

bSol - logiciel d'aide à la décision en matière d'énergétique du bâtiment



Rapport élaboré par

Michel Bonvin, Haute école valaisanne (HEVs)

Sur mandat de

l'Office fédéral de l'Energie

novembre 2003

Mandant:

Programme de recherche Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments
Office fédéral de l'Energie

Mandataire:

Haute école valaisanne (HEVs), Sion

Auteurs:

Michel Bonvin, HEVs, rte du Rawyl 47, 1950 Sion
Patrice Cordonier, HEVs, rte du Rawyl 47, 1950 Sion
Gilbert Morand, ASQ Services SA, CP 4013, 1950 Sion
Pierre-André Seppey, HEVs, rte du Rawyl 47, 1950 Sion

2003

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de recherche Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments de l'Office fédéral de l'Energie. En ce qui concerne le contenu, seuls les auteurs portent une responsabilité.

Office fédéral de l'énergie OFEN

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Distribution: EMPA ZEN, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, www.empa-ren.ch
ENET, Egnacherstrasse 59, 9320 Arbon, enet@temas.ch, www.energieforschung.ch

Summary

The methods currently used to calculate the energy consumption of a building (eg. SIA 380/1) are simple, but do not sufficiently take into account the heat storage capacity of the building. Complicated simulation tools are reserved for specialists and not very useful in the early stage of the project.

bSol bridges this gap and helps architects and engineers to make the right choices from the beginning of the project. Data comparable to the data required for SIA 380/1 calculations allows:

1. to simulate the annual energy needs for heating and cooling (hourly calculations of the thermal flows including the thermal heat storage capacity),
2. to evaluate the influence of the variation of different building parameters and to quantitatively judge the different improvement potentials and
3. to estimate the internal thermal comfort (winter and summer).

bSol is a global energy planning tool (energy and power, heating and cooling).

For the tested building (more than 40'000 m³), the heating energy calculated with *bSol* corresponds to the result of the SIA 380/1 calculation. The difference is less than 11% and independent of the site (fig. 7 and 9) and the use of the building (fig. 8 and 10). This applies to standard buildings as well as to buildings with improved thermal protection.

bSol is designed for PCs (minimum requirements: Pentium III processor; Windows 95, 98, NT, 2000, XP). See further www.bsol.ch.

Résumé

Les méthodes de calcul couramment utilisées pour déterminer la consommation énergétique d'une construction (p. e. SIA 380/1) sont simples mais ne considèrent que de manière approximative la capacité thermique du bâtiment. Quant aux outils de simulation avancée, ils sont uniquement à la portée de spécialistes et sont peu utiles dans la phase initiale d'un projet.

bSol est un instrument qui comble cette lacune et aide le concepteur (architecte, ingénieur) à faire les bons choix dès le début d'un projet : avec des données comparables à celles nécessaires à une calcul SIA 380/1, il devient possible :

1. d'effectuer une simulation des besoins annuels de chauffage et de climatisation (bilans horaires des flux thermiques incluant l'inertie thermique) ;
2. de réaliser une étude de sensibilité par rapport à la variation de nombreux paramètres constructifs et de juger ainsi quantitativement des différents potentiels d'amélioration ;
3. d'obtenir une bonne idée du confort thermique intérieur (hiver et été). *bSol* est ainsi un instrument de planification énergétique intégrale (énergie et puissance, chauffage et climatisation).

Pour la construction testée (plus de 40000 m³), l'énergie de chauffage telle que déterminée par *bSol* est en bon accord avec celle obtenue par SIA 380/1 : la différence reste inférieure à 11 % indépendamment du lieu où se trouve l'immeuble (fig. 7 et 9), indépendamment du mode d'utilisation du bâtiment (fig. 8 et 10), aussi bien pour une construction de type standard que pour une construction à protection thermique améliorée.

bSol fonctionne sur PC (système d'exploitation Windows 95, 98, NT, 2000, XP). Une machine d'une performance égale ou supérieure à Pentium III est suffisante pour faire tourner le logiciel avec un temps de réponse acceptable. Voir aussi www.bsol.ch.

Zusammenfassung

Die gängigen Methoden, die zur Bestimmung des Energieverbrauchs einer Konstruktion (z.B. SIA 380/1) benutzt werden, sind einfach, berücksichtigen die Wärmekapazität des Gebäudes jedoch nur annäherungsweise. Komplizierte Simulationswerkzeuge hingegen können nur von Spezialisten benutzt werden und eignen sich kaum für die Anfangsphase eines Projekts.

bSol schliesst diese Lücke und hilft den Architekten und Ingenieuren, von Projektbeginn an die richtigen Entscheide zu treffen. Mit Angaben, vergleichbar mit denjenigen, die für SIA 380/1-Berechnungen notwendig sind, ist es möglich:

1. Jahressimulationen für den Energiebedarf für Heizung und Klimatisierung (thermische Bilanzen in Stundenschritten, einschliesslich der thermischen Trägheit) durchzuführen,
2. den Einfluss veränderlicher baulicher Parameter abzuschätzen und verschiedene Verbesserungspotentiale quantitativ zu beurteilen sowie
3. den thermischen Komfort (Winter und Sommer) zu evaluieren.

bSol ist also ein umfassendes Instrument für die Energieplanung (Energie und Leistung, Heizung und Klimatisierung).

Für die getestete Konstruktion (mehr als 40'000 m³) stimmt die mittels *bSol* ermittelte Heizenergie mit jener der SIA 380/1-Berechnung überein: Der Unterschied beträgt weniger als 11% unabhängig vom Standort (Abb. 7 und 9) und der Gebäudekategorie (Abb. 8 und 10) und zwar sowohl für einen Standardbau als auch für einen Bau mit verbessertem Wärmeschutz.

bSol funktioniert auf einem PC (Mindestanforderungen: Pentium III-Prozessor; Windows 95, 98, NT, 2000, XP). Siehe auch www.bsol.ch.

Table des matières

SUMMARY	3
RESUME	3
ZUSAMMENFASSUNG	4
TABLE DES MATIERES	5
1. INTRODUCTION	6
2. OBJECTIF DU PROJET	6
3. MODÉLISATION DU BÂTIMENT	6
4. STRUCTURE DU LOGICIEL	7
5. BSOL / SIA 380/1 : COMPARAISON DES RESULTATS DE CALCUL POUR L'ENERGIE DE CHAUFFAGE	12
5.1. Ajustage des paramètres	12
5.2. Différences fondamentales entre les deux méthodes	13
5.3. Les objets comparés	14
5.4. Résultats et discussion	14
6. CONCLUSIONS	17
7. LITTERATURE	18
ANNEXE A BSOL - FONDEMENTS THEORIQUES	19
1. Idée générale	19
2. Bilan thermique	19
3. Données météorologiques	20
3.1. Température extérieure	20
3.2. Température du sol en contact avec un élément de construction	20
3.3. Rayonnement solaire	21
4. Capacité calorifique	22
5. Eléments de réglage	23
5.1. Déstockage thermique par aération	23
5.2. Echange d'air avec l'autre zone	23
5.3. Protections solaires mobiles	24
5.4. Installations techniques	24
6. Variation des paramètres	24
Notation	26
ANNEXE B EXEMPLES D'UTILISATION	28
1. Exemple 1 : Cabane posée sur terrain	28
2. Exemple 2 : Appartement à rénover	31
ANNEXE C CONFIGURATION INFORMATIQUE ET INSTALLATION	38

1. Introduction

Avec l'avènement de vitrages performants, l'augmentation des épaisseurs d'isolation thermique ainsi que la mise en place de plus en plus fréquente d'un système de récupération de chaleur sur le circuit de renouvellement d'air, les différentes formes de chaleur gratuite (gains internes et solaires) ont gagné en importance puisqu'elles peuvent désormais aller jusqu'à compenser l'essentiel des déperditions thermiques. Il est dès lors décisif de pouvoir évaluer simplement et de manière fiable, au niveau de l'avant projet, les gains internes et solaires et leurs incidences sur les performances énergétiques d'une unité habitable (immeuble entier, appartement ou pièce considérée isolément).

D'une part, il n'existe actuellement pas de méthode de calcul ou de logiciel qui permette de hiérarchiser, du point de vue énergétique, toute une palette de variantes constructives : les feuilles SIA^[1] sont simples, mais avec l'inconvénient de ne pas tenir compte de la dynamique du bâtiment ; des logiciels tels que *DOE*^[2] ou *TRNSYS*^[3] sont détaillés et complets, mais avec le désavantage d'être lourds, de ne pouvoir être utilisés que par des spécialistes et surtout de ne pas être flexibles quant à la comparaison de différentes variantes constructives.

Dans le courant des années 2000 et 2001, la Haute école valaisanne (membre de la HES-SO) a développé, à son initiative et à l'aide de moyens propres, un prototype d'outil informatique – *bSol* - approprié pour simuler et optimiser les caractéristiques énergétiques d'un projet de construction ou de rénovation^[4, 5]. Avec des données comparables à celles nécessaires à effectuer une calculation SIA 380/1, il est possible d'effectuer une simulation annuelle (modèle dynamique considérant l'inertie thermique du bâtiment et effectuant un bilan horaire des flux thermiques), de réaliser une étude de sensibilité par rapport à la variation de différents paramètres constructifs et d'obtenir une bonne idée du confort thermique intérieur (hiver et été).

2. Objectif du projet

L'objectif de ce projet est de transformer le prototype à disposition pour en faire un produit commercialisable fini (simple, fonctionnant de manière fiable, validé, muni d'une aide en ligne, utilisable en deux langues : français et allemand), d'offrir des comparaisons avec des calculations SIA 380/1 est de présenter des exemples documentés.

Par rapport aux calculations SIA 380/1, *bSol* doit être tout aussi simple et peu invasif quant aux données nécessaires, mais à la fois infiniment plus fiable dans la gestion des apports gratuits (internes et solaires), plus large en offrant en plus de la détermination des besoins de chauffage aussi une estimation quant aux besoins de climatisation et plus performant en présentant une étude de sensibilité par rapport à différentes variantes constructives.

Par rapport aux logiciels « scientifiques » que sont par exemple *DOE2* ou *TRNSYS*, *bSol* utilisera une simplification à un nœud : la facilité d'emploi en sera améliorée, sans que toutefois la précision en soit sensiblement diminuée.

3. Modélisation du bâtiment

Le logiciel *bSol* peut traiter jusqu'à 2 zones (pièces ou ensemble de pièces ayant la même température intérieure) en contact thermique l'une avec l'autre.

Pour étudier une zone de bâtiment, *bSol* effectue de manière horaire, dans le cadre d'un modèle à un nœud, le bilan des gains et des pertes thermiques et détermine ainsi, heure

après heure, l'évolution de la température intérieure¹. Ce bilan thermique tient compte de quatre grandes catégories de phénomènes :

- a. Les échanges thermiques d'une zone avec son environnement :
 - Echanges avec l'air extérieur par transmission (ponts de froid inclus) et renouvellement d'air ;
 - Echanges thermiques avec le terrain par transmission (ponts de froid inclus) ; la température du terrain est déterminée en fonction de la profondeur et de la nature du terrain ;
 - Echanges thermiques par transmission (ponts de froid inclus) avec une ou plusieurs zones à température constante ;
 - Echanges thermiques par transmission (ponts de froid inclus) et échange d'air avec l'autre zone étudiée.
- b. Les apports thermiques « gratuits » :
 - Apports solaires, déterminés pour chaque fenêtre en fonction de son orientation et de l'ensoleillement du moment ; ces apports solaires peuvent être atténués si nécessaire (lorsque la température intérieure et/ou l'irradiance dépasse(nt) une valeur de consigne) grâce à l'abaissement de protections solaires mobiles ;
 - Apports internes (par les personnes et/ou les appareils électriques), qui peuvent dépendre chacun d'un horaire d'utilisation.
- c. Le stockage des excédents de chaleur : les apports gratuits non utilisables sur le moment sont stockés dans la masse du bâtiment pour récupération ultérieure.
- d. Le chauffage et la climatisation : les installations techniques n'interviennent qu'en dernier lieu pour garantir que les conditions du confort thermique intérieur sont remplies. Auparavant, d'autres paramètres variables peuvent être activés, comme par exemple l'augmentation de l'aération en vue de rafraîchir.

La somme de toutes les interventions effectuées par les installations techniques sur une certaine période donne l'énergie nette (de chauffage ou de climatisation) qu'il est nécessaire de fournir pour garantir le confort thermique. La valeur maximale de l'énergie produite par les installations techniques sur une heure de temps sert à déterminer la puissance de pointe nécessaire (de chauffage ou de climatisation).

Les fondements théoriques à la base du fonctionnement de *bSol* sont présentés dans l'annexe A.

4. Structure du logiciel

Dans *bSol*, pour effectuer un calcul, il faut :

- Décrire l'objet (le bâtiment ou la partie de bâtiment) à calculer. C'est le fichier « Bâtiment » (extension .btm) qui va rassembler tous les paramètres de description du bâtiment (paramètres géométriques, tels que dimensions, ou physiques, tels que propriétés physiques des matériaux utilisés) ;
- Expliciter les paramètres d'exploitation tels que températures de consignes, valeur du débit de renouvellement d'air. C'est le fichier « Exploitation » (extension .expl) qui contient toutes les données de cet ordre ;
- Disposer d'un ensemble de données météorologiques du lieu où l'objet se trouve : valeurs horaires sur une année pour la température de l'air extérieur, pour

¹ La température intérieure ainsi déterminée est à la fois celle de l'air intérieur et celle des éléments de construction en contact avec ce dernier : c'est donc une valeur très proche de la température effectivement ressentie à l'intérieur.

l'irradiance globale sur un plan horizontal, pour l'irradiance diffuse sur un plan horizontal ainsi que pour les positions (en élévation et en azimuth) du soleil. Ces données peuvent soit se trouver déjà préparées et livrées avec le logiciel (fichiers « Meteo » avec extension .meteo) ou exportées de la base de données METEONORM^[6].

- Décrire la ligne d'horizon qui peut obstruer le rayonnement solaire direct (fichier « Horizon » avec extension .hrz).

Le fichier « Projet » contient les références de chacune des composantes du projet considéré : bâtiment, paramètres d'exploitation, données météorologiques, ligne d'horizon.

Les résultats d'un calcul apparaissent graphiquement à l'écran dans la fenêtre « Résultats ». Il est possible d'exporter les valeurs numériques pour les traiter ultérieurement, par exemple à l'aide d'un tableur. D'autre part, *bSol* génère un rapport de calcul qui récapitule les paramètres utilisés pour le calcul ainsi que tous les résultats obtenus.

Les figures 1 à 5 sont des vues représentatives des écrans correspondant aux fichiers « Projet », « Bâtiment », « Exploitation », « Météo », « Horizon » ; la figure 6 donne une vue de la fenêtre « Résultats ».

Projet

Fichier de projet

Projet: D:\Projet bSol\bSol 16 version 16 octobre 2003\exemple1_SIA380_ Ouvrir... Enregistrer sous...

Catégorie: Habitat collectif

Localité: Permis de construire N°

Objet:

Adresse:

Maître de l'ouvrage: Tél.

Auteur du Projet: Tél.

Collaborateur responsable:

Lieu et Date:

Composantes du projet

Bâtiment: D:\Projet bSol\bSol 16 version 16 octobre 2003\exemple1_SIA380_ Ouvrir...

Exploitation: D:\Projet bSol\bSol 16 version 16 octobre 2003\exemple1_SIA380_ Ouvrir...

Météo: D:\Projet bSol\bSol 16 version 16 octobre 2003\exemple1_SIA380_ Ouvrir...

Horizon: D:\Projet bSol\bSol 16 version 16 octobre 2003\exemple1_SIA380_ Ouvrir...

Fermer

Figure 1 : Vue de la fenêtre *Projet*

Bâtiment Testbeispiel_1_380/1

Volume total 40848 [m³] Superficie totale 13522 [m²]

Zone zone chauffée

Volume 40848 [m³] Superficie 13522 [m²] S. réf. éner. 13616 [m²]

☐ Récupérateur de chaleur sur l'air extrait
Rendement du récupérateur 0 [%]

Face Facade Sud

Superficie brute 864.0 [m²] Superficie nette 428.0 [m²]

Orientation [1] Facade Sud Inclinaison 90 [°] Azimut 0 [°]

Surface Fenetre sud

Type de surface [1] Vitrage Type de contact [0] Air extérieur

F. cadre 30 [%]

F. ombrage 25 [%]

☒ Superficie 436.0 [m²] ☐ Dimensions

Transmission 740.8 [W/K]

Constituants / Valeur U

Vitrage

[22] vitrage test SIA U 1.57 [W/m² K] g0 0.670 [-]

Cadre

[3] synthétique U 2.00 [W/m² K]

Store

[1] store à lamelle g0 0.200 [-]

Appliquer Enregistrer sous... Fermer

Figure 2 : Vue de la fenêtre *Bâtiment*

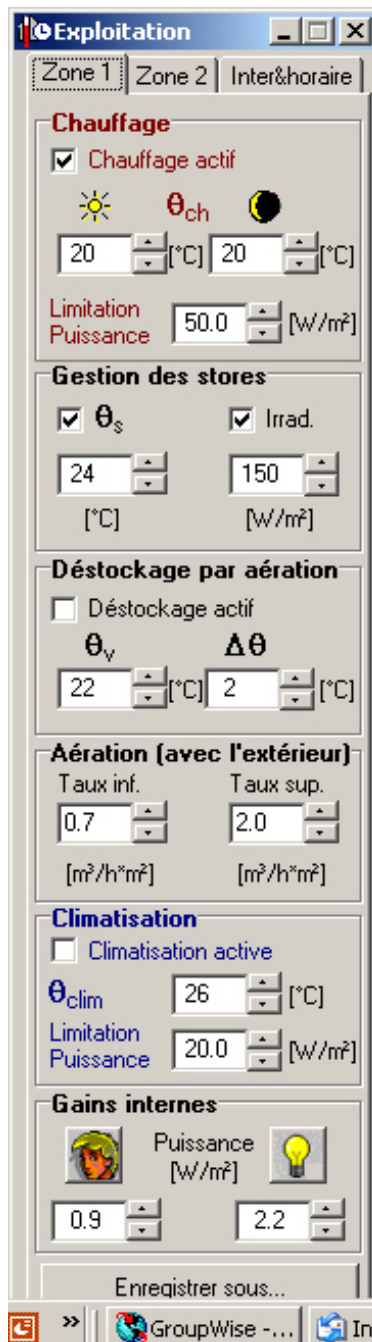


Figure 3 : Vue de la fenêtre *Exploitation*

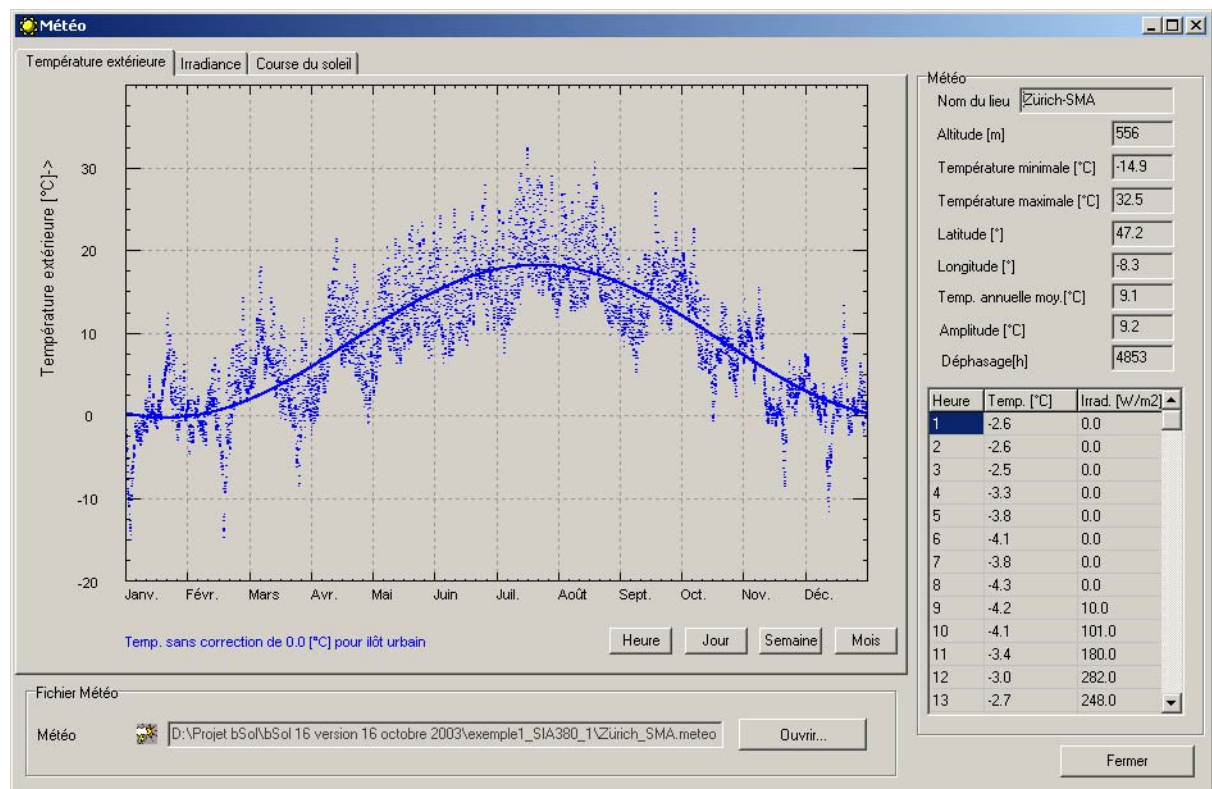


Figure 4 : Vue de la fenêtre *Météo*

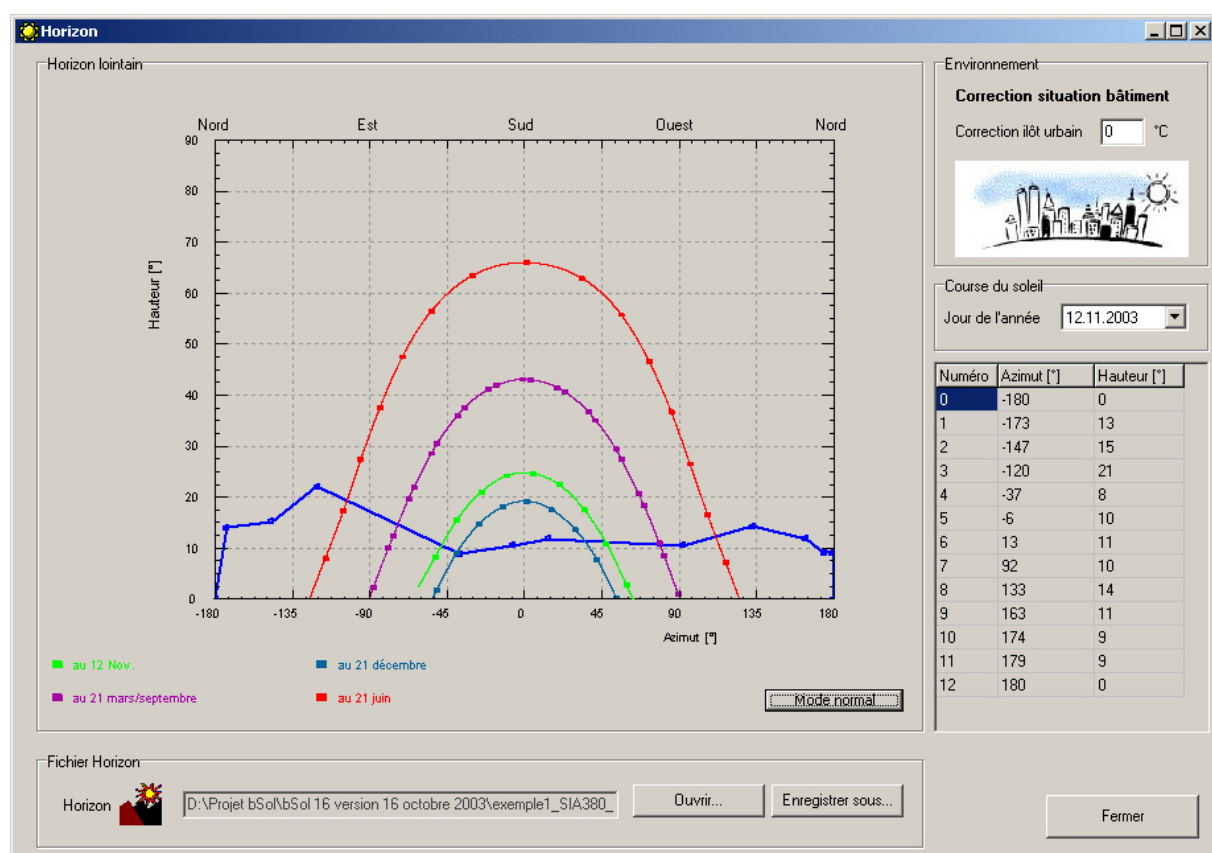


Figure 5 : Vue de la fenêtre *Horizon*

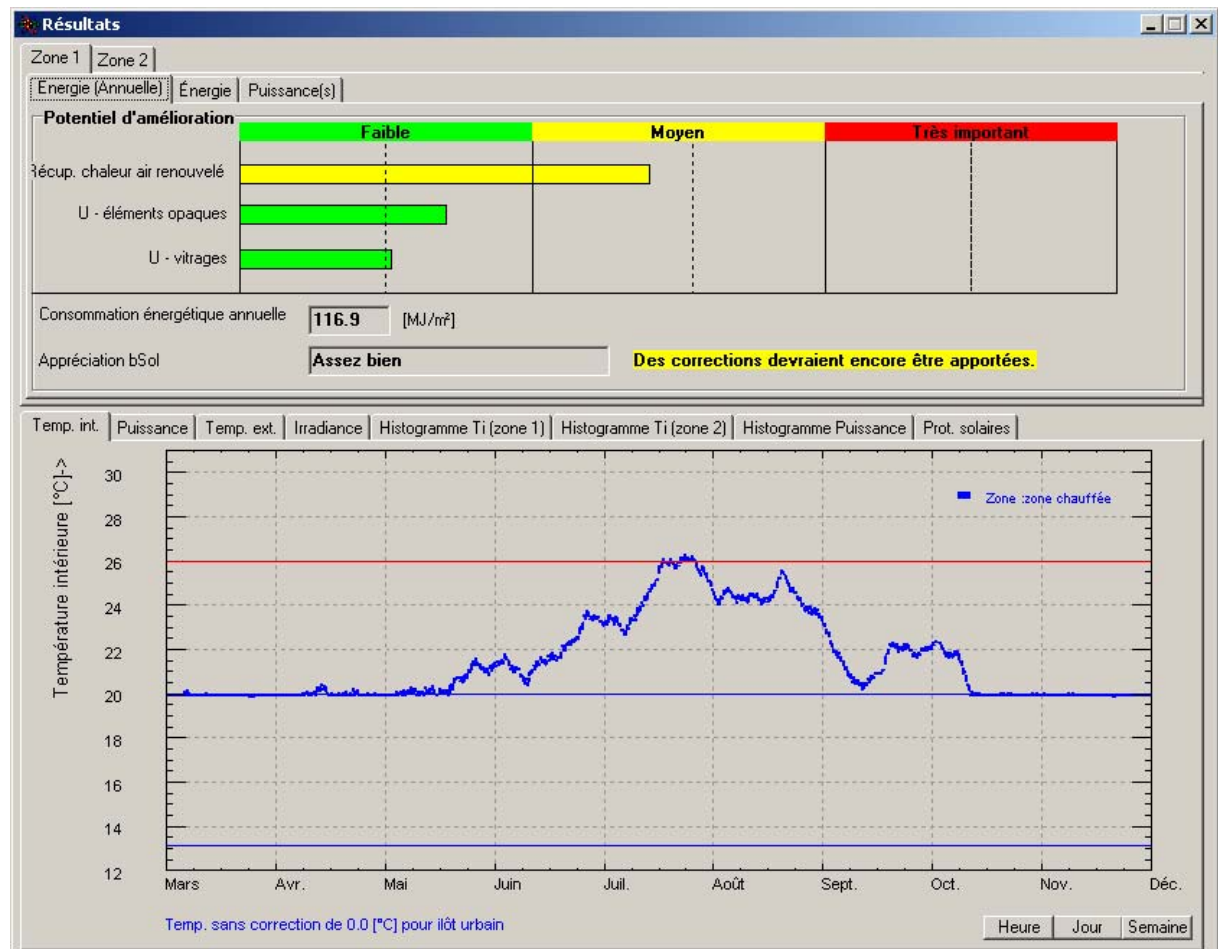


Figure 6 : Vue de la fenêtre *Résultats*

5. *bSol* / SIA 380/1 : comparaison des résultats de calcul pour l'énergie de chauffage

5.1. Ajustage des paramètres

Les principes des deux méthodes de calcul sont très différents (calcul mensuel avec taux d'utilisation moyen des apports thermiques dans la SIA 380/1, calcul horaire avec gestion des apports solaires à l'aide des stores dans *bSol*) : la comparaison des deux méthodes utilisées pour déterminer l'énergie de chauffage n'a de sens que si un minimum de paramètres communs peut être trouvé :

- Données météorologiques. *bSol* utilise des données horaires produites par METEONORM (dans cette étude, version 4.0, 2001). Pour rester aussi compatible que possible, le calcul SIA est fait avec des données mensuelles de température et de rayonnement extraites de la même édition de METEONORM.
- Facteur de réglage. Vu que *bSol* détermine l'énergie nette de chauffage et ne se préoccupe pas de pertes dans le système de distribution de chaleur ou d'inefficacité de principe, la valeur du facteur de réglage (SIA 380/1, chiffre 75) considérée ici est $F_g = 1$.

5.2. Différences fondamentales entre les deux méthodes

Les deux méthodes de calcul se distinguent l'une de l'autre sur des points essentiels, et c'est l'objet de cette comparaison au niveau des énergies de chauffage que de les mettre en évidence. On citera par exemple :

- Contact terrain. Ce point est traité à l'aide de la notion de facteur de réduction dans le calcul SIA ; il est géré de manière analytique dans *bSol*, qui tient compte des variations saisonnières de température en profondeur (il s'agit donc pour l'utilisateur de préciser la profondeur moyenne de l'élément de construction considéré ainsi que les caractéristiques physiques du sol).
- Renouvellement d'air. La méthode SIA considère que le débit de renouvellement est constant, quelle que soit l'altitude du lieu, et que la masse volumique de l'air diminue en fonction de l'altitude : le débit massique de l'air renouvelé diminue donc avec l'altitude. Dans *bSol*, on a considéré au contraire que le débit massique de l'air renouvelé doit dépendre de la production de pollutions internes et, à pollutions égales, ne doit pas varier en fonction de l'altitude : dans *bSol* la masse volumique de l'air est donc constante.

	SIA 380/1	bSol
Principe de calcul	Calcul mensuel avec taux moyen d'utilisation des apports thermiques	Calcul horaire avec gestion des apports solaires à l'aide des stores
Grandeur déterminée : énergie nette de chauffage	Facteur de réglage $F_g = 1$	Détermination de l'énergie nette de chauffage
Données météorologiques	Données mensuelles extraites de METEONORM 4.0 (2001)	Données horaires extraites de METEONORM 4.0 (2001)
Contact terrain	Facteur de réduction donné par catégorie de profondeur	Formule analytique appliquée à la profondeur moyenne
Contact combles non chauffés	Facteur de réduction en fonction de l'isolation des combles	Résistance thermique additionnelle de $0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Renouvellement d'air	$c_p = (1220 - 0.14 h) \text{ J/m}^3\text{K}$ h : altitude du lieu (en m)	$c_p = 1125.6 \text{ J/m}^3\text{K}$ valeur constante
Taux d'utilisation des apports thermiques	S'applique à la fois aux gains internes et solaires ; variable de mois en mois en fonction du rapport « apports/dépenses »	Gains internes : taux d'utilisation = 100% ; gains solaires : taux d'utilisation géré par les stores (stores abaissés si $\theta_i > 24^\circ\text{C}$; $g_s = 0.2$)

Tabelle 1 : Comparaison schématique des deux méthodes de calcul

- Taux d'utilisation des apports thermiques. La méthode SIA utilise un taux mensuel, déterminé en fonction du rapport « apports totaux/dépenses » et applique ce taux aussi bien aux gains internes (personnes et appareils électriques) qu'aux gains solaires. Le calcul *bSol* se fait en admettant que les apports internes sont dégagés dans la pièce et y restent à 100 % ; les apports solaires sont gérés par les stores qui, lorsque les conditions de température et/ou d'éblouissement l'exigent, s'abaissent et réduisent ainsi le rayonnement entrant. Dans la comparaison qui va suivre, les stores sont pilotés uniquement par la condition de température.

La table 1 présente une comparaison des particularités les plus significatives dans les deux méthodes SIA 380/1 et *bSol*.

5.3. Les objets comparés

La comparaison des deux méthodes de calcul est faite ici sur la base de l'objet décrit sous « exemple test numéro 1 »^[7] : dans une première comparaison, l'objet (immeuble de 40800 m³ et de 13600 m² de surface de référence énergétique) est considéré tel que présenté dans la réf. 7 (valeur U typique des parties opaques de l'enveloppe : 0.3 W/m²K, valeur U moyenne des fenêtres : 1.7 W/m²K, gain énergétique des vitrages : g = 0.67). Dans une seconde comparaison, la protection thermique de l'immeuble est améliorée (valeur U typique des parties opaques de l'enveloppe : 0.2 W/m²K, valeur U moyenne des fenêtres : 1.3 W/m²K, gain énergétique des vitrages : g = 0.60). Le renforcement de la protection thermique se fait selon les règles décrites dans la table 2.

	Valeurs pour la 1 ^{re} comparaison	Valeurs pour la 2 ^e comparaison
Valeurs de la protection thermique en W/m ² K, W/mK ou W/K	0.1	0.05
	0.2	0.1
	0.3	0.2
	0.4	0.3
	1.4	1.0
	1.7	1.3
Gain énergétique des vitrages	0.67	0.60
Rendement du récupérateur de chaleur sur l'air extrait	0	0.5

Table 2 : Valeurs modifiées pour la seconde comparaison

Vu que les principes même de calcul des deux méthodes sont très différents (calcul mensuel avec taux d'utilisation moyen des apports thermiques dans la SIA 380/1, calcul horaire avec gestion des apports solaires à l'aide des stores dans *bSol*, masse volumique de l'air variant avec l'altitude ou constante), on se propose ici de comparer, en plus de la configuration « complète » (tenant compte de toutes les formes possibles de gains et de déperditions thermiques), les configurations artificielles suivantes :

- Gains solaires = 0 (utilisation de données météorologiques fictives, dans lesquelles le rayonnement solaire - direct et diffus - est nul) ;
- Gains thermiques totaux = 0 (gains solaires et internes – personnes et appareils – nuls) ;
- Gains thermiques totaux et renouvellement d'air = 0.

5.4. Résultats et discussion

Les résultats de la comparaison à l'aide du premier objet ($U_{\text{opaque}} = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$), sont présentés dans la figure 7 (immeuble d'appartements situé dans des endroits géographiques différents) et dans la figure 8 (différentes conditions d'utilisation). On peut très clairement conclure que, pour un immeuble en situation réelle (avec toutes les formes de gains et de déperditions possibles) les méthodes SIA et *bSol* déterminent des consommations d'énergie de chauffage, qui ne diffèrent pas plus que 6 % l'une de l'autre ; dans les configurations fictives (sans rayonnement solaire, gains internes ou renouvellement d'air), l'écart est minime : jamais supérieur à 4 %, souvent inférieur à 1 %.

En ce qui concerne l'objet avec protection thermique améliorée ($U_{\text{opaque}} = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$), les figures 9 et 10 montrent que l'écart peut atteindre 11 %, $b\text{Sol}$ prédisant en général des énergies de chauffage nettes inférieures à SIA 380/1.

Les deux comparaisons géographiques (figures 7 et 9) montrent l'incidence de la différence de traitement du renouvellement d'air : dans la méthode SIA, la masse volumique de l'air, en diminuant avec l'altitude, agit de façon à réduire l'impact du renouvellement d'air en montagne (Davos).

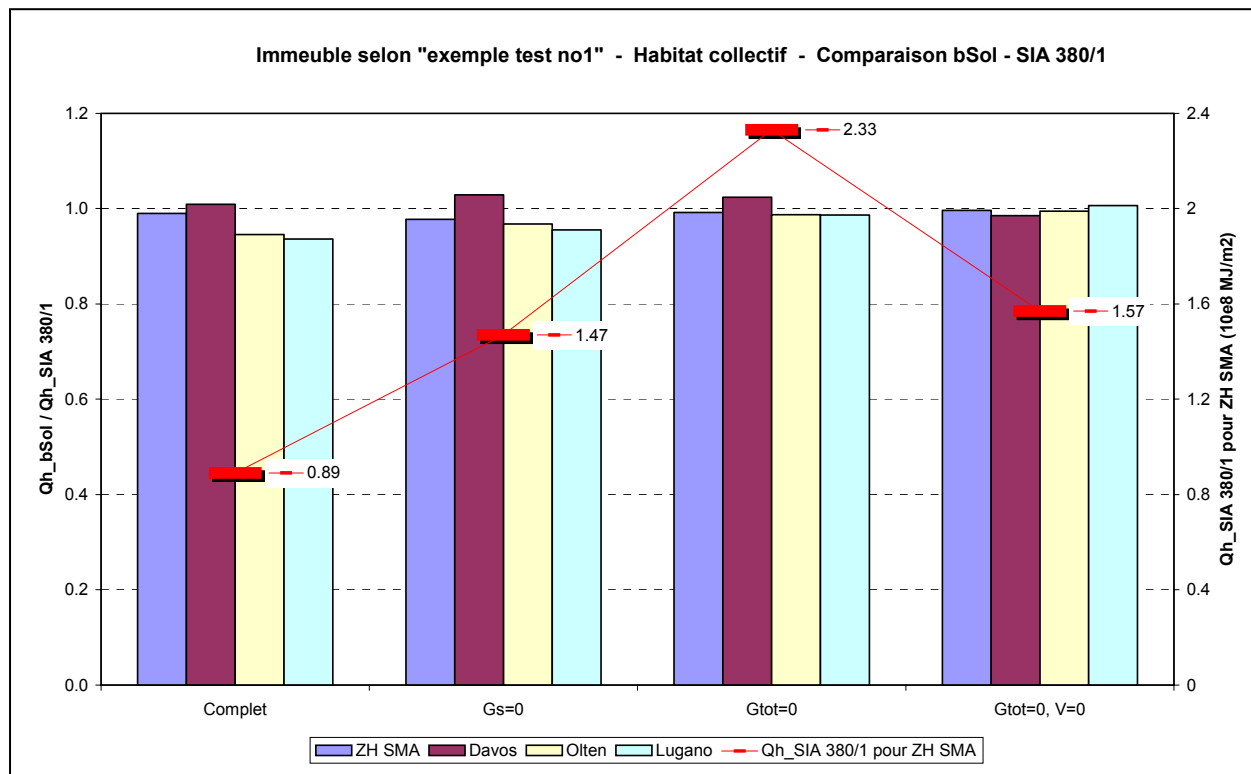


Figure 7 : Premier objet ($U_{\text{opaque}} = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$) – Energie de chauffage Q_h : comparaison des calculs $b\text{Sol}$ /SIA pour différentes situations géographiques.

Signification de la légende : « Complet » : avec toutes les formes de gains et de déperditions possibles ; « Gs=0 » : avec des données météorologiques sans rayonnement solaire ; « Gtot=0 » : avec des données météorologiques sans rayonnement solaire ni gains internes – personnes et appareils ; « Gtot=0, V=0 » : Idem mais sans renouvellement d'air.

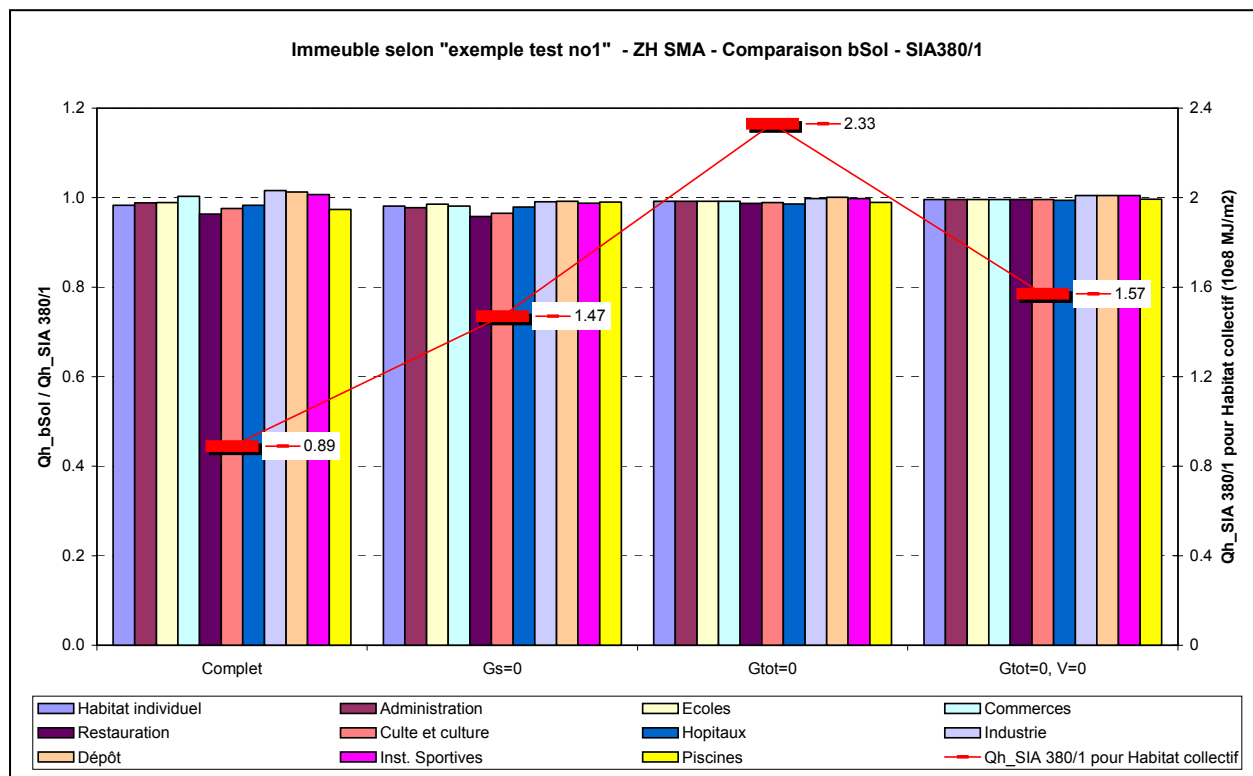


Figure 8 : Premier objet ($U_{\text{opaque}} = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$) - Energie de chauffage Q_h : comparaison des calculs $b\text{Sol}/\text{SIA}$ pour différentes utilisations. Signification de la légende : voir figure 1.

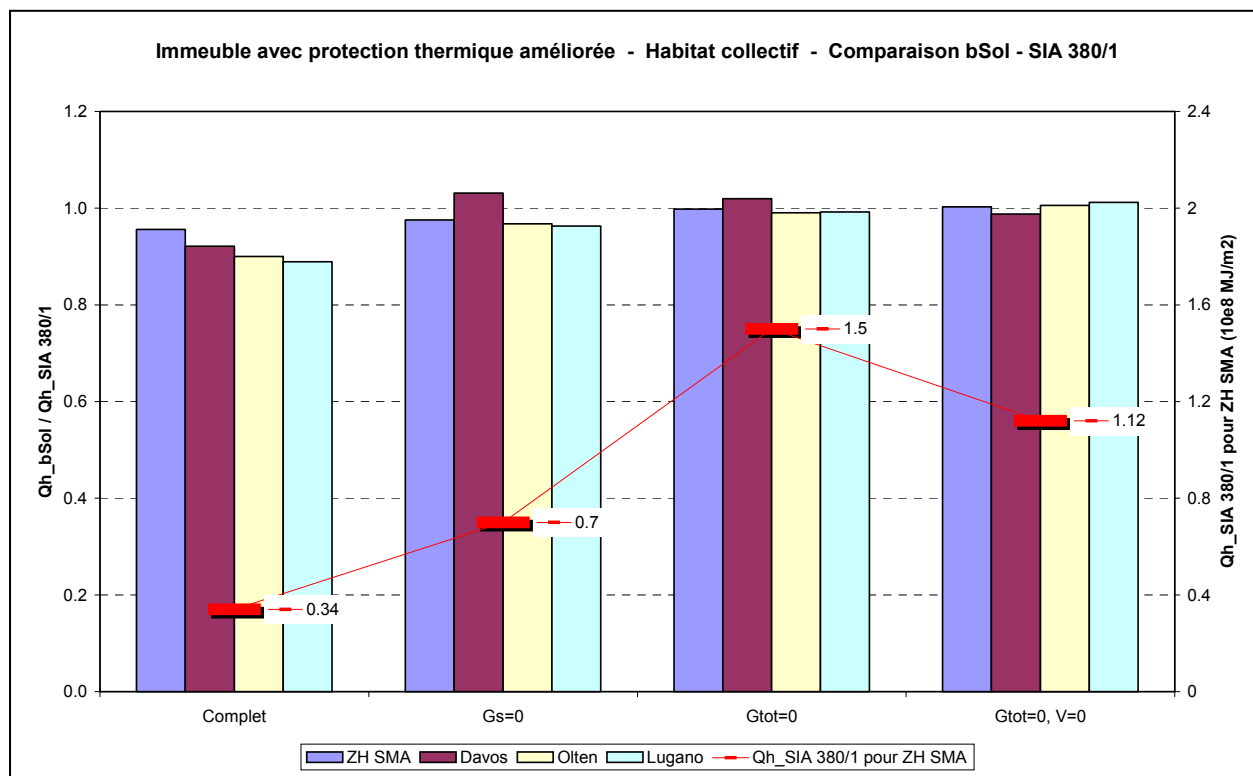


Figure 9 : Deuxième objet ($U_{\text{opaque}} = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$) - Energie de chauffage Q_h : comparaison des calculs $b\text{Sol}/\text{SIA}$ pour différentes situations géographiques. Signification de la légende : voir figure 1.

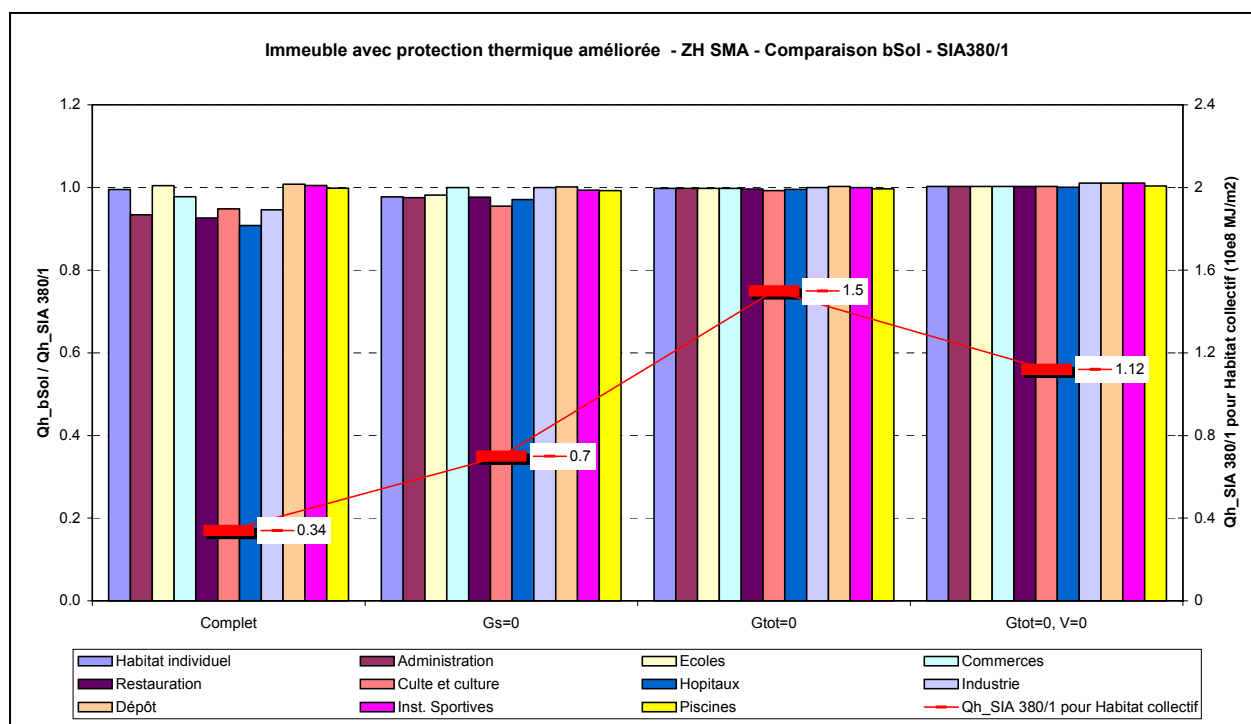


Figure 10 : Deuxième objet ($U_{\text{opaque}} = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$) - Energie de chauffage Q_h : comparaison des calculs *bSol*/*SIA* pour différentes utilisations. Signification de la légende : voir figure 1.

6. Conclusions

Avec *bSol*, nous proposons un outil de planification énergétique qui, tout en tenant compte de phénomènes dynamiques compliqués, reste utilisable par tout ingénieur ou architecte :

- Il est léger et facile d'emploi : il fonctionne sur un PC équipé d'un système d'exploitation Windows et a été conçu pour des non-spécialistes en informatique ;
- Il est rapide d'emploi : un calcul pour une unité habitable (maison, bureau, immeuble entier) s'effectue en moins d'une heure de travail ;
- Il détermine la réponse énergétique – chauffage et climatisation – d'un objet en effectuant les bilans horaires de tous les flux thermiques ;
- Il utilise les données météorologiques du lieu où l'objet simulé se trouve (température extérieure, rayonnement solaire) ;
- Il considère les effets d'horizon qui obstruent le rayonnement solaire ;
- Il calcule en tenant compte de l'inertie thermique du bâtiment, c'est-à-dire les effets de masse dans laquelle la chaleur peut être temporairement stockée ;
- Il peut considérer simultanément deux zones différentes d'un même objet interagissant thermiquement l'une avec l'autre (par exemple jardin d'hiver et habitation) ;
- Il permet une gestion horaire des gains internes ;
- Il tient compte des stores qui peuvent être tantôt levés pour permettre au rayonnement solaire d'entrer dans l'habitation, tantôt être abaissés pour éviter la surchauffe ;
- Il donne une bonne perception du confort thermique atteint à l'intérieur de l'habitation ;

- Il étudie, en plus de la configuration de référence, toute une série de configurations de construction et offre ainsi un panorama synthétique des pistes à suivre pour optimiser la l'aspect énergétique d'une construction.
- *bSol* se profile ainsi comme un instrument de planification énergétique intégrale (énergie et puissance, chauffage et climatisation).

Les valeurs d'énergie de chauffage calculées par *bSol* sont tout à fait du même ordre de grandeur que celles que détermine la méthode SIA 380/1 : pour la construction de type standard ($U_{\text{opaque}} = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$) présentée dans cette étude (immeuble de plus de 40000 m³), la différence des valeurs calculées par l'une et par l'autre des deux méthodes reste inférieure à 6 % indépendamment du lieu où se trouve l'immeuble et indépendamment du mode d'utilisation du bâtiment ; pour une construction à protection thermique améliorée ($U_{\text{opaque}} = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_{\text{fenêtres}} = 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$), cette différence s'accroît quelque peu mais ne dépasse jamais 11 %. En général *bSol* détermine des valeurs d'énergie de chauffage nettes inférieures à celle que calcule la méthode SIA

7. Littérature

- [1] Schweiz. Ing. Arch. Verein : **Thermische Energie im Hochbau SIA 380/1 :2001**
- [2] **DOE2**, JHirsch, LBL –Berkeley.
- [3] **TRNSYS**, Transsolar – Stuttgart.
- [4] Bonvin M. : **Energétique du bâtiment : logiciel d'aide à la décision**, projet no 06-99, Centre de Compétences Energies – HES-SO.
- [5] Bonvin, M et al. : ***bSol* : logiciel d'aide à la décision en matière d'énergétique du bâtiment**, Présentation de logiciels, CISBAT 2001.
- [6] Meteotest, Bern : **METEONORM V4.0** –Edition 2000.
- [7] Ad-hoc Arbeitsgruppe Harmonisierung der Konferenz der kantonalen Energiefachstellen: **Anforderungsprofil an behördetaugliche EDV-Programme für den Nachweis gemäss Norm SIA 380/1**, Version 1.2, Ausgabe 2003.
- [8] Keller, B. : **Klimagerechtes Bauen**, Stuttgart – Teubner, 1997

Annexe A

bSol - Fondements théoriques

1. Idée générale

Le logiciel *bSol* peut traiter jusqu'à 2 zones (pièces ou ensemble de pièces ayant la même température intérieure) en contact thermique l'une avec l'autre.

Pour étudier une zone de bâtiment, *bSol* effectue de manière horaire, dans le cadre d'un modèle à un nœud, le bilan des gains et des pertes thermiques et détermine ainsi, heure après heure, l'évolution de la température intérieure². Lorsque les conditions de confort l'exigent, des paramètres variables sont activés (abaissement de protections solaires mobiles, augmentation de l'aération en vue de rafraîchir) ; en dernier recours, les installations techniques (chauffage, climatisation) interviennent pour garantir que les conditions du confort intérieur sont remplies.

La somme de toutes les interventions effectuées par les installations techniques sur une certaine période donne l'énergie nette (de chauffage ou de climatisation) qu'il est nécessaire de fournir pour garantir le confort thermique. La valeur maximale de l'énergie fournie par la technique pendant un laps de temps de une heure sert à déterminer la puissance de pointe nécessaire (chauffage ou climatisation).

2. Bilan thermique

De manière générale, pour la zone considérée, la somme des différentes puissances thermiques perdues (vers l'extérieur, vers différents éléments de terrain, vers différents locaux à température constante ainsi que vers l'autre zone) est égale à la somme des gains thermiques (gains solaires à travers les vitrages, déstockage de chaleur accumulée dans les structures, gains internes des personnes et des installations électriques, et gains en provenance des installations techniques (positifs pour le chauffage et négatifs pour la climatisation)). Ce bilan thermique est représenté par l'équation suivante (voir tables 2 et 3 pour la signification des symboles) :

$$\begin{aligned}
 H_e(\theta_i(t) - \theta_e(t)) + \sum_k H_{Gk}(\theta_i(t) - \theta_{Gk}(t)) + \sum_k H_{0k}(\theta_i(t) - \theta_{0k}) + H_{in}(\theta_i(t) - \theta_{in}(t)) = \\
 \sum_k g_{Sk}(t) F_F g_k A_{Wk} G_k(t) + C \frac{d\theta_i(t)}{dt} + SRE_0(P_{iP}(t) + P_{iE}(t)) + SRE P_{HC}(t)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

où les différentes déperditions thermiques spécifiques H sont données par :

² La température intérieure ainsi déterminée est à la fois celle de l'air intérieur et celle des éléments de construction en contact avec ce dernier : c'est donc une valeur très proche de la température effectivement ressentie à l'intérieur.

$$\begin{aligned}
H_e &= \left(\sum_{(j)_e} A_j U_j + \sum_{(j)_e} L_j \psi_j + \sum_{(j)_e} \chi_j \right) + c_a \rho_a (1 - \eta) \dot{V}_e \\
H_{Gk} &= \left(\sum_{(j)_{Gk}} A_j U_j + \sum_{(j)_{Gk}} L_j \psi_j + \sum_{(j)_{Gk}} \chi_j \right) \\
H_{0k} &= \left(\sum_{(j)_{0k}} A_j U_j + \sum_{(j)_{0k}} L_j \psi_j + \sum_{(j)_{0k}} \chi_j \right) \\
H_{in} &= \left(\sum_{(j)_{in}} A_j U_j + \sum_{(j)_{in}} L_j \psi_j + \sum_{(j)_{in}} \chi_j \right) + c_a \rho_a \dot{V}_{in}
\end{aligned} \tag{2}$$

3. Données météorologiques

3.1. Température extérieure

Pour la température extérieure θ_e , *bSol* utilise des données horaires pour toute la durée d'une année (du 1^{er} janvier au 31 décembre). Pour un endroit géographique donné, ces valeurs peuvent, par exemple, être extraites de la base de données METEONORM.

3.2. Température du sol en contact avec un élément de construction

La température du sol en contact avec un élément de construction situé à une profondeur donnée au-dessous du niveau du sol, est déterminée analytiquement à l'aide de l'équation de conduction de la chaleur :

$$c \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad}(\theta)) \tag{3}$$

dans laquelle c , ρ et λ représentent la chaleur massique, la masse volumique et la conductivité thermique du sol. Les hypothèses suivantes sont faites :

- le terrain est homogène (conductivité thermique, chaleur massique et masse volumique constantes) ;
- l'élément de construction en contact avec le sol est homogène quant à sa valeur U et grand (pas d'effet de bord) ;
- la température du sol en surface peut être considérée comme une fonction harmonique dont la période est une année (1^{re} composante du développement en série de Fourier de la température extérieure) ;
- la température du local en contact avec le sol est constante tout au long de l'année.

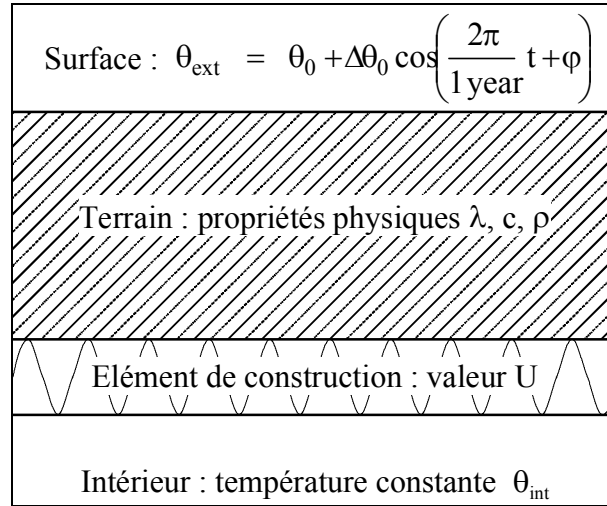


Figure 1 : Situation utilisée pour déterminer la température du sol au contact d'un élément de construction .

La température du terrain ainsi déterminée tient compte des déperditions du local vers le terrain.

3.3. Rayonnement solaire

L'irradiance incidente G_k sur une fenêtre d'orientation arbitraire k est calculée par *bSol*, à partir des données horaires brutes des irradiances globale G_h et diffuse D_h sur un plan horizontal, sans aucun effet d'horizon.

$$G_k = B_k + D_k^{sky} + D_k^{reflected} \quad (4)$$

$$B_k = (G_h - D_h) \frac{\cos \vartheta}{\sin \eta} \quad (5)$$

Pour le rayonnement diffus en provenance du ciel, D^{sky} , un modèle isotrope est considéré ; en ce qui concerne l'albédo du sol ρ , il est pris en compte sous la forme de valeurs mensuelles qui dépendent uniquement de la température mensuelle moyenne du lieu [réf]. Les effets d'horizon agissent à la fois sur l'irradiance directe B_k (ligne d'horizon) et sur les irradiances diffuses D par l'intermédiaire des facteurs de vue du ciel et du sol déterminés pour la surface k (r_{Dk} et r_{Rk}) et pour une surface horizontale (r_{Dh} et r_{Rh}).

$$D_k^{sky} = r_{Dk} D_h \quad (6)$$

$$D_k^{reflected} = r_{Rk} \rho \frac{(G_h - D_h) + r_{Dh} D_h}{1 - \rho r_{Rh}} \quad (\text{soleil au-dessus de l'horizon}) \quad (7)$$

$$D_k^{reflected} = r_{Rk} \rho \frac{r_{Dh} D_h}{1 - \rho r_{Rh}} \quad (\text{soleil en dessous de l'horizon})$$

$$r_{Dk} + r_{Rk} = 1 \quad (8)$$

$$\rho = 0.5 \quad \text{pour} \quad \bar{\theta}_e \leq -3^\circ \text{C}$$

$$\rho = \rho_0 + \delta_\rho \exp(-0.038 (\bar{\theta}_e + 3^\circ \text{C})) \quad \text{pour} \quad \bar{\theta}_e > -3^\circ \text{C} \quad (9)$$

$$\rho_0 = 0.2 \quad \delta_\rho = 0.3$$

4. Capacité calorifique

Un élément de construction en contact avec le climat intérieur peut accumuler de la chaleur à certaines heures de la journée (apports solaires à travers les vitrages, production de chaleur de par la présence de personnes ou le fonctionnement d'appareils électriques, etc.) et la restituer à la pièce lorsque la température de cette dernière baisse. *bSol* traite ces phénomènes en admettant que [réf] :

- la température à la surface intérieure de l'élément considéré varie suivant la relation :

$$\theta_i(t) = \theta_{0i} + \Delta\theta \cos\left(\frac{2\pi t}{1 \text{ day}} + \phi\right) \quad (10)$$

- le flux de chaleur sur l'autre face de l'élément de construction est nul (plan adiabatique) ; cette situation est réalisée dans une bonne approximation dans de nombreuses situations, par exemple pour la face supérieure d'une dalle de béton sur laquelle repose une isolation thermique, pour la face inférieure d'une chape située sur une couche d'isolation thermique, pour un mur extérieur en maçonnerie muni d'une isolation thermique périphérique ; on peut aussi très bien considérer que le plan médian d'un mur intérieur est lui aussi un plan adiabatique : de cette façon, toute cloison intérieure doit être découpée en deux demi-épaisseurs, chacune appartenant à une des pièces attenante à la cloison.
- la chaleur stockée dans un élément k de construction Q_k^{sto} est considérée comme l'intégrale durant toute une journée des flux de chaleur entrant dans l'élément considéré.
- la capacité calorifique de l'élément est le quotient de la chaleur stockée par le double de l'amplitude de variation de température^[8] :

$$C_k = \frac{Q_k^{sto}}{2 \Delta\theta} \quad (11)$$

- En ce qui concerne la capacité calorifique C associée au nœud intérieur, elle est considérée comme la somme de toutes les capacités calorifiques de chacun des éléments en contact avec l'air intérieur, la capacité calorifique de l'air lui-même étant négligée :

$$C = \sum_{(k)_i} C_k \quad (12)$$

Du point de vue pratique, *bSol* permet de traiter trois variantes :

- la couche de stockage k est directement en contact avec l'air de la pièce.

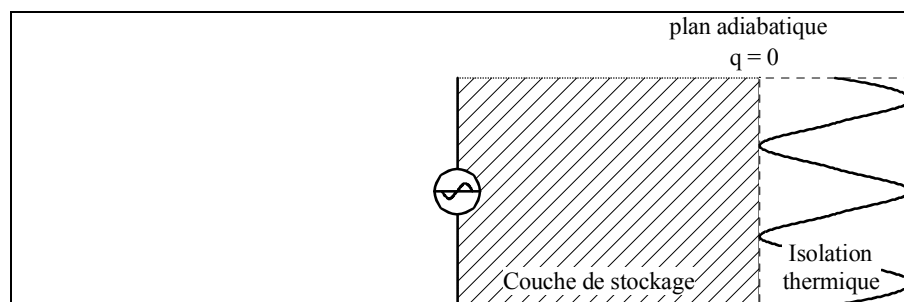


Figure 2 : Situation utilisée pour déterminer la capacité calorifique d'un élément de construction directement en contact avec l'air intérieur.

- la couche de stockage est en contact avec l'air de la pièce au travers d'une **résistance thermique**, telle que boiserie, tapisserie, tapis, dont la capacité calorifique peut être négligée.

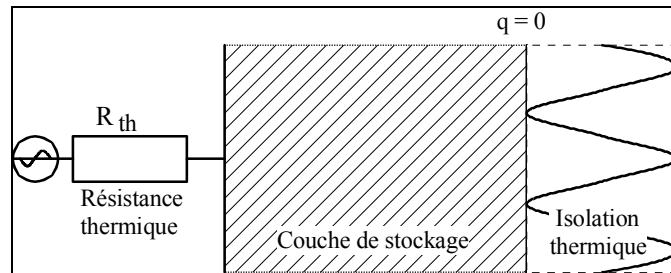


Figure 3 : Situation utilisée pour déterminer la capacité calorifique d'un élément de construction en contact avec l'air intérieur au travers d'une couche de recouvrement de masse négligeable.

- la couche de stockage est recouverte d'une **couche de recouvrement**, telle que crépis, boiserie épaisse ; dans ce cas, les capacités calorifiques des deux couches sont rigoureusement considérées.

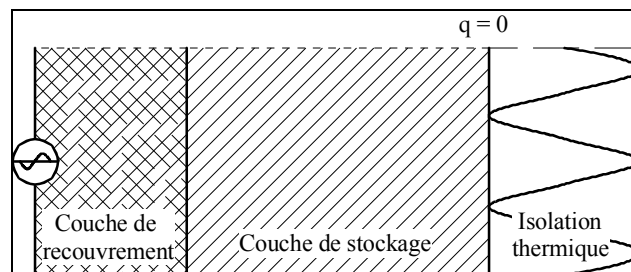


Figure 4 : Situation utilisée pour déterminer la capacité calorifique d'un élément de construction en contact avec l'air intérieur au travers d'une couche de recouvrement de masse non négligeable.

5. Eléments de réglage

5.1. Déstockage thermique par aération

Lorsque la température intérieure dépasse la valeur de consigne θ_v et que la température de l'air extérieur est inférieure à la température intérieure d'au moins $\Delta\theta_v$, le débit de renouvellement d'air prend sa valeur supérieure $\dot{v}_{sup}$. Il reprend sa valeur inférieure $\dot{v}_{inf}$ dès que l'une des deux conditions n'est plus remplie.

5.2. Echange d'air avec l'autre zone

La valeur supérieure pour le débit d'échange d'air entre les deux zones est prise en compte chaque fois que la situation est favorable pour réchauffer une zone qui est en dessous de la valeur de consigne de chauffage ou pour refroidir une zone qui est au-dessus de la valeur de consigne de climatisation. Dans tous les autres cas, c'est la valeur inférieure de ce débit qui est considérée.

5.3. Protections solaires mobiles

L'effet des protections solaires mobiles est pris en compte par le biais d'un facteur de transmission énergétique g_s des protections solaires : lorsque la température intérieure atteint la valeur de consigne θ_s et/ou l'irradiance globale sur la fenêtre considérée passe au-dessus de la valeur de consigne θ_s , le facteur de transmission énergétique prend la valeur qui caractérise la protection solaire abaissée ; sitôt que les conditions d'intervention des protections solaires ne sont plus remplies, le facteur de transmission énergétique retrouve la valeur 1.

5.4. Installations techniques

Lorsque le chauffage est activé et que la température intérieure tombe en dessous de la valeur de consigne, le chauffage comble, en une heure de temps, le déficit calorifique intérieur, et ceci jusqu'à utilisation de la puissance maximale que le système de chauffage peut livrer. Dans le cas d'un abaissement nocturne de température, la relance matinale s'effectue en une heure de temps, à moins que la puissance de chauffage disponible n'y suffise pas.

De même, lorsque la climatisation est active et que la température de la zone est supérieure à la température de consigne pour le climatisation, les installations techniques extraient, en une heure de temps, l'excès calorifique constaté, et ceci jusqu'à utilisation de la puissance maximale disponible.

6. Variation des paramètres

En plus de déterminer les besoins énergétiques (chauffage et climatisation), *bSol* propose une aide à l'optimisation : l'idée consiste à varier successivement chacun des 8 paramètres constructifs suivants et à en quantifier les modifications de la réponse en énergie et en puissance :

U_{opaque} :	valeur U des éléments opaques de l'enveloppe du bâtiment
$U_{vitrage}$:	valeur U des vitrages
U_{cadre} :	valeur U des cadres de fenêtres
η :	rendement du récupérateur de chaleur sur l'air renouvelé
$S_{fenêtre}$:	surface des fenêtres
$g_{vitrage}$:	gain énergétique total des vitrages
g_{store} :	facteur d'atténuation des stores
C_{cal} :	capacité calorifique

Principe appliqué pour la variation des paramètres (surface des fenêtres exceptée).

La valeur actuelle du paramètre est comparée à une valeur idéale associée à ce paramètre. Le paramètre est alors modifié, de façon à combler, sur une échelle logarithmique, le quart de l'écart qui sépare sa valeur initiale de la valeur idéale. Cette manière de faire tient compte du fait que, si un élément de construction est très faible comparé au standard idéal actuel, il est très facile de l'améliorer, alors que c'est beaucoup plus difficile de le faire si la valeur initiale est proche de la valeur idéale.

Par exemple pour un vitrage : si la valeur U initiale est de $2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, et la valeur U idéale de $0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$, la valeur U après variation sera de $\sqrt[4]{(2.9)^3 (0.6)} \approx 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$; si, en revanche, la valeur U initiale avait été de $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, la valeur U après variation aurait été de $\sqrt[4]{(1.1)^3 (0.6)} \approx 0.95 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$(U_{\text{opaque}})_{\text{idéal}}$	0.1 $\text{W/m}^2\text{K}$
$(U_{\text{vitrage}})_{\text{idéal}}$	0.6 $\text{W/m}^2\text{K}$
$(U_{\text{cadre}})_{\text{idéal}}$	0.9 $\text{W/m}^2\text{K}$
$(1 - \eta)_{\text{idéal}}$	0.1
$(g_{\text{vitrage}})_{\text{idéal}}$	0.85
$(g_{\text{store}})_{\text{idéal}}$	0.15
$(C_{\text{cal}})_{\text{idéal}}$	1.5 MJ/Km^2

Tabelle 1 : Valeurs idéales 2003 admises pour les différents paramètres

Principe appliqué pour la variation de la surface des fenêtres.

Sur la base des orientations de chacune des fenêtres du projet, la « direction dominante » est identifiée (par exemple le sud pour un projet dans lequel il y a de larges baies vitrées vers le sud et uniquement des ouvertures réduites vers le nord).

Dans la direction dominante, la variation des surfaces des fenêtres se fait en agrandissant ces dernières au point de diminuer d'un quart la surface de mur opaque restante dans cette direction ; dans la direction opposée à la direction dominante, la variation des surfaces de fenêtre se fait en les diminuant d'un quart par rapport à leur surface initiale.

Pour une orientation de fenêtre intermédiaire entre les deux directions précédentes, la variation est effectuée sur la base de l'un des deux principes précédents en utilisant un facteur de projection (cosinus de l'angle situé entre l'orientation de la fenêtre et la direction dominante).

Notation

Indice	Notion	Begriff
<i>O</i>	température constante	konstante Temperatur
<i>C</i>	climatisation	Kühlung
<i>D</i>	diffus	diffus
<i>e</i>	extérieur	aussen
<i>E</i>	appareils électriques	Elektrogeräte
<i>F</i>	cadre de fenêtre	Fensterrahmen
<i>G</i>	terrain	Erreich
<i>H</i>	chauffage	Heizung
<i>h</i>	plan horizontal	Horizontale Ebene
<i>i</i>	intérieur	innen
<i>in</i>	autre zone	andere Zone
<i>j, k</i>	indice de sommation	Summenindex
<i>k</i>	plan d'orientation quelconque	Ebene mit beliebiger Orientierung
<i>P</i>	personnes	Personnen
<i>R</i>	réfléchi	Reflektiert
<i>S</i>	protection solaire	Sonnenschutz
<i>W</i>	fenêtres	Fenster
<i>V</i>	ventilation	Lüftung

Tabelle 2 : Table des indices

Grandeur	Unités	Notion	Begriff
$\dot{V}$	m ³ /s	débit d'échange d'air	Luft-Volumenstrom
A	m ²	superficie	Fläche
L	m	longueur	Länge
B	W/m ²	irradiance directe	direkte Einstrahlung
C	J/K	capacité calorifique	Wärmespeicherkapazität
c_a	J/kgK	chaleur massique de l'air	spezifische Wärmekapazität der Luft
H	W/K	déperditions thermiques spécifiques	spezifische Wärme-Verluste
D	W/m ²	irradiance diffuse	siffuse Einstrahlung
F	-	facteur de réduction	Abminderungsfaktor
g	-	coefficient de transmission énergétique d'un vitrage	Gesamtenergiedurchlassgrad einer Verglasung
G	W/m ²	irradiance globale	globale Einstrahlung
P	W/m ²	densité de puissance calorifique par m ² de SRE	Wärmeleistungsdichte pro m ² EBF
Q^{sto}	J	chaleur stockée journallement	täglich gespeicherte Wärme
r	-	facteur de vue	Sichtfaktor
SRE	m ²	surface de référence énergétique	Energiebezugsfläche
SRE_0	m ²	Surface de référence énergétique avec correction de hauteur	Energiebezugsfläche mit Höhenkorrektur
U	W/m ² K	coefficient de transmission de chaleur	Wärmedurchgangskoeffizient
ψ	W/mK	coefficient linéique de transmission de chaleur	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
χ	W/K	coefficient ponctuel de transmission de chaleur	punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
$\Delta\theta$	°C	amplitude de variation journalière de la température	Tages-Temperaturamplitude
α	-	azimuth du soleil à partir du sud	Azimuthwinkel der Sonne bezüglich des Süden
η	-	rendement thermique du récupérateur de chaleur sur l'air renouvelé	thermischer Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage der Lüftung
η	-	angle d'élévation du soleil au-dessus de l'horizontale	Höhenwinkel der Sonne über der Horizontale
θ	°C	température	Temperatur
θ	-	angle d'incidence	Einfallswinkel
ρ_a	kg/m ³	masse volumique de l'air	Dichte der Luft
ρ	-	albédo du sol	Albedo der Erdoberfläche

Tabelle 3 : Table des symboles

Annexe B

Exemples d'utilisation

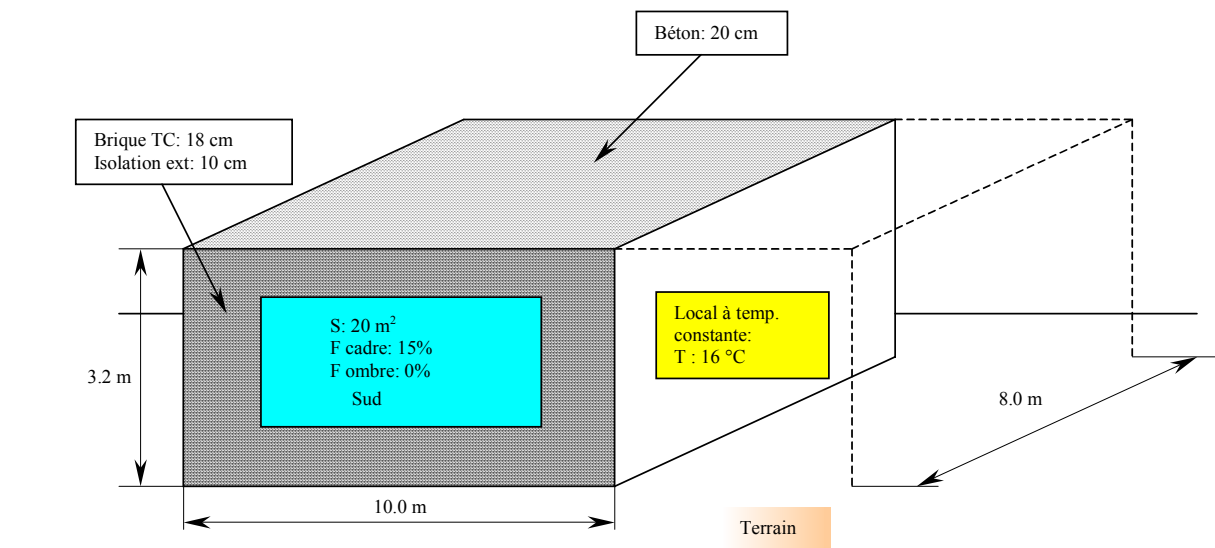
1. Exemple 1 : Cabane posée sur terrain

Objectif :

L'objectif de cet exemple est d'apprendre à créer un objet, de déterminer ses composantes, de le calculer et d'analyser les résultats produits.

Objet :

Le bâtiment se présente comme suit :



Configuration de l'objet:

Dimensions:	longueur: 10.0 m	largeur: 8.0 m	hauteur: 3.2 m
Murs extérieurs:	crépis int, ext.: 1 cm	isolation: 12.0 cm	béton : 18 cm
Sol :	béton : 20 cm	isolation : 6 cm	chape : 8 cm
Toit :	béton : 20 cm		
Fenêtre (sud) :	vitrages Unitop ($U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$) avec cadre en bois de 5.8 cm ; stores à lamelles (gs = 0.2)		
Exploitation :	Affectation Standard – habitat individuel		
Météo :	Sion		
Horizon :	constant à 10°		

Création du projet

Lancer *bSol*, cliquer sur bâtiment. Introduire la configuration du bâtiment (selon la figure ci-dessus)

1. Créer le fichier bâtiment de la manière suivante:

Une façade Sud en contact avec l'extérieur d'une surface de 32 m² et une fenêtre de 8 m² (facteur de cadre : 15%, facteur d'ombrage : 0%)

Une façade regroupant celle du Nord et de l'Ouest en contact avec l'extérieur avec une paroi opaque totale de 57.6 m² et une porte de 2 m².

Une façade Est de 25.6 m² en contact avec un local à température constante $T_0 = 16$ °C.

Le sol, en contact avec le terrain, d'une surface de 80 m², profondeur : 1 m.

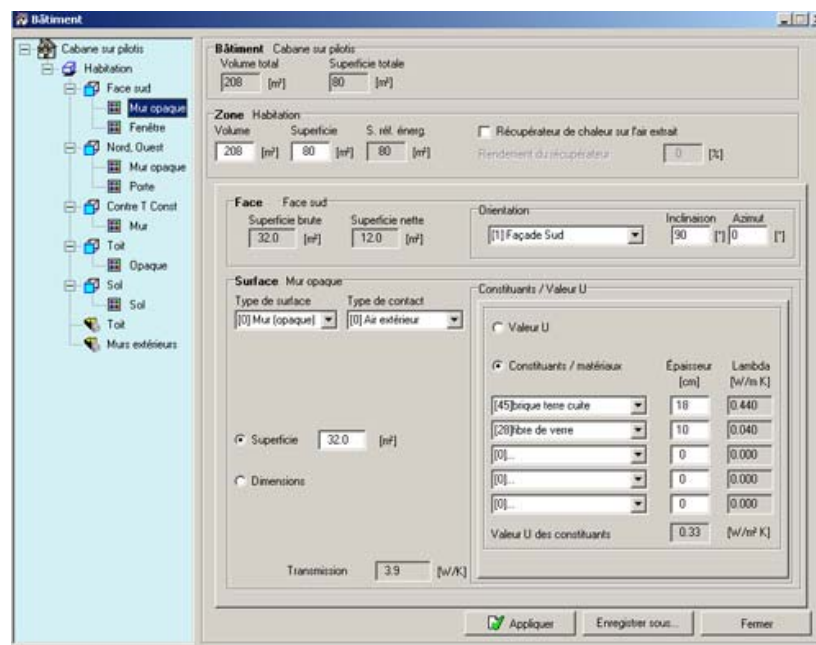
Le toit, d'une surface de 80 m², en contact avec l'extérieur.

Une masse " Mur extérieur " de 93.2 m² en brique TC de 18 cm.

Une masse " Toit " de 80 m² en béton de 20 cm.

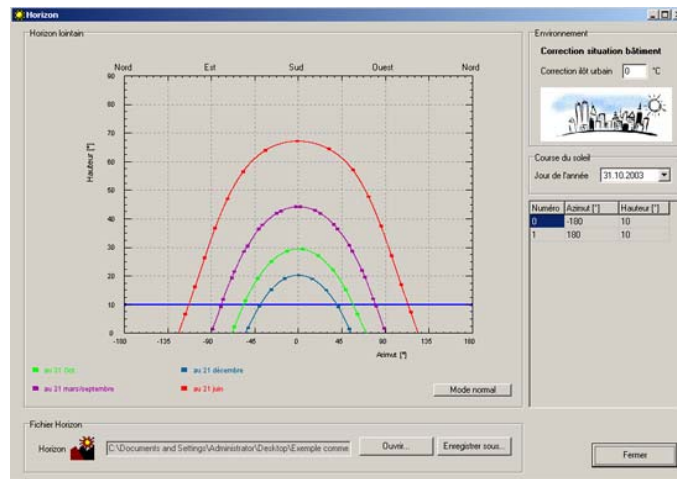
2. Sauver le tout.

NB : Le sol n'est pas compté comme une masse, car on a imaginé qu'il est équipé d'un système de chauffage par le sol.



3. Charger la météo de Sion

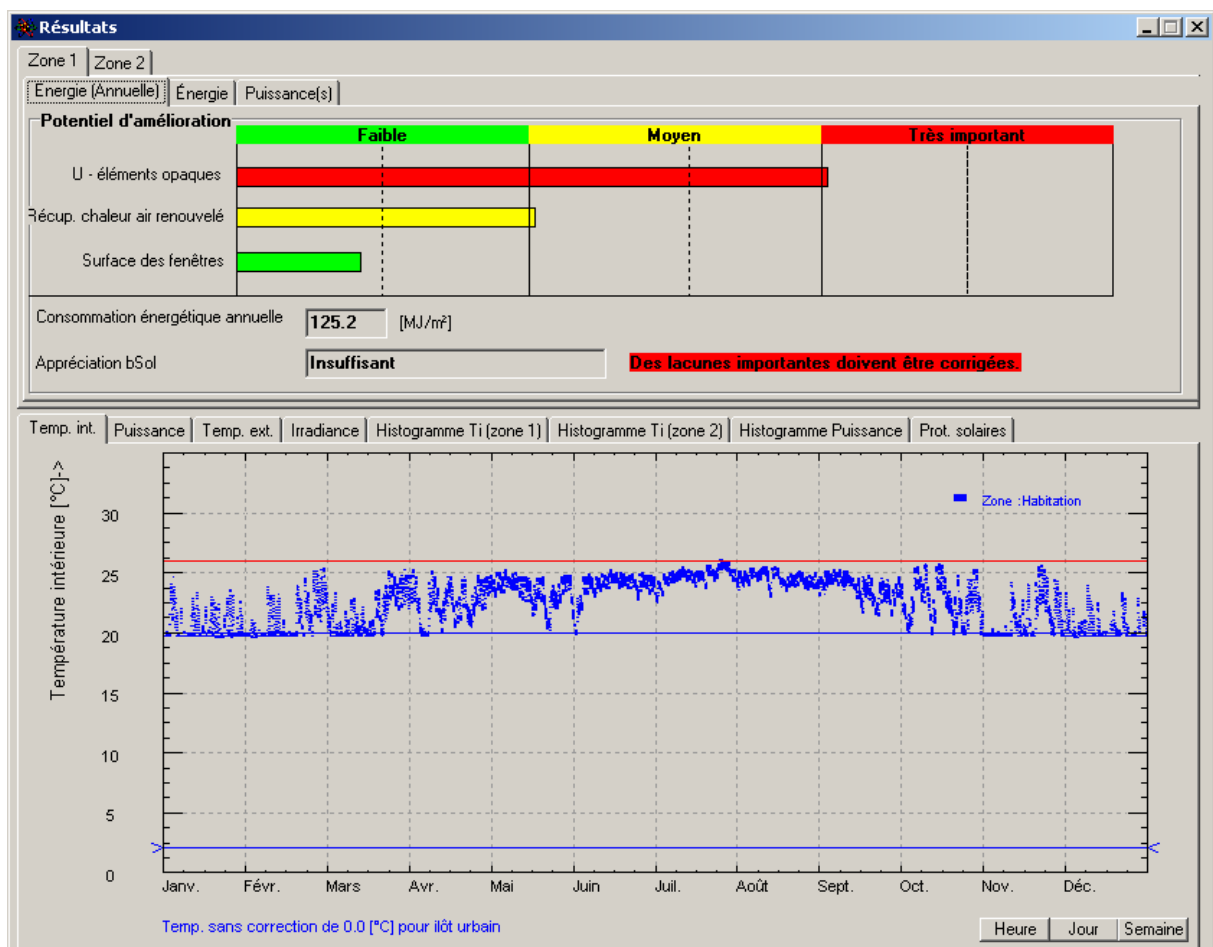
4. Ouvrir la fenêtre "Horizon" et éditer une ligne d'horizon à 10°.



5. Ouvrir la fenêtre projet, remplir les différents champs et choisir l'exploitation standard : "Habitat individuel", sauver l'ensemble du projet.
6. Lancer le calcul

Panneau des résultats

Le panneau des résultats se présente comme suit :



La partie supérieure donne une indication (Faible, Moyen, Très important) du potentiel d'amélioration situé au niveau des trois paramètres les plus importants. De plus, il est

possible de lire la consommation énergétique nette annuelle de l'objet en MJ/m² et de trouver une appréciation énergétique générale.

Sur la partie inférieure, plusieurs grandeurs sont représentées heure par heure sur toute l'année (avec la possibilité de zoomer). Ce sont : la température intérieure, la puissance, la température extérieure, l'irradiance et le fonctionnement des protections solaires. De plus, afin de juger du confort thermique de l'objet, les histogrammes de la température intérieure et des puissances sont représentés.

Grâce à la ligne horizontale bleue, située au fond du graphique, il est possible de déterminer une période bien distincte de l'année à calculer (période estivale, période hivernale). Les résultats y relatifs se lisent dans la partie supérieure du panneau, sous les onglets "Energie" et "Puissance".

Dans cet exemple, la consommation énergétique annuelle est de 125.2 MJ/m². L'appréciation que *bSol* délivre est « Insuffisant » et conseille vivement d'améliorer la valeur U des éléments opaques (rubrique notée en rouge).

2. Exemple 2 : Appartement à rénover

Objectif :

L'objectif dans cet exemple est de hiérarchiser différentes interventions possibles lors de la rénovation d'un appartement.

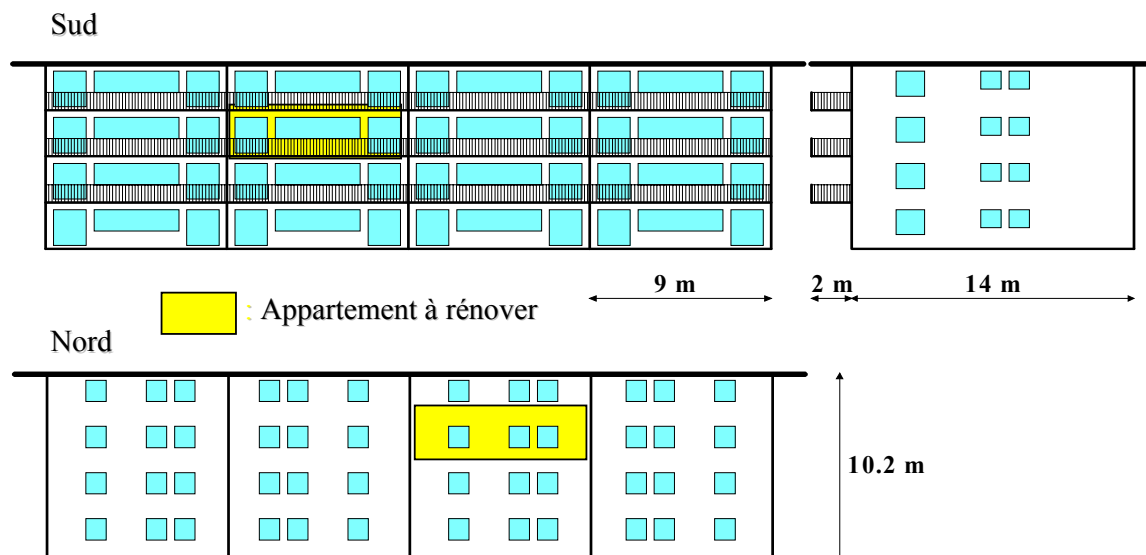
Sur le plan énergétique, plusieurs mesures peuvent être envisagées. Financièrement, certaines sont plus lourdes que d'autres. Ce sont notamment:

Augmenter l'isolation des façades (10 cm)	[INTERVENTION LOURDE]
Améliorer les cadres de fenêtres (7.4 cm)	[INTERVENTION MOYENNE]
Améliorer les vitrages (U=1.1 W/m ² *K)	[INTERVENTION MOYENNE]
Améliorer l'étanchéité des battues (V=0.7 m ³ /(h*m ²))	[INTERVENTION LEGERE]
Incorporer une ventilation mécanique avec récupérateur de chaleur ($\eta = 67\%$)	[INTERVENTION LOURDE]

bSol peut aider le concepteur à juger de l'impact énergétique des différentes interventions possibles.

Objet :

Le bâtiment se présente comme suit :



Configuration actuelle:

Dimensions: Longueur: 14.0 m Largeur: 9.0 m Hauteur: 2.6 m

Murs extérieurs: Crépis int. & ext.: 1 cm Isolation: 8.0 cm Brique TC : 18 cm

Fenêtres : Double vitrage ($U = 2.9 \text{ W/m}^2\text{K}$) avec cadre en bois de 5.8 cm et stores à lamelles
Fenêtres sud : 10 m^2 , fenêtres nord : 5 m^2

Exploitation : Standard – Habitat collectif (sauf renouvellement d'air : $1.3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, induit par les inétanchéités des vitrages)

Météo : Sion

Horizon : Sud: 15° , Est: 5° , Ouest: 5° , Nord: 30°

Création du projet

1. Lancer *bSol*, cliquer sur bâtiment.
2. Créer le fichier bâtiment de la manière suivante:

Une façade Sud en contact avec l'extérieur avec une paroi opaque de 23.4 m^2 et une fenêtre de 10 m^2 (f.cadre : 15%, f.ombre : 60%, en raison de la présence des balcons) ;

Une façade Nord en contact avec l'extérieur avec une paroi opaque de 23.4 m^2 et une fenêtre de 5 m^2 (f.cadre : 15%, f.ombre : 15%) ;

Une masse « BTC extérieur » de 26.8 m^2 en brique TC de 18 cm ;

Une masse « Plafond » de 126.0 m^2 en béton armé de 20 cm ;

Une masse « Chape » de 126.0 m^2 de chape à 7 cm

Une masse « Cloisons BTC » de 65 m^2 en briques de terre cuite de 14 cm. (Vu que les deux faces de ces cloisons intérieures sont en contact avec l'air intérieur, doubler la surface (130 m^2) et considérer la demi-épaisseur : 7 cm) ;

3. Sauver le tout.

Bâtiment

Bâtiment
 Volume total: 307 [m³] Superficie totale: 126 [m²]

Zone Appartement 4.5
 Volume: 307 [m³] Superficie: 126 [m²] S. réf. éner.: 126 [m²] ☐ Récupérateur de chaleur sur l'air extrait
 Rendement du récupérateur: 67 [%]

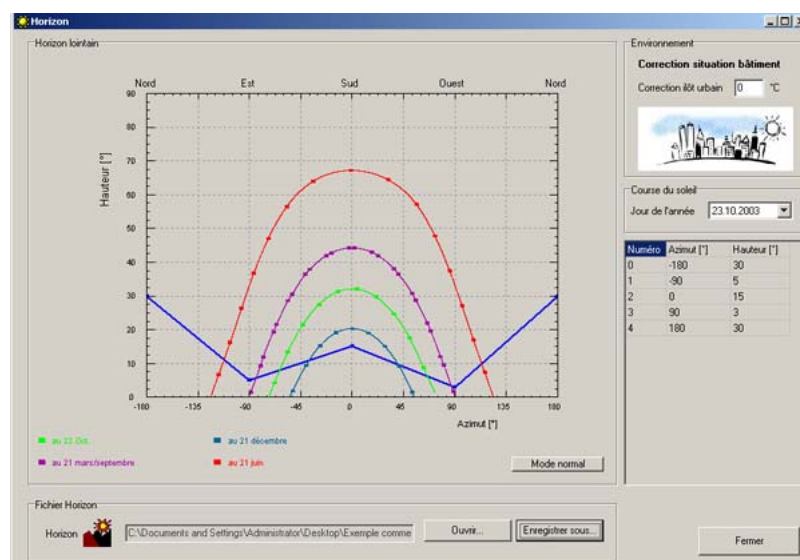
Face Sud
 Superficie brute: 23.4 [m²] Superficie nette: 13.4 [m²] Orientation: [1] Façade Sud Inclinaison: 90 [°] Azimut: 0 [°]

Surface Fenêtre
 Type de surface: [1] Vitrage Type de contact: [0] Air extérieur
 F. cadre: 15 [%] F. ombrage: 60 [%]
☒ Superficie: 10.0 [m²] ☐ Dimensions
 Transmission: 27.2 [W/K]

Constituants / Valeur U
Vitrage
 [11] vitrage double U: 2.90 [W/m² K] g0: 0.780 [-]
Cadre
 [0] bois (sapin 58 mm) U: 1.70 [W/m² K]
Store
 [1] store à lamelle g0: 0.200 [-]

Appliquer Enregistrer sous... Fermer

4. Charger la météo de Sion
5. Ouvrir la fenêtre "Horizon" et éditer la ligne d'horizon comme suit:



6. Ouvrir la fenêtre projet, remplir les différents champs et choisir l'exploitation standard: "Habitat collectif", remplacer le renouvellement d'air par la valeur: $1.4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, sauver l'exploitation sous un nom personnalisé, sauver l'ensemble du projet.

7. Lancer le calcul

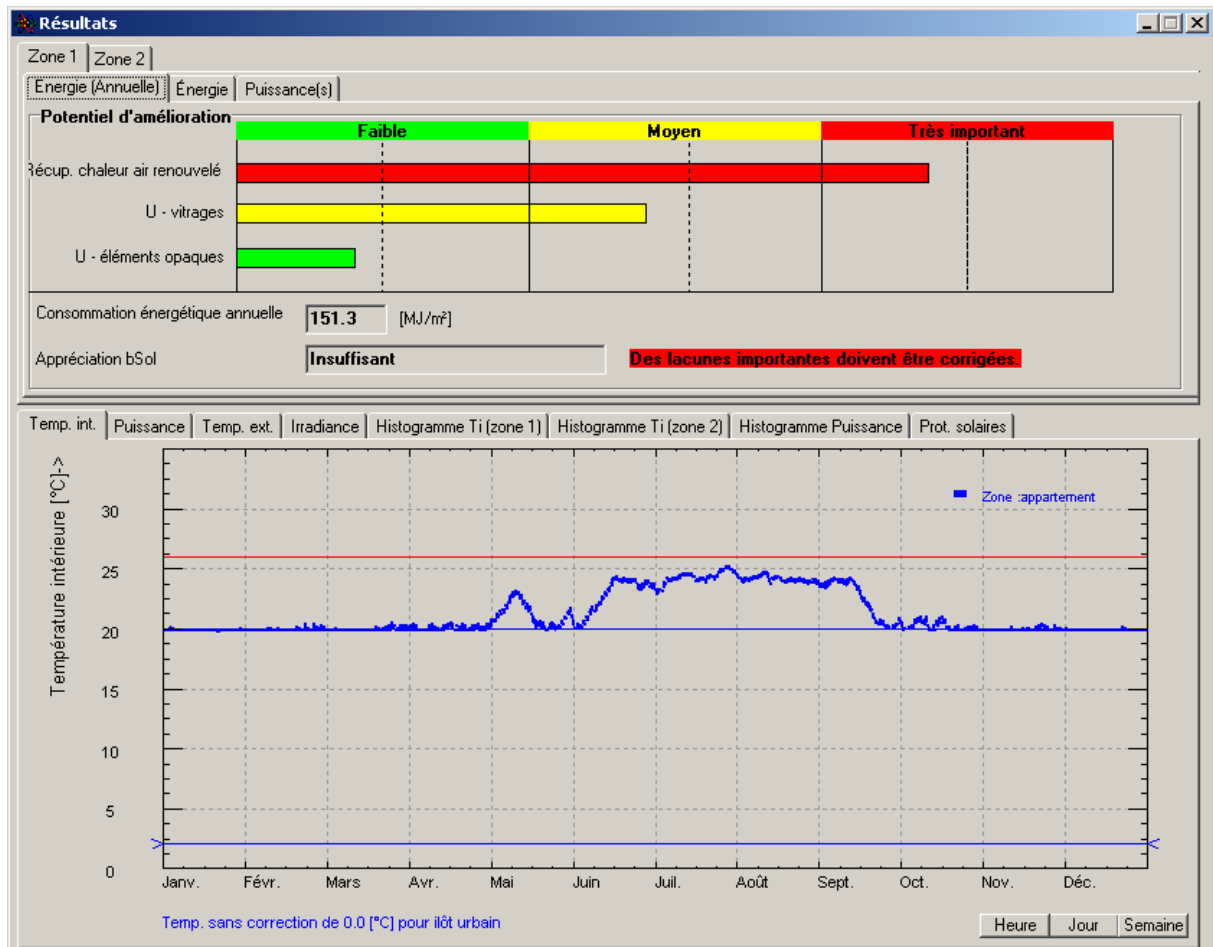
Analyse des résultats

Phase 1 : Calcul à l'état initial du bâtiment

Après le premier calcul, nous obtenons les résultats suivants :

Energie de chauffage:

151.3 MJ/m²



L'appréciation que délivre *bSol* est « insuffisant » et *des lacunes importantes doivent être corrigées*.

Il est vivement conseillé d'améliorer d'abord l'étanchéité des battues de fenêtres afin de diminuer le renouvellement d'air à sa valeur standard (zone rouge).

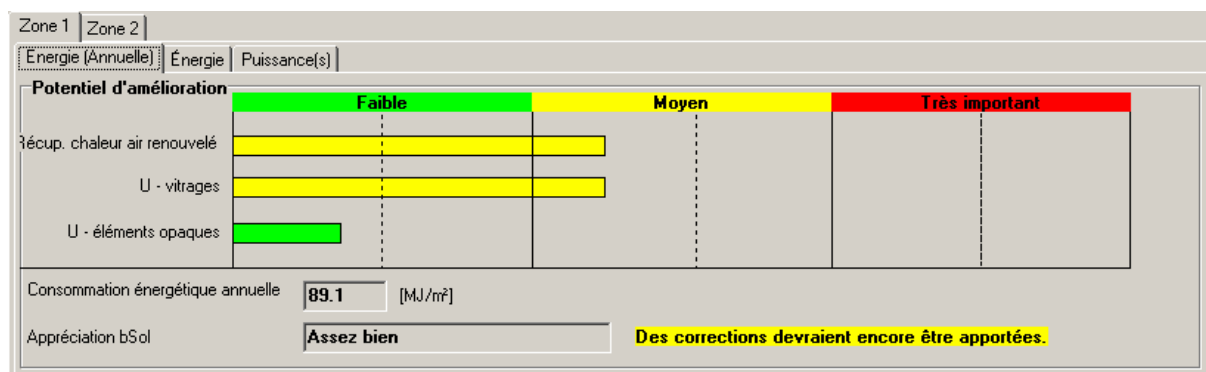
Phase 2 : Calcul après amélioration de l'étanchéité des battues

Evolution du taux de renouvellement d'air : 1.4 m³/(h*m²) → 0.7 m³/(h*m²)

Nouveau calcul :

Energie de chauffage:

89.1 MJ/m²



L'amélioration de l'étanchéité des battues nous fait gagner environ 60 MJ/m².

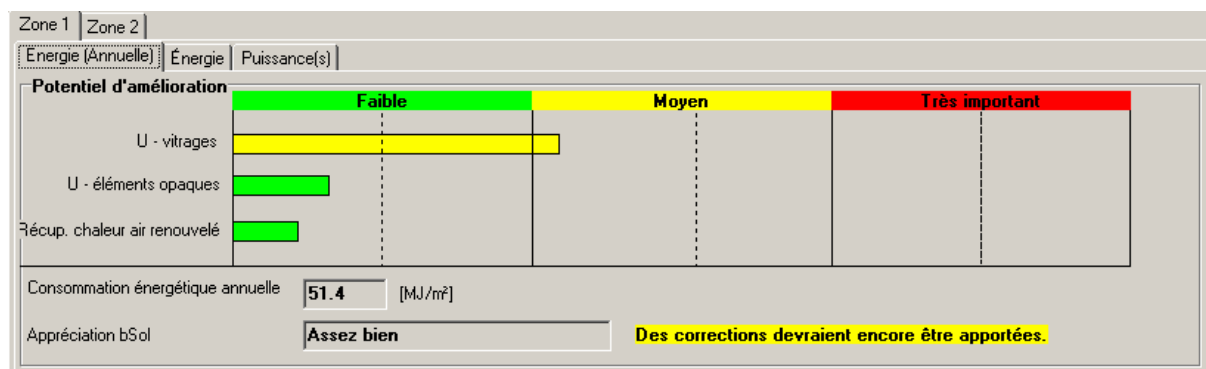
L'appréciation que délivre *bSol* est « Assez bien » et *des corrections devraient encore être apportées*.

Les faiblesses se situent actuellement au niveau du renouvellement d'air ainsi que dans les vitrages.

Phase 3 : Calcul après mise en place d'un récupérateur de chaleur sur l'air extrait : rendement du récupérateur : 67 %

Energie de chauffage:

51.4 MJ/m²

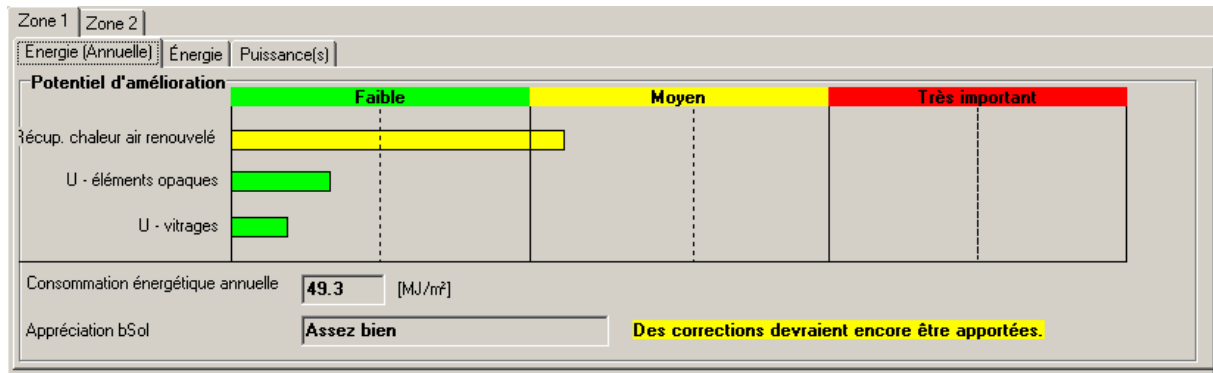


L'appréciation que délivre *bSol* est « Assez bien » et *des corrections devraient encore être apportées*.

Phase 3 bis : L'interprétation du résultat de la phase 2 aurait aussi bien pu inviter à améliorer les vitrages. Avec des vitrages plus performants $U = 1.1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mais sans récupérateur de chaleur sur l'air extrait, on obtient :

Energie de chauffage:

49.3 MJ/m²



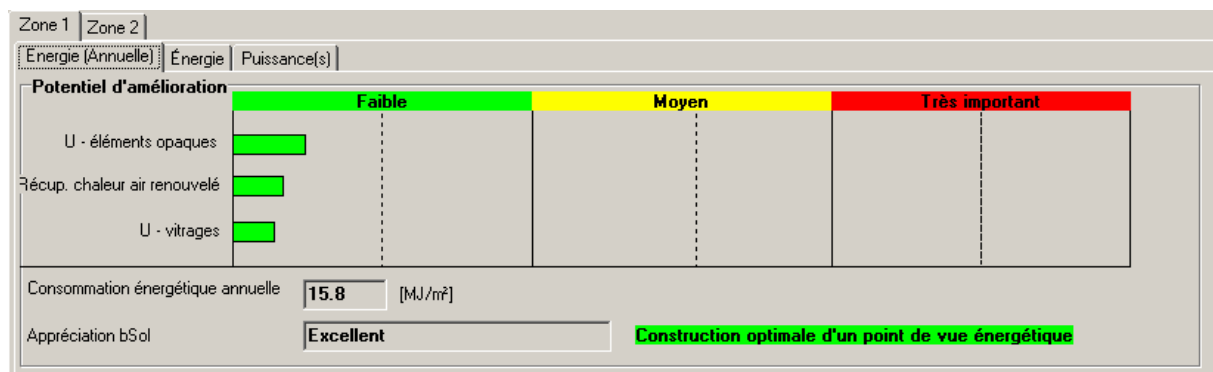
L'appréciation que délivre *bSol* est « Assez bien » et *des corrections devraient encore être apportées*.

Le point faible est maintenant associé au renouvellement d'air.

Phase 4 : Calcul après pose d'un récupérateur de chaleur (Rendement : 67%) et de vitrages performants ($U = 1.1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

Energie de chauffage:

15.8 MJ/m²



La pose d'un récupérateur nous fait gagner environ 30 MJ/m².

L'appréciation que délivre *bSol* est « Excellent » et *construction optimale du point de vue énergétique*.

Conclusions

Ces quelques réflexions permettent de hiérarchiser les différentes interventions lors de la rénovation de cet appartement.

1. Améliorer l'étanchéité des battues ($V=0.7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) [\[INTERVENTION LEGERE\]](#)

2. Incorporer une ventilation mécanique avec récupérateur de chaleur ($\eta = 67\%$)

[INTERVENTION LOURDE]

3. Améliorer les vitrages ($U=1.1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)

[INTERVENTION MOYENNE]

On aurait aussi très bien pu considérer l'amélioration des vitrages avant la pose d'une installation de ventilation mécanique avec récupération de chaleur.

On constate également qu'une augmentation de l'épaisseur d'isolation en façade (intervention lourde) serait, d'un point de vue purement énergétique, superflue.

De même, l'amélioration des cadres de fenêtres (intervention moyenne) n'apporte que peu de chose du point de vue énergétique.

Les règles déterminées ici pour un appartement traversant sont évidemment différentes de celles qui caractériseraient un appartement situé sous toit ou en bord de bâtiment.

Annexe C

Configuration informatique et installation

bSol a été programmé en C++ et fonctionne sur des machines équipée du système d'exploitation Windows.

Il s'agit soit de

- Windows 95,
- Windows 98,
- Windows NT,
- Windows 2000,
- Windows XP.

Aucune version de *bSol* tournant pour MacOS ou sous Linux n'existe pas à ce jour. La version actuelle (version 3.0) n'est pas de type client/serveur. Cette version ne requiert donc pas de connexion internet pour fonctionner : l'introduction des données, les calculs et l'analyse des résultats sont effectués en local sur PC. Un ordinateur, muni d'un processeur à performance égale ou supérieure à celle d'un Pentium III, est suffisant pour faire tourner le logiciel avec un temps de réponse acceptable.

La structure et l'organisation des fichiers pour bSol.

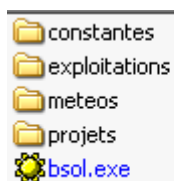
Plusieurs fichiers sont nécessaires au bon fonctionnement de *bSol*. On distingue deux types de fichiers :

- Les fichiers de type système.
- les fichiers de type projet.

Les fichiers de type système

 **bsol.exe** est le fichier exécutable de *bSol*. C'est le fichier de base du logiciel. Pour la version actuelle, un soin tout particulier, a été mis pour rendre l'installation simple et facile. En effet aucune librairie, aucune DLL ne doit être installée pour faire tourner le logiciel.

Le programme *bSol.exe* doit être copié sur le disque du PC.



Au même niveau que *bSol.exe* le répertoire \constantes\ doit exister et contenir des fichiers systèmes. Dans ce répertoire \constantes\ sont regroupés les termes traduits du logiciel et le contenu de la base de données des matériaux. Un sous répertoire IDX contient les index pour les matériaux et pour les traductions.

Dans le répertoire \constantes\ sont également stockés les fichiers d'aides en lignes.

Les fichiers de type projets

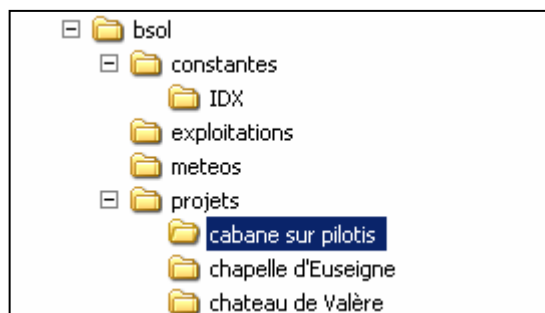
Il s'agit des fichiers avec les extensions suivantes:

Fichier	Icône	extension	Commentaire
projet		*.bsol	Fichier contenant la description du projet et la référence sur les fichiers de type exploitation, horizon, bâtiment et météo de votre projet.
exploitation		*.exp	Fichier qui décrit comment vous voulez exploiter votre construction.
horizon		*.hrz	Décrit la ligne de l'horizon lointain.
résultats			Fichier qui n'est jamais sauvé sur disque.
bâtiment		*.bat	Fichier contenant la description du bâtiment.
météo		*.meteo	Fichier qui contient les données météo

Pour gérer au mieux, les données générées par *bSol*, la règle suivante doit être appliquée:

Tous les fichiers d'un même projet doivent se trouver dans un même répertoire.

Ainsi, nous vous conseillons de nommer un répertoire selon un terme décrivant le projet :: par exemple sous projets, on peut découvrir les répertoires : « chapelle d'Euseigne », « cabane sur pilotis », et « chateau de Valère ».



Sous le répertoire particulier « chapelle d'Euseigne », se trouvent tous les fichiers décrivant le projet du dit nom. Lors de l'échange de projet avec d'autres utilisateurs de *bSol*, il suffira de transmettre l'ensemble des fichiers contenus dans le répertoire (ou le répertoire complet). Cette manière de procéder n'est pas la plus compacte au niveau de l'espace disque mais gagne en clarté et en consistance.

Si deux projets partagent la même météo, nous vous conseillons de copier dans les deux répertoires la météo du lieu. Les fichiers associés aux projets *bSol* ont été optimisés pour utiliser un espace réduit sur disque. Un projet tout entier tient sur une disquette de 1.44 Mb et peut être transféré sans difficulté via e-mail.

Dans le répertoire exploitations, sont stockés les exploitations correspondant aux types d'utilisation standard.

Dans le répertoire meteos, sont regroupées les données météorologiques de base.