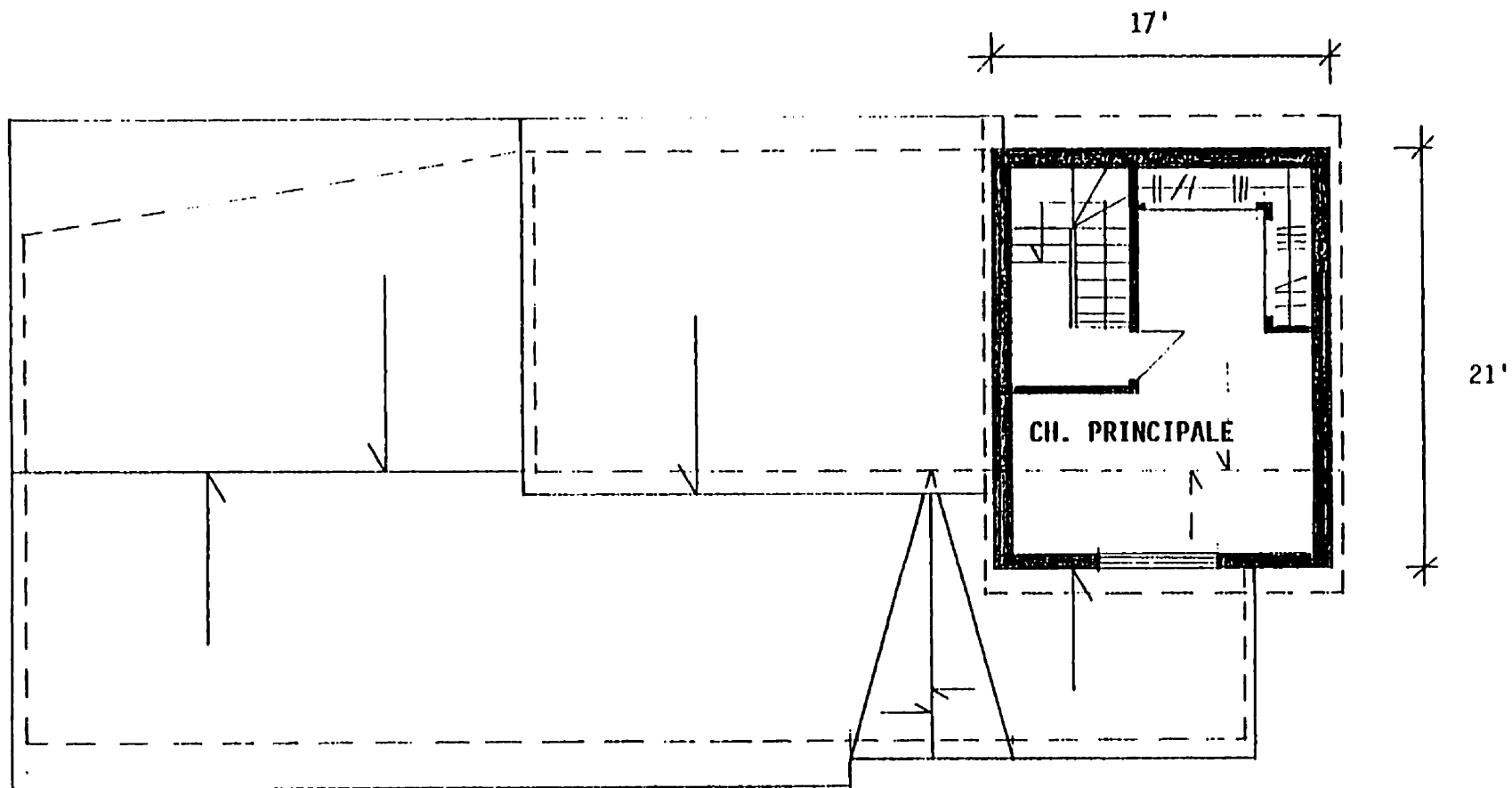
HABITASOL - 2000

1225, rue Pierre Flocquet, St-Luc, Québec

CONCEPTION : Châteauneuf - Muyldermans

CONSTRUCTION : Thermtech inc.

PROPRIÉTAIRES : G. Châteauneuf - M. Banville



ETAGE

HABITASOL - 2000

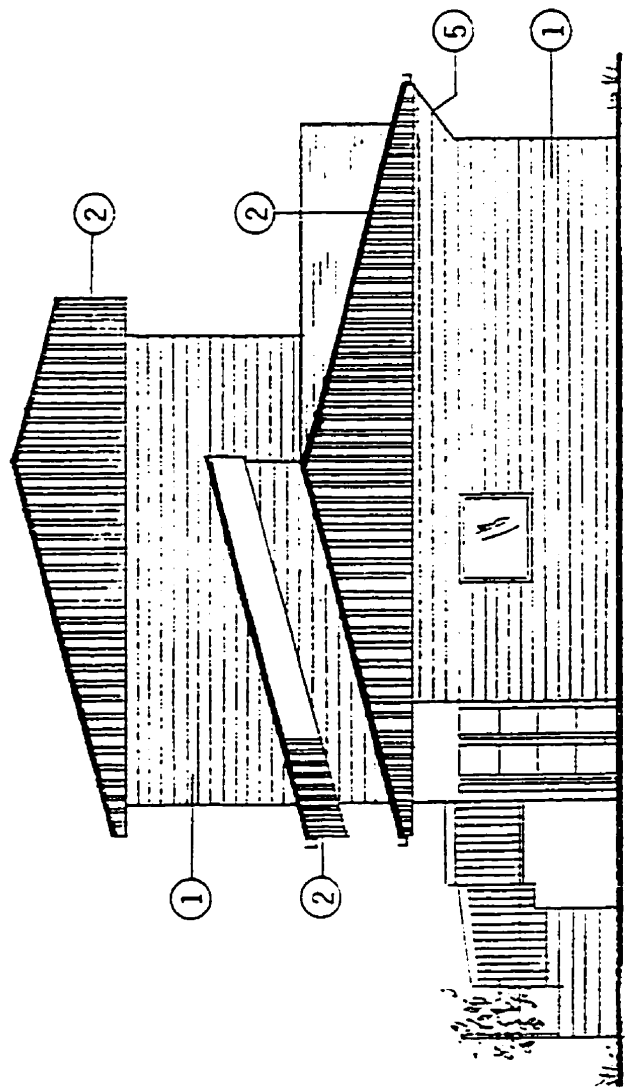
1225, rue Pierre Floquet, St-Luc, Québec

CONCEPTION : Châteauneuf - Muyldermans

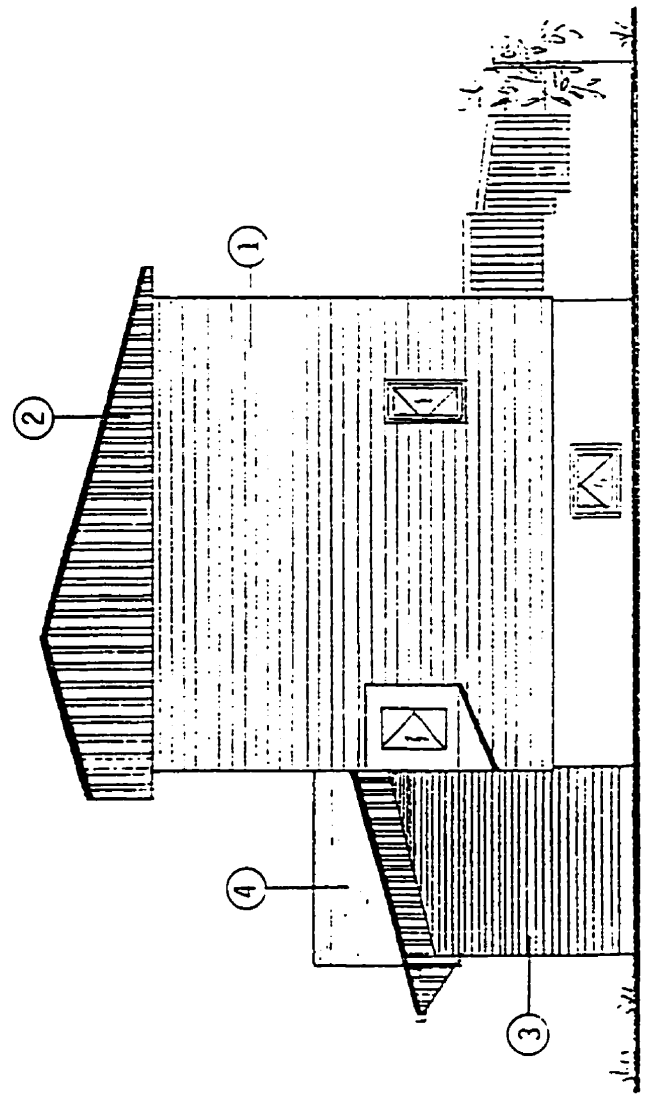
CONSTRUCTION : Thermtech inc.

PROPRIÉTAIRES : G. Châteauneuf - M. Banville

- ① Vinyl
- ② Aluminium
- ③ Briques
- ④ Bardeaux d'asphalte
- ⑤ Aluminium blanc perforé
- ⑥ Béton



FACADE OUEST

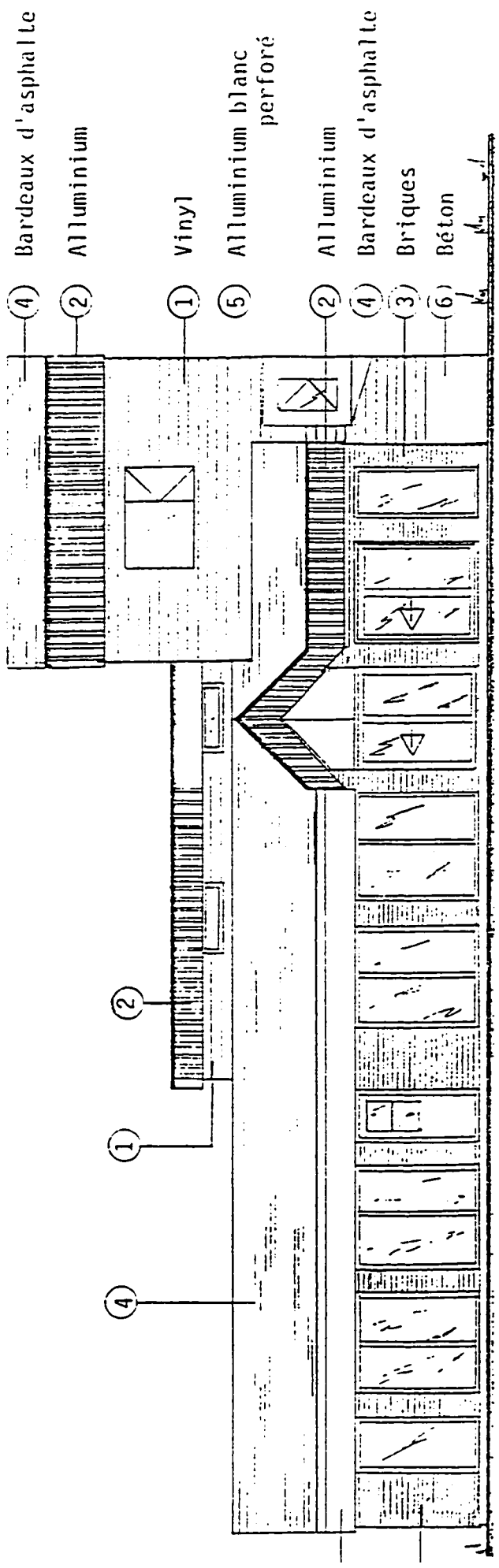


FACADE EST

HABITASOL - 2000

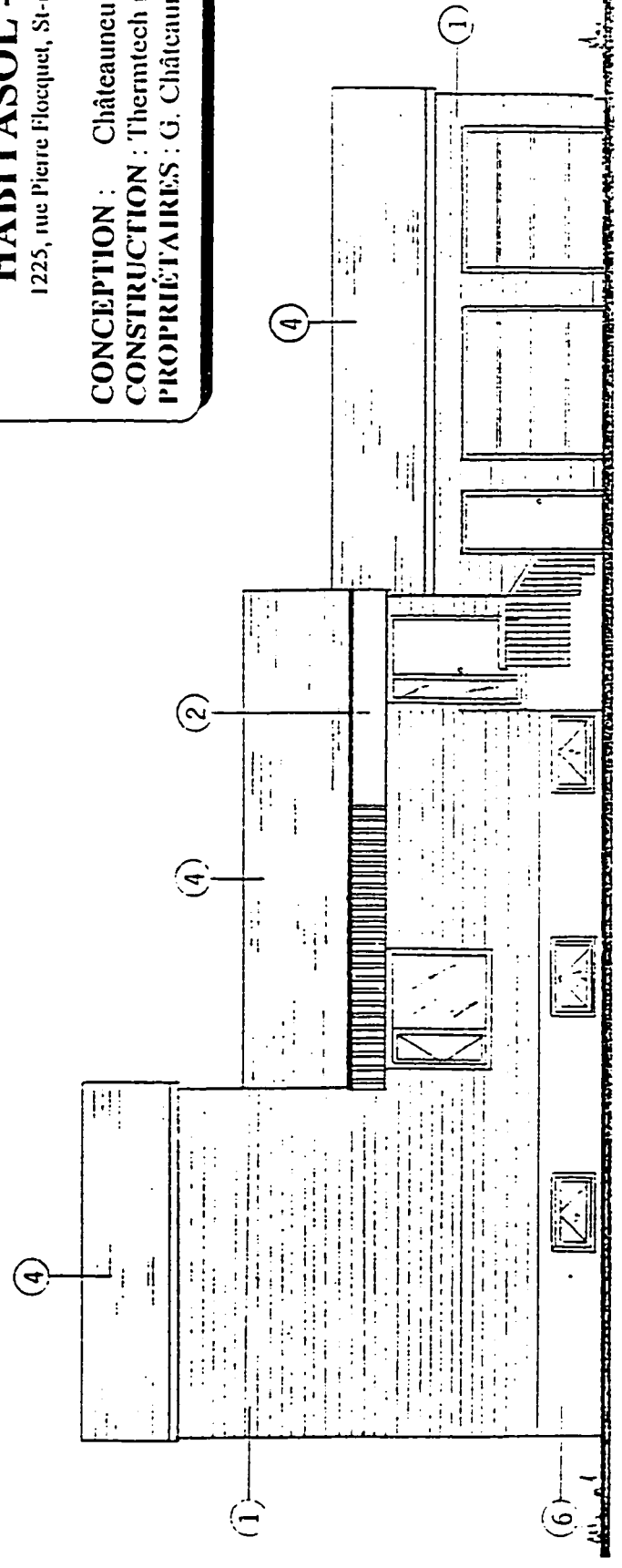
1225, rue Pierre Focquet, St-Luc, Québec

CONCEPTION : Châteauneuf - Muyldermaans
 CONSTRUCTION : Thermtech inc.
 PROPRIÉTAIRES : G. Châteauneuf - M. Banville



FACADE SUD

HABITASOL - 2000
 1225, rue Pierre Floquet, St-Luc, Québec
CONCEPTION : Châteauneuf - Muyldermans
CONSTRUCTION : Thermtech inc.
PROPRIÉTAIRES : G. Châteauneuf - M. Banville



FACADE NORD

- bardeaux d'asphalte
- papier noir 15 lb
- plywood 1/2
- ferme de toit 24" c.c.
- laine soufflée R-55
- poly. 6 mil. spécial pare-vapeur
- SM 1" R-5
- 1 x 3
- gypse

- bardeaux d'asphalte
- papier noir 15 lb
- plywood 1/2
- 2 x 3 aspenite 1/2
- 2 x 10 24" c.c.
- laine R-40 matelas
- poly. 6 mil. spécial pare-vapeur
- SM 1" R-5
- 1 x 3
- gypse

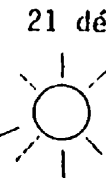
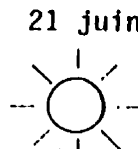
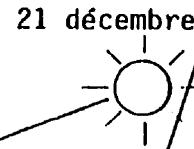
- revêtement vinyl
- 1 x 4
- typar pare-air
- SM 1" R-5
- 2x6 24" c.c.
- laine R-20
- poly. 6 mil. spécial pare-vapeur
- 2 x 3
- polystyrène 1" R-4
- gypse

- enduit imperméabilisant
- béton 8"
- polystyrène blanc 1" R-4
- 2 x 4 24" c.c.
- laine R-20
- polyéthylène 6 mil. spécial pare vapeur
- 1 x 4
- gypse

- concassé 4 à 6 pouces
- polyéthylène 6 mil.
- SM 2" R-10
- treillis à béton 6 x 6
- béton 3"
- finition

COUPE

- SM 2" R-10
- enduit imperméabilisant
- béton 10"
- polystyrène 1" R-4
- 2 x 4 24" c.c.
- laine R-20
- poly. 6 mil. spécial pare- vapeur
- 1 x 4
- gypse



HABITASOL - 2000
 1225, rue Pierre Flocquet, St-Luc, Québec
 CONCEPTION : Châteauneuf - Muyldermans
 CONSTRUCTION : Thermtech inc.
 PROPRIÉTAIRES : G. Châteauneuf - M. Barville

Annexe B

Énoncés des Programmes servant à l'acquisition de données

B.1 Programme de commande *DOS*

```
cd\exe
c:\exe\boot.exe
:boucle
erase c:\data\communic.tst
call c:\exe\acquis.exe
if not exist c:\data\communic.tst goto fin
call c:\aw\awhost -m=w
goto boucle
:fin
echo Le programme d'acquisition est maintenant arrêté.
```

B.2 Programme de démarrage

'Programme pour inscrire le démarrage du programme de
'contrôle de l'acquisition.

DIM d%(10)

COMMON SHARED MD%, d%(), F%

DECLARE SUB CIOCTR (MD%, BYVAL .ARR%, F%)

DECLARE SUB dog ()

DECLARE SUB initialisation ()

OPEN "c:\data\boot.dat" FOR APPEND AS #1
PRINT #1, DATES: " "; TIMES: " Redémarrage du programme"
CLOSE #1

CALL initialisation

CALL dog

END

SUB dog

MD% = 6

d%(0) = 2 'OUTPUT VALUE ENTERED FROM ABOVE

d%(1) = 1 TO THE PORT REQUESTED

CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)

IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in MODE: "; MD%: "=": F%: END

FOR i = 1 TO 100: NEXT

MD% = 6

d%(0) = 0 'OUTPUT VALUE ENTERED FROM ABOVE

d%(1) = 1 TO THE PORT REQUESTED

CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)

IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in MODE: "; MD%: "=": F%: END

END SUB

SUB initialisation

MD% = 0 'function initialize

d%(0) = 768 'base address of CIOCTR

d%(1) = 10 'FOUT divider ratio of 10

d%(2) = 15 'FOUT source

d%(3) = 0 'Compare 2 disabled

d%(4) = 0 'Compare 1 disabled

d%(5) = 0 'Time of day disabled

d%(6) = 0 'Chip 0

F% = 0 'error code

```

CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%c(0)), F%c)
IF F%c <> 0 THEN PRINT "Error in function:": MD%: "=": F%c: END
MD%c = 0          'function initialize
d%c(0) = 768     'base address of CIOCTR
d%c(1) = 0       'FOUT divider ratio of 10
d%c(2) = 0       'FOUT source
d%c(3) = 0       'Compare 2 disabled
d%c(4) = 0       'Compare 1 disabled
d%c(5) = 0       'Time of day disabled
d%c(6) = 1       'Chip 1
F%c = 0          'error code
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%c(0)), F%c)
IF F%c <> 0 THEN PRINT "Error in function:": MD%: "=": F%c: END

```

***** Note the FOR/NEXT loop is used for repeating the call
to all 5 counters .

```

FOR loctr = 1 TO 5
  MD%c = 1          'initial counter
  d%c(0) = loctr   'counter number
  d%c(1) = 0       'no gating
  d%c(2) = 0       'count on rising edge
  d%c(3) = loctr   'input from 100 HZ SRC
  d%c(4) = 0       'disable special gating
  d%c(5) = 0       'reload from load register
  d%c(6) = 1       'count repetitively
  d%c(7) = 0       'binary count
  d%c(8) = 1       'count up
  d%c(9) = 5       'active low TC pulse
  d%c(10) = 0      'chip 0
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%c(0)), F%c)
  IF F%c <> 0 THEN PRINT "Error in function:": MD%: "=": F%c: END
NEXT loctr

```

```

FOR hictr = 1 TO 5
  MD%c = 1          'initial counter
  d%c(0) = hictr   'counter number
  d%c(1) = 0       'no gating
  d%c(2) = 0       'count on rising edge
  d%c(3) = hictr   'input from 100 HZ SRC
  d%c(4) = 0       'disable special gating
  d%c(5) = 0       'reload from load register
  d%c(6) = 1       'count repetitively
  d%c(7) = 0       'binary count
  d%c(8) = 1       'count up
  d%c(9) = 5       'active low TC pulse
  d%c(10) = 1      'chip 1
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%c(0)), F%c)
  IF F%c <> 0 THEN PRINT "Error in function:": MD%: "=": F%c: END
NEXT hictr

```

***** MODE 3 (LOAD COUNTER LOAD REGISTER) Will be done
before MODE 2 (LOAD AND ARM COUNTER(S)) .

```
FOR loctr = 1 TO 5
  MD% = 3
  d% (0) = loctr      'select counter 1-5 load registers
  d% (1) = 0         'value to load
  d% (2) = 0         'chip 0
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
  IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%: "=": F%: END
NEXT loctr
```

```
FOR hictr = 1 TO 5
  MD% = 3
  d% (0) = hictr    'select counter 1-5 load registers
  d% (1) = 0         'value to load
  d% (2) = 1         'chip 1
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
  IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%: "=": F%: END
NEXT hictr
```

```
MD% = 2
d% (0) = 3          'LOAD and ARM selected counters .
d% (1) = 1          'select counter 1
d% (2) = 1          'select counter 2
d% (3) = 1          'select counter 3
d% (4) = 1          'select counter 4
d% (5) = 1          'select counter 5
d% (6) = 0          'chip 0
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%: "=": F%: END
```

```
MD% = 2
d% (0) = 3          'LOAD and ARM selected counters .
d% (1) = 1          'select counter 1
d% (2) = 1          'select counter 2
d% (3) = 1          'select counter 3
d% (4) = 1          'select counter 4
d% (5) = 1          'select counter 5
d% (6) = 1          'chip 1
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%: "=": F%: END
```

END SUB

B.3 Programme de contrôle de l'acquisition de données

'Programme de controle pour l'acquisition de données (Habitazol)

```
DIM SHARED samedi$(61), elect(10) AS STRING * 5, ct(10)
DIM SHARED temperature(15) AS STRING * 6, champs(25) AS STRING * 16
DIM d%(10)
COMMON SHARED nettoie, now$, dernacq$, derncopy$, dqh, donnee$, MD%, d%( ), F%
```

```
DECLARE SUB EFFACE ( )
DECLARE SUB acquisition ( )
DECLARE SUB semaine ( )
DECLARE SUB affichage ( )
DECLARE SUB initialisation ( )
DECLARE SUB CIOCTR (MD%, BYVAL ARR%, F%)
DECLARE SUB dog ( )
DECLARE SUB dogservice ( )
```

CLS

'On va chercher le moment de la dernière acquisition

```
OPEN "c:\data\dernacq.dat" FOR INPUT AS #1
INPUT #1, dernacq$
CLOSE #1
```

'On calcul le dernier quart d'heure

```
dqh = VAL(MIDS(dernacq$, 16, 2)) \ 15
```

```
now$ = DATES + " " + TIMES
```

'On vérifie si l'heure a du bon sens

```
IF now$ < dernacq$ THEN badheure = 1
IF VAL(MIDS(now$, 13, 2)) - VAL(MIDS(dernacq$, 13, 2)) > 12 THEN badheure = 1
IF MIDS(now$, 4, 2) <> MIDS(dernacq$, 4, 2) AND (MIDS(dernacq$, 13, 2) < "12"
OR IDS(now$, 13, 2) > "12") THEN badheure = 1
IF VAL(MIDS(now$, 4, 2)) - VAL(MIDS(dernacq$, 4, 2)) > 1 THEN badheure = 1
IF badheure = 1 THEN BEEP: PRINT "L'ordinateur n'est peut-être pas à la bonne
heure!!!"
```

'On va chercher les dates des samedi

```
OPEN "c:\data\samedi.dat" FOR INPUT AS #1
FOR i = 1 TO 60
    INPUT #1, samedi$(i)
NEXT
CLOSE #1
```

```

'On va chercher la date du dernier copy de fin de semaine
  OPEN "c:\data\demcopy.dat" FOR INPUT AS #1
  INPUT #1, derncopy$
  CLOSE #1

'On va chercher la dernière acquisition de consommation
  OPEN "c:\data\acquis.dat" FOR APPEND AS #1
  CLOSE #1
  OPEN "c:\data\acquis.dat" FOR INPUT AS #1
  DO WHILE NOT EOF(1)
    INPUT #1, donnee$
  LOOP
  CLOSE #1
  FOR i = 1 TO 10
    elect(i) = MIDS(donnee$, 21 + (i - 1) * 5, 5)
  NEXT

'On va chercher la dernière acquisition de température
  OPEN "c:\data\tcdata.dat" FOR APPEND AS #1
  CLOSE #1
  OPEN "c:\data\tcdata.dat" FOR INPUT AS #1
  DO WHILE NOT EOF(1)
    INPUT #1, donnee$
  LOOP
  CLOSE #1

  FOR i = 1 TO 13
    temperature(i) = MIDS(donnee$, 21 + (i - 1) * 8, 6)
  NEXT

```

```

champs(1) = "Aéra. Piscine  "
champs(2) = "Evac. Piscine  "
champs(3) = "Aéra. Maison   "
champs(4) = "Evac. Maison   "
champs(5) = "Cuisine          "
champs(6) = "Piscine eau    "
champs(7) = "Piscine air    "
champs(8) = "Mur Thermique  "
champs(9) = "Solarium       "
champs(10) = "Chambre S.-S. "
champs(11) = "Chambre maîtres "
champs(12) = "Garage        "
champs(13) = "Extérieur     "
champs(14) = ""
champs(15) = "Chauffage     "
champs(16) = "Chauffe-eau  "
champs(17) = "Garage & Ext. "
champs(18) = "Cuis.+Sécheuse "
champs(19) = "Lumère+Prise  "
champs(20) = "Chauffe-piscine "
champs(21) = "Venmar maison "
champs(22) = "Venmar piscine "
champs(23) = ""

```

CALL initialisation

nettoie = 1

*****Boucle*****

DO

CALL affichage

now\$ = DATES + " " + TIMES

minute\$ = MIDS(now\$, 15, 3)

IF minute\$ = ":00" AND dqh <> 0 THEN CALL acquisition

IF minute\$ = ":15" AND dqh <> 1 THEN CALL acquisition

IF minute\$ = ":30" AND dqh <> 2 THEN CALL acquisition

IF minute\$ = ":45" AND dqh <> 3 THEN CALL acquisition

heuredernacq = VAL(MIDS(dernacq\$, 13, 2)) * 60 + VAL(MIDS(dernacq\$, 16, 2))

Heurecourante = VAL(MIDS(now\$, 13, 2)) * 60 + VAL(MIDS(now\$, 16, 2))

diff = Heurecourante - heuredernacq: IF diff > 16 THEN CALL acquisition

IF MIDS(now\$, 13, 5) > "23:45" AND MIDS(now\$, 13, 5) < "23:59" THEN CALL
semaine

IF badheure <> 0 THEN BEEP: PRINT "L'ordinateur n'est pas à la bonne heure.
vérifiez S.V.P.": FOR i = 1 TO 10000: NEXT

a\$ = INKEYS

IF a\$ = (CHR\$(0) + ":") THEN GOSUB 1000

IF a\$ = (CHR\$(0) + "<") THEN GOSUB 2000

IF a\$ = (CHR\$(0) + "=") THEN GOSUB 3000

IF a\$ = (CHR\$(0) + ">") THEN GOSUB 4000

IF a\$ = (CHR\$(0) + "?") THEN GOSUB 5000

LOOP

END

*****Fin de boucle*****

*****Gosub*****

1000 'Help

1010 CLS

1020 LOCATE 4, 36: PRINT "Dépannage"

1030 LOCATE 7, 10: PRINT "F1 Dépannage"

1040 LOCATE 9, 10: PRINT "F2 Communication"

1050 LOCATE 11, 10: PRINT "F3 Changement d'heure ou de date"

1060 LOCATE 13, 10: PRINT "F4 Mettre fin à l'exécution du programme"

1065 LOCATE 15, 10: PRINT "F5 Faire une copie de sûreté"

1070 LOCATE 25, 1: INPUT "<ENTER> pour continuer"; rep\$

1080 nettoie = 1: RETURN

```

2000 'subroutine de communication
2005 CALL EFFACE
2010 INPUT "Avez-vous bien demandé de mettre l'ordinateur en attente de
      communication(O/N)"; rep$
2020 IF UCASES(rep$) = "N" THEN nettoie = 1: RETURN
2030 IF UCASES(rep$) <> "O" THEN 2010
2040 OPEN "c:\data\boot.dat" FOR APPEND AS #1
2050 PRINT #1, now$: " Demande de communication"
2060 CLOSE #1
2070 CALL acquisition
2080 OPEN "c:\data\communic.tst" FOR OUTPUT AS #1
2085 CLOSE #1
2090 CALL dogservice: END
2099 RETURN

```

```

3000 'Subroutine pour changer la date et l'heure
3005 CALL EFFACE: oldDATES = DATES: oldtime$ = TIMES
3010 PRINT "La date du système est "; oldDATES: ". Désirez-vous modifier cette date O/N)"; :
INPUT rep$ 3020 IF UCASES(rep$) = "N" THEN newdate$ = oldDATES: GOTO 3100
3030 IF UCASES(rep$) <> "O" THEN 3010
3040 CALL EFFACE: INPUT "Veuillez entrer la date d'aujourd'hui (mm-jj-aaaa)"; newdate$
3050 PRINT "Est-ce que l'on est bien le "; newdate$: "(O/N)";
3060 INPUT rep$
3070 IF UCASES(rep$) = "N" THEN 3040
3080 IF UCASES(rep$) <> "O" THEN 3050
3085 IF LEFT$(newdate$, 2) > "12" OR MIDS(newdate$, 4, 2) > "31" OR MIDS(newdate$,
7, 4) > "1995" OR MIDS(newdate$, 7, 4) < " 1993" THEN BEEP: PRINT "Date impossible.
Réessayez S.V.P.": GOTO 3010
3090 DATES = newdate$
3100 CALL EFFACE
3105 INPUT "Voulez-vous modifier l'heure (O/N)"; rep$
3110 IF UCASES(rep$) = "N" THEN newtime$ = oldtime$: GOTO 3185
3120 IF UCASES(rep$) <> "O" THEN 3100
3130 CALL EFFACE: INPUT "Veuillez entrer l'heure (hh:mm:ss)"; newtime$
3140 PRINT "Est-il bien "; newtime$: " (O/N)";
3150 INPUT rep$
3160 IF UCASES(rep$) = "N" THEN 3130
3170 IF UCASES(rep$) <> "O" THEN 3140
3175 IF LEFT$(newtime$, 2) > "23" OR MIDS(newtime$, 4, 2) > "59" OR MIDS(newtime$,
7, 2) > "59" THEN BEEP: PRINT "Heure impossible. Réessayez S.V.P.": GOTO 3105
3180 TIMES = newtime$
3185 IF newdate$ <> oldDATES OR newtime$ <> oldtime$ THEN
3190 OPEN "c:\data\chtime.dat" FOR APPEND AS #1
3200 PRINT #1, DATES: " "; TIMES: " A été changée. Auparavant "; oldDATES: " ";
oldtime$
3210 CLOSE #1
3230 CALL dog
3240 END IF
3250 badheure = 0: nettoie = 1: RETURN

```

```

4000 'Subroutine stop
4010 CALL EFFACE: INPUT "Voulez-vous bien arrêter le programme d'acquisition(O/N)":
      rep$
4020 IF UCASE$(rep$) = "N" THEN : nettoie = 1: RETURN
4030 IF UCASE$(rep$) <> "O" THEN 4010
4040 INPUT "écrivez 'STOP'": rep$
4050 IF UCASE$(rep$) = "STOP" THEN
4060 OPEN "c:\data\boot.dat" FOR APPEND AS #1
4070 PRINT #1, now$: " Arrêt du programme demandé par l'utilisateur"
4080 CLOSE #1
4085 END
4090 END IF
4100 GOTO 4010
4110 END

```

```

5000 'Sous-programme pour copier les fichiers sur la disquette
5010 CALL EFFACE: PRINT "Vérifiez si l'unité de disque est prête puis appuyez sur
<ENTER>":
5020 INPUT rep$
5030 PRINT "Merci"
5040 SHELL "c:\copybak.bat"
5050 nettoie = 1: RETURN

```

SUB acquisition

```

CLS : CALL EFFACE: PRINT "L'ordinateur se prépare pour lancer une acquisition"
LOCATE 5, 1

```

```

CALL dog

```

```

OPEN "C:\data\dernacq.dat" FOR OUTPUT AS #1
  dernacq$ = DATES + " " + TIMES
  PRINT #1, dernacq$
CLOSE #1

```

```

dqh = VAL(MID$(dernacq$, 16, 2)) \ 15

```

```

'***** MODE 2 WILL BE USED TO LATCH AND SAVE COUNTER CONTENTS
'THEN MODE 4 WILL BE USED TO READ CONTENTS OF HOLD REGISTER

```

```

MD% = 2
d%(0) = 5      'LATCH counter to HOLD register .
d%(1) = 1      'select counter 1
d%(2) = 1      'select counter 2
d%(3) = 1      'select counter 3
d%(4) = 1      'select counter 4
d%(5) = 1      'select counter 5
d%(6) = 0      'chip 0
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function ": MD%: "=": F%: END

```

```

MD% = 2
d%(0) = 5      'LATCH counter to HOLD register .
d%(1) = 1      'select counter 1
d%(2) = 1      'select counter 2
d%(3) = 1      'select counter 3
d%(4) = 1      'select counter 4
d%(5) = 1      'select counter 5
d%(6) = 1      'chip 1
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function ": MD%: "=": F%: END
FOR loctr = 1 TO 5
MD% = 4
d%(0) = loctr  'FOR/NEXT is used as index
d%(2) = 0      'chip 0
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function ": MD%: "=": F%: END
ct(loctr) = d%(1)  'PUT COUNTER DATA INTO ARRAY 'CT'
NEXT loctr

FOR hictr = 1 TO 5
MD% = 4
d%(0) = hictr  'FOR/NEXT is used as index
d%(2) = 1      'chip 1
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function ": MD%: "=": F%: END
ct(hictr + 5) = d%(1)  'PUT COUNTER DATA INTO ARRAY 'CT'
NEXT hictr

FOR i = 1 TO 10
elect(i) = STRS(ct(i))
NEXT

MD% = 2
d%(0) = 3      'LOAD and ARM selected counters .
d%(1) = 1      'select counter 1
d%(2) = 1      'select counter 2
d%(3) = 1      'select counter 3
d%(4) = 1      'select counter 4
d%(5) = 1      'select counter 5
d%(6) = 0      'chip 0
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function ": MD%: "=": F%: END

MD% = 2
d%(0) = 3      'LOAD and ARM selected counters .
d%(1) = 1      'select counter 1
d%(2) = 1      'select counter 2
d%(3) = 1      'select counter 3
d%(4) = 1      'select counter 4
d%(5) = 1      'select counter 5
d%(6) = 1      'chip 1
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function ": MD%: "=": F%: END

```

```

OPEN "c:\data\acquis.dat" FOR APPEND AS #1
    recordS = DATES + " " + TIMES + elect(1) + elect(2) + elect(3) + elect(4) + elect(5) +
    elect(6) + elect(7) + elect(8) + elect(9) + elect(10)
    PRINT #1, recordS
CLOSE #1

SHELL "c:\exe\thermo.exe"
SHELL "copy c:\exe\tcdata.dat c:\data\*.*"

'On va chercher la dernière acquisition de température
OPEN "c:\data\tcdata.dat" FOR INPUT AS #1
    DO WHILE NOT EOF(1)
        INPUT #1, donnee$
    LOOP
CLOSE #1

FOR i = 1 TO 13
    temperature(i) = MIDS(donnee$, 21 + (i - 1) * 8, 6)
NEXT

SHELL "c:\copy.bat"

nettoie = 1

END SUB

SUB affichage

    IF nettoie = 1 THEN CLS : nettoie = 0
    LOCATE 1, 32: PRINT "Projet Habitasol"
    LOCATE 2, 29: PRINT "Acquisition de DonnÇes"
    LOCATE 3, 10: PRINT "Date: "; DATES
    LOCATE 3, 50: PRINT "Heure: "; TIMES
    LOCATE 5, 20: PRINT "Derniäre acquisition effectuÇe Ö "; MIDS(dernacq$, 13, 8)
    LOCATE 7, 34: PRINT "TempÇratures"
FOR i = 1 TO 12 STEP 3
    PRINT champs(i): " "; temperature(i): " "; champs(i + 1): " "; temperature(i + 1): " ";
    champs(i + 2): " "; temperature(i + 2)
NEXT
    PRINT champs(13): " "; temperature(13): " "; champs(14): " "; temperature(14)
    LOCATE 14, 26: PRINT "Consommations Çlectriques"
    PRINT champs(15): " "; elect(1): " "; champs(16): " "; elect(2): " "; champs(17): " ";
    elect(3)
    PRINT champs(18): " "; elect(4): " "; champs(19): " "; elect(5): " "; champs(20): " ";
    VAL(elect(6)) * 5000 \ 3600
    LOCATE 18, 26: PRINT "Temps de fonctionnement"
    PRINT " "; champs(21): " "; VAL(elect(7)) \ 60: " "; champs(22): " ";
    VAL(elect(8)) \ 60:
    LOCATE 21, 1: PRINT "Le Programme est en fonction si les secondes défilent"

END SUB

```

SUB dog

```
MD% = 6
d%(0) = 2      'OUTPUT VALUE ENTERED FROM ABOVE
d%(1) = 1      TO THE PORT REQUESTED
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in MODE:": MD%; "="; F%; END
FOR i = 1 TO 100: NEXT
MD% = 6
d%(0) = 0      'OUTPUT VALUE ENTERED FROM ABOVE
d%(1) = 1      TO THE PORT REQUESTED
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in MODE:": MD%; "="; F%; END
```

END SUB

SUB dogservice

```
MD% = 6
d%(0) = 1      'OUTPUT VALUE ENTERED FROM ABOVE
d%(1) = 1      TO THE PORT REQUESTED
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in MODE:": MD%; "="; F%; END
FOR i = 1 TO 100: NEXT
MD% = 6
d%(0) = 0      'OUTPUT VALUE ENTERED FROM ABOVE
d%(1) = 1      TO THE PORT REQUESTED
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in MODE:": MD%; "="; F%; END
```

END SUB

SUB EFFACE

```
ligne$ = SPACES(80)
LOCATE 21, 1: FOR i = 1 TO 3: PRINT ligne$: NEXT: PRINT ligne$:
LOCATE 21, 1
```

END SUB

SUB initialisation

```
MD% = 0          'function initialize
d%(0) = 768      'base address of CIOCTR
d%(1) = 10       'FOUT divider ratio of 10
d%(2) = 15       'FOUT source
d%(3) = 0        'Compare 2 disabled
d%(4) = 0        'Compare 1 disabled
```

```

d%5) = 0      'Time of day disabled
d%6) = 0      'Chip 0
F% = 0        'error code
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function: "; MD%: "=": F%: END
MD% = 0       'function initialize
d%(0) = 768   'base address of CIOCTR
d%(1) = 0     'FOUT divider ratio of 10
d%(2) = 0     'FOUT source
d%(3) = 0     'Compare 2 disabled
d%(4) = 0     'Compare 1 disabled
d%(5) = 0     'Time of day disabled
d%(6) = 1     'Chip 1
F% = 0        'error code
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function: "; MD%: "=": F%: END

```

***** Note the FOR/NEXT loop is used for repeating the call to all 5 counters .

```

FOR loctr = 1 TO 5
  MD% = 1      'initial counter
  d%(0) = loctr 'counter number
  d%(1) = 0    'no gating
  d%(2) = 0    'count on rising edge
  d%(3) = loctr 'input from 100 HZ SRC
  d%(4) = 0    'disable special gating
  d%(5) = 0    'reload from load register
  d%(6) = 1    'count repetitively
  d%(7) = 0    'binary count
  d%(8) = 1    'count up
  d%(9) = 5    'active low TC pulse
  d%(10) = 0   'chip 0
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
  IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function: "; MD%: "=": F%: END
NEXT loctr

```

```

FOR hict = 1 TO 5
  MD% = 1      'initial counter
  d%(0) = hict 'counter number
  d%(1) = 0    'no gating
  d%(2) = 0    'count on rising edge
  d%(3) = hict 'input from 100 HZ SRC
  d%(4) = 0    'disable special gating
  d%(5) = 0    'reload from load register
  d%(6) = 1    'count repetitively
  d%(7) = 0    'binary count
  d%(8) = 1    'count up
  d%(9) = 5    'active low TC pulse
  d%(10) = 1   'chip 1
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
  IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function: "; MD%: "=": F%: END
NEXT hict

```

***** MODE 3 (LOAD COUNTER LOAD REGISTER) Will be done
' before MODE 2 (LOAD AND ARM COUNTER(s)) .

```
FOR loctr = 1 TO 5
  MD% = 3
  d%(0) = loctr      'select counter 1-5 load registers
  d%(1) = 0          'value to load
  d%(2) = 0          'chip 0
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
  IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%; "="; F%; END
NEXT loctr
```

```
FOR hictr = 1 TO 5
  MD% = 3
  d%(0) = hictr     'select counter 1-5 load registers
  d%(1) = 0          'value to load
  d%(2) = 1          'chip 1
  CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
  IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%; "="; F%; END
NEXT hictr
```

```
MD% = 2
d%(0) = 3           'LOAD and ARM selected counters .
d%(1) = 1           'select counter 1
d%(2) = 1           'select counter 2
d%(3) = 1           'select counter 3
d%(4) = 1           'select counter 4
d%(5) = 1           'select counter 5
d%(6) = 0           'chip 0
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%; "="; F%; END
```

```
MD% = 2
d%(0) = 3           'LOAD and ARM selected counters .
d%(1) = 1           'select counter 1
d%(2) = 1           'select counter 2
d%(3) = 1           'select counter 3
d%(4) = 1           'select counter 4
d%(5) = 1           'select counter 5
d%(6) = 1           'chip 1
CALL CIOCTR(MD%, VARPTR(d%(0)), F%)
IF F% <> 0 THEN PRINT "Error in function "; MD%; "="; F%; END
```

END SUB

SUB semaine

```
samedi = 0
FOR i = 1 TO 60
  IF LEFT$(now$, 10) = samedi$(i) THEN samedi = 1: j = i
NEXT
```

```

IF samedi = 0 THEN 10000

IF LEFTS(now$, 10) = LEFTS(derncopy$, 10) THEN 10000

OPEN "c:\data\derncopy.dat" FOR OUTPUT AS #1
  derncopy$ = now$
  PRINT #1, derncopy$
CLOSE #1

CALL EFFACE: PRINT "L'ordinateur se prépare maintenant à effectuer des copies de
sureté"
OPEN "c:\data\acquis.dat" FOR INPUT AS #1
OPEN "c:\data\cumul.dat" FOR APPEND AS #2
  DO WHILE NOT EOF(1)
    INPUT #1, donnee$
    PRINT #2, donnee$
  LOOP
CLOSE #1
CLOSE #2

OPEN "c:\exe\tcdata.dat" FOR INPUT AS #1
OPEN "c:\data\cumult.dat" FOR APPEND AS #2
  DO WHILE NOT EOF(1)
    INPUT #1, donnee$
    PRINT #2, donnee$
  LOOP
CLOSE #1
CLOSE #2

nom$ = "c:\data\ac" + MIDS(DATES, 9, 2) + LEFTS(DATES, 2) + MIDS(DATES, 4, 2)
NAME "c:\data\acquis.dat" AS nom$

nom$ = "c:\data\tc" + MIDS(DATES, 9, 2) + LEFTS(DATES, 2) + MIDS(DATES, 4, 2)
NAME "c:\exe\tcdata.dat" AS nom$

SHELL "c:\copysem.bat"
nettoie = 1: GOTO 10000

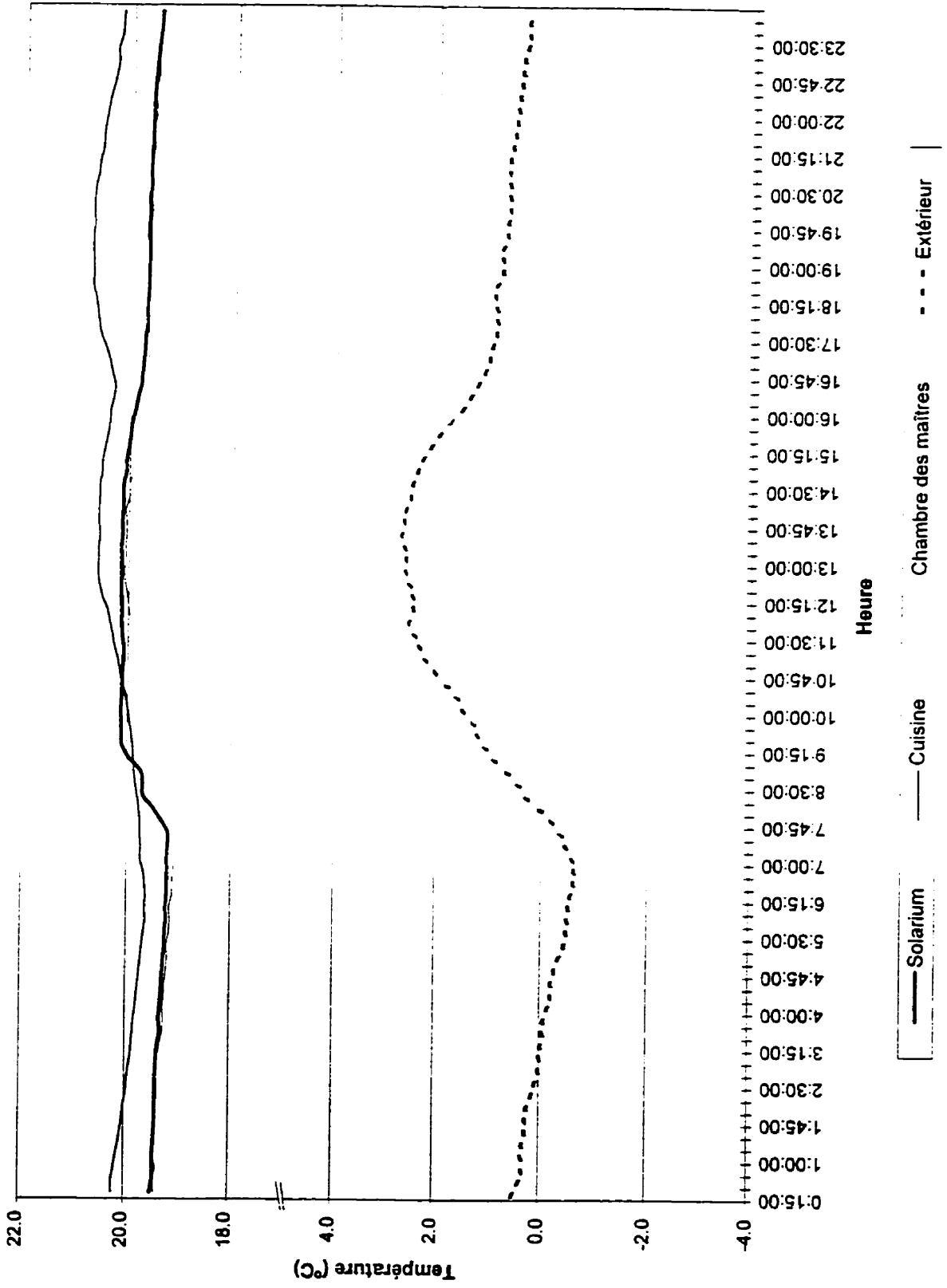
10000 END SUB

```

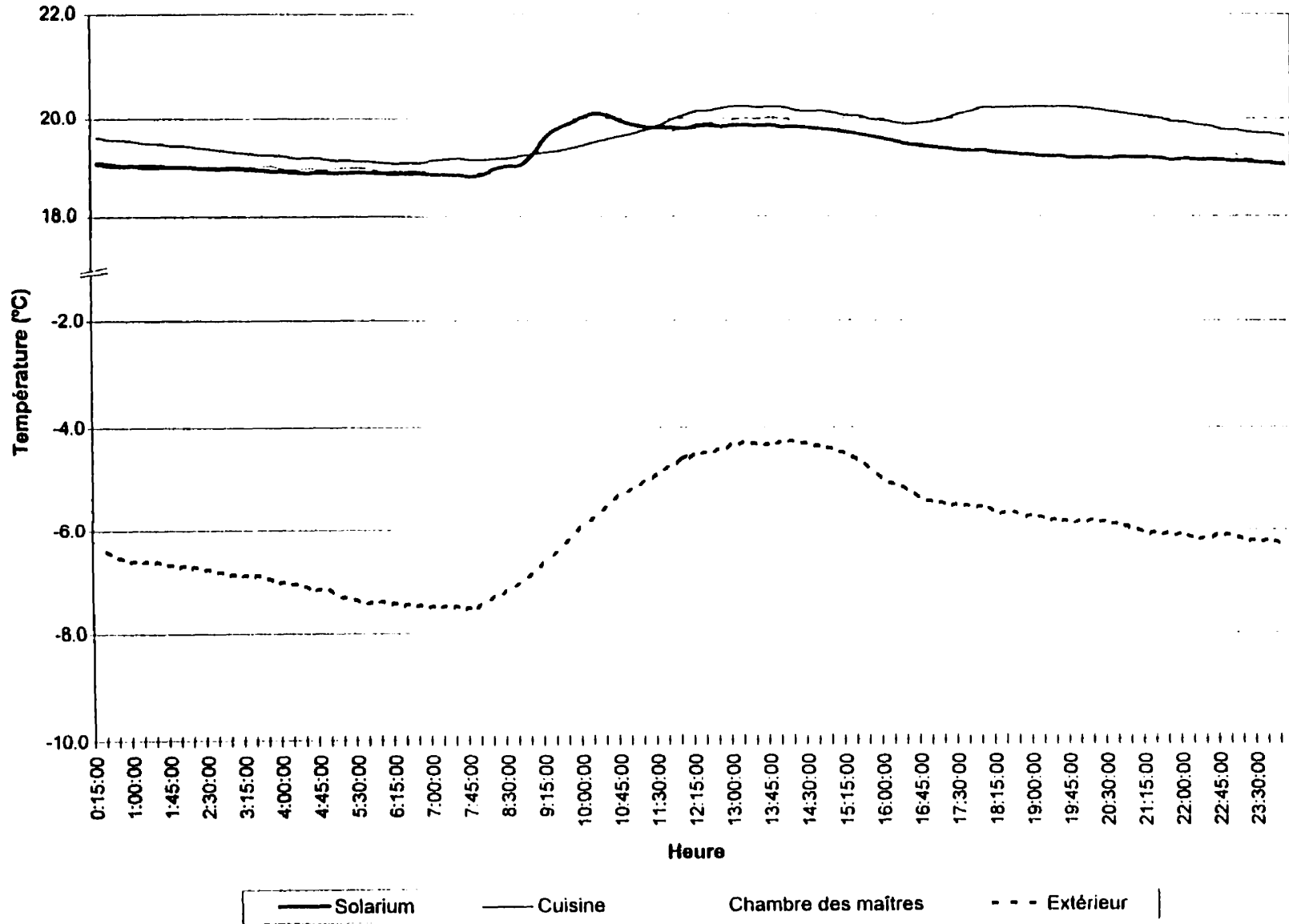
Annexe C

Graphiques des profils moyens de température pour
différents endroits dans la maison

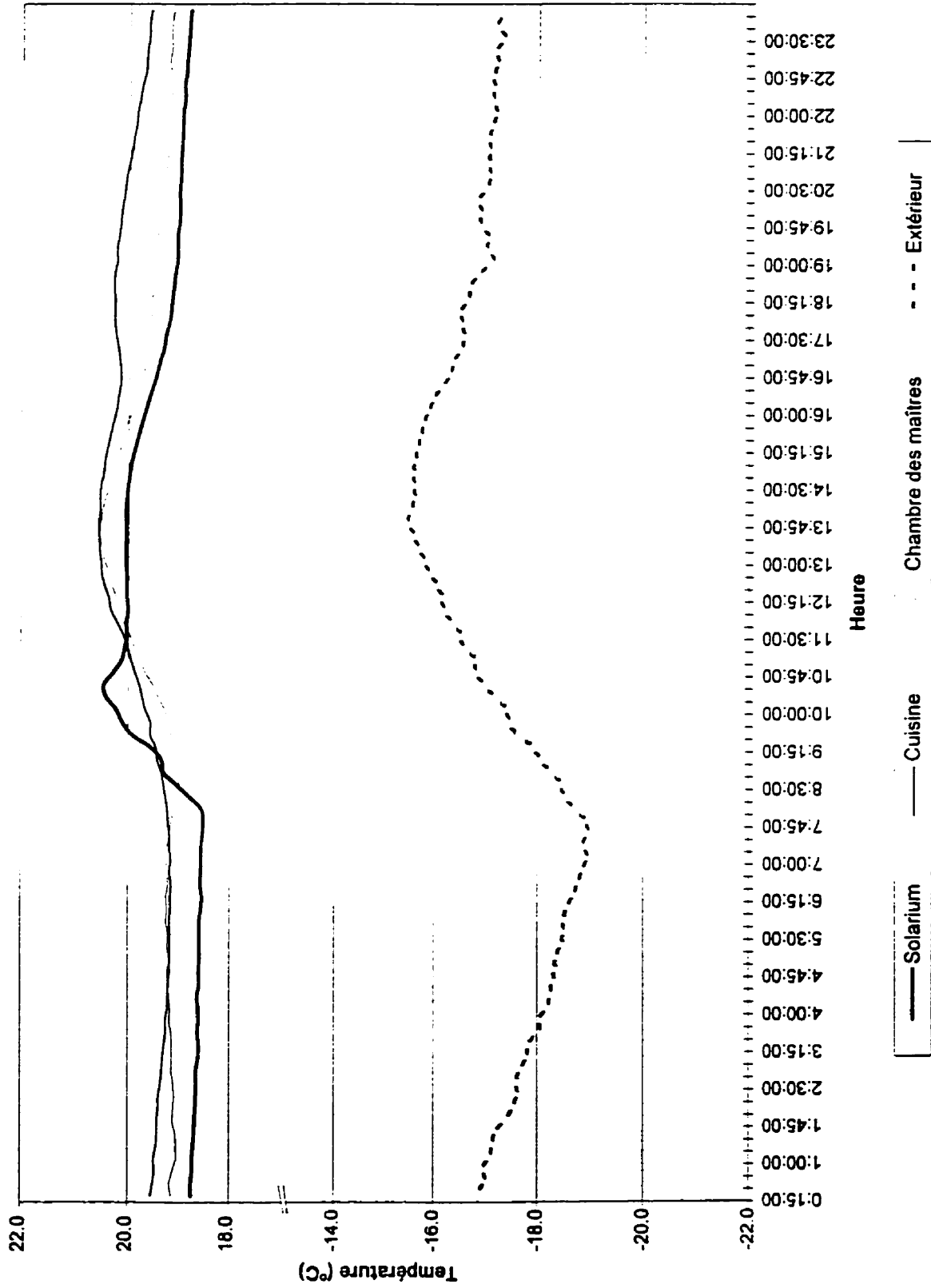
Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de novembre 1993



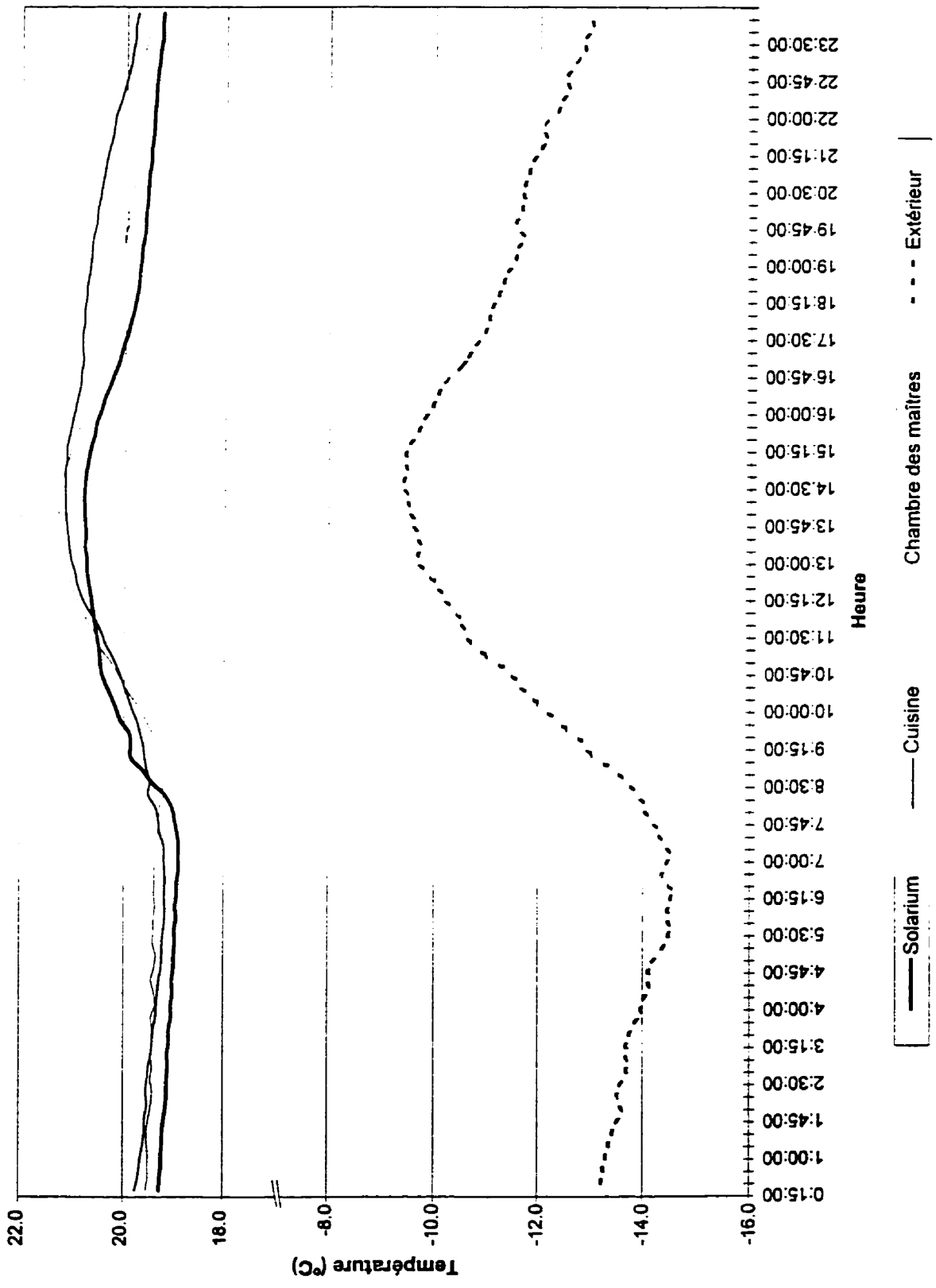
**Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de décembre 1993**



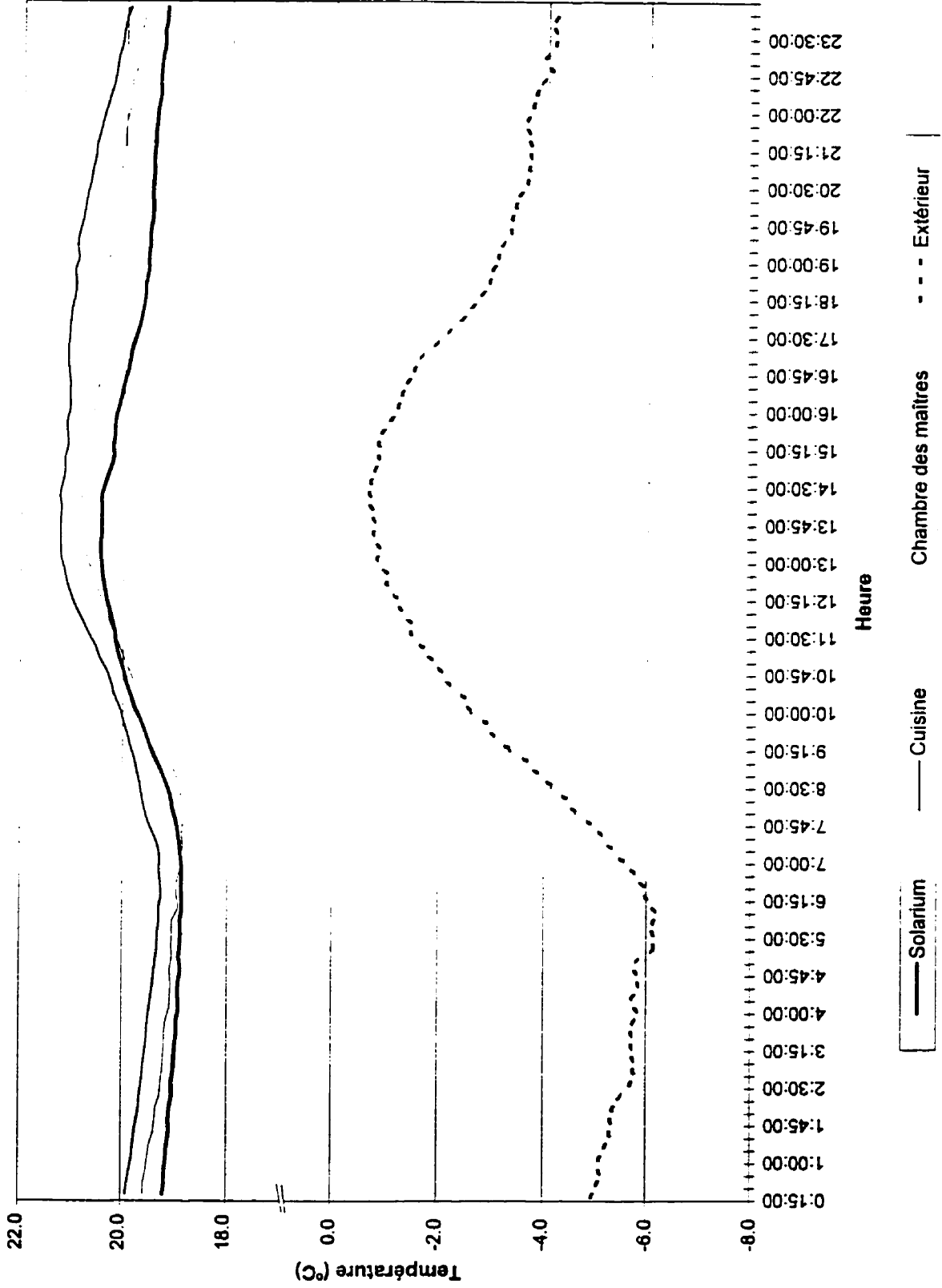
Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de janvier 1994



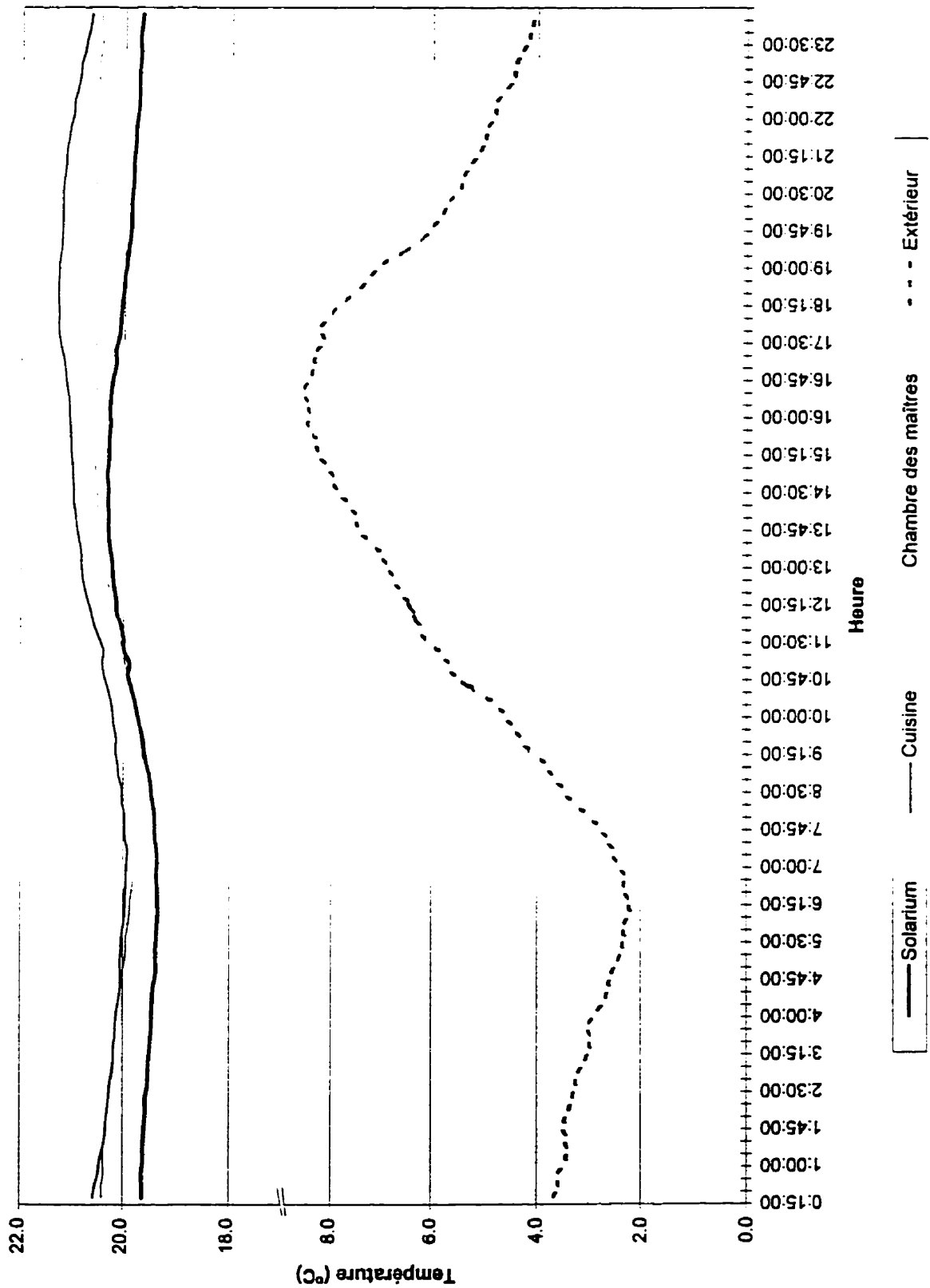
Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de février 1994



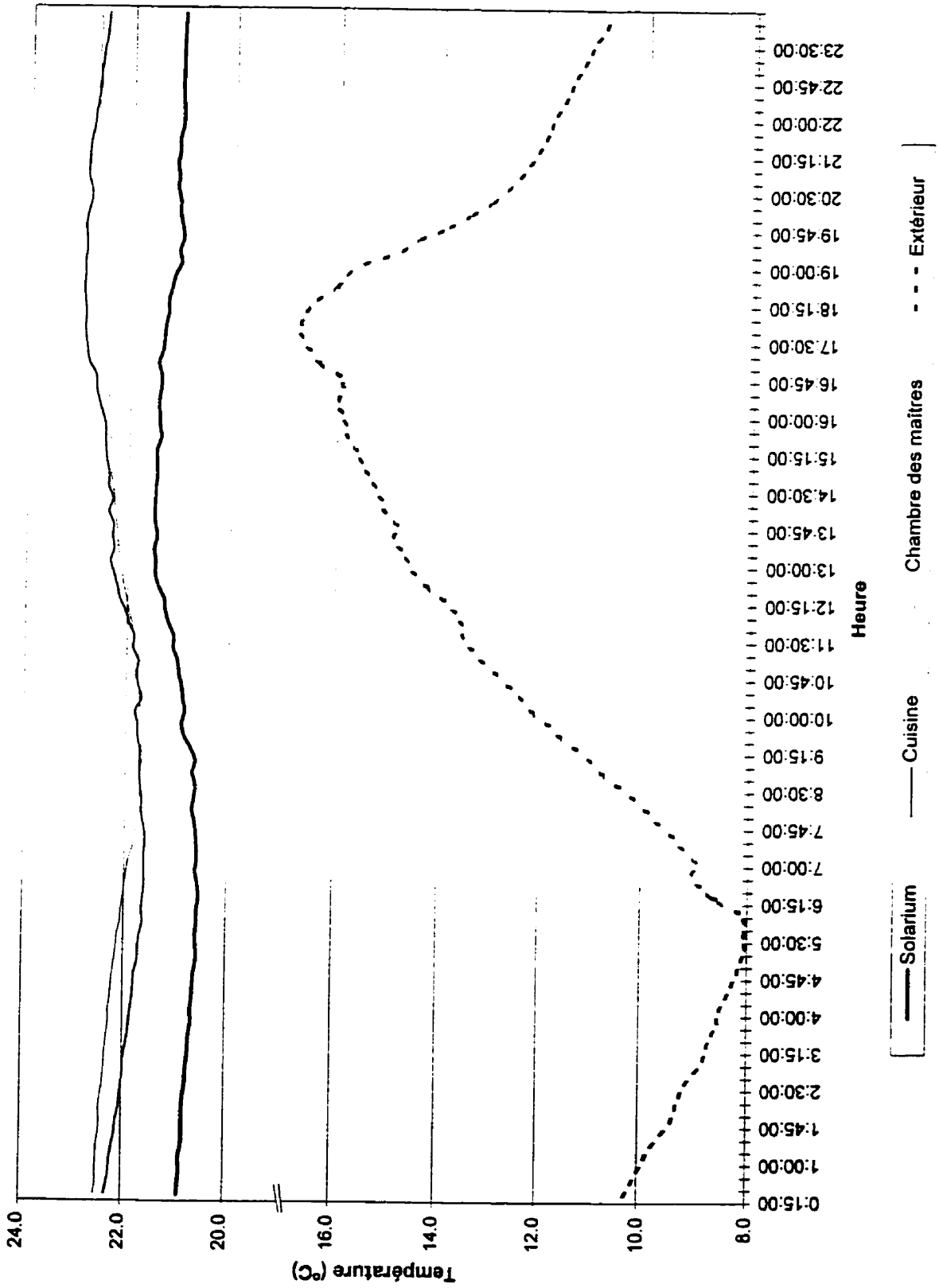
Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de mars 1994



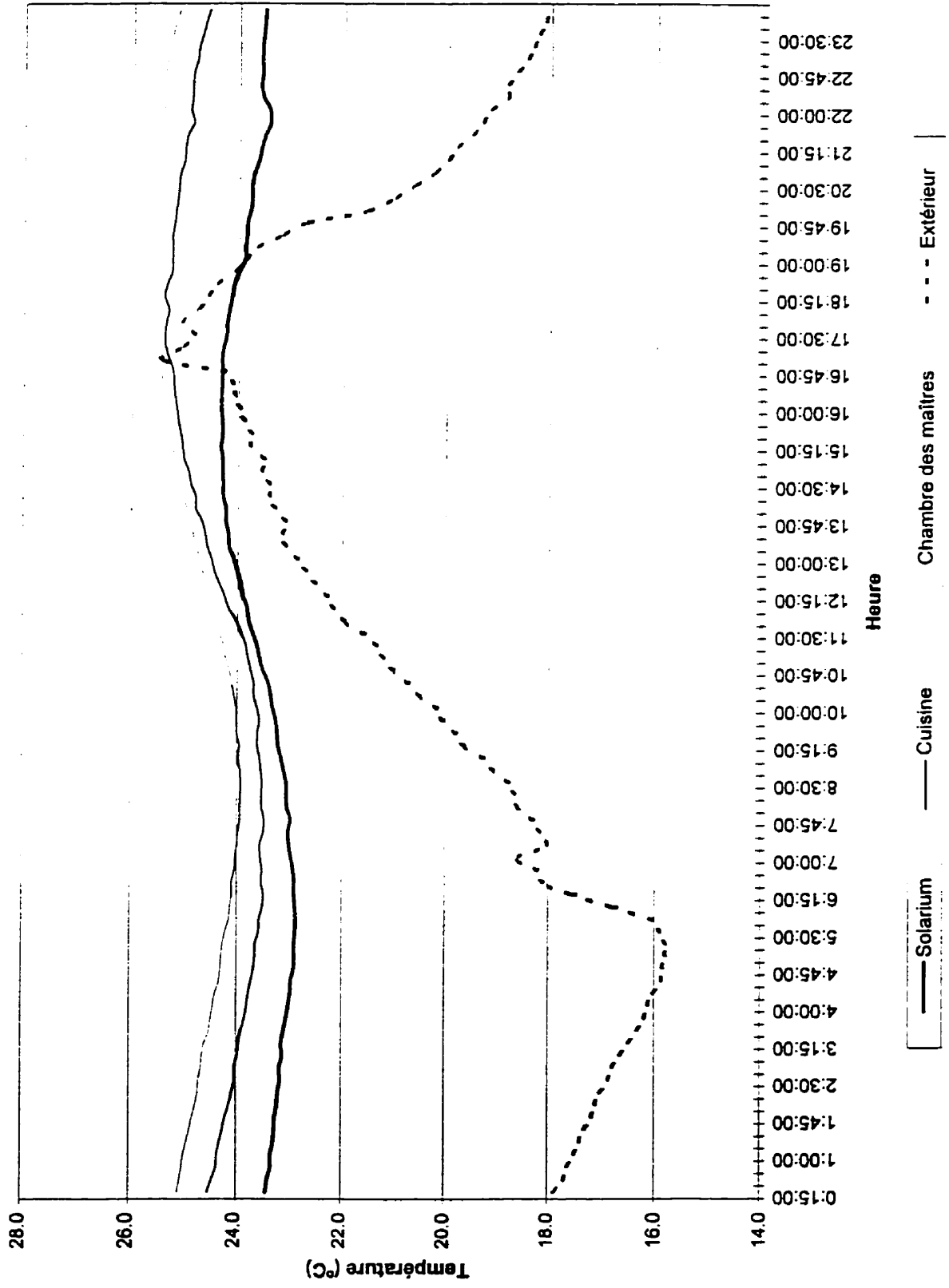
Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de avril 1994



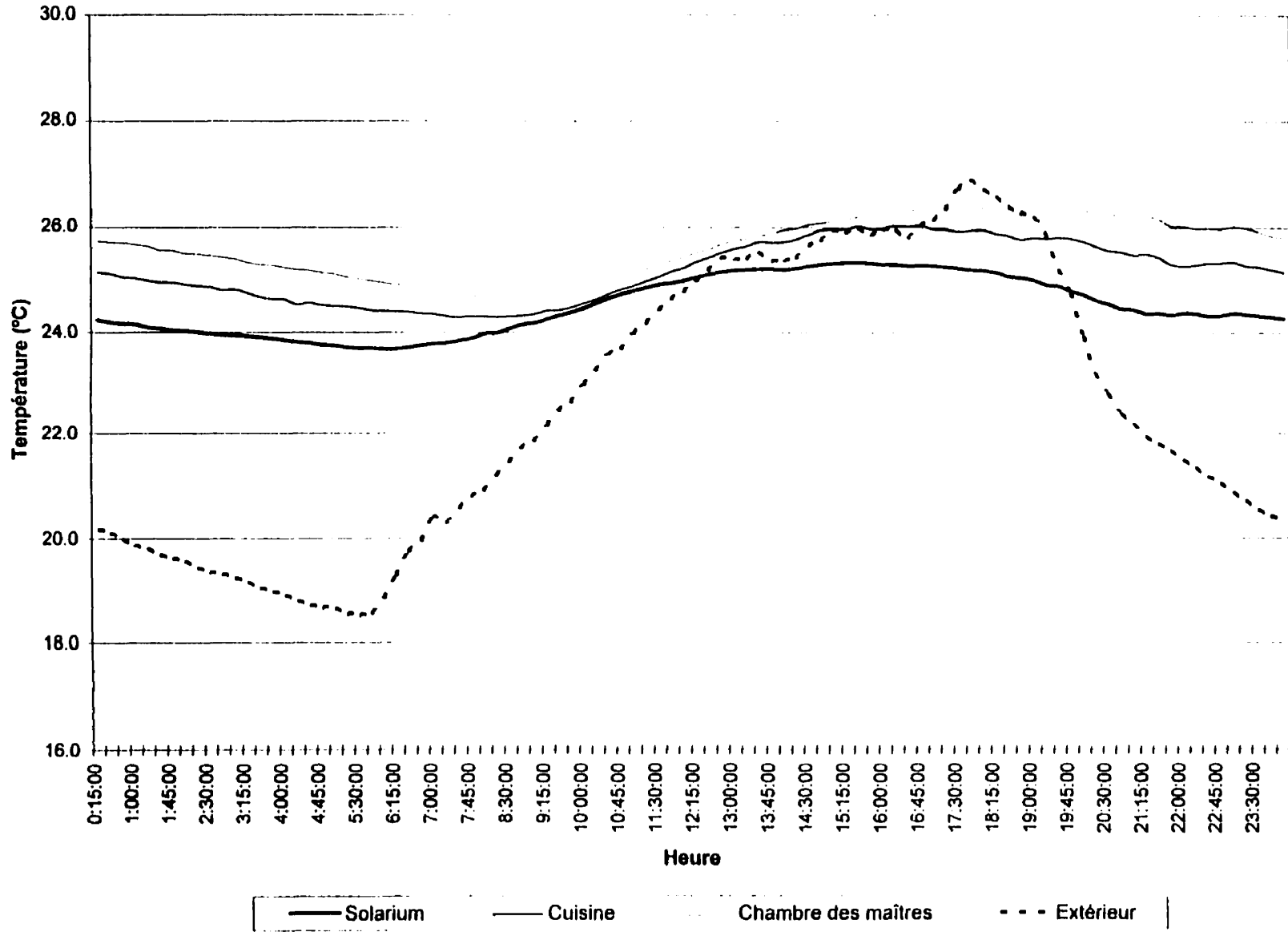
Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de mai 1994



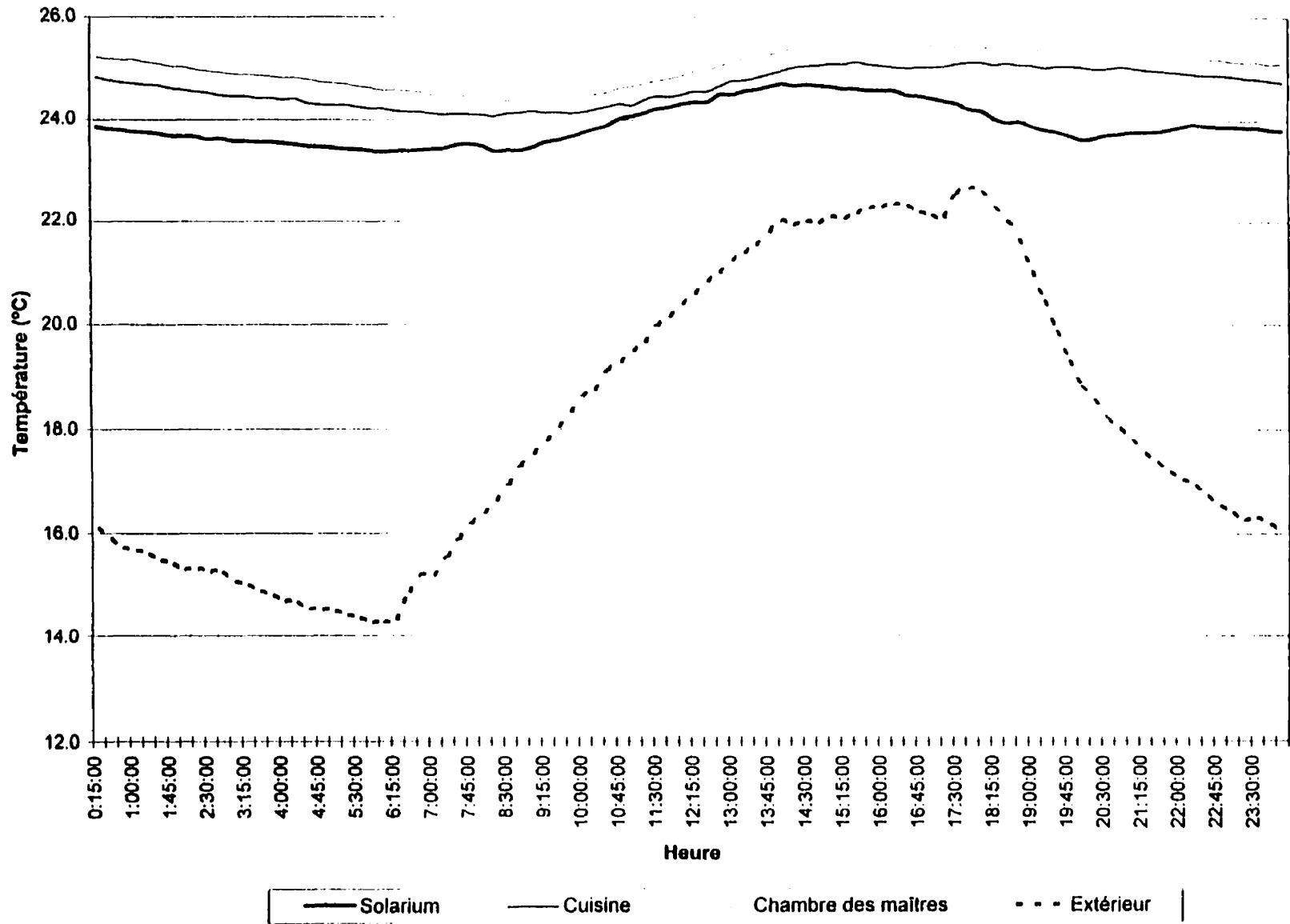
Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de juin 1994



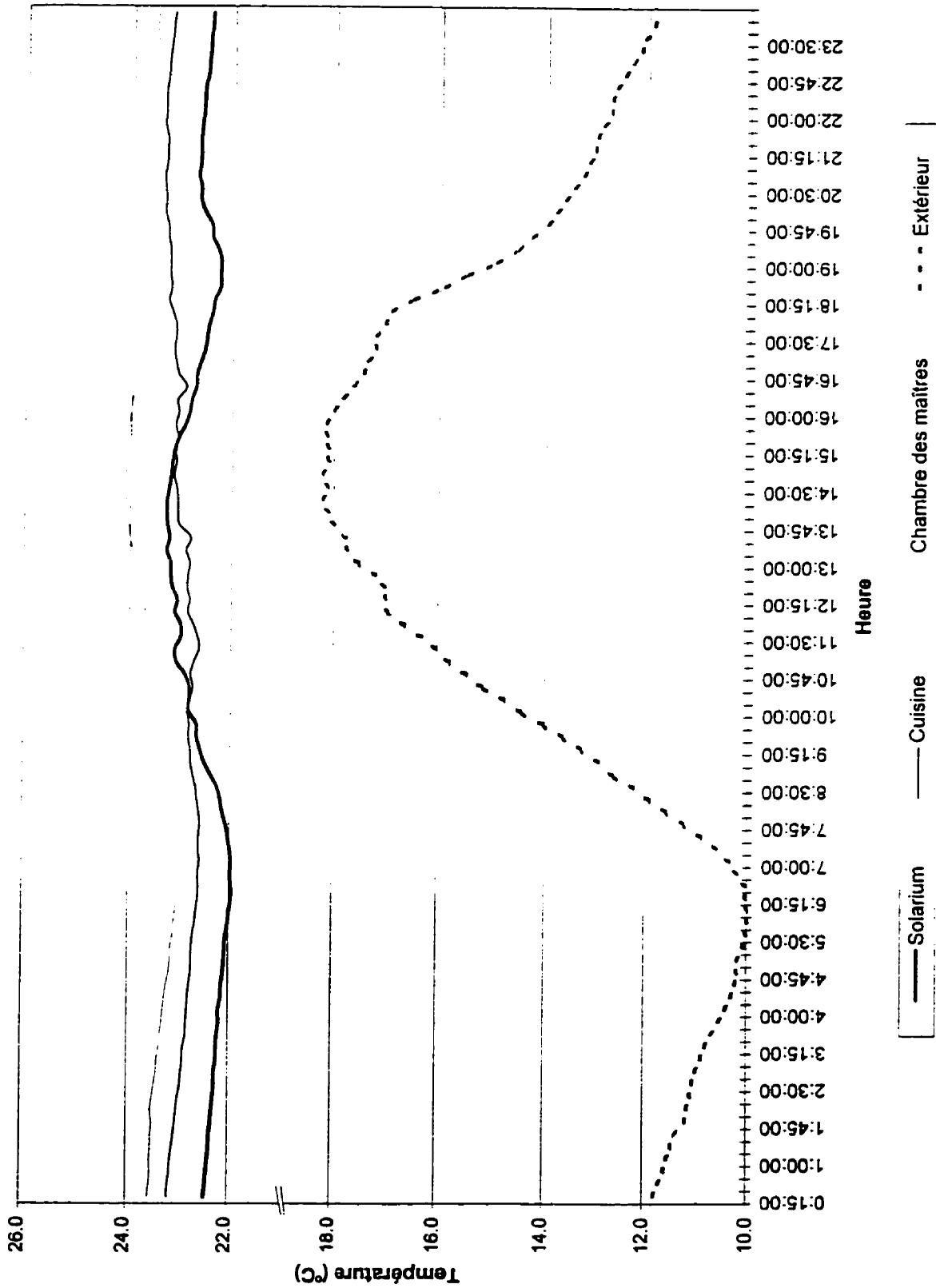
**Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de juillet 1994**



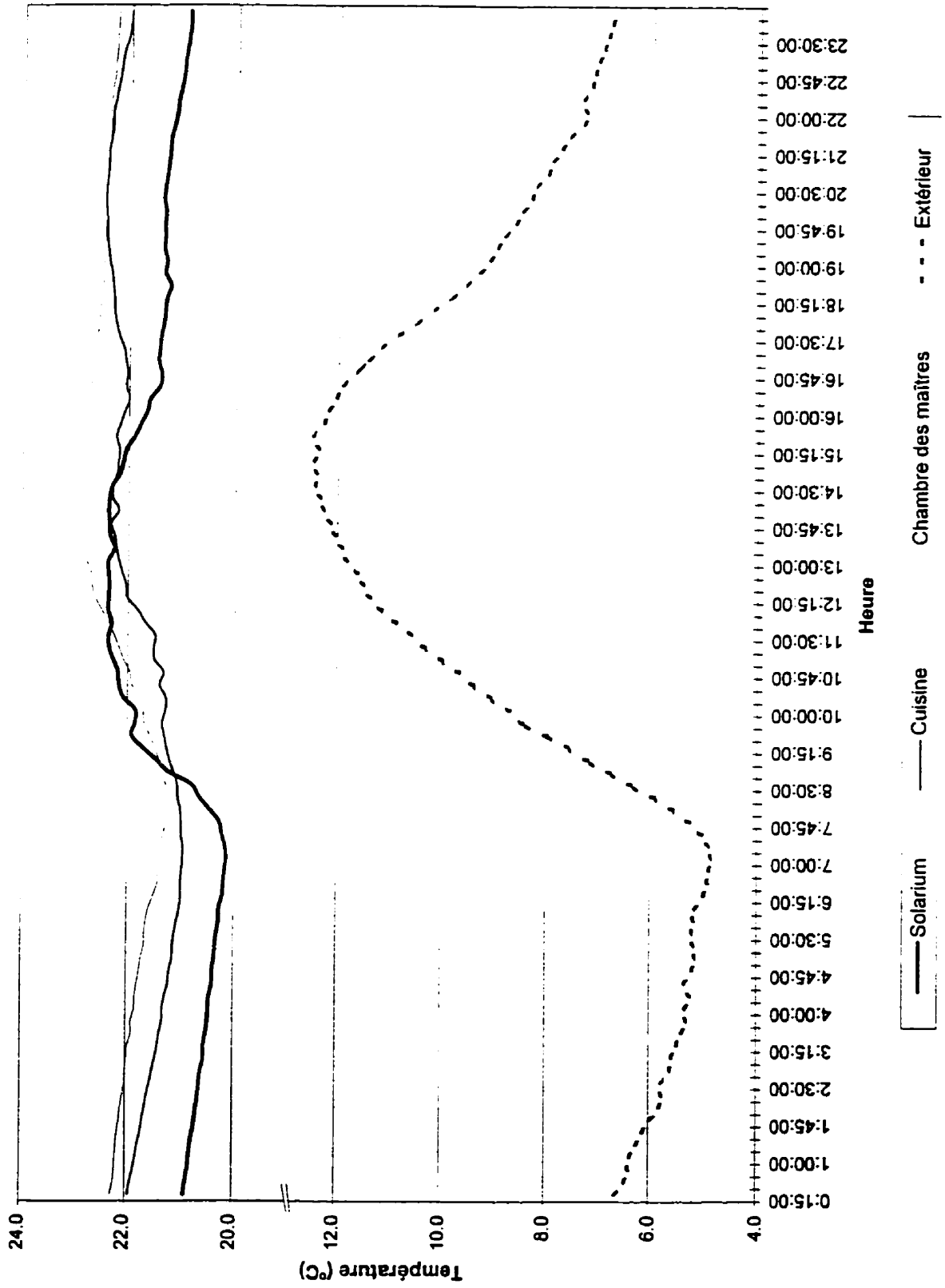
**Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de août 1994**



Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres)
et extérieures pour le mois de septembre 1994



Profils journaliers des températures intérieures (solarium, cuisine, chambre des maîtres) et extérieures pour le mois de octobre 1994



Annexe D

Fichiers de données d'entrées de TRNSYS

D.1 Fichier de description du bâtiment (BID) utilisé dans la simulation de Habitasol 2000

*
*Tous les unites sont en SI modifie: Hr. m. kg. C. KJ
*
*****Proprietés*****
*
Properties
*
*Densité de l'air (kg/m3):Chaleur specifique(kJ/kg C):
*Énergie de vaporisation (kJ/kg):constante de
*Stephan-Boltzman(kJ/Hr m2 K⁴):Température moyenne approximative(K)
*
DENSITY=1.204: CAPACITY= 1.012 :HVAPOR=2454
SIGMA=2.041E-07:RTEMP=293.15
*
*****Types*****
*
TYPES
*
*-----Layers-----
*
*=====Parois Externes=====
*1X4 24 CC avec air
LAYER FOURRURE
THICKNESS=0.0159:CONDUCTIVITY=0.3354
CAPACITY=1.3752:DENSITY=77.94
*
*Gypse
LAYER GYPSE
THICKNESS=.010 : CONDUCTIVITY=.612
CAPACITY=1.09 : DENSITY=800.
*
*Porte extérieure
LAYER PORTE
RESISTANCE=.489
*
*Brique
LAYER BRIQUE
THICKNESS=0.1016 : CONDUCTIVITY=4.68
CAPACITY=0.835 : DENSITY=2083
*
*Carton fibre (sheeting)
LAYER CARTON_FIBRE
THICKNESS=0.01270 :CONDUCTIVITY=0.198
CAPACITY=1.3 :DENSITY=290.
*
*

```

*=====Styrofoam=====
*
*Styrofoam 1" R-5
LAYER SMR5
  THICKNESS=0.0254 :CONDUCTIVITY=.0972
  CAPACITY=1.21 :DENSITY=55.
*
*Styrofoam 1" R-4
LAYER SMR4
  THICKNESS=0.0254 : CONDUCTIVITY=0.144
  CAPACITY=1.21 : DENSITY=16.
*
*=====Structures=====
*
*2X6 24 CC avec laine minerale
LAYER STRUCTURE
  THICKNESS=0.14288 :CONDUCTIVITY=0.1725
  CAPACITY=1.129 :DENSITY=64.7
*
*2X3 24 CC avec styrofoam
LAYER STRUCT_INT
  THICKNESS=0.0667 :CONDUCTIVITY=0.3034
  CAPACITY=1.3507 :DENSITY=41.23
*
*Structure des cloisons (2 X 4)
LAYER STRUCT
  THICKNESS=0.0921 :CONDUCTIVITY=1.715
  CAPACITY=1.373 : DENSITY=53.37
*
*2 X 10 16" CC
LAYER STRUCT_PLAFOND
  THICKNESS=0.2445 :CONDUCTIVITY=4.864
  CAPACITY=1.373 :DENSITY=53.37
*
*Structure du plafond horizontal (2 x 6 24" CC avec laine R-55)
LAYER TOIT_PLAT
  THICKNESS=0.3929 :CONDUCTIVITY=0.161
  CAPACITY=0.993 :DENSITY=43.9
*
*Structure du plafond incliné
LAYER TOIT_INCL
  THICKNESS=0.286 :CONDUCTIVITY=0.1725
  CAPACITY=1.129 :DENSITY=64.7
*
*=====Parois de Béton=====
*
LAYER BETON_8
  THICKNESS=.200 : CONDUCTIVITY=5.04
  CAPACITY=.88 : DENSITY=2300.
*
LAYER BETON_10
  THICKNESS=.254 : CONDUCTIVITY=5.04
  CAPACITY=.88 : DENSITY=2300.

```

```

*
*Plancher de beton
LAYER BETON_3
  THICKNESS=.07620 : CONDUCTIVITY=5.04
  CAPACITY=.88   : DENSITY=2300.
*
*=====Parois Horizontales=====
*
*Plywood 5/8
LAYER CONTREPLAQUE
  THICKNESS=0.01588 : CONDUCTIVITY=0.415
  CAPACITY=1.21 : DENSITY=545.
*
*Tapis
LAYER TAPIS
  RESISTANCE=.1019
*
*Plancher de bois franc
LAYER BOIS_FRANC
  THICKNESS=0.01905: CONDUCTIVITY=0.576
  CAPACITY=1.26 : DENSITY=721.
*
*Plancher de ceramique
LAYER CERAMIQUE
  THICKNESS=.01 : CONDUCTIVITY=1.136
  CAPACITY=.8 : DENSITY=2000
*
*Plafond suspendu
LAYER TUILE
  THICKNESS=.01270 : CONDUCTIVITY=.2088
  CAPACITY=1.34 : DENSITY=290.
*
*Papier noir 15 lb
LAYER PAPIER_NOIR
  RESISTANCE=0.00583
*
*Bardeaux d'asphalte
LAYER BARDEAUX
  RESISTANCE=0.02167
*
*-----Inputs-----
*
*
*
*
INPUTS
  VENMAR1.TSOILH.TSOILV,VENMART1.EVAP,CHAL,VENMAR2,VENMART2
INPUTS PERTE.TPISC.INFPRINC.INFSSOL.INFCHBRE
*

```

*-----Murs-----

*

*Description des murs

*La partie qui suit sert à définir le contenu des différents murs

*ainsi que certaines caractéristiques. Tous les murs intérieurs ont

*un coefficient de convection = $9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-K}) = 32.4 \text{ kJ}/(\text{hr-m}^2\text{-K})$

*A l'extérieur il est de $34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-K}) = 122.4 \text{ kJ}/(\text{hr-m}^2\text{-K})$.

*Pour les surfaces horizontales il est

*de $20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-K}) = 72 \text{ kJ}/(\text{hr-m}^2\text{-K})$.

*L'absorptivité aux radiations solaires a été pondérée en fonction de

*la position du mur dans la maison et de la quantité réelle de

*rayonnement que celui-ci reçoit

*

*Mur extérieur standard

WALL MUR_EXT_VINYLE

LAYER= GYPSE. STRUCT_INT. STRUCTURE. SMR5. FOURRURE

ABS-FRONT=.26 :ABS-BACK=.40:HFRONT=32.4:HBACK=122.4

*

*Mur extérieur de brique

WALL MUR_EXT_BRIQUE

LAYER= GYPSE. STRUCT_INT. STRUCTURE. SMR5. FOURRURE. BRIQUE

ABS-FRONT=.0 :ABS-BACK=.40:HFRONT=32.4:HBACK=122.4

*

*Solage enfoui avec isolation intérieure

WALL SOLAGE

LAYER=GYPSE.FOURRURE,STRUCTURE.SMR4,BETON_8

ABS-FRONT=.0:ABS-BACK=0.:HFRONT=32.4:HBACK=1000000

*

*Solage exposé avec isolation intérieure

WALL SOLAGEEXT

LAYER=GYPSE.FOURRURE,STRUCTURE.SMR4,BETON_8

ABS-FRONT=.0:ABS-BACK=0.4:HFRONT=32.4:HBACK=122.4

*

*Porte

WALL PORTE

LAYER=PORTE

ABS-FRONT=.0:ABS-BACK=.40:HFRONT=32.4:HBACK=122.4

*

*Solage enfoui avec isolation extérieure (Sud)

WALL SSUD

LAYER=GYPSE.FOURRURE,STRUCTURE.SMR4,BETON_10. SMR5 .SMR5

ABS-FRONT=.0:ABS-BACK=0.:HFRONT=32.4:HBACK=1000000

*

*Mur de béton enfoui de la piscine

WALL PISCINE_EXT

LAYER=SMR5.BETON_10,SMR5.SMR5,SMR5,SMR5

ABS-FRONT=.26:ABS-BACK=0.:HFRONT=32.4:HBACK=1000000.

*

*Mur thermique

WALL MUR_THERMIQUE

LAYER=BETON_8.FOURRURE.GYPSE

ABS-FRONT=.90 :ABS-BACK=.26 :HFRONT=32.4:HBACK=32.4

*

```

*Mur du garage
WALL MUR_GARAGE
  LAYER= GYPSE. FOURRURE . STRUCTURE. CARTON_FIBRE.FOURRURE
  ABS-FRONT=.26 :ABS-BACK=.40:HFRONT=32.4:HBACK=122.4
*
*Mur de beton interieur de la piscine
WALL BETON_PISCINE
  LAYER=SMR5.BETON_8.FOURRURE. GYPSE
  ABS-FRONT=.40 :ABS-BACK=.0 :HFRONT=32.4:HBACK=122.4
*
*Cloison interne
WALL CLOISON
  LAYER=GYPSE. STRUCT . GYPSE
  ABS-FRONT=.0 :ABS-BACK=.0 :HFRONT=32.4:HBACK=32.4
*
*Plancher chambre des maitres
WALL PLANCHER_MAITRES
  LAYER=TAPIS. CONTREPLAQUE.STRUCT_PLAFOND. GYPSE
  ABS-FRONT=.26 :ABS-BACK=.0:HFRONT=72. :HBACK=72.
*
*Plancher entre principale et Sous-sol
WALL PLAFOND_SUSPENDU
  LAYER=BOIS_FRANC,CONTREPLAQUE.STRUCT_PLAFOND.TUILE
  ABS-FRONT=.0 :ABS-BACK=.0:HFRONT=72. :HBACK=72.
*
*Plancher du solarium
WALL PLANCH_SOLARIUM
  LAYER=CERAMIQUE,BETON_3.SMR5.SMR5
  ABS-FRONT=.5 :ABS-BACK=0.:HFRONT=72. :HBACK=1000000
*
*Plancher du sous-sol
WALL PLANCH_SOUS_SOL
  LAYER=TAPIS.BETON_3.SMR5.SMR5
  ABS-FRONT=.26 :ABS-BACK=0.:HFRONT=72. :HBACK=1000000
*
*Plafond fini de Gypse
WALL PLANCHER
  LAYER=BOIS_FRANC,CONTREPLAQUE.STRUCT_PLAFOND,GYPSE
  ABS-FRONT=.0 :ABS-BACK=0.:HFRONT=72. :HBACK=72.
*
*Plancher du garage
WALL PLANCHER_GARAGE
  LAYER=BETON_3
  ABS-FRONT=.26 :ABS-BACK=0.:HFRONT=72. :HBACK=72.
*
*Plancher de la piscine
WALL PLANCHER_PISC
  LAYER=BETON_3.SMR5
  ABS-FRONT=.26:ABS-BACK=0.:HFRONT=72. :HBACK=72.
*

```

*Plafond de la chambre
WALL PLAF_PLAT
LAYER=GYPSE.FOURRURE.TOIT_PLAT.CONTREPLAQUE.PAPIER_NOIR.;
BARDEAUX
ABS-FRONT=.0:ABS-BACK=.90:HFRONT=72.:HBACK=122.4

*
*Plafond incliné
WALL PLAF_INCL
LAYER=GYPSE.FOURRURE.TOIT_INCL.CONTREPLAQUE.PAPIER_NOIR.;
BARDEAUX
ABS-FRONT=.0:ABS-BACK=.90:HFRONT=72.:HBACK=122.4

*-----Fenêtres-----

*
*Fenêtre haute transmittance
WINDOW FENSUD
UGLASS=6.66:HINSIDE=32.4:HOUTSIDE=122.4
ABSORBTANCE=.15 :REFLECTANCE=.20

*
*Fenêtre virtuelle pour la piscine
WINDOW FENEAU
UGLASS=0.001:HINSIDE=32.4:HOUTSIDE=122.4
ABSORBTANCE=.15 :REFLECTANCE=.20

*
*Fenêtre haute resistance
WINDOW FENISOLEE
UGLASS=5.08:HINSIDE=32.4:HOUTSIDE=122.4
ABSORBTANCE=.15 :REFLECTANCE=.274

*
*
*-----Gains-----

*
*2 Adultes + 3 enfants
GAIN PERSONNE
CONVECTIVE=1332.:RADIATIVE=504.:HUMIDITY=.34

*
GAIN DIVERS_INTER
CONVECTIVE=1000.:RADIATIVE=1000.:HUMIDITY=0.

*
GAIN CHAUFFE_EAU
CONVECTIVE=800.:RADIATIVE=0.:HUMIDITY=0.

*
GAIN POELE_SECH
CONVECTIVE=315.:RADIATIVE=0.:HUMIDITY=0.10

*
GAIN DIVERS_CONT
CONVECTIVE=875.:RADIATIVE=875.:HUMIDITY=0.

*
GAIN HUMIDE
CONVECTIVE=0.:RADIATIVE=0.:HUMIDITY=.14

*
GAIN CHAL
CONVECTIVE=INPUT CHAL :RADIATIVE=0.:HUMIDITY=INPUT EVAP

*
GAIN PERTE
CONVECTIVE=INPUT PERTE:RADIATIVE=0.:HUMIDITY=0.

*
GAIN HEATER
CONVECTIVE=18000:RADIATIVE=0.:HUMIDITY=0.

*
*-----Schedules-----

*
*Présence sur semaine
SCHEDULE PRESEM
HOURS=0,8,17,
VALUES=1,0,1

*
*Présence sur fin de semaine
SCHEDULE PREFIN
HOURS=0,
VALUES=1

*
*Activité sur semaine
SCHEDULE ACTSEM
HOURS=0,6,8,17,23,
VALUES=0,1,0,1,0

*
*Activité sur fin de semaine
SCHEDULE ACTFIN
HOURS=0,6,23,
VALUES=0,1,0

*
*Cédule d'occupation
SCHEDULE OCCUPATION
DAYS=1,2,4,
HOURLY=PRESEM.PREFIN.PRESEM

*
Cédule d'activité
SCHEDULE ACTIVITE
DAYS=1,2,4,
HOURLY=ACTSEM,ACTFIN,ACTSEM

*
*-----Infiltrations-----

*
INFILTRATION PISCINE
AIRCHANGE=0.35

*
INFILTRATION PRINCIPALE
AIRCHANGE=INPUT INFPRINC

*
INFILTRATION SOUS_SOL
AIRCHANGE=INPUT INFSSOL

*
INFILTRATION CHAMBRE
AIRCHANGE=INPUT INFCHBRE

*

INFILTRATION GARAGE

AIRCHANGE=2.

*

*-----Chauffage-----

*

HEATING PRINCIPALE

ON=19.:POWER=25200.:HUMIDITY=0.

HEATING GARAGE

ON=6.:POWER=3600.:HUMIDITY=0.

HEATING CHAMBRE

ON=19.5:POWER=5400.:HUMIDITY=0.

HEATING SOUS_SOL

ON=21.:POWER=15300.:HUMIDITY=0.

HEATING=PISCINE

ON=INPUT TPISC : POWER=18000.:HUMIDITY=0.

*

*-----Ventilation-----

*

*

VENTILATION PRINCIPALE

TEMPERATURE=INPUT VENMART1

AIRCHANGE=INPUT VENMART1

HUMIDITY=OUTSIDE

*

*

VENTILATION PISCINE

TEMPERATURE=INPUT VENMART2

AIRCHANGE=INPUT VENMART2

HUMIDITY=OUTSIDE

*

*-----Orientations-----

*

*

ORIENTATIONS OUEST, SUD, EST.

NORD.TOIT_SUD.TOIT_NORD,SOMBRERO.OMBRE

*

*

*-----Zones-----

*

ZONES PRINCIPALE,GARAGE,CHAMBRE.SOUS_SOL,PISCINEEAU.PISCINEAIR

*

*****Description Batiment*****

*

BUILDING

*

*

```

*=====PRINCIPALE=====
*
ZONE PRINCIPALE
*
*-----Ouest-----
*
*Béton vers sol sous le plancher du Garage
WALL=SOLAGE
AREA=6.219:BOUNDARY=INPUT TSOILV:COUPLING=0.
*
*Béton vers le Garage
WALL=SOLAGEEXT
AREA=3.602:ADJACENT=GARAGE:FRONT:COUPLING=0.
*
*Mur extérieur vers garage
WALL=MUR_EXT_VINYLE
AREA=20.898:ADJACENT=GARAGE:FRONT:COUPLING=0
*
*Mur vers extérieur
WALL=MUR_EXT_VINYLE
AREA=2.9:EXTERNAL:ORIENTATION=OUEST
*
*Porte extérieur
WALL=PORTE
AREA=1.802:ADJACENT=GARAGE:FRONT:COUPLING=0
*
*
*-----Sud-----
*
*Béton vers sol extérieur
WALL=SSUD
AREA=11.248:BOUNDARY=INPUT TSOILV:COUPLING=0
*
*Mur extérieur autour porte patio
WALL=MUR_EXT_BRIQUE
AREA=1.535:EXTERNAL:ORIENTATION=SUD
*
*Mur extérieur sous sombrero
WALL=MUR_EXT_BRIQUE
AREA=2.467:EXTERNAL:ORIENTATION=SOMBRERO
*
*Mur extérieur derriere sombrero
WALL=MUR_EXT_BRIQUE
AREA=2.204:EXTERNAL:ORIENTATION=OMBRE
*
*Mur vers extérieur (en retrait)
WALL=MUR_EXT_VINYLE
AREA=1.777:EXTERNAL:ORIENTATION=SUD
*
*

```

*La transmittance de 0.65 a ete multiplie par un facteur pour tenir
*compte de la surface vitree vs la surface incluant le cadre

*Fenêtres sud (facteur de .73) X .9

WINDOW=FENSUD

AREA=6.573:ORIENTATION=SUD:TRANSMITANCE=.356

*

*Fenetre sous sombrero (facteur de 0.73)

WINDOW=FENSUD

AREA=7.631:ORIENTATION=SOMBRERO:TRANSMITANCE=.356

*

*

*

*-----Est-----

*

*

*

*Mur vers extérieur

WALL=MUR_EXT_VINYLE

AREA=12.338:EXTERNAL:ORIENTATION=EST

*

*

*La transmittance de 0.576 a ete multiplie par un facteur pour tenir

*compte de la surface vitree vs la surface incluant le cadre

*Fenêtres est (.54)

WINDOW=FENISOLEE

AREA=.599:ORIENTATION=EST:TRANSMITANCE=.311

*

*

*

*

*-----Sud_est-----

*

*

*Mur vers l'extérieur (mur angle)

WALL=MUR_EXT_VINYLE

AREA=1.16:EXTERNAL:ORIENTATION=SUD

*

*La transmittance de 0.65 a ete multiplie par un facteur pour tenir

*compte de la surface vitre vs la surface incluant le cadre (.56)

*Fenêtre

WINDOW=FENSUD

AREA=0.9:ORIENTATION=SUD:TRANSMITANCE=.364

*

*

*

*

*-----Nord-----

*
*

*Mur vers extérieur

WALL=MUR_EXT_VINYLE

AREA=28.819:EXTERNAL:ORIENTATION=NORD

*

*Porte extérieure

WALL=PORTE

AREA=1.802:EXTERNAL:ORIENTATION=NORD

*

*La transmittance de 0.576 a ete multiplie par un facteur pour tenir

*compte de la surface vitree vs la surface incluant le cadre (.63)

*Fenêtres

WINDOW=FENISOLEE

AREA=3.857:ORIENTATION=NORD:TRANSMITTANCE=.363

*

*

*-----Murs Internes-----

*Mur Thermique

*La partie interne à la zone est considérée comme adjacente

*pour assurer une meilleure distribution du rayonnement solaire.

WALL=MUR_THERMIQUE

AREA=10.248:ADJACENT=SOUS_SOL:FRONT:COUPLING=0.

*

*

WALL=CLOISON

AREA=21.829:ADJACENT=SOUS_SOL:BACK:COUPLING=0.07

*

*

WALL=CLOISON

AREA=6.76 :ADJACENT=CHAMBRE:FRONT:COUPLING=0.

*

*

WALL=BETON_PISCINE

AREA=11.288:ADJACENT=PISCINEEAU:FRONT:COUPLING=0.

*

*Inclut Horizontale et verticale (11.514 + 3.953)

WALL=CLOISON

AREA=15.652:ADJACENT=PISCINEAIR:FRONT:COUPLING=0.

*

*

WALL=CLOISON

AREA=13.637:INTERNAL

*

*-----Planchers et plafonds-----

*

*Plancher Sous-sol

WALL=PLANCH_SOLARIUM

AREA=37.97:BOUNDARY=INPUT TSOILH:COUPLING=0.

*

*Plancher entre Principale et chambres sous-sol
WALL=PLAFOND_SUSPENDU
AREA=45.026:ADJACENT=SOUS_SOL:FRONT:COUPLING=0.

*
*Plancher de la Mezzanine
WALL=PLANCHER
AREA=21.087:INTERNAL

*
*Plafond entre Chambre et Principale
WALL=PLANCHER_MAITRE
AREA=20.575:ADJACENT=CHAMBRE:BACK:COUPLING=0.

*
*Plafond Nord
WALL=PLAF_INCL
AREA=35.1:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_NORD

*
*Plafond_Sud
WALL=PLAF_INCL
AREA=34.15:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_SUD

*
*Plafond plat au-dessus de l'escalier
WALL=PLAF_PLAT
AREA=4.904:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_NORD

*
*-----Regime-----
*

REGIME
GAIN=PERSONNE:SCALE=SCHEDULE OCCUPATION
GAIN=POELE_SECH:SCALE=SCHEDULE ACTIVITE
GAIN=DIVERS_CONT:SCALE=1.
GAIN=DIVERS_INT:SCALE=SCHEDULE ACTIVITE
GAIN=HUMIDE:SCALE=1
VENTILATION=PRINCIPALE
INFILTRATION=PRINCIPALE
HEATING=PRINCIPALE
CAPACITANCE=6240. :VOLUME= 339.15
TINITIAL=19.5 :WINITIAL=.0065: WCAPR=1

*
*
*
*=====GARAGE=====

*
ZONE GARAGE

*
*
*-----Ouest-----
*

WALL=MUR_GARAGE
AREA=29.536:EXTERNAL:ORIENTATION=OUEST

*
*

*La transmittance de 0.576 a ete multiplié par un facteur pour tenir
*compte de la surface vitrée vs la surface incluant le cadre (.54)
WINDOW=FENISOLEE
AREA=1.3:ORIENTATION=OUEST:TRANSMITANCE=.311

*
*-----Sud-----
*

WALL=MUR_GARAGE
AREA=12.668:EXTERNAL:ORIENTATION=SUD

*
*
*La transmittance de 0.65 a ete multiplie par un facteur pour tenir
*compte de la surface vitrée vs la surface incluant le cadre(.69)
WINDOW=FENSUD
AREA=9.3:ORIENTATION=SUD:TRANSMITANCE=.449

*
*

WALL=PORTE
AREA=1.802:EXTERNAL:ORIENTATION=SUD

*
*-----Est-----
*

WALL=SOLAGEEXT
AREA=3.602:ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=0.

*
*
WALL=MUR_EXT_VINYLE
AREA=20.898:ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=0.

*
*
WALL=PORTE
AREA=1.802:ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=0.

*
*
WALL=SOLAGEEXT
AREA=3.782:ADJACENT=SOUS_SOL:BACK:COUPLING=0.

*
*-----Nord-----
*

WALL=MUR_GARAGE
AREA=12.165:EXTERNAL:ORIENTATION=NORD

*
*
WALL=PORTE
AREA=12.22:EXTERNAL:ORIENTATION=NORD

*
*-----Planchers et plafond-----
*

WALL=PLANCHER_GARAGE
AREA=58.665:BOUNDARY=INPUT TSOILH:COUPLING=0.

*

```

*Plafond Nord
WALL=PLAF_INCL
  AREA=38.34:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_NORD
*
*Plafond Sud
WALL=PLAF_INCL
  AREA=36.3:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_SUD
*
*-----Regime-----
*
REGIME
*
  INFILTRATION=GARAGE
  HEATING=GARAGE
  CAPACITANCE=3520. : VOLUME=237.
  TINITIAL=10. : WINITIAL= .0065 : WCAPR=1.
*
*
*=====CHAMBRE=====
*
ZONE CHAMBRE
*
*-----Ouest-----
*
*
WALL=MUR_EXT_VINYLE
  AREA=6.658:EXTERNAL:ORIENTATION=OUEST
*
*
*-----Sud-----
*
*
WALL=MUR_EXT_VINYLE
  AREA=9.479:EXTERNAL:ORIENTATION=SUD
*
*
*La transmittance de 0.65 a ete multiplié par un facteur pour tenir
*compte de la surface vitrée vs la surface incluant le cadre (.70)
WINDOW=FENSUD
  AREA=3.0:ORIENTATION=SUD:TRANSMITANCE=.455
*
*
*-----Est-----
*
*
WALL=MUR_EXT_VINYLE
  AREA=14.64:EXTERNAL:ORIENTATION=EST
*
*

```

*-----:Nord-----

*
*

WALL=MUR_EXT_VINYLE
AREA=7.246:EXTERNAL:ORIENTATION=NORD

*-----Murs Internes-----

WALL=CLOISON
AREA=7.76 :ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=2.64

*-----Planchers et Plafonds-----

*Plafond entre Chambre et Principale
WALL=PLANCHER_MAITRE
AREA=20.575:ADJACENT=PRINCIPALE:FRONT:COUPLING=0.

*Plafond Nord
WALL=PLAF_PLAT
AREA=14.697:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_NORD

*Plafond Sud
WALL=PLAF_PLAT
AREA=5.878:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_SUD

*-----Regime-----

REGIME
INFILTRATION=CHAMBRE
HEATING=CHAMBRE
CAPACITANCE=1235. : VOLUME=56.12
TINITIAL=19.5 : WINITIAL= .0065 : WCAPR=1.

*
*
*

*=====SOUS-SOL=====

*
*
*
ZONES SOUS_SOL

*-----Ouest-----

WALL=SOLAGE
AREA=6.527:BOUNDARY=INPUT TSOIL V:COUPLING=0.

*
*
WALL=SOLAGEEXT
* AREA=3.782:EXTERNAL:ORIENTATION=OUEST
* AREA=3.782:ADJACENT=GARAGE:FRONT:COUPLING=0.
*

*-----Sud-----

*

WALL=MUR_THERMIQUE

AREA=10.248:ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=0.

*

*

WALL=SSUD

AREA=2.806:BOUNDARY=INPUT TSOILV:COUPLING=0.

*

*-----Est-----

*

WALL=SOLAGE

AREA=13.383:BOUNDARY=INPUT TSOILV:COUPLING=0.

*

*

*La transmittance de 0.576 a ete multiplié par un facteur pour tenir

*compte de la surface vitrée vs la surface incluant le cadre (.54)

WINDOW=FENISOLEE

AREA=.647:ORIENTATION=EST:TRANSMITTANCE=.311

*

*-----Nord-----

*

WALL=SOLAGE

AREA=18.695:BOUNDARY=INPUT TSOILV:COUPLING=0.

*

*

WALL=SOLAGEEXT

AREA=8.499:EXTERNAL:ORIENTATION=NORD

*

*

*La transmittance de 0.576 a été multiplié par un facteur pour tenir

*compte de la surface vitrée vs la surface incluant le cadre (.63)

WINDOW=FENISOLEE

AREA=2.331:ORIENTATION=NORD:TRANSMITTANCE=.363

*

*

*-----Murs Internes-----

*

*

WALL=CLOISON

AREA=21.289:ADJACENT=PRINCIPALE:FRONT:COUPLING=0.

*

*

WALL=BETON_PISCINE

AREA=8.967:ADJACENT=PISCINEEAU:FRONT:COUPLING=0.

*

WALL=CLOISON

AREA=28.385:INTERNAL

*

*-----Planchers et plafonds-----

*

*Plafond entre Principale et chambres sous-sol
WALL=PLAFOND_SUSPENDU
AREA=45.026:ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=0.

*
*

WALL=PLANCH_SOUS_SOL
AREA=45.408:BOUNDARY=INPUT TSOILH:COUPLING=0.

*
*-----Regime-----

REGIME

*
INFILTRATION=SOUS_SOL
GAIN=CHAUFFE_EAU:SCALE=1.
HEATING=SOUS_SOL
CAPACITANCE=2724. : VOLUME=110.8
TINITIAL=21. : WINITIAL=.0065 :WCAPR=1.

*
*

*=====PISCINEEAU=====

*
*

ZONE PISCINEEAU

*
*

*-----Sud-----

*
*

WALL=PISCINE_EXT
AREA=4.79:BOUNDARY=INPUT TSOILV:COUPLING=0.

*

*Cette fenetre represente l'apport d'énergie solaire dans l'eau de
*la piscine. Les pertes par cette fenetre sont cependant nulle. La
*transmittance est le résultats de la proportion approximative du rayonnement
*absorbé par l'eau vs l'air (.50) X transmittance du verre (.65) X le
*rapport entre la surface vitrée et la surface totale de la fenêtre (.73).

WINDOW=FENEAU
AREA=5.723:ORIENTATION=SUD:TRANSMITANCE=.237

*
*

*-----Est-----

*
*

WALL=PISCINE_EXT
AREA=4.017:BOUNDARY=INPUT TSOILV:COUPLING=0.

*
*

```

*-----Murs Internes-----
*
*
WALL=BETON_PISCINE
  AREA=11.288:ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=0.
*
*
WALL=BETON_PISCINE
  AREA=8.967:ADJACENT=SOUS_SOL:BACK:COUPLING=0.
*
*
*-----Planchers et plafonds-----
*
WALL=PLANCHER_PISCINE
  AREA=12.478:BOUNDARY=INPUT TSOILH:COUPLING=0.
*
*
*-----Regime-----
*
REGIME
*
  GAIN=PERTE :SCALE=-1
  HEATING=PISCINE
  CAPACITANCE=80800. : VOLUME=19.28
  TINITIAL=23.:WINITIAL=.00:WCAPR=1.
*
*
*=====PISCINE AIR=====
*
*
ZONE PISCINEAIR
*
*-----Sud-----
*
WALL=MUR_EXT_BRIQUE
  AREA=2.151:EXTERNAL:ORIENTATION=SUD
*
*
*La transmittance est le résultats de la proportion aproximative du rayonnement
*absorbé par l'air vs l'eau (.50) X transmittance du verre (.65) X le
*rapport entre la surface vitrée et la surface totale de la fenêtre (.73).
WINDOW=FENSUD
  AREA=5.723:ORIENTATION=SUD:TRANSMITTANCE=.237
*
*-----Est-----
*
WALL=MUR_EXT_VINYLE
  AREA=7.731:EXTERNAL:ORIENTATION=EST
*
*

```

```

*-----Internes-----
*
WALL=CLOISON
  AREA=15.652:ADJACENT=PRINCIPALE:BACK:COUPLING=0.
*
*-----Plafonds-----
*Plafond
WALL=PLAF_INCL
  AREA=8.497:EXTERNAL:ORIENTATION=TOIT_SUD
*
*-----Regime-----
*
REGIME
*
  INFILTRATION=PISCINE
  VENTILATION=PISCINE
  GAIN=CHAL:SCALE=1.
  CAPACITANCE=1200. : VOLUME=27.92
  TINITIAL=19.5:WINITIAL=.0065:WCAPR=1.
*
*
*
*****Outputs*****
*
*
OUTPUTS
*
  TRANSFER:TIMEBASE=1.
*
  ZONE=PRINCIPALE
    NTYPES=1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12
*
  ZONE=CHAMBRE
    NTYPES=1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12
*
  ZONE=SOU'S_SOL
    NTYPES=1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12
*
  ZONE=PISCINEEAU
    NTYPES=1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12
*
  ZONE=PISCINEAIR
    NTYPES=1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12
*
  ZONE=GARAGE
    NTYPES=1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12
*
*
  ZONE=PRINCIPALE
  NTYPES=19
*
*
*****Fin*****
END

```

D.2 Deck de TRNSYS utilisé pour la simulation d'Habitasol 2000

```
*****
*
*          MODÉLISATION D'HABITASOL 2000 AVEC TRNSYS          *
*
*****
```

```
ASSIGN HBTS.OUT 33
ASSIGN HBTS.DES 10
ASSIGN HBTS.TRN 11
ASSIGN METEO2.DAT 30
ASSIGN PISC.OUT 31
ASSIGN VENT.OUT 32
ASSIGN CHAUF.OUT 34
ASSIGN GARAGE.OUT 35
ASSIGN GAIN.OUT 36
ASSIGN RAYON.OUT 37
```

```
*
WIDTH 72
SIMULATION 1 10920 1
```

```
*
* Modélisation de la maison. Les données sont dans le fichier
* HBTS.DES et HBTS.TRN.
* Les données météo se trouvent dans METEO2.DAT.
```

```
*-----équations-----
```

```
*
EQUATION 26
```

```
*
*Consigne d'humidité
PHIMAX=50.
```

```
*
*Débit des échangeurs d'air en ACH
VRCM=.33*[12,1]
VRCP=3.87*.80
```

```
*
*Calcul des températures aux surfaces du solage
JOUR=[1.20]/24.+5
TsoilH=14.425+.1635*COS(.986301*(JOUR+18))
TsoilV=7.02+6.05*COS(.986301*(JOUR+130))
```

```
*
*Somme des consommations et déperditions par zone
CHAUF TOT=( [30,1]+[30,2]+[30,3]+[30,4]+[30,5] )/1000.
CONV=( [30,6]+[30,7]+[30,8]+[30,9]+[30,10] )/1000.
INF=( [31,1]+[31,2]+[31,3]+[31,4]+[31,5] )/1000.
VENT=( [31,6]+[31,7]+[31,8]+[31,9]+[31,10] )/1000.
INT=( [32,1]+[32,2]+[32,3]+[32,4]+[31,5] )/1000.
SOLA=( [32,6]+[32,7]+[32,8]+[32,9]+[32,10] )/1000.
PUIS=( [70,2]+[70,14]+[70,26] )/1000.
GAINS=( [70,7]+[70,19]+[70,31] )/1000.
```

*Calcul de moyennes mensuelles de temperature

TEAUMOY=[70.37]/730.

T.AIRMOY=[70.49]/730.

HRMOY=[17.6]/730

*

*Calcul des échanges à la surface de l'eau

RHOSAT=[18.4]-[18.5]

RHOINF=[17.4]-[17.5]

EVAP=[2.48*3.5*(RHOSAT-RHOINF)

CHAL=12.48*30.*([70.37]-[70.49])

PERTE=CHAL+EVAP*2454.

*

*Taux d'infiltration

FACTEUR=.60

INFPRINC=.2279*FACTEUR

INFSSOL=.4162*FACTEUR

INFCHBRE=.885*FACTEUR

*

UNIT 15 TYPE 14 VARIATION DE RHO (Forcing Function)

PARAMETER 12

0 .7 1776 .7 1776 .2 7656 .2 7656 .7 8760 .7

*

UNIT 16 TYPE 14 VARIATION DE LA CONSIGNE DE LA PISCINE

PARAMETER 36

0 24.1 744 24.1 744 24.5 1416 24.5 1416 21.7 2136 21.7

2136 23. 2880 23. 2880 25. 5808 25. 5808 24.2 6552 24.2

6552 20.3 7272 20.3 7272 25.2 8016 25.2 8016 22.5 8760 22.5

*

*-----Lecture des données-----

*

UNIT 1 TYPE 9 CARD DATA READER

PARAMETER 13

7. 1. 5. 1. 0. 6. 1. 0. -7. 1. 0. 30. 0

*

*-----Calcul du rayonnement-----

*

UNIT 20 TYPE 16 SOLAR RADIATION PROCESSOR #1 (Ouest, Sud, Est, Nord)

PARAMETER 8

4. 1. 1. 1. 45.5, 4870. 1.4 , 1

INPUT 12

1.7 1.19 1.20 15.1

0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

0 0 0 .7

90 80 90 -10. 90 -100 90 170

*

*

UNIT 21 TYPE 16 SOLAR RADIATION PROCESSOR #2 (Toit Sud, Toit Nord)

PARAMETER 8

4. 1. 1. 1. 45.5, 4870. 1.4. 1

INPUT 8

1.7 1.19 1.20 15.1 0.0 0.0 0.0 0.0

0 0 0 .7 18.5 -10. 18.5 170.

*

```

*
UNIT 22 TYPE 34   Sombrero
PARAMETER 15
2.085 7.630
.9 .6 0. 0.
0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0.
-10.
INPUT 6
20.2 20.3 20.4 20.5 20.12 15.1
0. 0. 0. 0. 0. 0.7

```

```

*
*-----Maison-----
*

```

```

UNIT 70 TYPE 56   Habitasol
PARAMETERS 2
* Unites Logiques
10 11
INPUTS 23
* Temperature
* Humidite absolue
* Rayonnement (8X)
* Venmar maison (debit)
* Temperature Sol paroi horizontale
* Temperature Sol paroi verticale
* Temperature ventilation maison
* Evaporation (kg)
* Echange convectif a la surface de l'eau
* Venmar piscine (debit)
* Temperature ventilation (piscine)
* Perte d'energie de l'eau vers l'air
* Temperature de consigne de la piscine
1.5 11.1 20.6 20.11 20.14 20.17 21.6 21.11 22.1 0.0
VRCM TSOILH TSOILV 14.3 EVAP CHAL VRCP 10.3 PERTE 16.1
INFPRINC.INFSSOL,INFCHBRE
0. .0001 0 0 0 0 0 0 0 0
0 -5. -5. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 24.1
.2279 .4162 .885

```

```

*
*-----Contrôles-----
*

```

```

UNIT 12 TYPE 2   Humidistat Maison
PARAMETER 3
3 2 -2
INPUT 3
13.6 PHIMAX 12.1
20 50 0
*

```

```

*
UNIT 13 TYPE 33   Humidité intérieure (Principale)
PARAMETER 3
+ 1 1
INPUT 2
* Température ambiante et w
70.1   70.9
15     .0035
*
*
UNIT 17 TYPE 33   Humidité intérieure (Piscine)
PARAMETER 3
+ 1 1
INPUT 2
* Température ambiante et w
70.49  70.57
20     .0065
*
*
UNIT 18 TYPE 33   Humidité saturation (Piscine)
PARAMETER 3
2 1 1
INPUT 2
* Température ambiante et w
70.37  0,0
25     100
*
*
UNIT 11 TYPE 33   Humidité Extérieure
PARAMETER 3
2 1 1
INPUT 2
1.5    1.6
0      0
*
*
UNIT 14 TYPE 5    Recupérateur de chaleur (maison)
PARAMETER 4
4 .70  1.012  1.012
INPUT 4
70.13  VRCM  1.5  VRCM
0.     0.    0.    0.
*
*
UNIT 10 TYPE 5    Recupérateur de chaleur (piscine)
PARAMETER 4
+ .70  1.012  1.012
INPUT 4
70.49  VRCP  1.5  VRCP
0.     0.    0.    0.
*

```

**-----Intégrateurs-----

**

UNIT 30 TYPE 24 INTEGRATOR Chauffage et Convectif
PARAMETER 1

730

INPUT 10

70.2	70.14	70.26	0.0	0.0
70.3	70.15	70.27	70.39	70.51
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

**

UNIT 31 TYPE 24 INTEGRATOR Infiltration et Ventilation
PARAMETER 1

730

INPUT 10

70.4	70.16	70.28	70.40	70.52
70.5	70.17	70.29	70.41	70.53
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

**

*

UNIT 32 TYPE 24 INTEGRATOR Gains internes et solaire
PARAMETER 1

730

INPUT 10

70.7	70.19	70.31	70.43	70.55
70.12	70.24	70.36	70.48	70.60
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

**

*

UNIT 33 TYPE 24 INTEGRATOR Moyennes mensuelles + Chauffe-piscine
PARAMETER 1

730

INPUT 6

TEAUMOY	TAIMROY	HRMOY	70.38	12.1	70.62
0	0	0	0	0	0

**

UNIT 34 TYPE 24 INTEGRATOR Nb d'heure par jour
PARAMETER 1

24

INPUT 1

12.1

0

**

*-----Printers-----

*

UNIT 40 TYPE 25 PRINTER Valeurs totales ou moyennes pour chaque mois

PARAMETER 4

730 730 17520 33

INPUT 7

CHAUF TOT 33.4 33.1 33.2 33.3 33.5 33.6

HTOTAL CHPISC TeauMoy TairMoy HRMoy VENT GARAGE

*

*

UNIT 41 TYPE 25 PRINTER (Heure par heure pour la piscine)

PAR 4

1 8761 10920 31

INPUT 8

70.37 70.38 70.49 70.55 17.6 evap chal perte

TEAU CHPISC TAIR GAIN HR evap chal perte

*

*

UNIT 42 TYPE 25 PRINTER Jour par jour, ventilation maison

PAR 4

24 8760 17520 32

INPUT 1

34.1

NBHR

*

**

*UNIT 43 TYPE 25 PRINTER (Heure par heure pour le garage)

*PAR 4

*1 8760 11640 35

*INPUT 2

*70.62 70.61

*CHGAR TEMP

**

*

UNIT 44 TYPE 25 PRINTER (Heure par heure pour le CHAUFFAGE)

PAR 4

1 2161 10920 34

INPUT 6

PUIS 70.1 70.13 70.25 TSOILH TSOILV

CHTOT TPRINC TSSOL TCHAMBRE TSOILH TSOILV

*

**

*UNIT 45 TYPE 25 PRINTER (Heure par heure pour les GAINS)

*PAR 4

*1 1 730 36

*INPUT 4

*GAINS 70.7 70.19 70.31

*TOTAL PRINC SSOL CHAMBRE

**

```
**
*UNIT 46 TYPE 25 PRINTER (Heure par heure pour le Rayonnement)
*PAR 4
*1 1 2160 37
*INPUT 4
*1.7 20.4 20.11 22.1
*Total Total Sud Sombrero
**
**
*UNIT 47 TYPE 25 PRINTER Affichage de suivi
*PAR 1
*1000
*INPUT 1
*PUIS
*PUIS
**
```

```
END
```

ANNEXE E

Graphiques des comparaisons entre résultats obtenus par simulation et valeurs mesurées

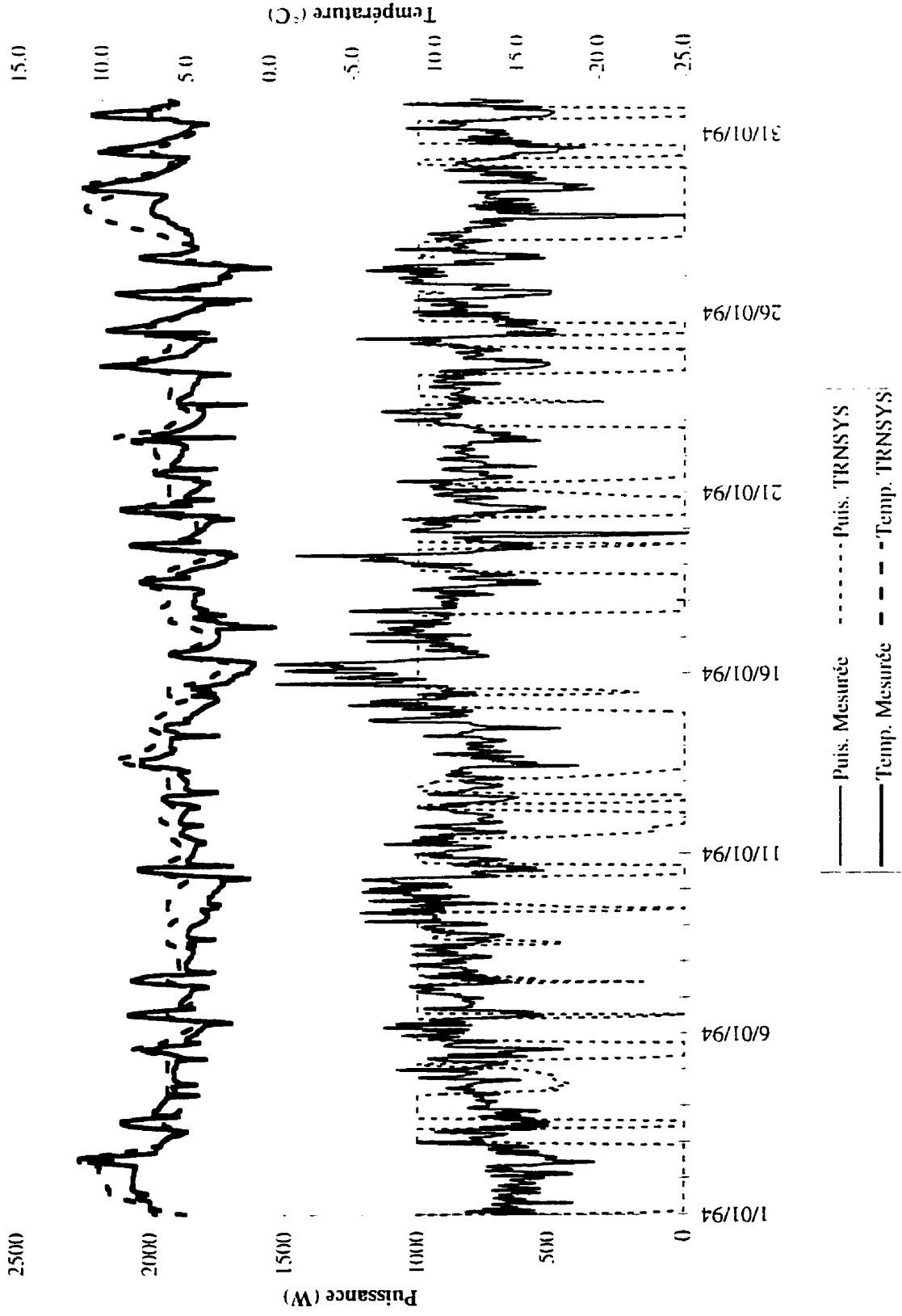


Figure E1 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitatosol pour le mois de janvier 94.

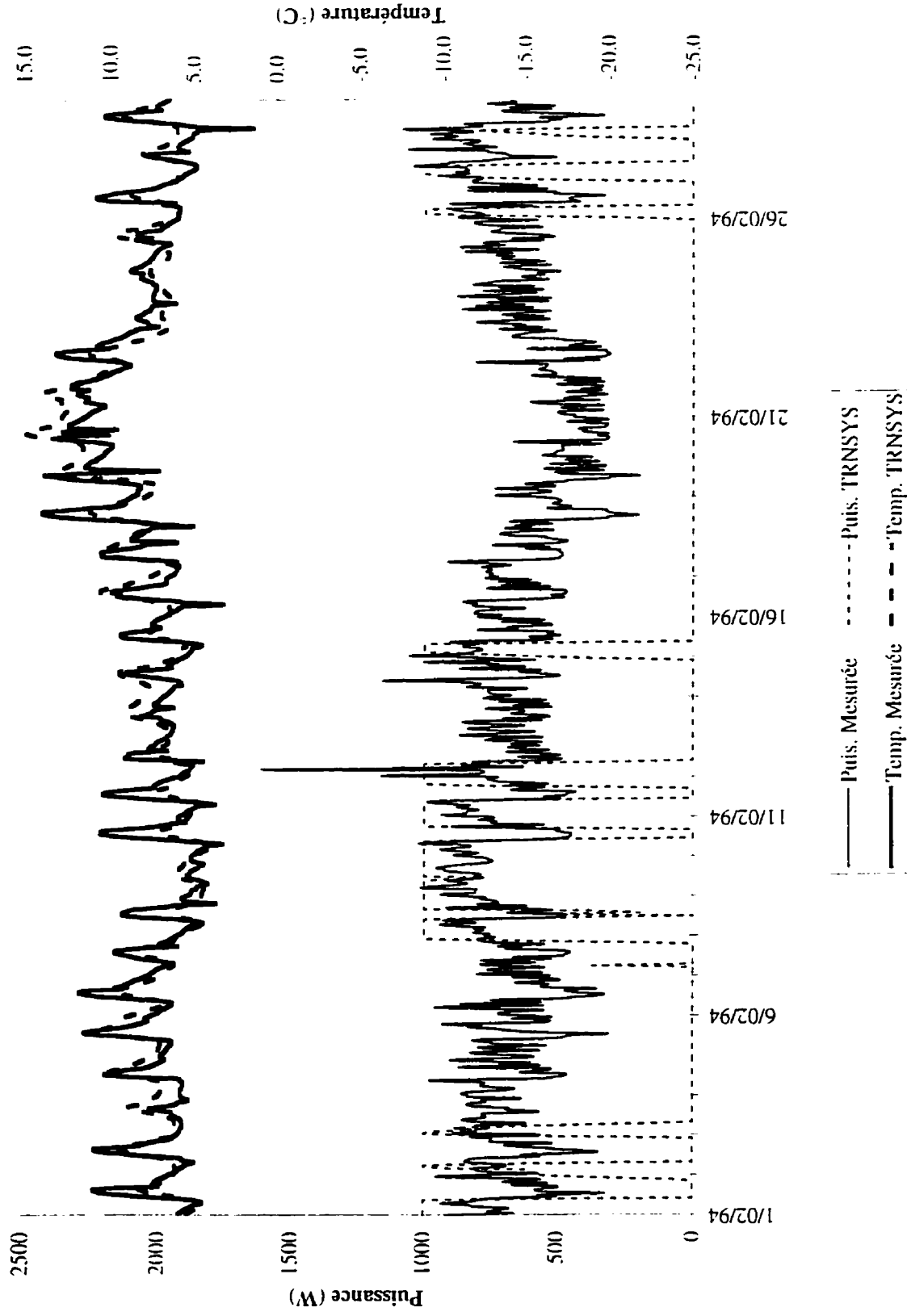


Figure E2 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de février 94.

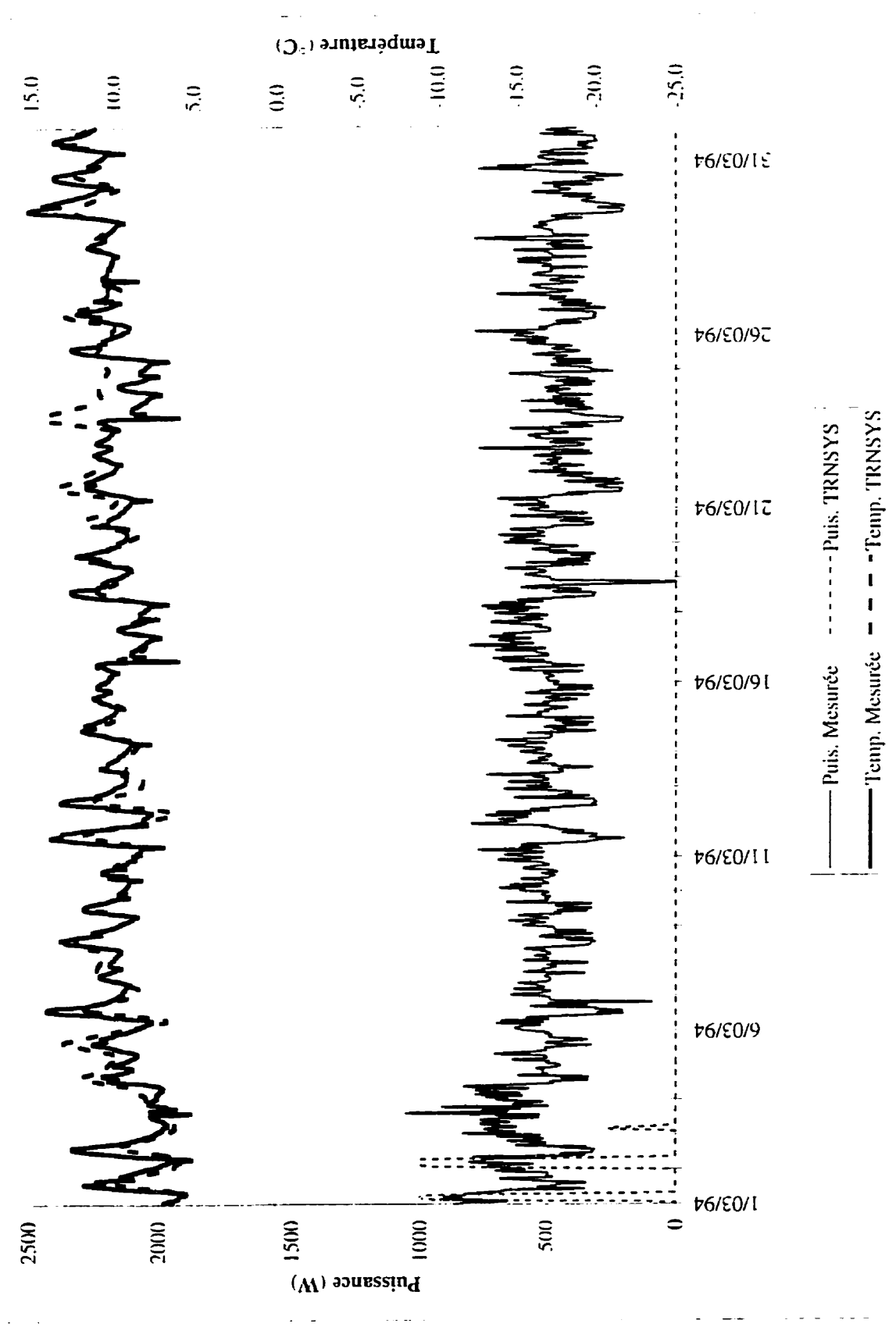


Figure E3 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage du garage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de mars 94.

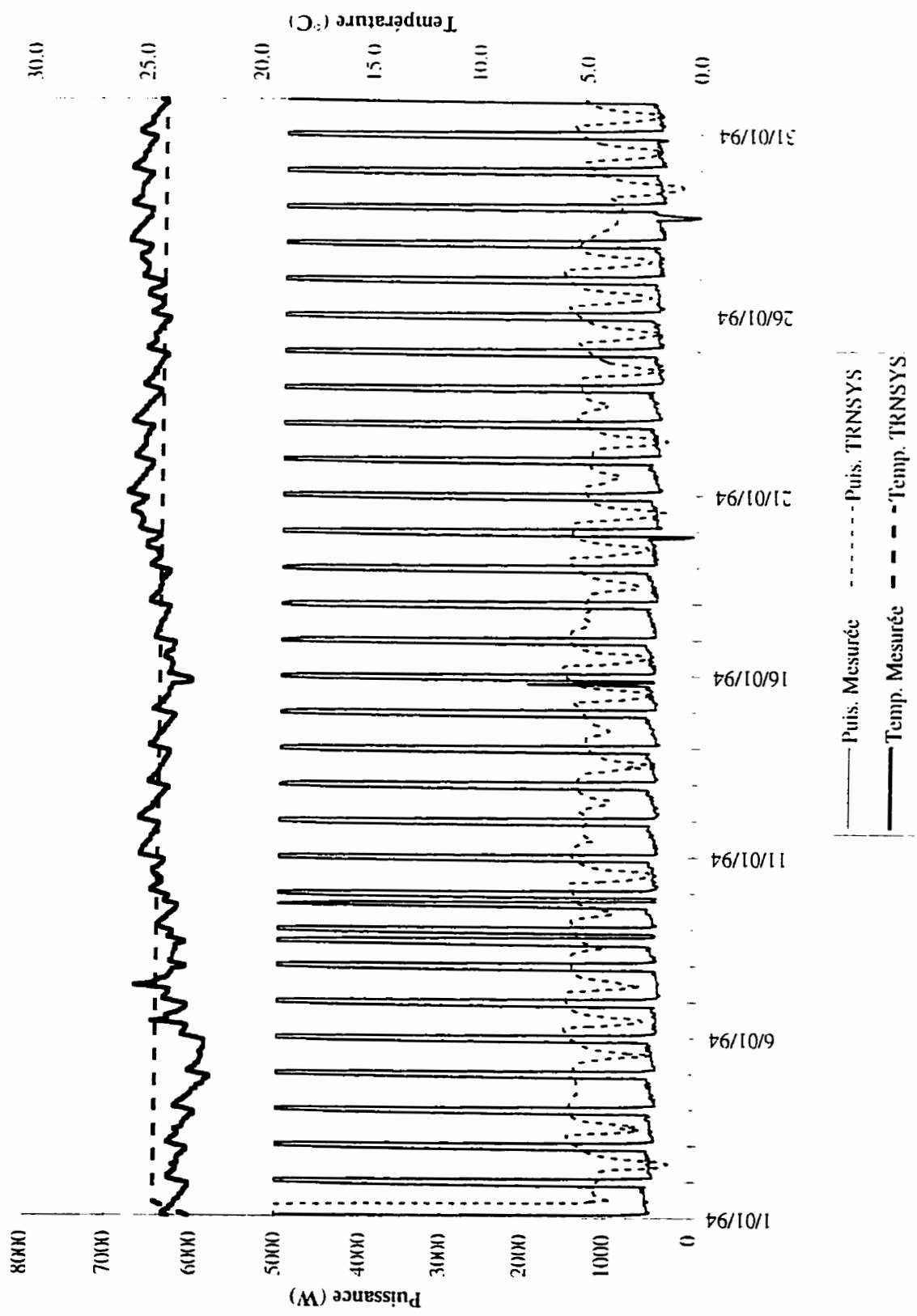


Figure E4 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitatsol pour le mois de janvier 94.

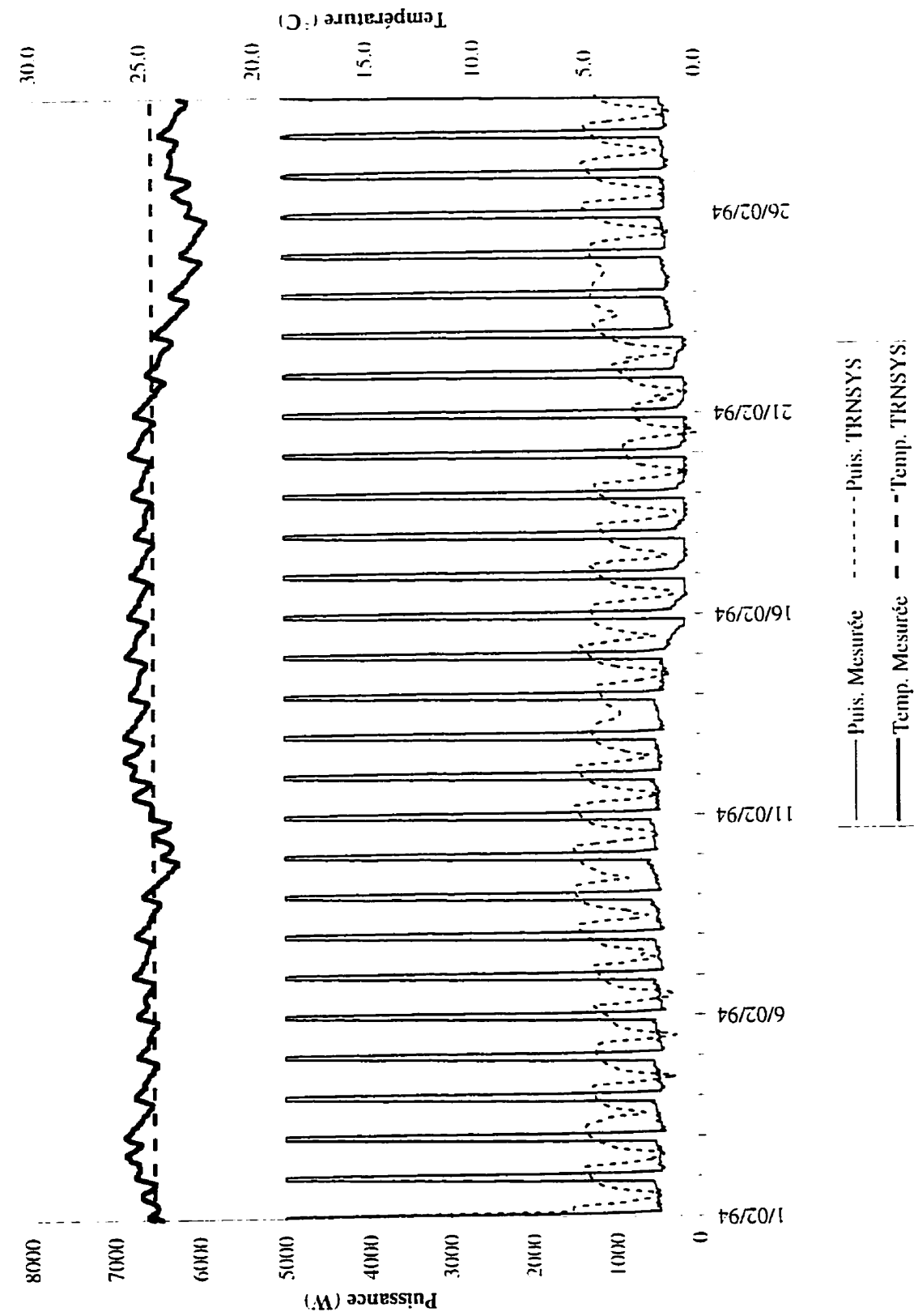


Figure E5 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de février 94.

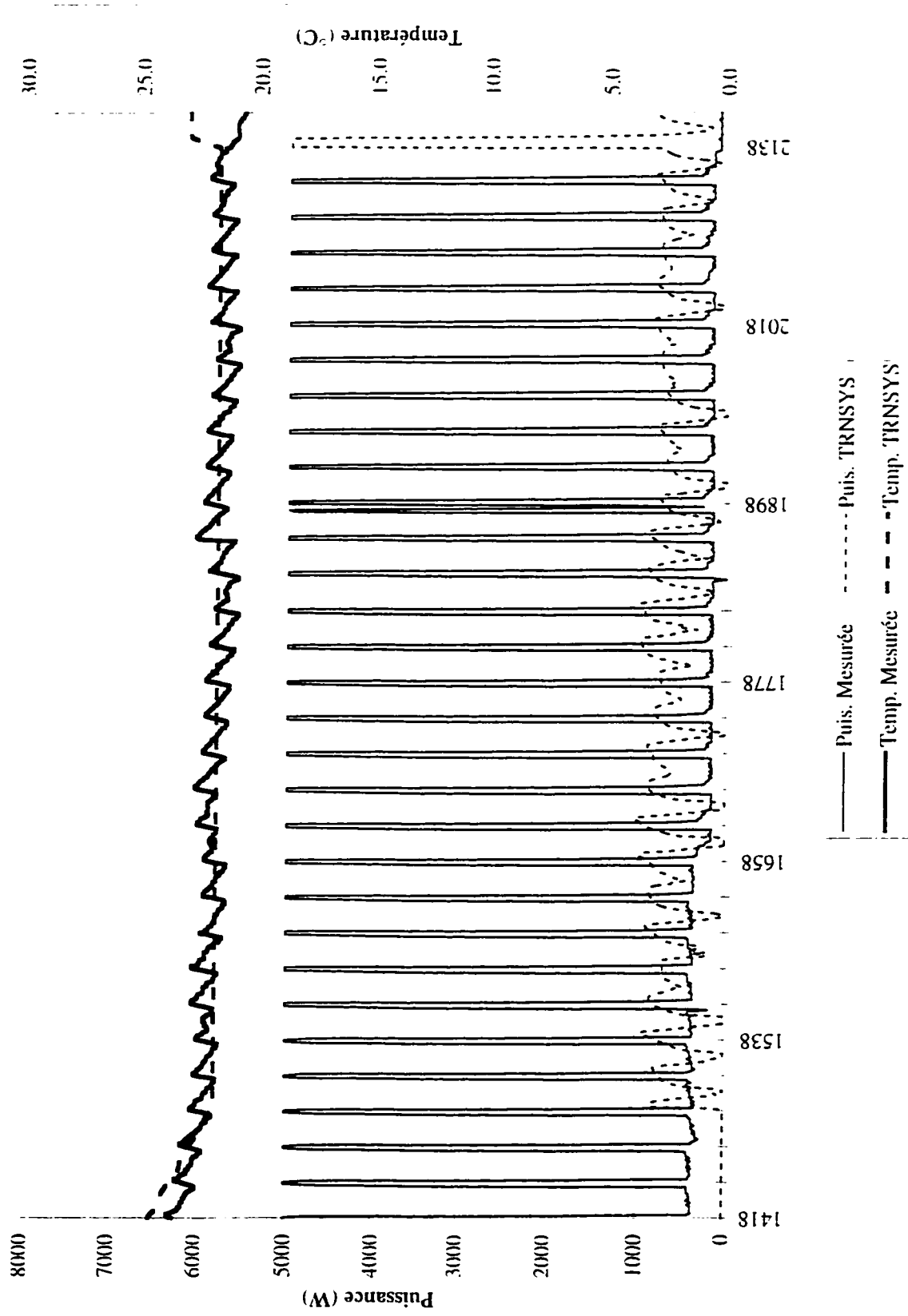


Figure E6 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage de l'eau de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol pour le mois de mars 94.

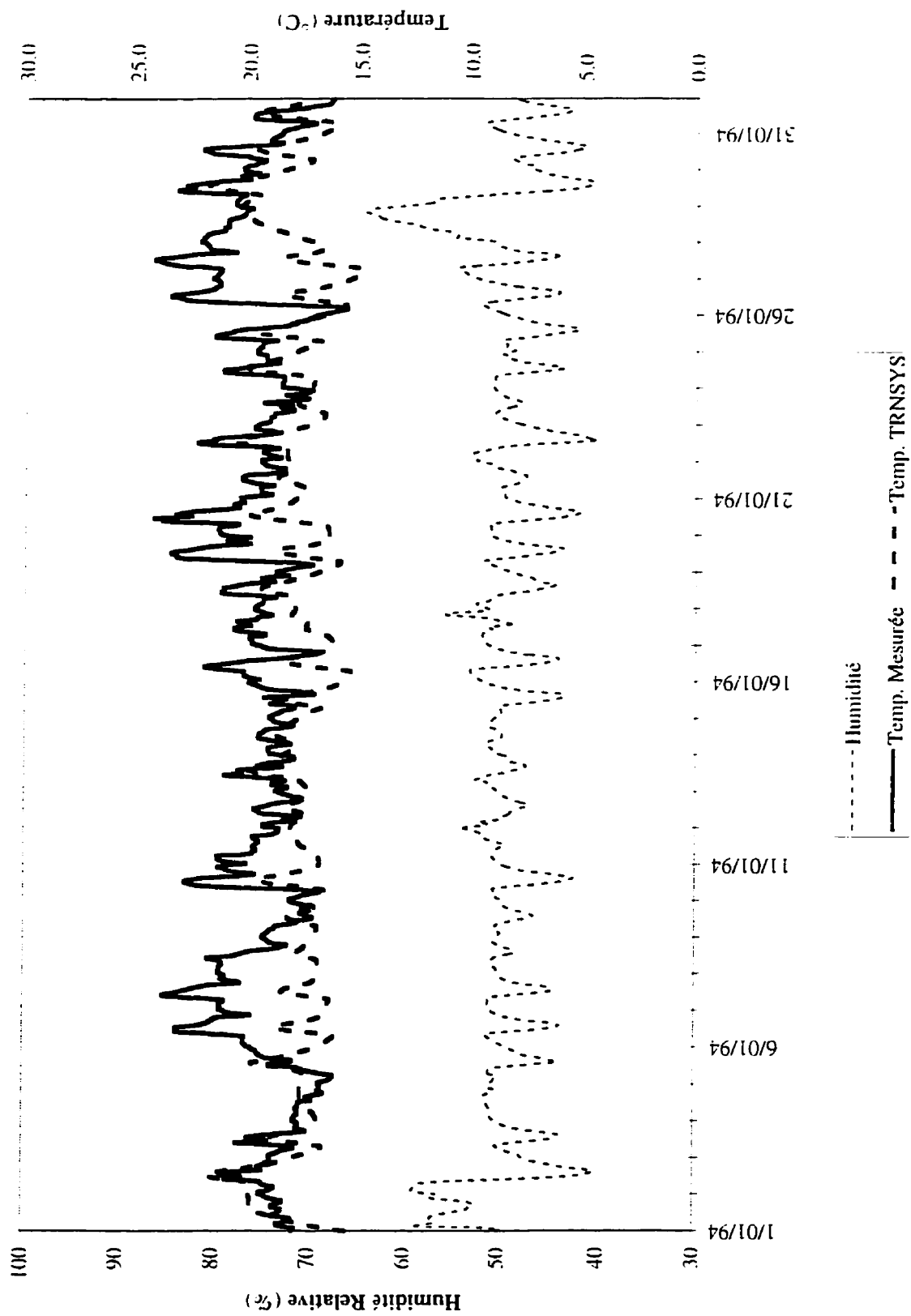


Figure E7 : Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de janvier 94.

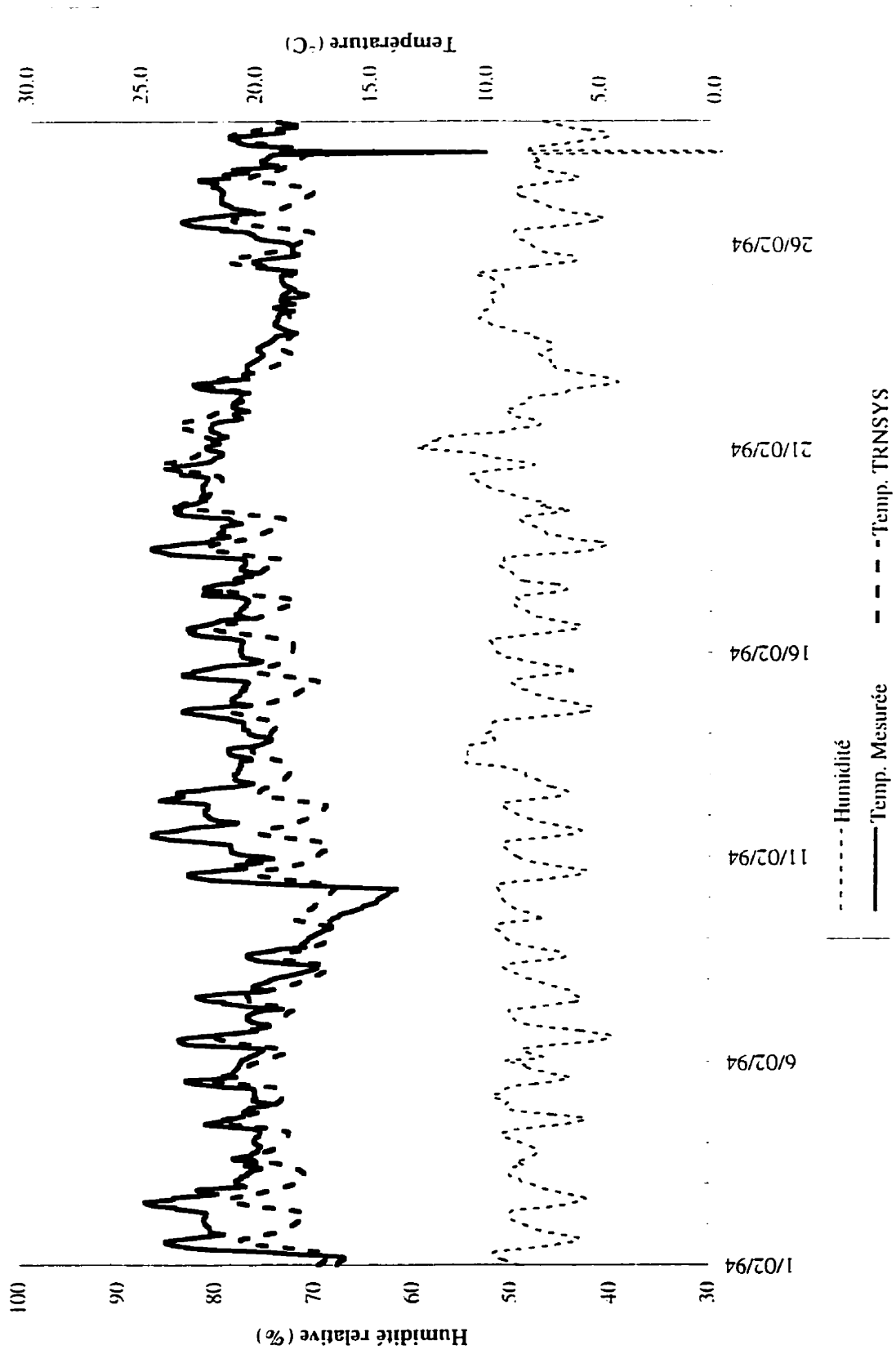


Figure E8 : Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesuré chez Habitasol, pour le mois de février 94.

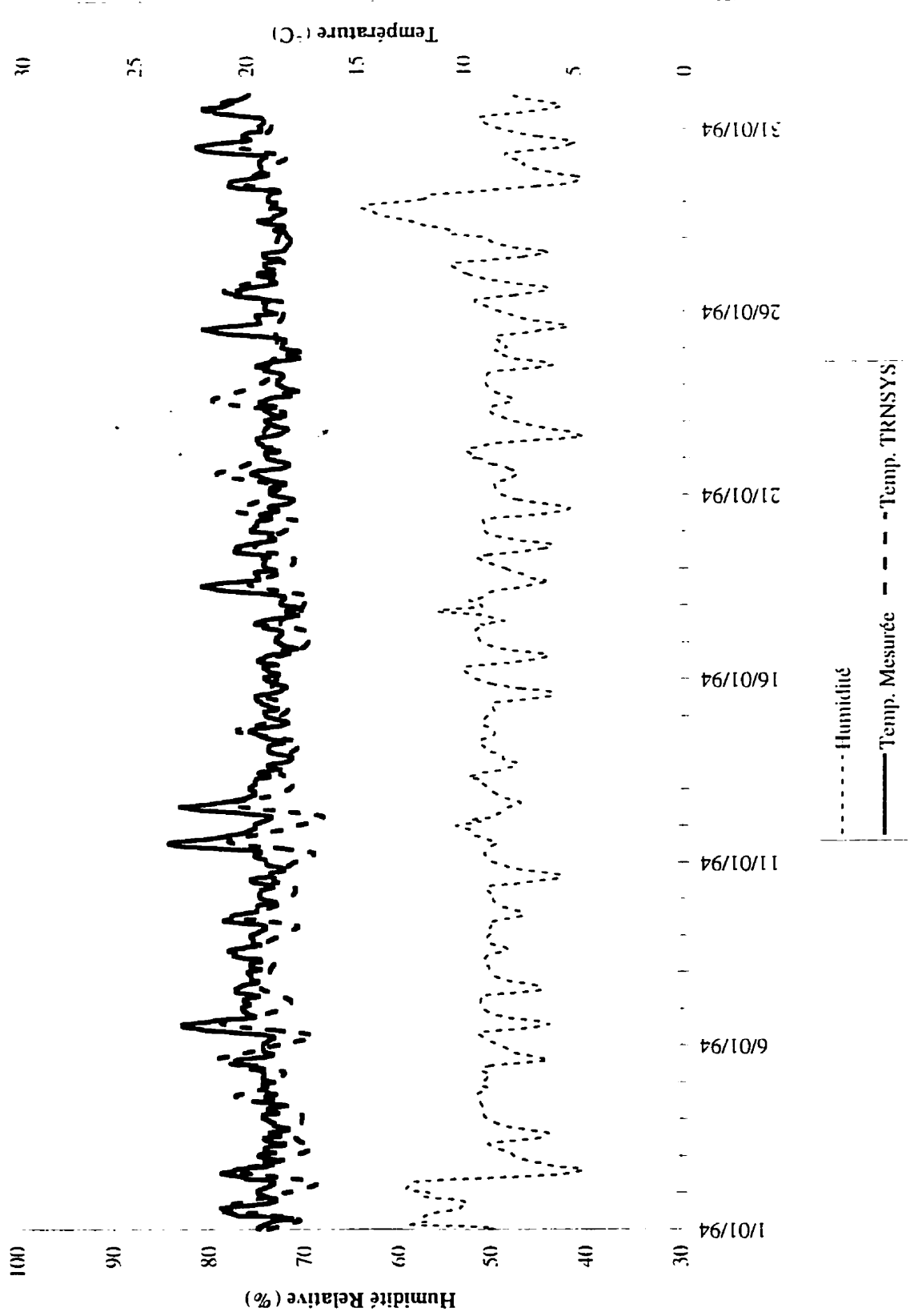


Figure E9 : Comparaison des valeurs de température et d'humidité relative de l'air de la piscine obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesuré chez Habitasol, pour le mois de mars 94.

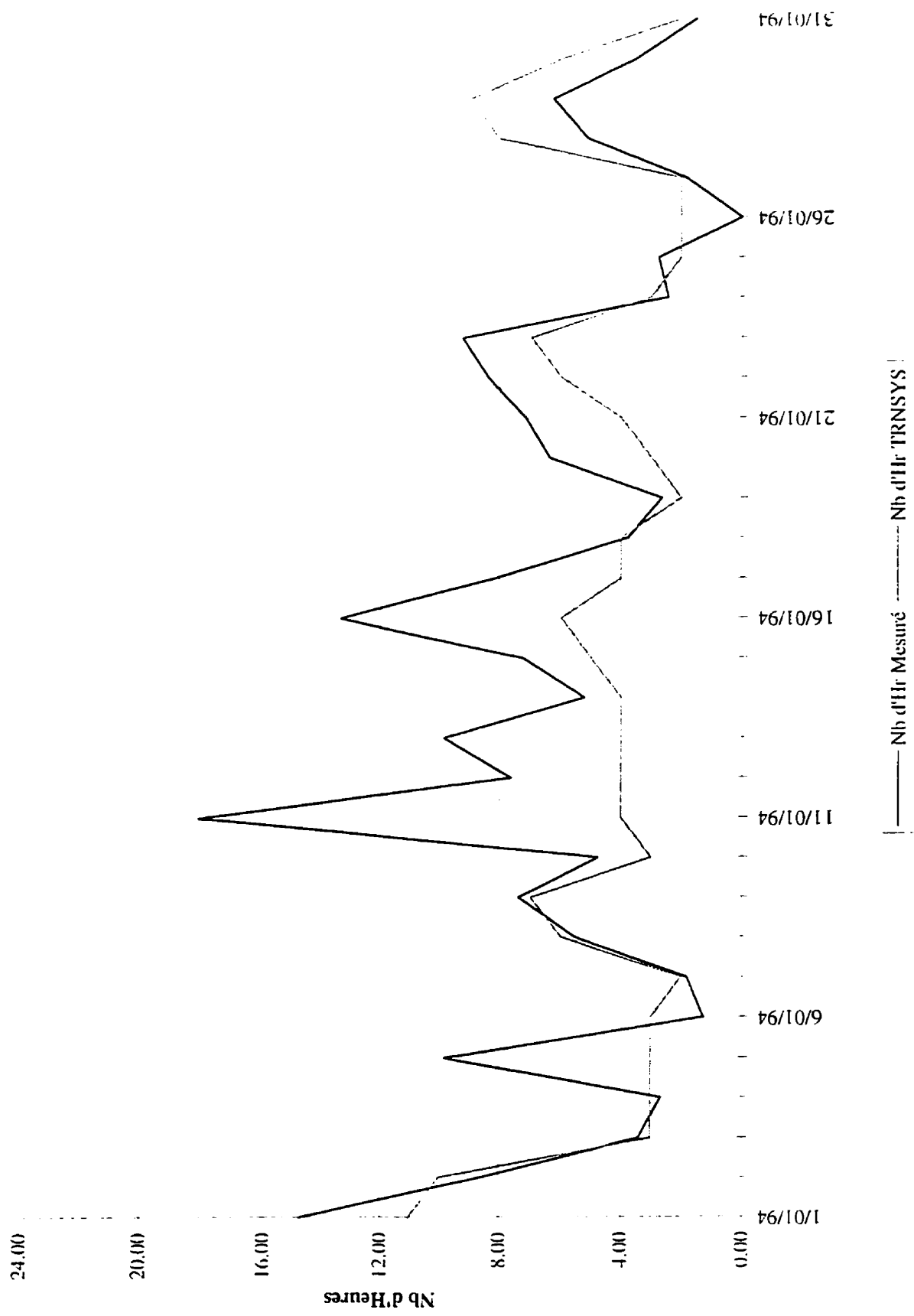


Figure E.10 : Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRNSYS avec celui mesuré chez Habitasol, pour le mois de janvier 94

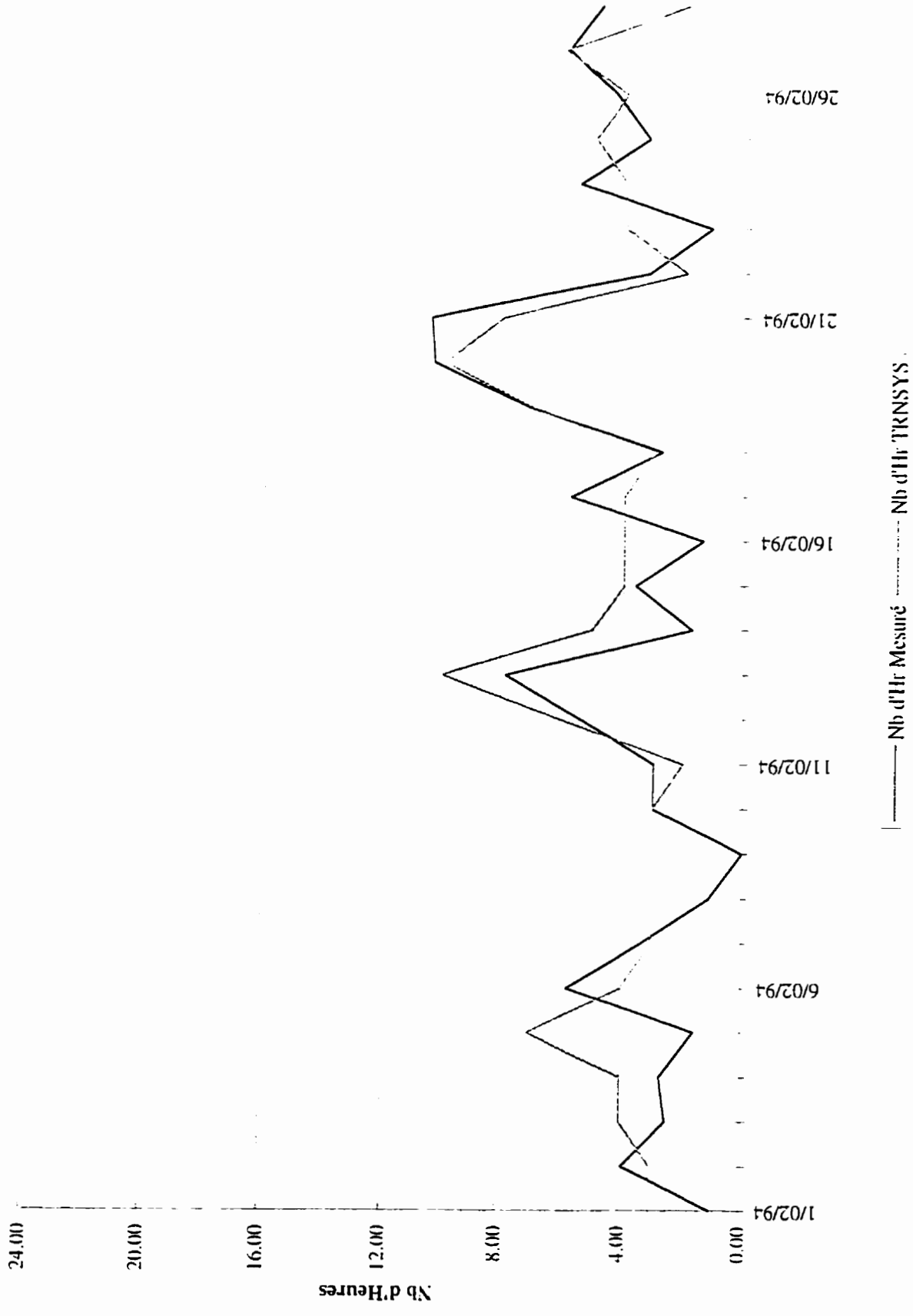


Figure E11 : Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRANSYS avec celui mesuré chez Habitasol, pour le mois de février 94

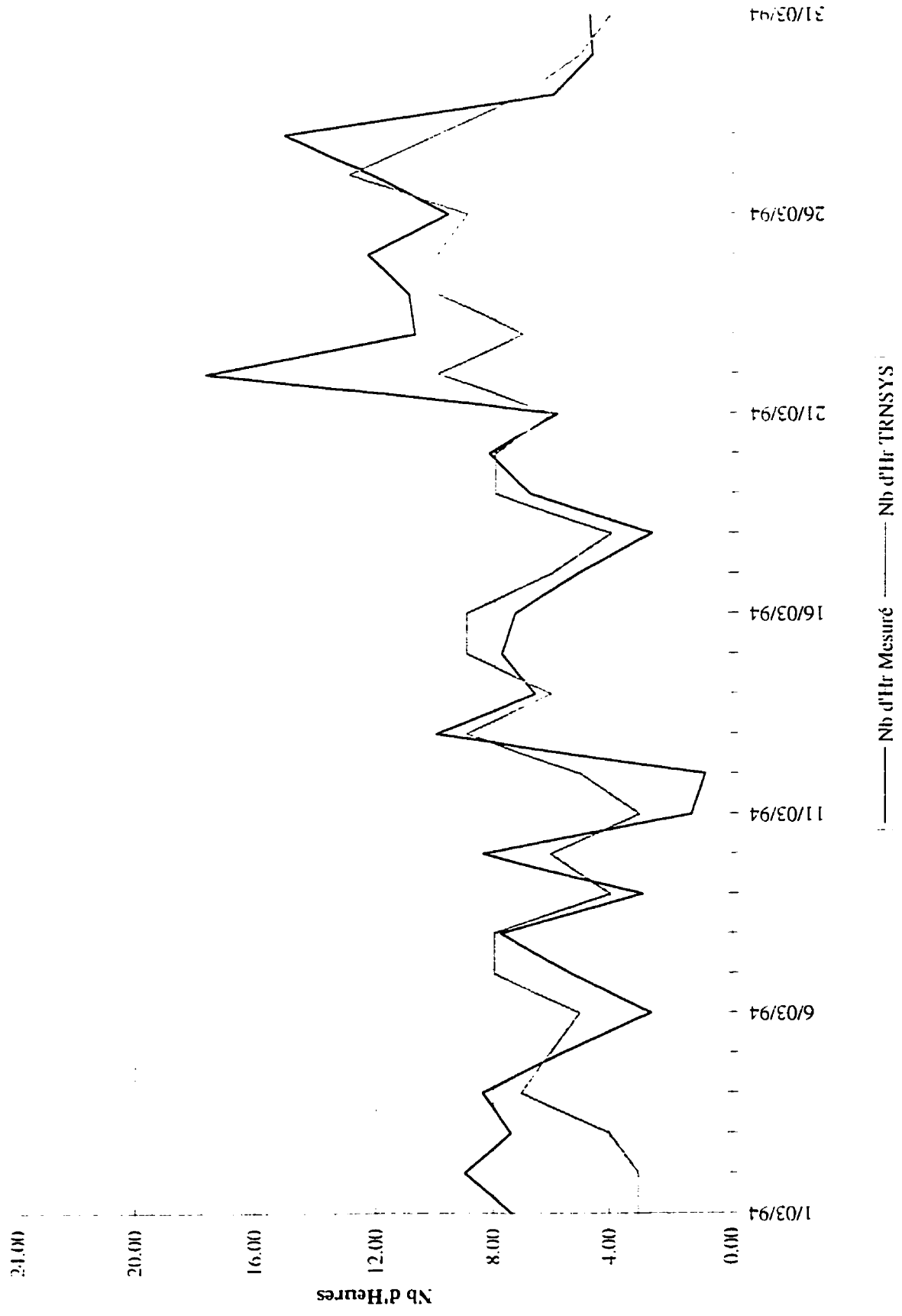


Figure E12 : Comparaison du nombre quotidien d'heures de ventilation obtenu par simulation avec TRNSYS avec celui mesuré chez Habitasol, pour le mois de mars 94

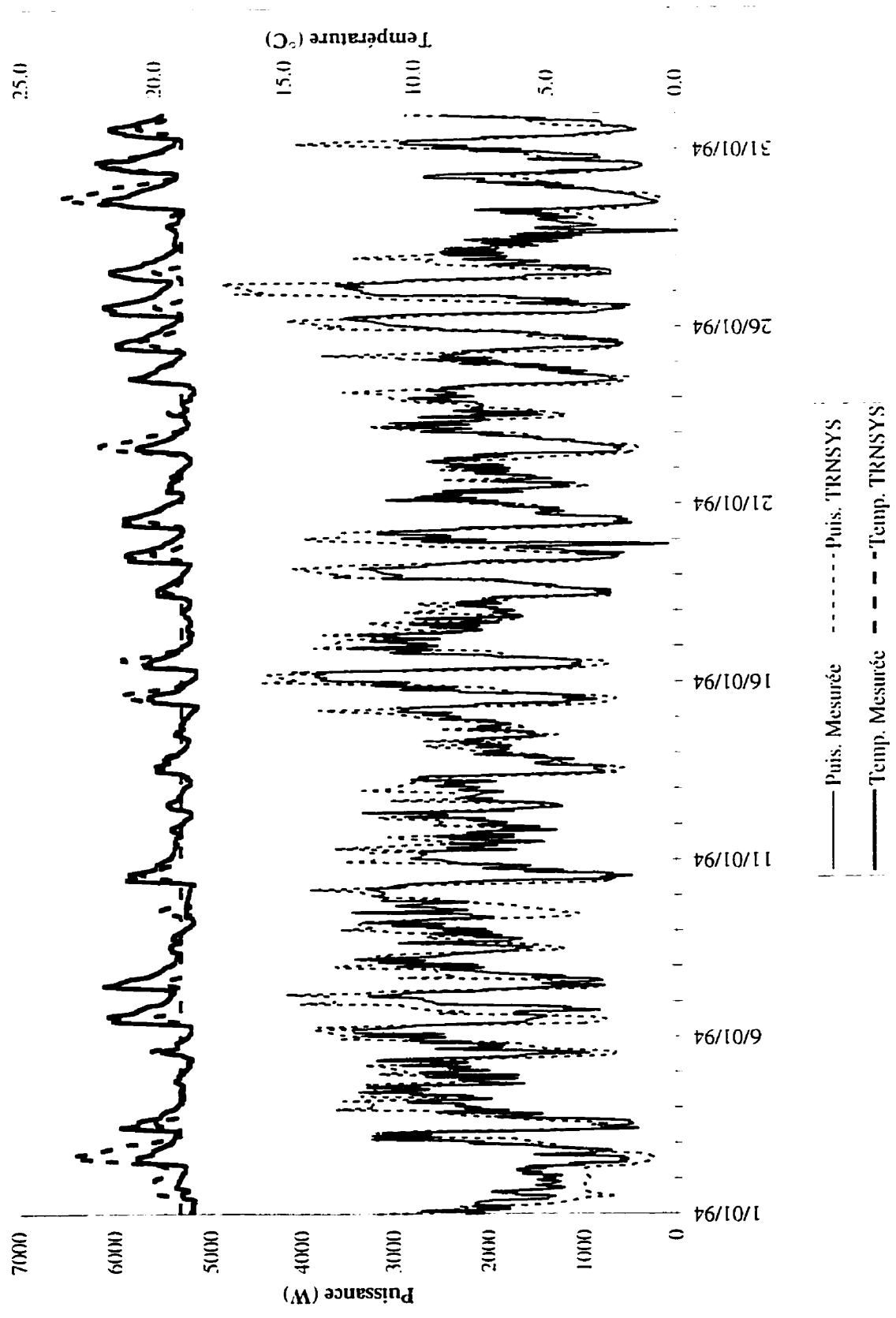


Figure E13 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de janvier 94

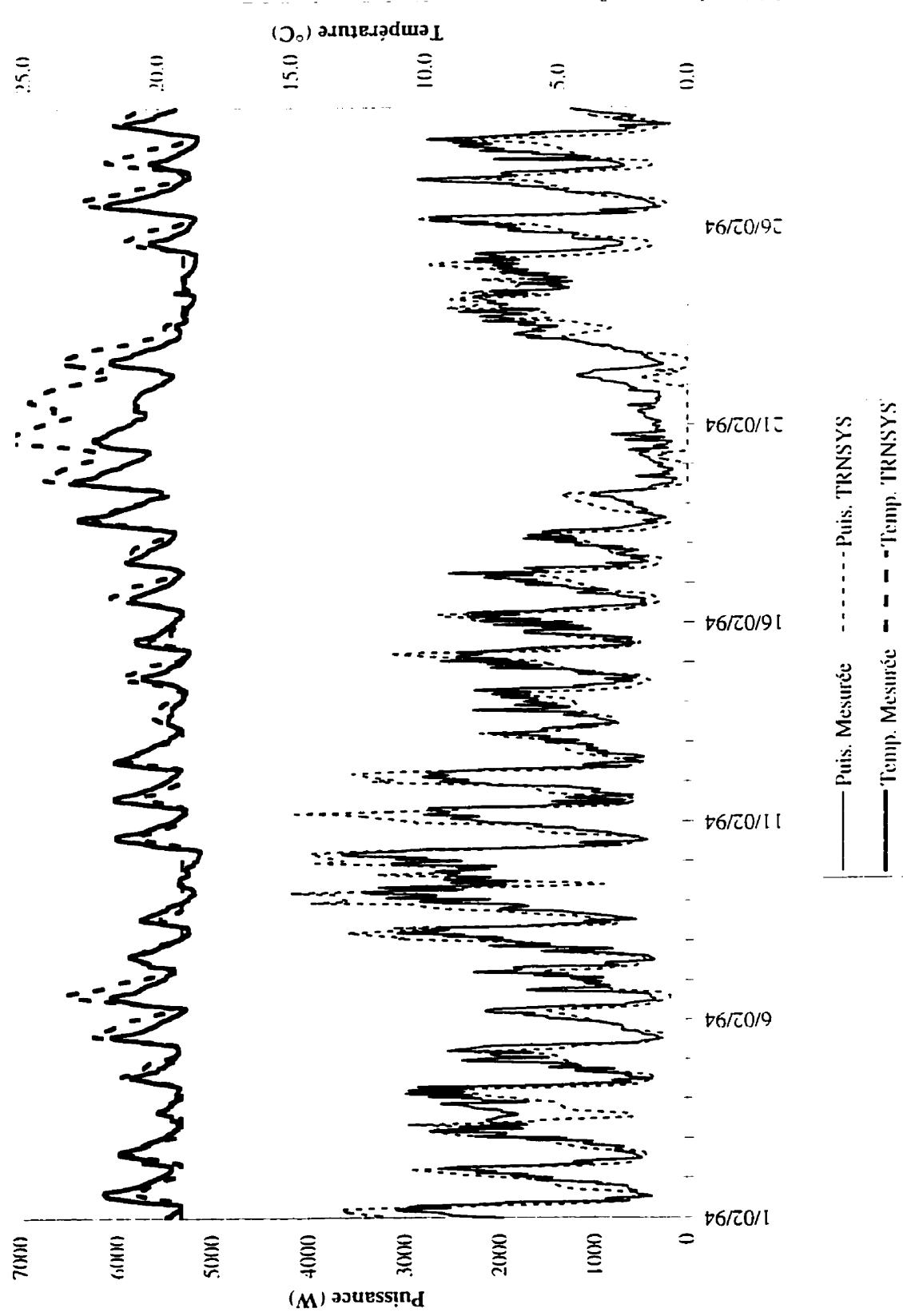


Figure E14 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de février 94

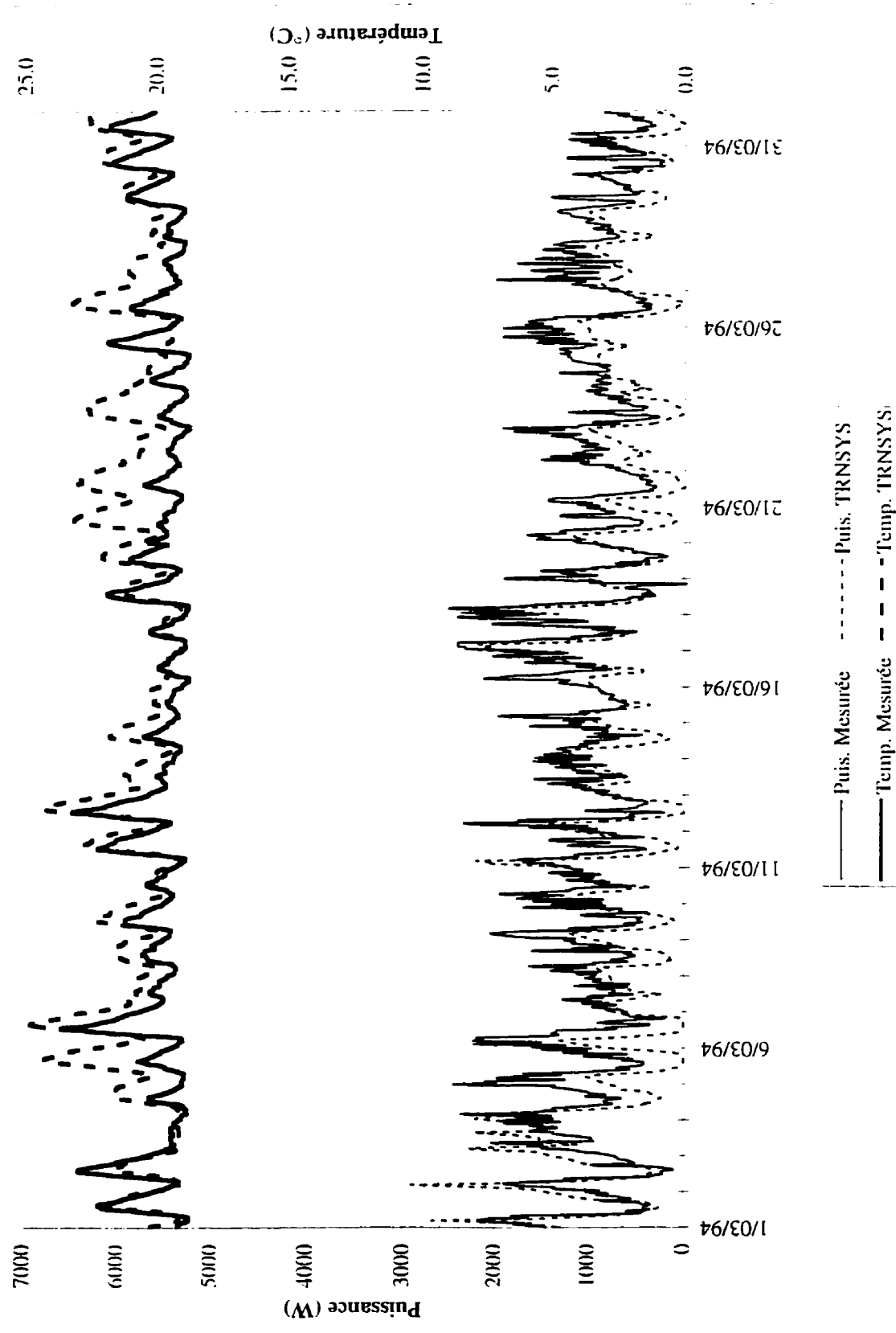
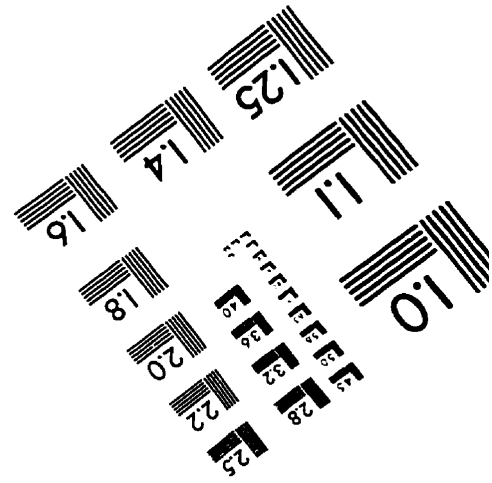
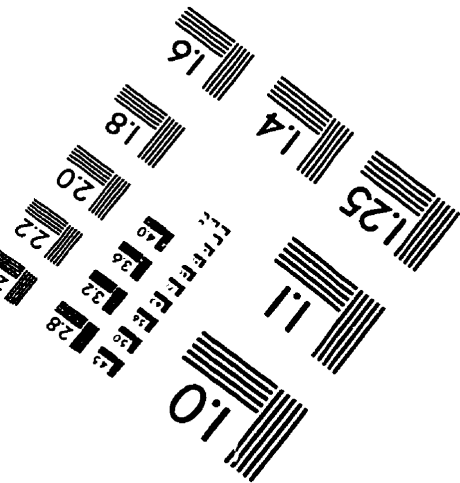
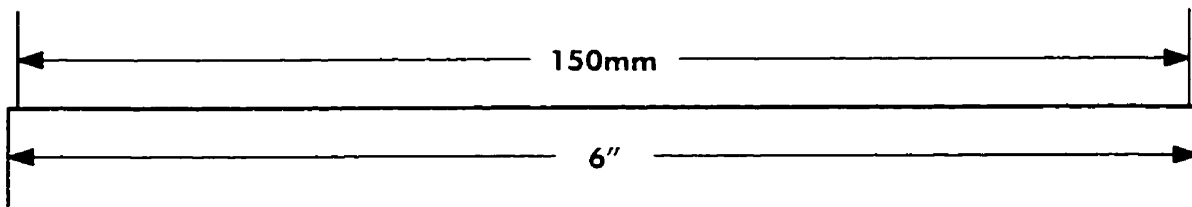
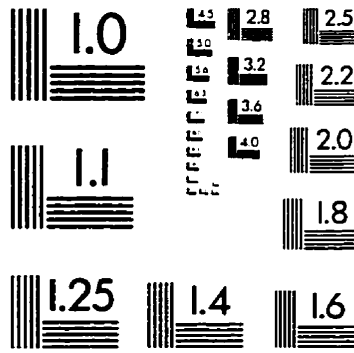
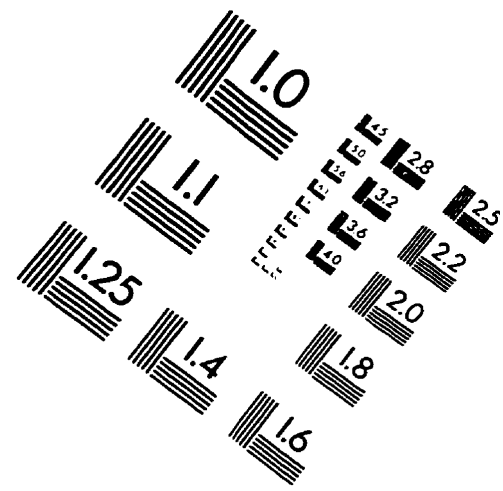
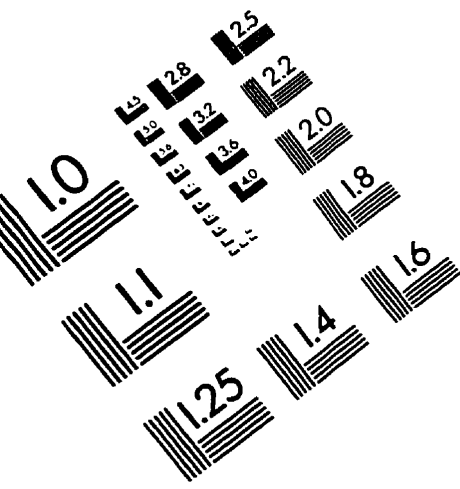


Figure E15 : Comparaison des valeurs de température et de puissance de chauffage obtenues par simulation avec TRNSYS avec celles mesurées chez Habitasol, pour le mois de mars 94

BIBLIOGRAPHIE

1. MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES DU QUÉBEC. *L'Énergie au Québec. Édition 92*. Charlesbourg, Canada. 1992.
 2. HYDRO-QUÉBEC. *Comportements énergétiques des ménages québécois 1990 Volume 2 : Analyses de segmentation et de consommation*. Canada. Novembre 1992.
 3. OMEGA ENGINEERING. *Omega complete temperature Measurement Handbook and encyclopedia*. Stamford. États-Unis. Vol. 27
 4. M. OUZZANE et N. GALANIS. Modélisation et simulation de la performance énergétique d'Habitasol 2000 à l'aide du logiciel Hot 2000, Faculté des Sciences appliquées. Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Canada, mars 94
 5. S. A. KLEIN, P. I. COOPER, T. L. FREEMAN, D.M. BEEKMAN, W.A. BECKMAN ET J.A. DUFFIE. "A method of simulation of solar process and its application". *Solar Energy*, Grande-Bretagne. vol. 17. (1975), pp. 29-37
 6. S. A. KLEIN, W.A. BECKMAN ET J.A. DUFFIE. "TRNSYS-A transient simulation program". *ASHRAE Transactions*. États-Unis. vol. 82. partie 1. (1976)
 7. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. *1993 ASHRAE Handbook Fundamentals, SI Edition*, Atlanta. États-Unis, 1993.
 8. SOLAR ENERGY LABORATORY.. *TRNSYS. A transient system simulation program*. University of Wisconsin-Madison. Madison. États-Unis, Septembre 1990.
 9. S.V. PATANKAR. *Computation of Conduction and Duct Flow Heat Transfer*, Maple Grove. États-Unis. Innovative Research, 1991.
 10. F. P. INCROPERA ET D.P. DEWITT. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, États-Unis, 3^e éd..John Wiley & Sons. 1990
 11. M. Nicole, *Évaluation de la performance thermique d'Habitasol-2000 et de la maison de Vence, France*, Faculté des Sciences appliquées. Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Canada
-

IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE, Inc
 1653 East Main Street
 Rochester, NY 14609 USA
 Phone: 716/482-0300
 Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved