

Research Fund
for Coal & Steel



Valorisation de la durabilité des structures en acier

DOCUMENT SUPPORT: VIE DE L'OUVRAGE – ENERGIE DE FONCTIONNEMENT



Agenda

1) Quantification de l'énergie de fonctionnement

- Introduction
- Emplacement de la construction et climat
- Méthode de calcul des besoins en énergie
- Algorithme de quantification d'énergie en phase d'utilisation

2) Calibration et validation de l'algorithme

- Compartiment de référence (EN 15265:2007)
- Appartement de référence (adapté de l'EN 15265:2007)
- Étude d'un bâtiment résidentiel

3) Remarques finales



1) Quantification de l'énergie de fonctionnement

Introduction

L'algorithme de quantification de l'énergie pendant la durée de vie de la structure a été développé antérieurement lors d'un projet de recherche RFCS



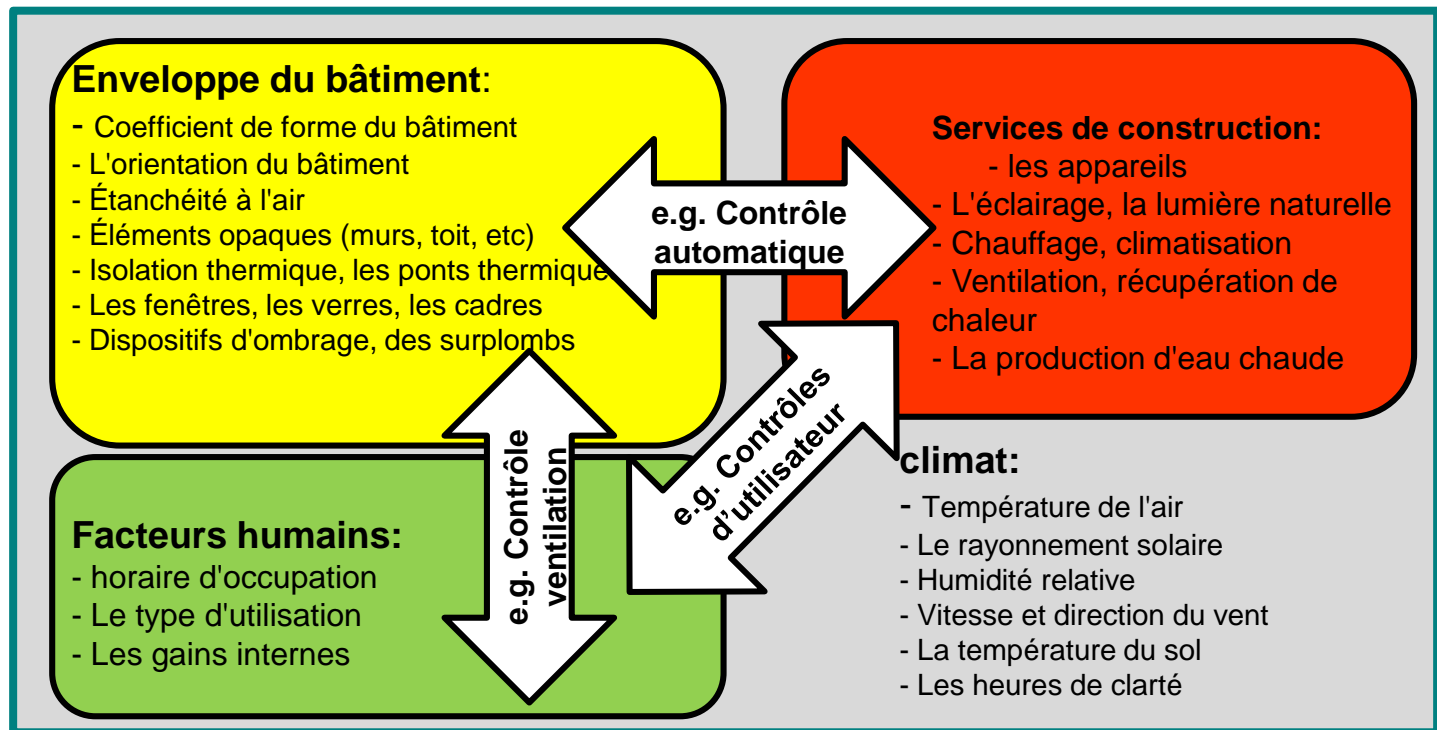
SB STEEL

SB_Steel (2014), Sustainable Building Project in Steel. Ébauche rapport final. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel.

Introduction

Les performances techniques et énergétiques des bâtiments dépendent de nombreux paramètres.

C'est donc un vrai défi que de prédire précisément la demande en énergie d'un bâtiment



C'est d'autant plus difficile dans les premières étapes de conception vu le peu de données disponibles et leur imprécision.

Emplacement de la construction et climat

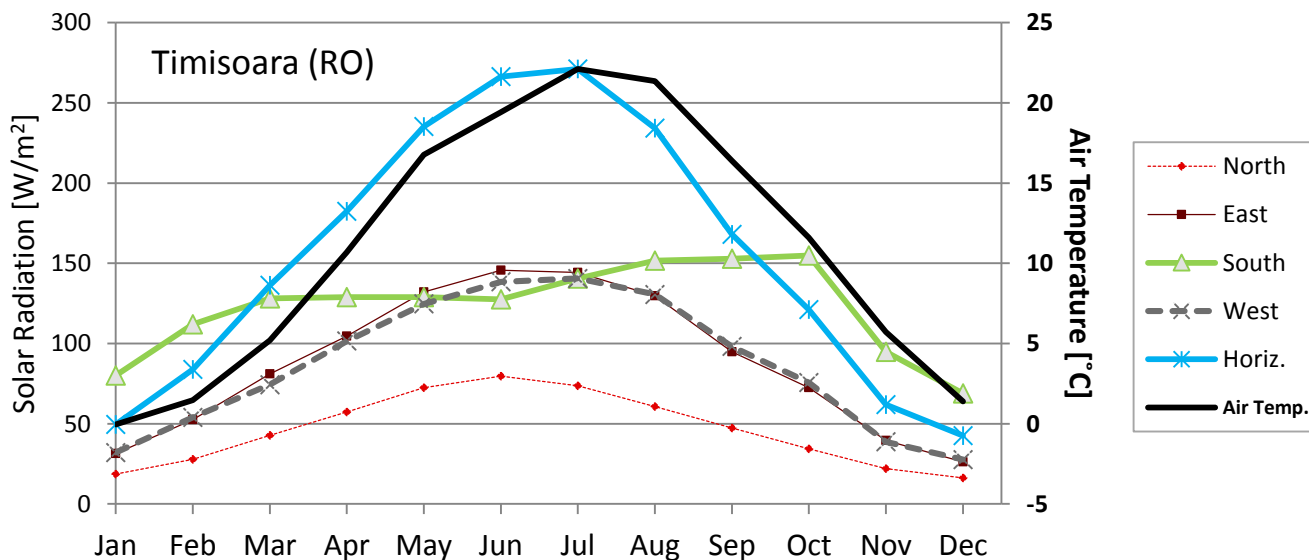
L'emplacement du bâtiment, en terme de conditions climatiques, est d'une importance vitale pour les calculs thermiques. Deux paramètres climatiques principaux sont définis afin de réaliser le calcul de demande en énergie:

- température de l'air;
- Radiation solaire sur une surface d'orientation donnée.

La plupart du temps, ces données sont obtenues grâce à la base de données du logiciel de simulation énergétique EnergyPlus (**EERE-USDoE, 2014**). Dans les autres cas, elles sont obtenues via des partenaires de projets de recherche.

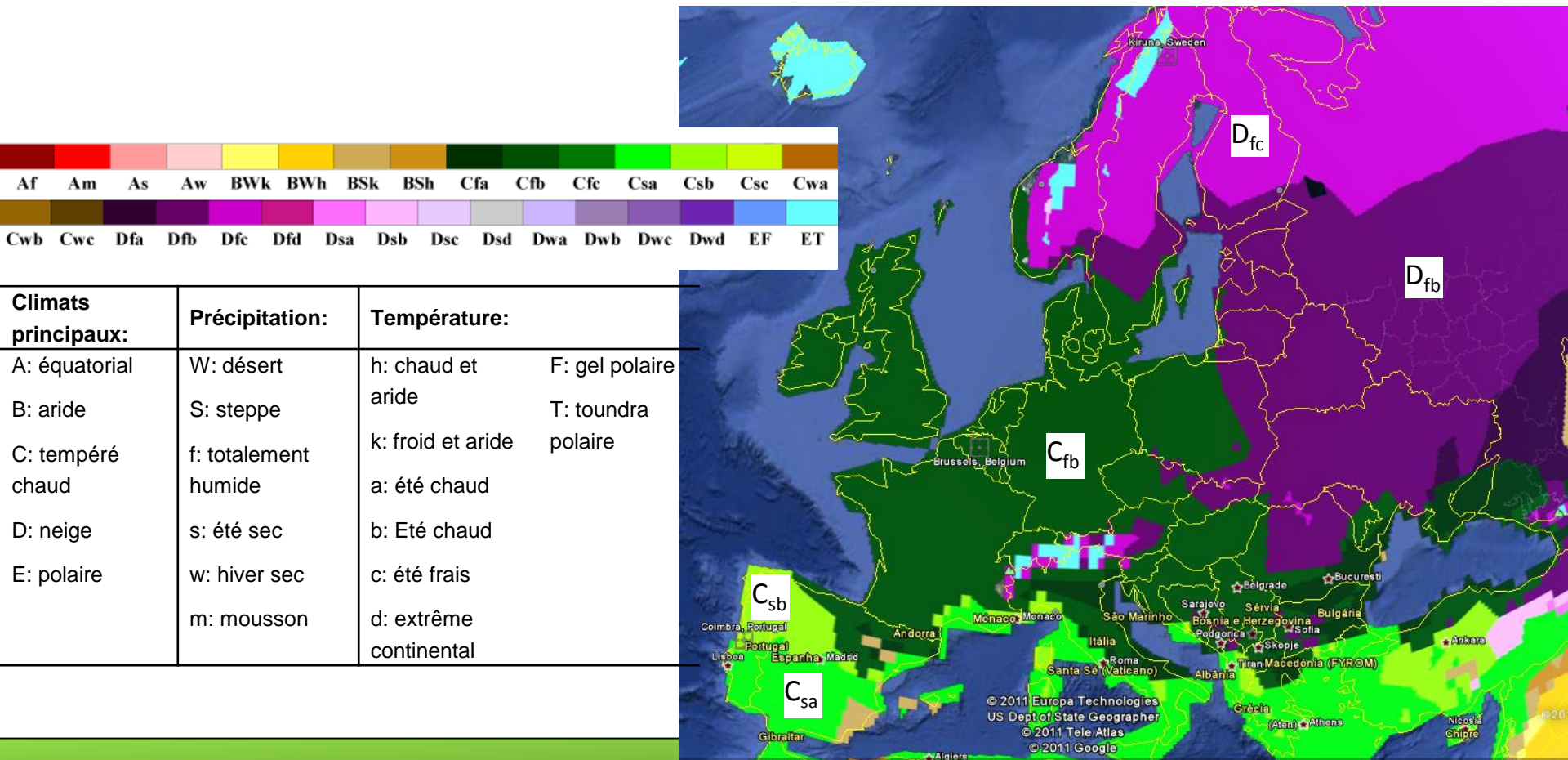
EERE-USDoE (2014), Site du Rendement Énergétique et de l'Énergie Renouvelable du Département de l'Énergie des USA:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/?region=6_europe_wmo_region_6



Emplacement de la construction et climat

Actuellement, la méthodologie est calibrée pour cinq régions climatiques, identifiées selon la classification climatique Köppen-Geiger: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc.





Emplacement de la construction et climat

Base de données de 52 villes

Ville	Pays	Région climatiqu e	Ville	Pays	Région climatiqu e	Ville	Pays	Région climatiqu e
Amsterdam	Netherlands	Cfb	Kiev	Ukraine	Dfb	Oslo	Norway	Dfb
Ankara	Turkey	Csb	Kiruna	Sweden	Dfc	Ostersund	Sweden	Dfc
Arhanglesk	Russia	Dfc	Kraków	Poland	Cfb	Paris	France	Cfb
Athens	Greece	Csa	La Coruña	Spain	Csb	Porto	Portugal	Csb
Barcelona	Spain	Csa	Lisbon	Portugal	Csa	Poznan	Poland	Cfb
Berlin	Germany	Cfb	Ljubljana	Slovenia	Cfb	Prague	Czech Republic	Cfb
Bilbao	Spain	Cfb	London	England	Cfb	Rome	Italy	Csa
Bratislava	Slovakia	Cfb	Lublin	Poland	Dfb	Salamanca	Spain	Csb
Brussels	Belgium	Cfb	Madrid	Spain	Csa	Sanremo	Italy	Csb
Cluj-Napoca	Romania	Dfb	Marseille	France	Csa	Sevilla	Spain	Csa
Coimbra	Portugal	Csb	Milan	Italy	Cfb	Stockholm	Sweden	Dfb
Gdansk	Poland	Cfb	Minsk	Belarus	Dfb	Tampere	Finland	Dfc
Genova	Italy	Csb	Montpellier	France	Csa	Timisoara	Romania	Cfb
Graz	Austria	Dfb	Moscow	Russia	Dfb	Vienna	Austria	Dfb
Hamburg	Germany	Cfb	Munich	Germany	Cfb	Warsaw	Poland	Dfb
Helsinki	Finland	Dfb	Nantes	France	Cfb	Wroclaw	Poland	Cfb
Istambul	Turkey	Csa	Nice	France	Csb			
Katowice	Poland	Cfb	Opole	Poland	Cfb			



Méthode de calcul des besoins en énergie

L'algorithme simplifié implémenté dans AMECO 3 permet la prédiction des besoins en énergie d'un bâtiment pour:

- Chauffage de l'espace;
- Refroidissement de l'espace;
- Approvisionnement en eau chaude.

Cet algorithme est basé sur les prescriptions de plusieurs standards internationaux.

Le calcul de la consommation en chauffage et refroidissement suit la méthode mensuelle quasi-stationnaire fournie par la norme **ISO 13790 (2008)**.

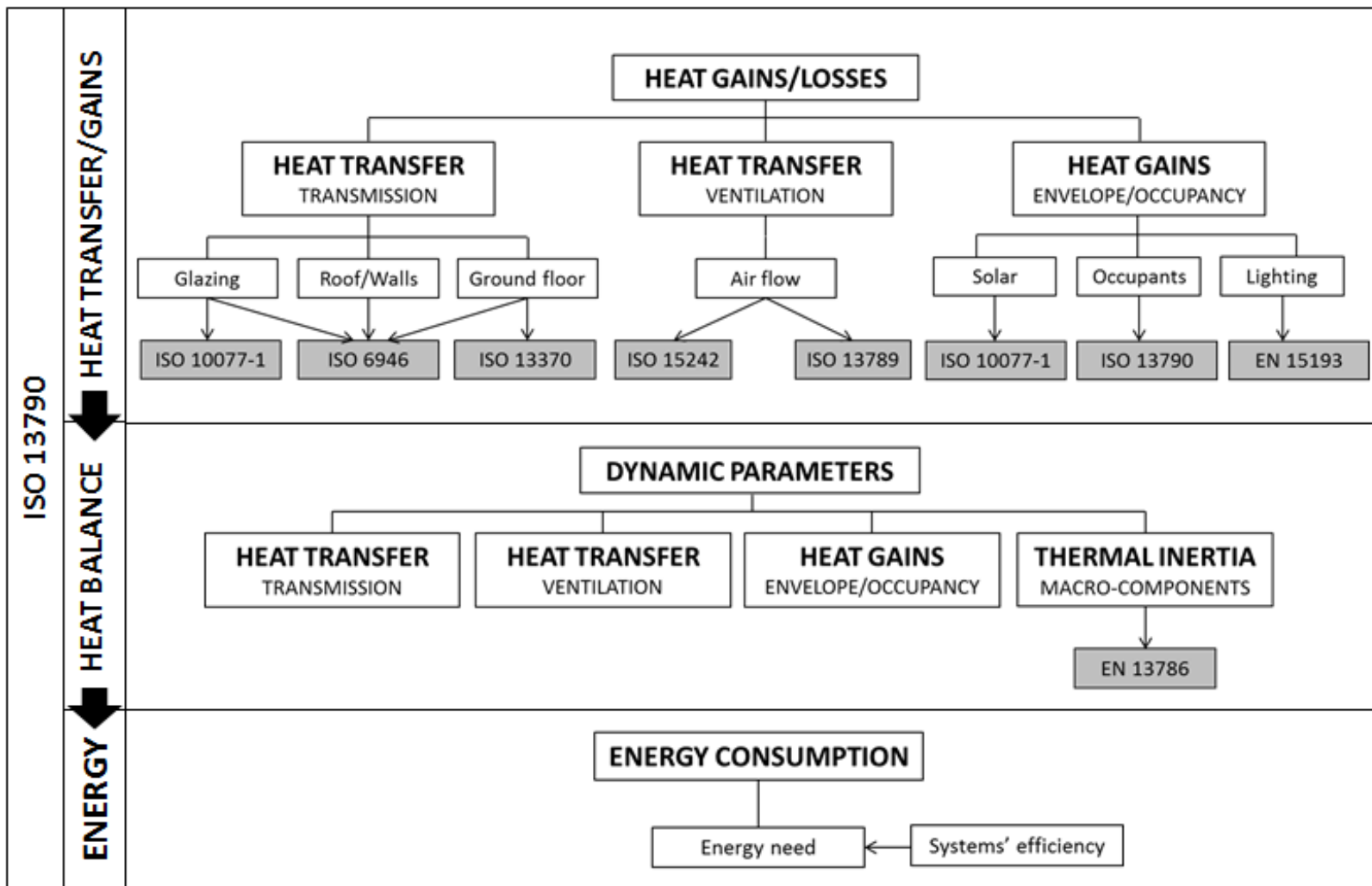
L'énergie nécessaire à l'approvisionnement en eau chaude est calculée selon la norme **EN 15316-3-1 (2007)**.

ISO 13790 (2008), Performance énergétique des bâtiments -- Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux, CEN – Comité Européen de Normalisation,

EN 15316-3-1 (2007), Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – Comité Européen de Normalisation,

Méthode de calcul des besoins en énergie

Méthode mensuelle quasi-stationnaire





Algorithme de quantification d'énergie en phase d'utilisation

Données principales

EMPLACEMENT du bâtiment → en relation avec le climat (pour une ville ou une région climatique spécifique):

- i) température de l'air;
- ii) Radiation solaire sur une surface d'orientation donnée.

TYPE de construction: p.ex. résidentiel, bureaux, commercial ou industriel.

ENVELOPPE du bâtiment basée sur ses macro-composantes (p.ex. Murs, planchers, toiture, sol en place, ouvertures).

DIMENSIONS et ORIENTATION du bâtiment (p.ex. longueur, largeur, hauteur et nombre d'étages).

CONDITIONS INTERIEURES: chauffage et refroidissement, taux de renouvellement d'air par rapport à la ventilation.

SYSTEMES CONSTRUCTIFS pour chauffage et refroidissement et pour la production d'eau chaude.

Résultats principaux

Énergie nécessaire au chauffage et au refroidissement de l'espace, et à la production d'eau chaude.

Équilibre calorifique au travers des éléments constructifs principaux (p.ex. Murs, toiture, fenêtres).

Algorithme de quantification d'énergie en phase d'utilisation

Procédure de calcul des besoins en énergie pour le **CHAUFFAGE**, $Q_{H,nd}$:

1) Équilibre de chaleur sous l'hypothèse d'un chauffage CONTINU:

a) $Q_{H,ht}$ Transfert total de chaleur (par transmission + ventilation) \longrightarrow (pertes)

b) $Q_{H,gn}$ Gain total de chaleur (interne + solaire)

c) $\eta_{H,gn}$ Facteur de gain

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$

2) Correction pour un chauffage INTERMITTENT:

a) Facteur de réduction pour chauffage intermittent ($a_{H,red}$)

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} Q_{H,nd,cont}$$



Algorithme de quantification d'énergie en phase d'utilisation

Procédure de calcul des besoins en énergie pour le **REFROIDISSEMENT*** $Q_{C,nd}$:

1) Équilibre de chaleur sous l'hypothèse d'un refroidissement CONTINU:

a) $Q_{C,ht}$ Transfert total de chaleur (par transmission + ventilation)

b) $Q_{C,gn}$ Gain total de chaleur (interne + solaire)

c) $\eta_{C,ls}$ Facteur de Pertes

Comparaison
chauffage

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$

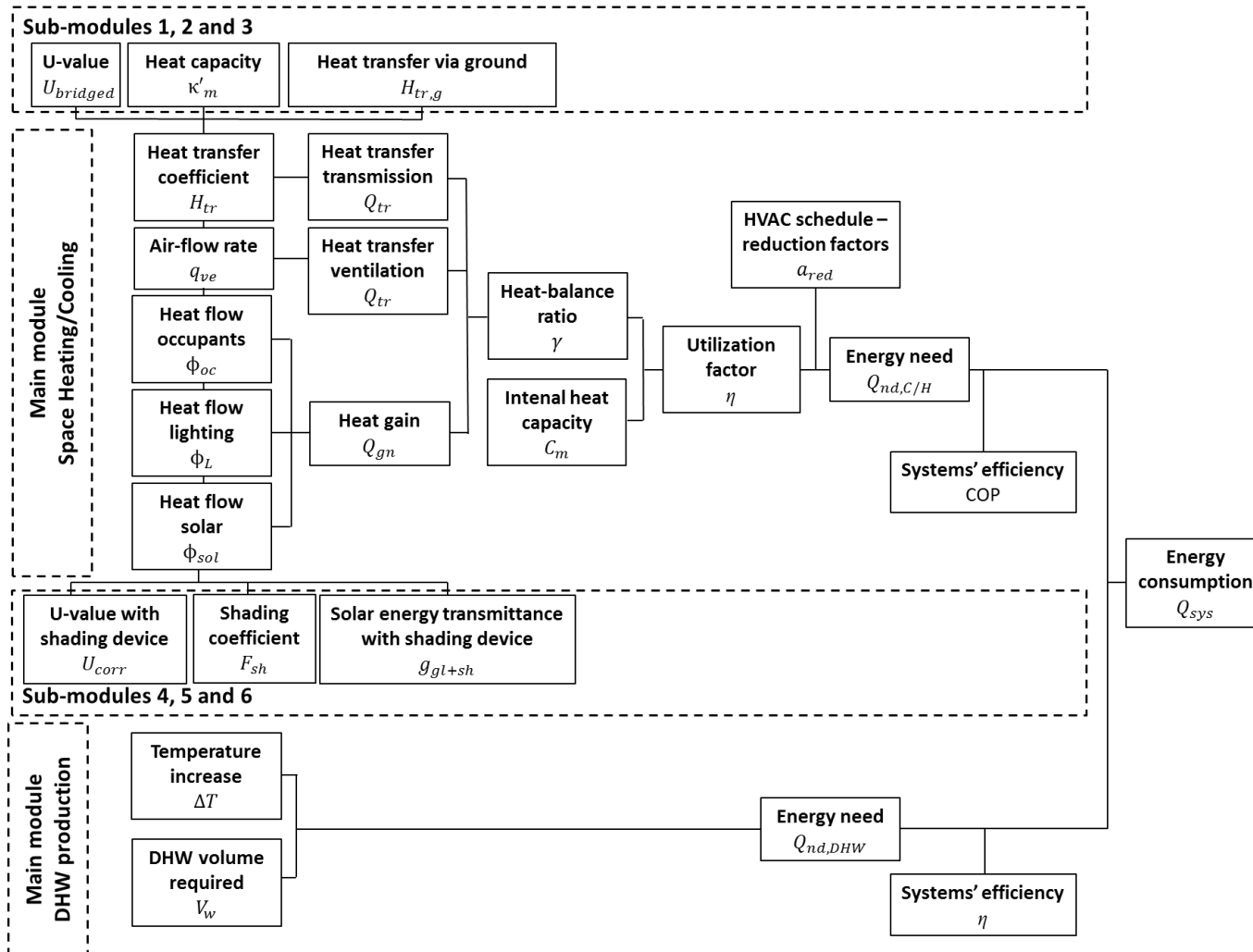
$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht}$$

2) Correction pour refroidissement INTERMITTENT:

a) Facteur de réduction pour refroidissement intermittent

* Similar approach as for heating mode

Algorithme de quantification d'énergie en phase d'utilisation





2) Validation des méthodologies

Calcul des besoins en énergie

L'algorithme implémenté pour prédire les besoins en énergie liés au chauffage et au refroidissement du bâtiment a été calibré et sa précision a été vérifiée à différents niveaux ([Santos et al. 2014](#)):

- Compartiment de référence ([EN 15265:2007](#));
- Appartement de référence (adapté à partir de l'[EN 15265:2007](#));
- Étude d'un bâtiment résidentiel.

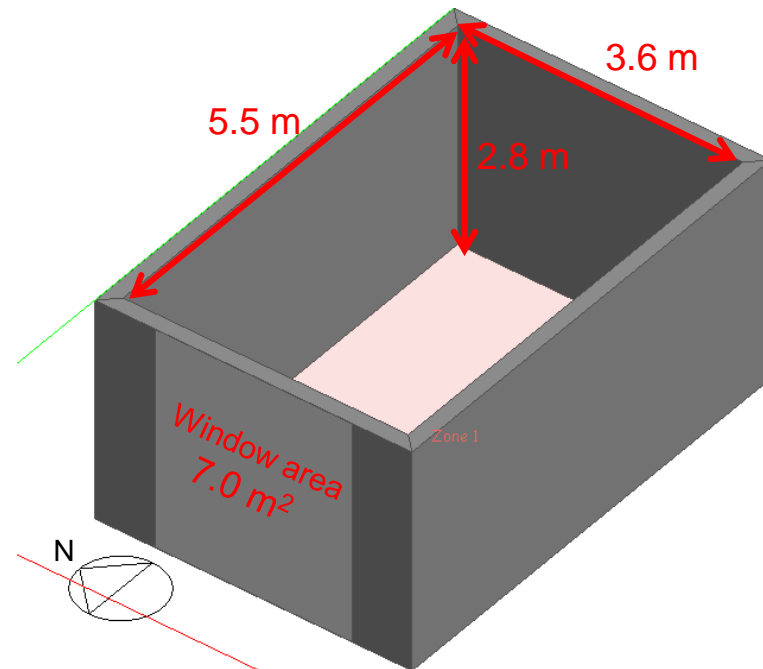
P. SANTOS; R. MARTINS; H. GERVÁSIO; L. SIMÕES DA SILVA, "Assessment of building operational energy at early stages of design – A monthly quasi-steady-state approach", *Energy and Buildings* (ISSN: 0378-7788), vol. 79, pp. 58–73, 2014.

EN 15265 (2007), Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.

Compartiment de référence (EN 15265:2007)

Cette norme prescrit une série de 12 cas-tests pour une pièce de compartiment.

(Informative)	Test 1 Reference Case Test 2 Higher Thermal Inertia Test 3 No Internal Gains Test 4 No Solar Protection
Intermittent HVAC (Normative)	Test 5 = Test1 + Test 6 = Test2 + Test 7 = Test3 + Test 8 = Test4 + <div style="text-align: center;"> HVAC only 8h00-18h00 from Monday to Friday </div>
Intermittent HVAC + External Roof (Normative)	Test 9 = Test5 + Test 10 = Test6 + Test 11 = Test7 + Test 12 = Test8 + <div style="text-align: center;"> External Roof </div>

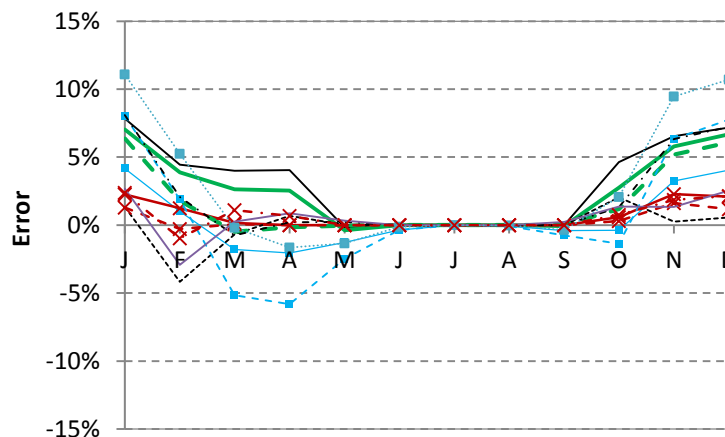


Ces cas-tests permettent d'observer l'influence de paramètres importants sur l'algorithme de calcul des besoins en énergie, tels que les systèmes d'ombrage, la masse thermique, les systèmes HVAC continus ou intermittents, les gains internes, etc.

Compartiment de référence (EN 15265:2007)

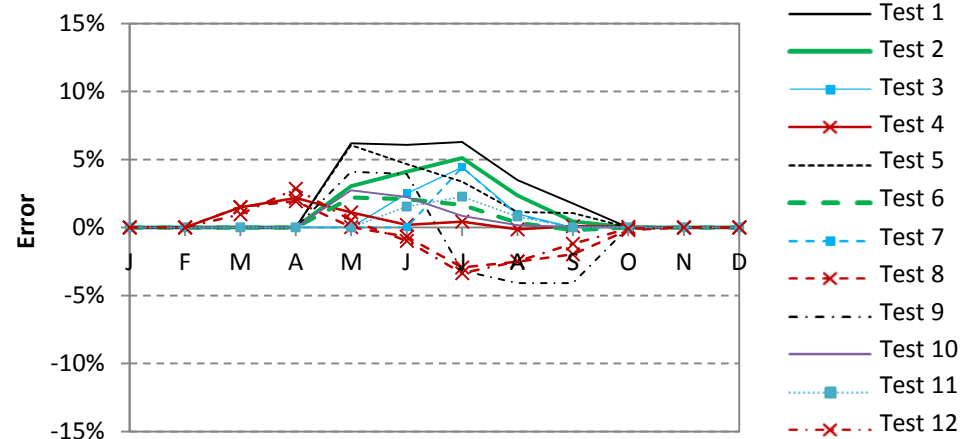
La précision de l'algorithme dépend du cas-test, du mois et du mode de chauffage ou de refroidissement.

Erreur mensuelle maximale < 12%



a) Mode de chauffage

Erreur mensuelle maximale < 7%

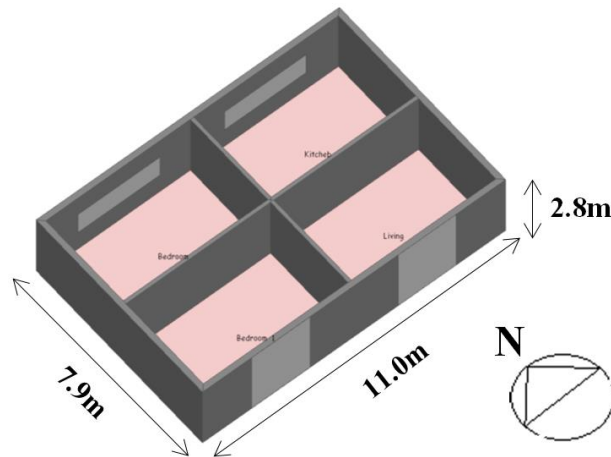


b) Mode de refroidissement

Précision mensuelle de l'algorithme de chauffage/refroidissement: douze cas-tests de EN 15265:2007.

Appartement de référence (adapté de EN 15265:2007)

Dès lors que l'algorithme a pour but de prédire les besoins en énergie d'un bâtiment, et pas seulement un compartiment d'un bâtiment comme dans EN 15265 (2007), toutes les calibrations ont été réalisées avec un nouvel ensemble de cas-tests basées sur les caractéristiques les plus courantes d'un bâtiment (appartement), comme illustré ici.



a) Modèle de bâtiment (dimensions internes)

Element	U-value [W/m ² .K]	κ_m [J/m ² .K]
External wall	0.493	81297
Internal wall	-	9146
Roof	0.243	6697
Ground floor	-	63380

κ_m Areal heat capacity

b) Propriétés thermiques de l'enveloppe

Test case	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Shading devices
T1	35	36	54	ON
T2				OFF
T3	25	20	40	ON
T4				OFF
T5	15	12	24	ON
T6				OFF

GFR: glazing to floor ratio; NGWR: north-oriented glazed to wall ratio;
SGWR: south-oriented glazed to wall ratio.

c) Variables principales des cas-tests

Construction de référence utilisée pour calibrer les facteurs correctifs



Research Fund
for Coal & Steel





Research Fund
for Coal & Steel



Étude d'un bâtiment résidentiel

Bâtiment de deux étages à charpente métallique légère, bâtiment résidentiel situé à Coimbra.



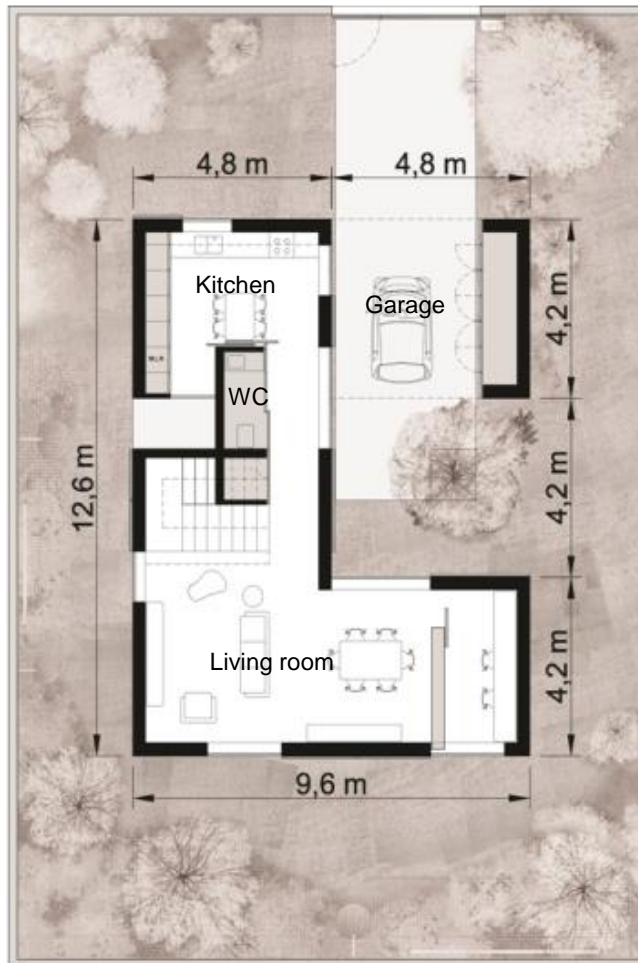
Vue Sud-Ouest



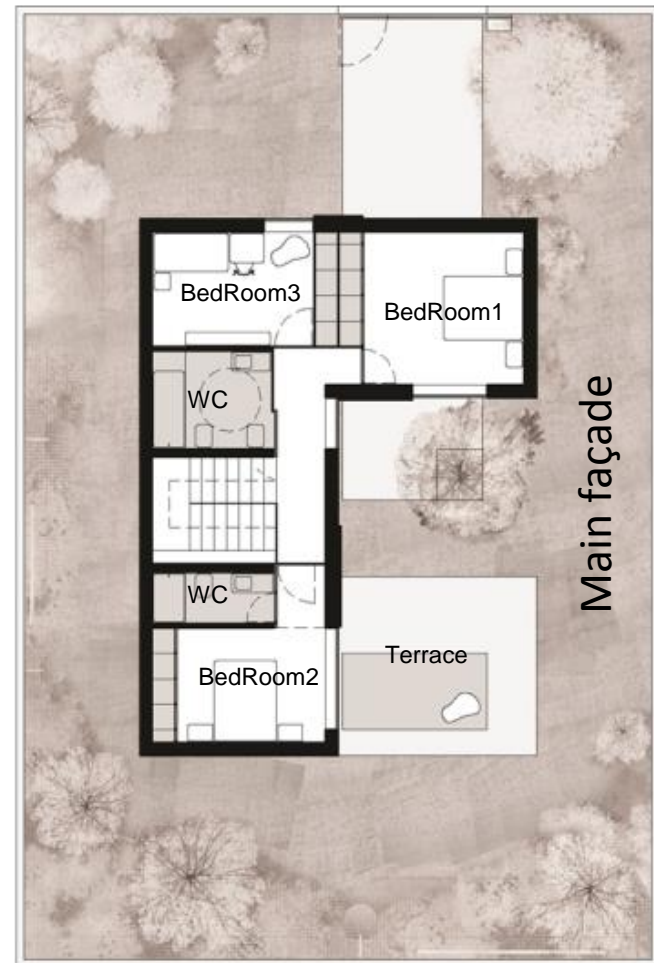
Vue Nord-Ouest

Étude d'un bâtiment résidentiel

Ground-floor level



First-floor level



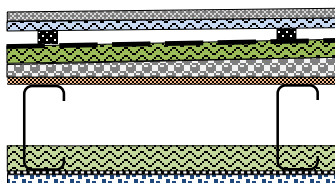
Main façade

Plan des étages

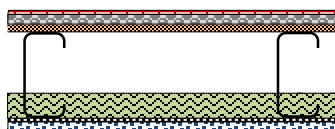
Étude d'un bâtiment résidentiel

Enveloppe opaque:

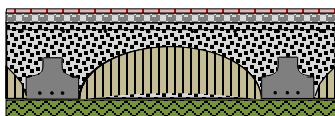
Toiture



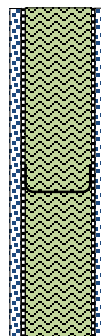
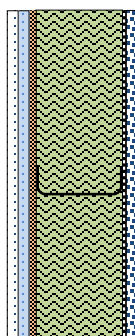
Plancher intérieur



Plancher inférieur



Mur extérieur Mur intérieur



Propriétés thermiques

Élément	κ_m	
	Valeur U [W/m ² .K]	[J/m ² .K]
Dalle de toiture	0.37	13435
Etage intérieur	-	61062
Etage du sol	0.60	65957
Mur extérieur	0.29	13391
Mur intérieur	-	26782

Propriétés thermiques

Matériaux	Valeur U [W/m ² .K]	SHGC
Cadre en PVC et double vitrage (8 + 6 mm, avec espace d'air de 14 mm)	2.60	0.78

SHGC – Solar heat gain coefficient ou Coefficient de gain de chaleur solaire

Enveloppe vitrée

Étude d'un bâtiment résidentiel

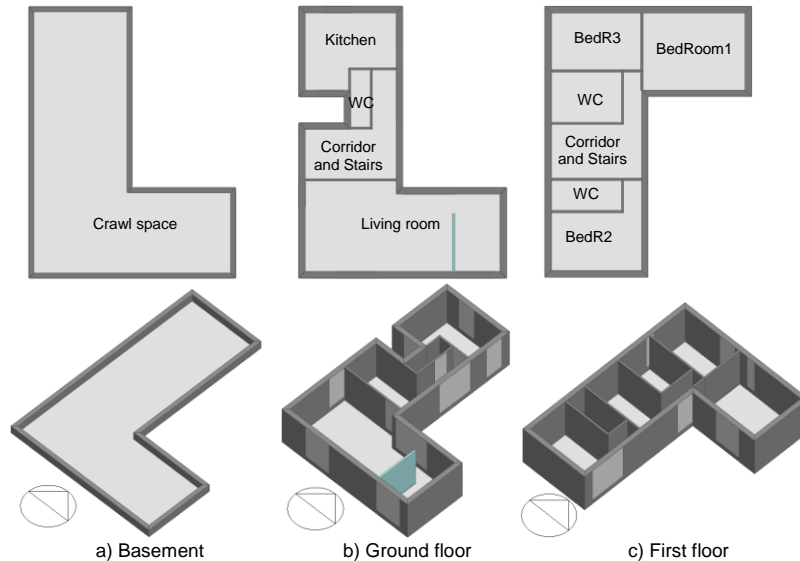
Les résultats de référence de ce bâtiment ont été obtenues via des simulations dynamiques avancées.

Outils:  **DesignBuilder** SOFTWARE  **EnergyPlus**

Le model a été assemblé en utilisant dix zones thermiques



Vue du modèle DSB



Plan des étages

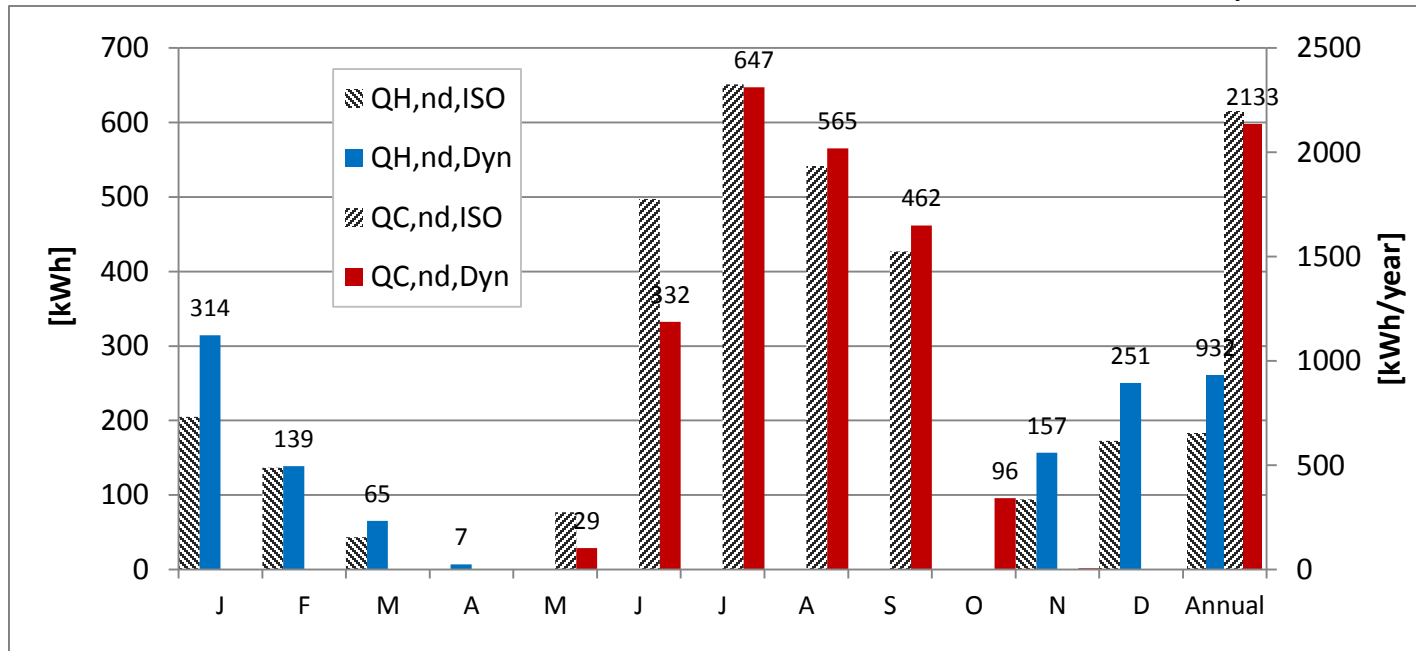


Position de l'ombre le 10 août.

Étude d'un bâtiment résidentiel

Résultats obtenus:

Erreur moyenne: -7.2%



Besoin en énergie du bâtiment pour le chauffage et refroidissement: simulations dynamiques (Dyn) versus algorithme mensuel (ISO)



3) Remarques finales

- L'évaluation de l'énergie emmagasinée et de fonctionnement est essentielle pour la réalisation de l'analyse du cycle de vie.
- Le grand nombre de paramètres rend la prédiction de l'énergie de fonctionnement d'un bâtiment très complexe.
- Un algorithme simplifié a été implémenté pour prédire les besoins en énergie pour le chauffage, le refroidissement ainsi que l'eau chaude, sur base de standards internationaux.
- La précision du modèle mensuel quasi-stationnaire fourni par la norme ISO 13790 a été vérifiée par comparaison avec des simulations dynamiques avancées.
- La comparaison des résultats mène à la conclusion que la précision de cette approche est plus qu'acceptable (erreur moyenne $< 10\%$).