PETv4.2
LES PROFILS D'ÉQUILIBRE THERMIQUE COMME OUTIL D'AIDE À LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

André POTVIN*, Claude DEMERS, Hugues BOIVIN

GRAP (Groupe de recherche en ambiances physiques), École d'architecture
Université Laval, (Québec), Canada, G1K 7P4
Tél.: (418) 656 2131 ext: 4814, Fax: (418) 656 2785
andre.potvin@arc.ulaval.ca

RÉSUMÉ

Cet article introduit la notion d'équilibre thermique d'un bâtiment comme outil d'aide à la conception architecturale bioclimatique. Les caractéristiques du climat, l'occupation, et la forme architecturale peuvent ainsi être utilisées afin de déterminer des profils de chauffage et de refroidissement journaliers sur une base annuelle permettant de mieux intégrer les stratégies architecturales de contrôle de l'environnement à l'étape de design préliminaire d'un projet. La vulgarisation du comportement thermique complexe d'un bâtiment dans l'enseignement de l'architecture en atelier et lors de nombreux projets de consultation menés par les auteurs est à l'origine du développement de cet outil. La structure 'itérative' du logiciel PETv4.2 est présentée et discutée à travers un exemple concret d'étude thermique pour le Pavillon touristique et environnemental de la Roche d'Oëtre en Normandie. La notion d'équilibre thermique apparaît donc très appropriée à la démarche de conception architecturale car elle considère le bâtiment comme une interface dynamique des transactions thermiques intérieures-extérieures.

INTRODUCTION

L'équilibre thermique d'un bâtiment est défini comme étant la température extérieure à laquelle les gains thermiques internes du bâtiment équilibrent les pertes thermiques pour maintenir une température intérieure confortable. L'équilibre thermique est fonction du taux de gains internes dû aux occupants, équipements, éclairage artificiel et rayonnement solaire et du taux de déperdition thermique par convection (ventilation) et conduction par l'enveloppe (ASHRAE, 1997, p.30.17).

Puisque la déperdition thermique est fonction de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, la température d'équilibre thermique est définie comme étant la température extérieure à laquelle les déperditions thermiques équivalent aux gains thermiques du bâtiment. Le taux de gains internes d'un bâtiment change de manière journalière, hebdomadaire et annuelle en fonction des horaires d'occupation et du rayonnement solaire variables. Le taux de déperdition thermique peut aussi varier en fonction de la ventilation et de la qualité isolante de l'enveloppe.

Lorsque la température d'équilibre thermique est déterminée, elle peut être comparée à la température extérieure à n'importe quel moment afin de comprendre la variation des besoins en chauffage ou en refroidissement du bâtiment. Cette information peut donc aider le concepteur à déterminer les stratégies de design bioclimatique (chauffage solaire passif, refroidissement passif, éclairage naturel) les plus appropriées aux particularités du comportement thermique du bâtiment (Brown et DeKay, 2001, p.67).

PRÉSENTATION DE L'OUTIL

Le logiciel *PET* s'appuie sur la méthode de calcul des profils d'équilibre thermique présentée dans Brown and DeKay (2001) et s'inspire de l'idée d'un outil simplifié de calcul *BPGraph* développé par Utzinger and Wasley (1997). L'outil *PETv4.2* se distingue par la très grande interactivité entre l'utilisateur et les résultats ainsi que dans la prise en compte exhaustive des propriétés physiques du bâtiment, des gains et des pertes thermiques. Plus spécifiquement, ce logiciel

permet de prendre en considération les éléments suivants :

- n'importe lequel climat (rayonnement solaire, températures moyennes, vitesse et direction du vent);
- la géométrie du bâtiment (orientation, ouvertures et enveloppe);
- les gains thermiques totaux (occupants, équipements, éclairage et rayonnement solaire);
- les déperditions totales (enveloppe, infiltration et ventilation transversale et par effet de cheminée);
- la récupération d'énergie; et
- les horaires (températures de consignes, occupation, éclairage artificiel, dispositif d'occultation, récupération de chaleur, ouverture/fermeture des ouvrants).

PETv4.2 a été conçu sur une feuille de calcul EXCEL afin d'être facilement accessible par le concepteur. Cela permet en outre d'utiliser le grand potentiel d'études comparatives de type paramétrique de ce support. Le processus itératif d'ajustement des déterminants thermiques est très bien adapté au principe similaire d'itération dans processus de création architectural. De plus, le support EXCEL permet l'intégration de commentaires de nature didactique afin de guider l'utilisateur étape par étape. L'outil est divisé en trois parties distinctes :

- le contexte d'étude;
- les flux thermiques; et
- la présentation des résultats.

Le contexte d'étude est décrit en termes de climat et des propriétés physiques du contenant (fig.1). Les flux thermiques intègrent gains internes, gains solaires externes et pertes thermiques par conduction et convection (infiltration, ventilation transversale et ventilation par effet de cheminée) à partir d'équations validées de transfert thermique. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de graphiques saisonniers d'une journée type permettant de connaître l'incidence d'une stratégie sur les profils d'équilibre thermique et la performance énergétique du bâtiment. Un histogramme groupé permet de visualiser de manière synthétique la performance énergétique du bâtiment sous forme comparative de l'efficacité des principales stratégies bioclimatiques utilisées.

Les différentes sections du logiciel sont explicitées ci-après.

1. CONTEXTE D'ÉTUDE

Identification du projet et description sommaire de ses dimensions et du nombre d'occupants maximal. La forme et le degré d'ouverture de l'enveloppe sont décrits en fonction des surfaces de murs extérieurs et de fenestration pour huit orientations possibles par rapport aux points cardinaux ainsi que pour la toiture. Le concepteur peut ainsi comprendre rapidement, dans un vocabulaire simple, l'importance fondamentale de l'orientation, du rapport enveloppe/volume et du pourcentage de fenestration sur le bilan thermique du bâtiment. Le coefficient d'ombrage du vitrage est aussi identifié ici par défaut. Le contexte climatique est déterminé par l'entrée de la localisation géographique (latitude et longitude) du projet. Les données climatiques sous forme de températures minimales et maximales moyennes, et de vitesse et direction des vents dominants peuvent être extraites du site météorologique de la NASA http://eosweb.larc.nasa.gov/ à partir d'un lien hypertexte ou par l'analyse d'un fichier climatique standard CWEC sous l'onglet <MÉTÉO> au bas de page.

1.2 CLIMAT

	Températures moyennes T°min (°C)	T°max (°C)	Vents m/s	Direction
Hiver	-21,1	-9,0	4,5	248
Printemps	1,4	14,9	3,9	248
Été	13,3	21,5	3,1	248
Automne	-4,5	8,2	3,9	248
Moyenne	-2,7	8,9	3,8	248

Importer un fichier CWEC

NASA http://eosweb.larc.nasa.gov/

Latitude: 38,89 N
Longitude: 77,04 W
Méridien std: 75,00 W

Contexte bâti: 0,45

Réflectivité du sol: 0,2 printemps, été, automne
0,4 hiver

1.3 CONTENANT

Façade	Mur ext. (m²)	Verre (m²)	% fenestration	Coefficient d'ombrage CO verre 0 à 1	CO dispositif 0 à 1	CO Total 0 à 1
N	125	20	16	0,65	0,8	0,52
NE	0	0	0	0,65	0,8	0,52
E	100	25	25	0,65	0,8	0,52
SE	0	0	0	0,65	0,8	0,52
S	125	40	32	0,65	0,8	0,52
SO	0	0	0	0,65	0,8	0,52
O	100	20	20	0,65	0,8	0,52
NO	0	0	0	0,65	0,8	0,52
Toiture	325	20	6	0,65	0,8	0,52
Total mur ext	*450*	*105*				
Total toiture	*325*	*20*				
Total	*775*	*105*				

Fig 1 : Données climatiques et descriptif du contenant

2. GAINS THERMIQUES

Les gains thermiques sont divisés en gains internes (fig.2) et gains externes. Les activités et les heures d'occupation d'un bâtiment sont déterminantes du comportement thermique d'un bâtiment. Les bâtiments à faible taux d'occupation génèrent peu de gains thermiques. Leur performance thermique dépend donc principalement des caractéristiques du climat et de leur degré de conservation de chaleur. Les bâtiments à haut taux occupation peuvent générer tant de chaleur que peu importe le refroidissement du climat, ils seront toujours en besoin de refroidissement. De plus, les gains internes coïncident souvent avec les gains externes dus au climat. La réduction de la consommation de pointe est donc importante d'un point de vue de l'efficacité énergétique mais aussi de façon économique car les tarifs électriques consentis aux institutions sont fonction de cette consommation de

pointe. *PETv4.2* calcule les gains thermiques internes en fonction des occupants, éclairage artificiel et équipements de façon précise par source de production de chaleur ou par l'introduction d'une valeur par défaut à l'aide de tableaux (Brown and DeKay, 2001, pp.39, 42-44), AHRAE Handbook of Fundamentals, 1997, pp.28.8-28.14). Comme *PET* se limite à l'étude de stratégies passives de contrôle de l'environnement, il ne tient compte que de la charge sensible de chaleur dans l'air. La charge latente, c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour retirer de l'air l'humidité générée par les sources de chaleur internes tels occupants ou équipements dans le cas d'un procédé générant de la vapeur, doit être contrôlée par des techniques de refroidissement conventionnelles.

Les gains internes par l'éclairage artificiel sont fonction du niveau d'éclairement désiré dans un espace et de l'efficacité de la source. Dans les bâtiments administratifs, l'éclairage artificiel représente souvent près de 50% de la consommation énergétique qui se traduit inévitablement en charge de refroidissement. Toute technique pour optimiser l'éclairage naturel en période de refroidissement mérite donc d'être étudiée en considérant toute fois les gains solaires inhérents à toute stratégie d'éclairage naturel.

2.1 INTERNES

Éléments	Description	Charge unitaire (W)	Nombre	Coefficient d'usage 0 à 1	Charge totale (W)	Charge par mètre carré (W/m2)
Équipements	Pentium 4	310	25	1,00	*7750*	*22,1*
	Scanner	300	0	0,00	*0*	*0,0*
	Imprimante	376	2	0,00	*0*	*0,0*
	Lampe	60	50	1,00	*3000*	*8,6*
	Autre	0	1	1,00	*0*	*0,0*
Ss-total					*10750*	***30,7***
Éclair. Artificiel	Fluorescent	30	200	1,00	*6000*	*17,1*
	Autre	0	4	0,00	*0*	*0,0*
Ss-total						***17,1***
Occupants	MET	60	*150*	1,00	*9000*	*25,7*
	Autre	0	0	0,00	*0*	*0,0*
Ss-total						***25,7***
Gains internes totaux:						***73,6***

Fig 2 : Gains internes

Les gains solaires externes sont calculés de façon saisonnière et à intervalle de deux heures en fonction de l'orientation des ouvertures dans l'enveloppe. Le rayonnement solaire est calculé automatiquement sous l'onglet <RAYONNEMENT> à partir du rayonnement extraterrestre, lui-même fonction de la localisation géographique (latitude et longitude définies préalablement) et de la réflectivité du sol (ASHRAE, 2001, Table 7, p30.13). Ce rayonnement calculé ne tient pas compte de la nébulosité.

3. DÉPERDITIONS THERMIQUES

Cette section est divisée en deux parties tenant compte des pertes par convection (ventilation et infiltration) et par conduction (enveloppe).

Convection

L'air admis dans un bâtiment par les fissures ou plus intentionnellement par ventilation naturelle ou mécanique pour contrôler la QAI (qualité de l'air intérieur) doit être chauffé ou refroidi afin de maintenir une température intérieure confortable lorsque la température extérieure est inférieure ou supérieure à cette dernière. Dans les bâtiments à haut taux d'occupation, le chauffage ou le refroidissement de l'air extérieur peut constituer une importante charge thermique supplémentaire. *PETv4.2* permet de spécifier une valeur de perte/gain thermique par unité de surface de plancher (W/C, m^2) pour les bâtiments à hauts gains internes (institutions) pour lesquels d'importants taux de ventilation sont nécessaire et pour les bâtiments à faibles gains internes (habitations) pour lesquels l'infiltration est déterminante. Ces valeurs sont présentées dans un tableau synthèse (fig.3) en fonction de la densité d'occupants et des taux de ventilation spécifiés dans le *AHSRAE Standard 62-1989, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (ASHRAE, 1989) et Reynolds and Stein (2000, pp.180-187). L'entrée d'un pourcentage de récupération de chaleur par l'utilisateur permet de réduire proportionnellement ces taux de déperditions thermiques.

5. FLUX THERMIQUES PAR VENTILATION

5.1 VENTILATION MÉCANIQUE / INFILTRATION

Hauts gains internes (ventilation)	Densité pers/100m2	Moyen (W/°C,m2)	Maximal (W/°C,m2)	l/s par per	l/s par m2
Bureaux	7	0,49	0,86	10,0	
Spectacles	150		9,5	8,0	
Entrepôt	5	0,06	0,31		0,25
Restauration	70	0,86		10,0	
Éducation	50	0,92	2,76	8,0	
Épicerie	8	0,74	1,84	8,0	
Hôpitaux	10	0,37	0,46	13,0	
Multifamilial	3	0,28	0,28	7,5	
Garage			9,19		7,50
Récréatifs	30		10,93	10,0	
SWL, p.51					
Stein and Reynolds, pp.182-186					

Flux thermique par ventilation/infiltration: 0,5 W/°C,m2

Flux thermique total par ventilation/infiltration: ***0,5 W/°C,m2 de plancher***

Faibles gains internes (infiltration)	Moyen (3,4m/s	laximal (6,7m/s)
	(W/°C,m2)	(W/°C,m2)
Vieux bâtiments	1,02	2,04
Bâtiments récents		
pare-vapeur	0,77	1,53
joints et fissures scellés	0,26	0,51
échangeur/récupérateur	0,13	0,26

Fig.3 : Flux thermiques par ventilation mécanique/infiltration

Les déperditions thermiques par ventilation naturelle peuvent être calculées en fonction d'une ventilation transversale ou par effet de cheminée ou la combinaison des deux modes. *PET* calcule les

déperditions en fonction de la plus grande des valeurs entre la ventilation mécanique minimale définie précédemment et la ventilation naturelle. Les stratégies de ventilation naturelle, qu'elle soit transversale ou par effet de cheminée, ne sont effectives que lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure. Pour la ventilation transversale, le débit d'air introduit par l'ouverture en amont est défini par l'équation 1 :

Équation 1 : $Q = C_p \cdot A \cdot v$

où : Q = débit d'air (m^3/s)
A = surface de l'ouverture en amont (m^2)
C_p = coefficient de pression de vent en fonction de l'angle d'incidence du vent sur la façade
v = vitesse du vent ajustée selon le type de terrain (m/s)

La quantité de chaleur retirée par ce débit d'air extérieur dans l'espace est définie par l'équation 2 :

Équation 2 : $q_v = Q \cdot (1{,}2)(\Delta T)$

où : q_v = échange de chaleur par convection (W)
Q = débit d'air extérieur (m^3/s)
$?T$ = différentiel de température entre l'extérieur et l'intérieur (^oC)
$1{,}2$ = densité de l'air (à 1,20kg/m^3 multiplié par sa chaleur spécifique à 1,0kJ/kg^{o}C) (kJ/$m^3{}^o$C)

Le logiciel suggère par défaut une surface d'ouvrant correspondant à 5% de l'aire de plancher, minimum exigé par les Codes de construction pour les espaces ventilés naturellement. La vitesse du vent libre est ajustée automatiquement en fonction de la rugosité du terrain et des gradients de vitesse. L'utilisateur doit choisir une valeur d'efficacité de l'ouverture en fonction de l'angle d'incidence du vent variant entre 0,6 et 0,25 (Reynolds et Stein, 2000, p.300).

La ventilation par effet de cheminée est plus complexe que la ventilation transversale et requiert plusieurs conditions pour être efficace :

- l'air intérieur doit être chaud et doit pouvoir pénétrer dans la cheminée par le bas de celle-ci;
- l'air extérieur doit être plus froid que l'air intérieur; et
- les prises d'air frais extérieur doivent être basses.

L'équation 3 suivante s'applique lorsqu'il n'y a pas de résistance significative au mouvement d'air dans le bâtiment :

Équation 3 :

$$Q = 60C_d \cdot A\sqrt{gh(T_i - T_o)/T_i}$$

où : Q = débit d'air (m^3/s)
C_d = coefficient de décharge de l'ouvrant qui admet l'air frais (moyenne de 0,65)
A = la plus petite aire entre l'ouverture libre de la prise d'air frais, de la cheminée ou de la sortie d'air chaud haute (m^2)
g = accélération gravitationnelle (9,81 m/s^2)
h = hauteur globale de la cheminée entre la prise d'air frais et la sortie d'air chaud
T_i = température intérieure (doit être supérieure à la température extérieure) (^oC)
T_o = température extérieure (^oC)

Le calcul de la ventilation par effet de cheminée se fait donc par l'entrée des renseignements suivants par l'utilisateur :

- la plus petite valeur entre l'ouverture libre de la prise d'air frais, la section horizontale de la cheminée ou l'ouverture libre de la sortie d'air chaud haute; et
- la hauteur de la cheminée mesurée entre la prise d'air frais et la sortie d'air chaud.

Le coefficient de décharge est défini par défaut à une valeur de 0,65 mais il apparaît à l'écran afin de faire prendre conscience à l'utilisateur de l'importance de ce coefficient dans le calcul de l'efficacité du système. L'incertitude quant à la valeur précise de ce coefficient demeure à ce jour une limite importante de représentativité des résultats de tous les outils de simulation de la ventilation naturelle. La figure 4 présente l'écran d'entrée des données pour le calcul du taux de déperdition thermique par une stratégie de ventilation naturelle.

3.1.3 NATURELLE *TRANSVERSALE*

$q_v = Q \cdot (1{,}2)(?T)$

Aire des ouvrants:	17,5	*m2*
Vitesse de design du vent:	1,72	*m/s*
Efficacité de l'ouverture:	0,6	
Flux thermique par ventilation transversale:	***62,06***	***W/°C,m2 de plancher***

3.1.4 NATURELLE PAR *EFFET DE CHEMINÉE*

$Q = 60C_d \cdot A\ v\ gh\ (T_i - T_o) / T_i$

Aire des ouvrants ou cheminée:	6	*m2*
Hauteur de la cheminée:	5	*m*
Coefficient de décharge:	0,65	
Flux thermique par effet de cheminée:	***1,32***	***W/°C,m2 de plancher***

Fig.4 : Entrée des spécifications de ventilation naturelle

Conduction

Les déperditions thermiques par conduction sont calculées à partir de valeurs types de résistance thermique (RSI) par zone de sévérité climatique. Deux tableaux suggèrent des valeurs RSI en fonction du profil de gains thermiques haut ou bas du bâtiment. L'utilisateur peut aussi introduire la valeur RSI précise

de sa proposition d'assemblage. Le logiciel calcul ensuite le taux minimal de déperditions thermique par convection pour la QAI et par conduction exprimée en $W/^{o}C \cdot m^2$ de plancher.

4. HORAIRES

Cette section constitue la plus importante fonction du logiciel *PETv4.2*. Elle permet à l'utilisateur de comprendre et d'évaluer l'importance relative du contrôle des gains et des déperditions thermiques sur les profils d'équilibre thermique du bâtiment. Il peut ainsi pratiquement 'moduler' par un processus d'essai et erreur propre à la démarche de conception architecturale, les profils d'équilibre thermique du bâtiment et ultimement optimiser la performance de sa proposition de design dès l'esquisse préliminaire.

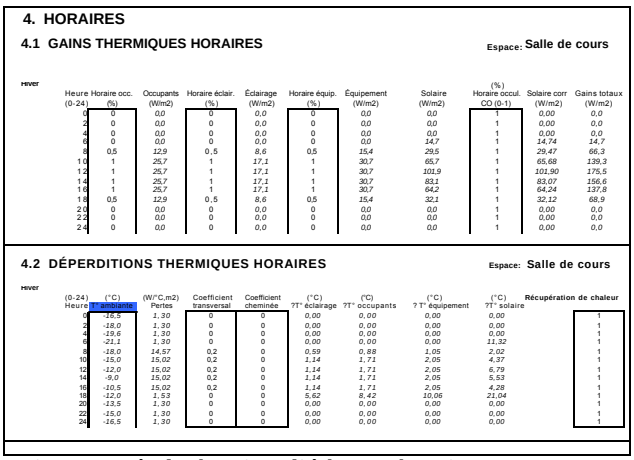


Fig 5 : Entrée des horaires d'échange thermiques.

Les gains thermiques peuvent être modifiés grâce aux horaires d'occupation, de recourt à l'éclairage artificiel et aux équipements ainsi que l'utilisation de dispositifs d'occultation. Les déperditions thermiques, quant à elles, peuvent être modifiées grâce à des horaires d'utilisation de la ventilation transversale, de la ventilation par effet de cheminée ou par le fonctionnement d'un échangeur/récupérateur de chaleur. La figure 5 illustre la fenêtre d'entrée des horaires.

PETv4.2 calcule ensuite le différentiel de température entre la température de consigne intérieure et la température extérieure pour lequel les gains thermiques équilibrent les déperditions thermiques selon l'équation 4 suivante :

Équation 4 : $\Delta T = q_{tot} / U_{tot}$

où : $?T$ = différentiel de température entre l'extérieur et l'intérieur (^{o}C)

q_{tot} = gains thermiques totaux (W/m^2)

U_{tot} = coefficient de déperditions thermiques totales ($W/^{o}C \cdot m^2 \cdot$)

La température d'équilibre thermique extérieure est ensuite définie selon l'équation 5 :

Équation 5 : $T_e = T_i - \Delta T$

où : T_e = température extérieure à laquelle les gains thermiques équilibrent les pertes thermiques (^{o}C)

T_i = température intérieure de consigne (^{o}C)

$?T$ = différentiel de température entre l'extérieur et l'intérieur pour atteindre l'équilibre thermique (^{o}C)

5. PROFILS D'ÉQUILIBRE THERMIQUE

Les profils journaliers d'équilibre thermique (fig.7) sont générés automatiquement en fonction de l'heure et des mois d'étude pour chacune des températures d'équilibre correspondant aux principaux types de gains thermiques soit :

- l'occupation (turquoise);
- l'éclairage artificiel (jaune);
- les équipements (vert);
- les gains solaires (orange); et
- les gains totaux (rouge gras).

Ils indiquent aussi :

- la température de consigne (pointillé violet);
- la température extérieure (bleu gras); et
- la température intérieure de l'espace (rouge).

Une température d'équilibre (trait noir gras) supérieure à la température extérieure (trait gris foncé) signifie que les gains thermiques sont insuffisants pour contrer les déperditions. Le bâtiment est donc en besoin de chauffage. Une température d'équilibre inférieure à la température extérieure signifie quant à elle que les gains thermiques dépassent la capacité de refroidissement du bâtiment. Ce bâtiment est alors en besoin de climatisation. L'objectif du concepteur consiste donc à tenter de diminuer l'écart absolu entre les deux courbes par le contrôle des variables architecturales. L'ajustement automatique des profils en fonction des modifications architecturales opérées par l'utilisateur confère une importante valeur didactique à l'outil.

ÉTUDE DE CAS

La figure 6 présente le projet du Centre d'interprétation environnemental de la Roche d'Oëtre situé en Normandie, à la latitude 46,8°, dans un climat tempéré-froid (INCA, 2003). Ce projet illustrera la démarche

d'optimisation des profils d'équilibre thermique à l'aide de *PETv4.2*. L'espace étudié est identifié par un encadré et occupe une superficie de 267m^2 sur une hauteur de 5m. Il est orienté selon un axe longitudinal est-ouest et est exposé aux vents du sud. Une importante zone boisée existante protège le nouveau pavillon du soleil estival.

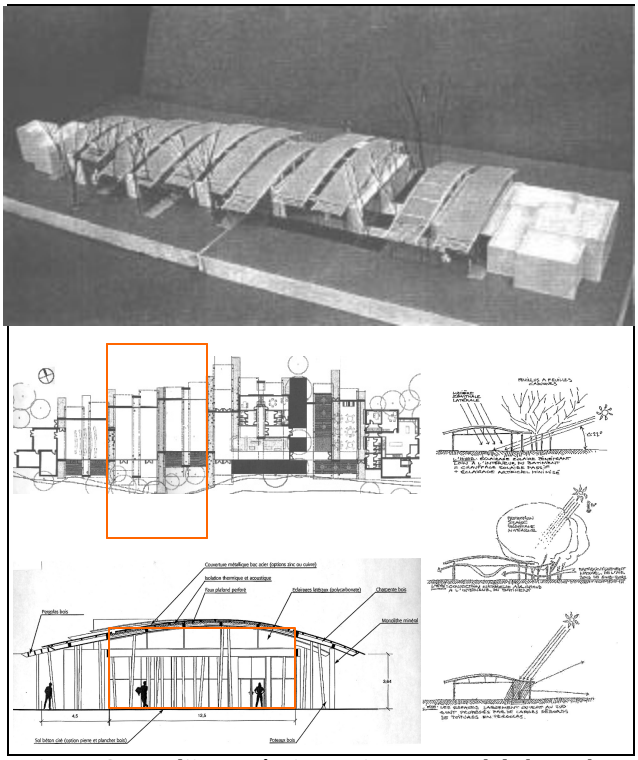


Fig 6 : Centre d'interprétation environnemental de la Roche d'Oëtre. Vue de la maquette, de la zone d'exposition (plan et coupe) et des stratégies bioclimatiques.

La figure 7 représente l'évolution des profils d'équilibre thermique en fonction des stratégies bioclimatiques pour une journée type de printemps.

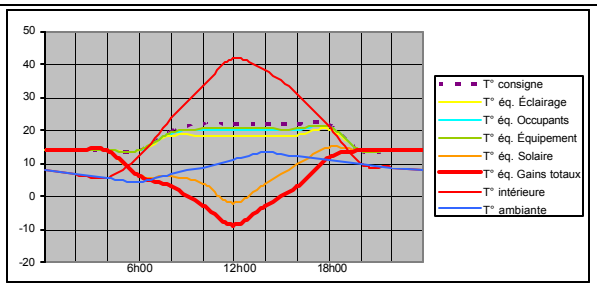
Dans la figure 7a) les horaires de température de consigne et des gains internes sont déjà ajustés pour un usage de basse-saison. Ce graphique illustre bien l'impact des gains solaires (trait gris pâle) sur la surchauffe de mi-journée et l'occultation insuffisante des végétaux dépourvus de leur couvert végétal durant cette saison.

Les profils sont donc ajustés (fig.7b) en diminuant les coefficients d'ombrage horaires correspondant à l'installation de brise-soleil horizontaux sur la façade sud du bâtiment. A noter que l'utilisateur pourrait ici vérifier l'impact de la modification de l'orientation du bâtiment sur la surchauffe. Cette stratégie à elle seule fait passer la température d'équilibre de l'espace de -9 ^{o}C à +5^{o}C mais n'est toujours pas suffisante pour contrer la surchauffe diurne du bâtiment.

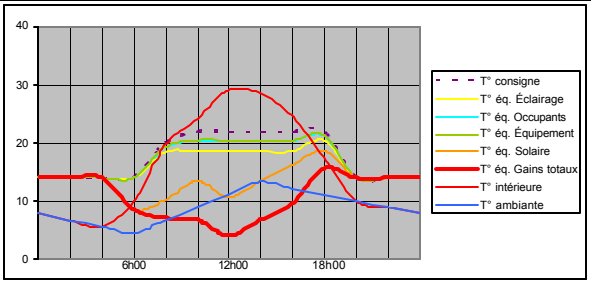
L'usage d'un récupérateur de chaleur (fig.7c) permet de diminuer les besoins en chauffage en début de matinée et en fin d'après-midi; l'apport d'air frais extérieur étant nul en période d'inoccupation.

La figure 7d) introduit graduellement la ventilation par effet de cheminée à partir de 8h00 mais à son débit maximal entre 10h00 et 14h00, elle ne suffit pas à refroidir l'espace.

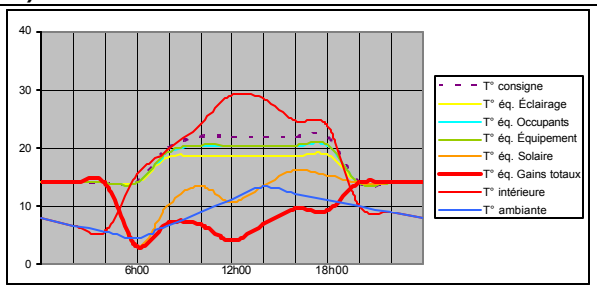
La ventilation transversale est donc introduite (fig.7e) durant cette période et parvient à rétablir l'équilibre thermique, annulant du même coup le besoin en climatisation pour cette journée type.



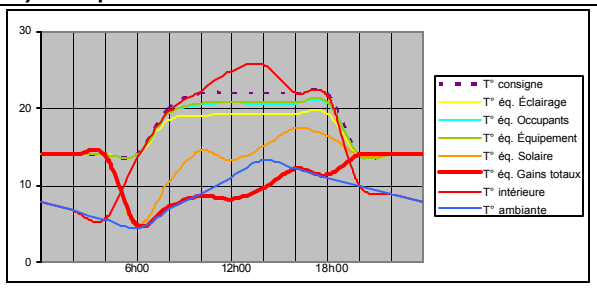
7a) Consigne et gains internes



7b) Gains solaires



7c) Récupération de chaleur



7d) Ventilation par effet de cheminée

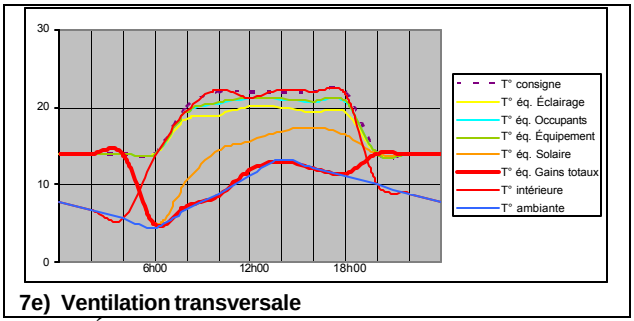


Fig 7 : Évolution des profils d'équilibre thermique en fonction des stratégies bioclimatiques pour une journée type de printemps.

6. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

La performance énergétique pour le chauffage ou le refroidissement du bâtiment peut être estimée suite à toute modification des profils d'équilibre thermique selon l'équation 6 suivante :

Équation 6 : $q_t = U_{tot} \cdot (T_e - T_o) \cdot h$

où : q_t = consommation énergétique totale (kWh/m^2)
U_{tot} = coefficient de déperditions thermiques totales (W/m^2 ^{o}C)
T_e = température extérieure à laquelle les gains thermiques équilibrent les pertes thermiques (^{o}C)
T_o = température extérieure (^{o}C)
$?$ = efficacité des systèmes mécaniques

La figure 9 présente la fenêtre apparaissant à la fin de chacune des modifications des stratégies bioclimatiques. Elle permet de comparer la performance de la dernière stratégie par rapport à celle de la dernière et par rapport à celle de la proposition initiale de design.

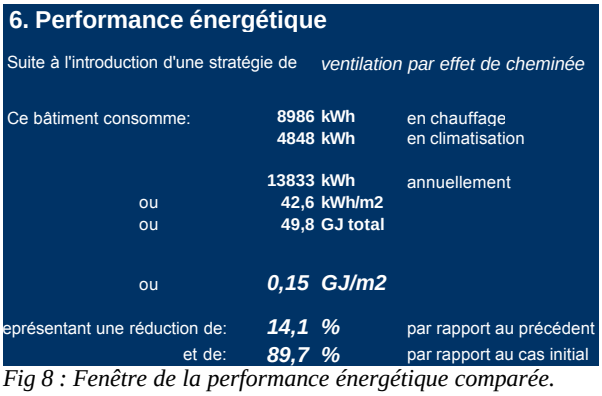


Fig 8 : Fenêtre de la performance énergétique comparée.

Finalement, la figure 8 illustre le tableau synthèse disponible sous l'onglet <SYNTHÈSE>. Ce tableau sous forme d'histogramme permet de visualiser en un coup d'œil la performance relative de chacune des stratégies bioclimatiques mises en œuvre pour les quatre jours types étudiés. Une performance globale annuelle peut aussi être estimée bien que très approximativement car basée sur quatre jours typiques .

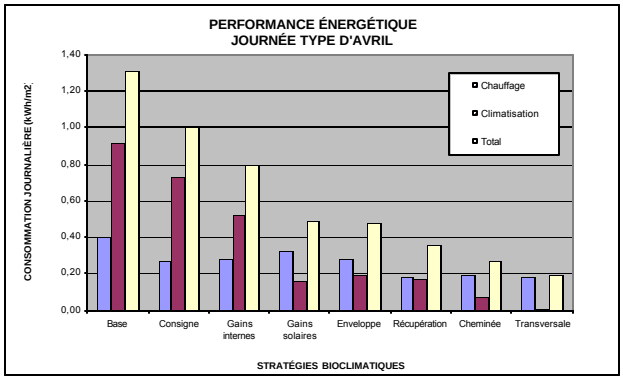


Fig 9 : Tableau synthèse de l'incidence des stratégies bioclimatiques sur la performance énergétique journalière du bâtiment pour une journée type d'avril.

COMPARAISON INTER-MODÈLES

Le tableau 1 présente la comparaison du bilan thermique annuel calculé par *PETv4.2* à celui issu d'une simulation avec le logiciel validé *BSim2002* (Wittchen et al., 2000-2003). Bien que *PET* ne produise qu'une approximation annuelle sur la base de quatre journées types et que *BSim* simule de manière dynamique horaire, *PET* ne présente dans cette validation très préliminaire, qu'une surestimation de 3% de la consommation en chauffage et de 0,2% pour le refroidissement. L'impact thermique de l'infiltration et de la ventilation mécanique dans *PET* est représenté par un coefficient de déperdition thermique global selon l'usage et/ou la perméabilité du bâtiment. Dans *BSim*, la ventilation mécanique et l'infiltration sont des systèmes distincts et très détaillés. La validation *BSim* a considéré une ventilation mécanique inexistante en période d'inoccupation, tout comme *PET*.

Tab 1: Tableau comparatif de la consommation annuelle calculée par PETv4.2 et BSim.

Consommation annuelle (kWh)	***B Sim2002***	***PETv4.2***
Chauffage	3 040.89	3 121.97
Climatisation	495.34	496.49

Cette validation préliminaire suggère donc que pour un espace simple, *PET* permet donc une évaluation rapide et juste des besoins en refroidissement et en chauffage pour des usages commerciaux. D'autres comparaisons inter-modèles saisonnières permettront de mieux mesurer la validité de l'outil *PET*.

CONCLUSIONS

PETv4.2 constitue un outil simple mais performant d'aide à la décision pour le concepteur lui permettant de comprendre rapidement l'incidence de ses choix architecturaux sur le comportement thermique de l'espace projeté. En ce sens, il s'agit d'un bon outil de vulgarisation des phénomènes thermiques complexes normalement étrangers à l'environnement de travail du concepteur. Il constitue donc une porte d'entrée conviviale au concepteur vers des simulations ultérieures plus complexes.

La simplicité de l'outil est cependant aussi responsable de ses principales limites soit :

- l'étude restreinte à des espaces unicellulaires;
- l'étude statique quatre journées types minimisant la nature dynamique du comportement thermique;
- l'absence de prise en compte de la nébulosité du ciel sur le rayonnement solaire;
- l'absence d'une plage de confort thermique plus large limitant le recourt instantané au chauffage ou refroidissement;
- l'absence de la prise en compte de l'impact des stratégies thermiques sur la qualité de l'éclairage naturel, stratégie bioclimatique fondamentale; et
- l'absence de la prise en compte de la masse thermique comme stratégie de refroidissement passif diurne/nocturne.

A court terme, l'introduction d'un module de calcul du refroidissement nocturne de la masse thermique selon la feuille de calcul développée par Guimont (2002) apparaît réalisable. De plus, le calcul du FLJ (facteur lumière du jour) selon la méthode Demers (2004) permettrait à *PET* de mieux dimensionner les ouvertures pour l'éclairage naturel et ainsi mieux balancer les gains internes par éclairage naturel et les gains externes par le rayonnement solaire.

RÉFÉRENCES

ASHRAE (2001, 1997), *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA.

ASHRAE (1989), *ASHRAE Standard 62-1989, Ventilation for Acceptable Air Quality,*American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA.

BROWN, GZ and DEKAY, M. (2001), 'Technique 23-Balance Point Profiles', in *Sun, Wind & Light : Architectural Design Strategies (Second Edition)*, John Wiley & Sons, New York, pp.68-73.

DEMERS, C. et POTVIN, A. (2004), 'LUMcalcul2.01 : Prédiction de la lumière naturelle pour la conception architeturale', dans les *Actes de colloque de eSIM2004*, Vancouver, Canada, Juin 2004.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2003), *Règlement sur l'économie de l'énergie dans les nouveaux bâtiments*, Publications du Québec, Québec, Canada. http://publicationsduquebec.gouv.qc.ca/home.php#

GUIMONT, P. (2002), *Méthode d'évaluation de la climatisation passive par l'usage de la masse thermique et de la ventilation nocturne dans les immeubles administratifs au Québec*, Mémoire de maîtrise, École d'architecture de l'Université Laval, Québec, Canada.

INCA (2003), *Équipement touristique et environnemental sur le site de la Roche d'Oëtre*, Mémoire méthodologique et technique, Grenoble, France.

REYNOLDS, J.S., STEIN, B. (2000) , *Mechanical and Electrical Equipment of Buildings,* John Wiley and Sons, New-York, 1790 p.

UTZINGER, M. and WASLEY, J. (1997), *Building Balance Point*, Johnson Controls Institute for Environmental Quality in Architecture, School of Architecture and Urban Planning, University of Wisconsin-Milwaukee.

WITTCHEN, K.B., JOHNSEN, K. & GRAU, K. (2000-2003). *Bsim2002 – Version 3.3.10.23,* Danish Building and Urban Research, Hoersholm, Denmark.

REMERCIEMENTS

L'outil a été développé grâce à la précieuse collaboration d'étudiants gradués à l'École d'architecture de l'Université Laval et validé lors d'ateliers avancés de maîtrise professionnelle et de séminaires de formation continue à l'intention d'architectes professionnels.