

LVS³

Valorisation de la contribution des structures en acier au développement durable

Guide de conception

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction et objet.....	6
2	Code et environnement informatiques	6
3	Caractéristiques générales du programme AMECO3	7
3.1	Avant-propos	7
3.2	Installation.....	9
3.3	Langues.....	9
3.4	Gestion de l'unité	9
4	Description technique	10
4.1	Définition d'un projet.....	10
4.1.1	Définition de la structure et des données générales d'un bâtiment	10
4.1.1.1	Paramètres généraux	10
4.1.1.2	Dalles de plancher.....	12
4.1.1.3	Structure porteuse.....	13
4.1.1.4	Hypothèses de transport	13
4.1.1.5	Fin de vie	14
4.1.2	Définition d'un pont.....	15
4.1.2.1	Structure porteuse.....	15
4.1.2.2	Hypothèses de transport	16
4.1.2.3	Fin de vie	17
4.1.3	Enveloppe du bâtiment	17
4.1.3.1	Géométrie de la façade	17
4.1.3.2	Propriétés de la façade.....	17
4.1.3.3	Dalle de sol.....	18
4.1.3.4	Paramètres supplémentaires.....	19
4.1.3.5	Toiture	20
4.1.4	Occupation du bâtiment.....	20
4.1.5	Systèmes du bâtiment.....	21
4.1.5.1	Système de chauffage	21
4.1.5.2	Système de refroidissement	21
4.1.5.3	Système de ventilation.....	22
4.1.5.4	Système d'eau chaude sanitaire	22
4.2	Constantes et paramètres spécifiques	22
4.3	Calcul de l'impact environnemental d'une structure	24
4.3.1	Principes.....	24
4.3.1.1	Paramètres décrivant les impacts environnementaux.....	25
4.3.1.2	Paramètres décrivant l'utilisation des ressources, les matières ou combustibles secondaires, ainsi que l'utilisation de l'eau	27
4.3.1.3	Autres informations environnementales décrivant les catégories de déchets	28
4.3.1.4	Autres informations environnementales décrivant les flux sortants	28
4.3.2	Impact environnemental d'un bâtiment.....	29
4.3.2.1	Module A	29
4.3.2.2	Module B : Phase d'utilisation.....	30
4.3.2.3	Module C	43
4.3.2.4	Module D	44

5	Résultats du logiciel	46
5.1	Résultats détaillés de la phase d'utilisation	46
5.1.1	Besoin énergétique pour le chauffage des locaux.....	46
5.1.2	Besoin énergétique pour le refroidissement des locaux.....	47
5.1.3	Besoin énergétique pour la production d'eau chaude sanitaire.....	48
5.1.4	Totaux énergétiques.....	49
5.1.5	Apports de chaleur solaires.....	50
5.2	Résultats globaux de la phase d'utilisation	50
6	Guide d'utilisation du logiciel AMECO3.....	53
6.1	Projet.....	53
6.2	Bâtiment	54
6.2.1	Paramètres généraux.....	54
6.2.2	Emplacement.....	57
6.2.3	Enveloppe	59
6.2.4	Dalle de sol	64
6.2.5	Toit	65
6.2.6	Occupation.....	66
6.2.7	Systèmes.....	67
6.2.8	Structure.....	68
6.2.9	Étages.....	69
6.2.10	Transport.....	70
6.2.11	Résultats	72
6.2.11.1	Diagrammes en barres	72
6.2.11.2	Tableau	76
6.2.11.3	Graphique radial	77
6.2.11.4	Feuille de calcul	78
7	Cas d'étude.....	81
7.1	Immeuble de bureaux.....	81
7.1.1	Introduction	81
7.1.2	Description des bâtiments	81
7.1.3	Analyse environnementale avec le logiciel AMECO3	85
7.1.3.1	Données d'entrée dans le logiciel AMECO3	85
7.1.3.2	Résultats du calcul avec AMECO3.....	89
7.2	Bâtiment résidentiel - Résidence CasaBuna en Roumanie	93
7.2.1	Description du bâtiment	93
7.2.2	Données d'entrée dans le logiciel AMECO3	96
7.2.2.1	Saisie de données générales du bâtiment résidentiel dans AMECO3	96
7.2.2.2	Saisie des données pour la géométrie (Modules A-C-D).....	96
7.2.2.3	Données d'entrée pour les composants du bâtiment (Modules A-B-C-D)	97
7.2.2.4	Données pour la phase d'utilisation du bâtiment (Modules B)	98
7.2.2.5	Données générales pour la structure du bâtiment (Modules A-C-D)	99
7.2.2.6	Données pour le transport des éléments (Module A)	100
7.2.3	Résultats du calcul avec AMECO3	101
7.3	Hall industriel	106
7.3.1	Champ d'application de l'étude.....	106
7.3.2	Description du bâtiment	106
7.3.3	Système structural	106
7.3.4	Composants de l'enveloppe.....	108
7.3.5	Systèmes HVAC	108

7.3.6	Hypothèse principale.....	108
7.3.7	Données d'entrée dans le logiciel AMECO3	109
7.3.7.1	Saisie de données générales du bâtiment industriel dans AMECO3.....	109
7.3.7.2	Saisie des données pour la géométrie (Modules A-C-D).....	109
7.3.7.3	Données d'entrée pour les composants du bâtiment (Modules A-B-C-D)	110
7.3.7.4	Données d'entrée pour la phase d'utilisation du bâtiment (Module B).....	111
7.3.7.5	Données générales pour la structure du bâtiment (Modules A-C-D)	111
7.3.7.6	Données pour le transport des éléments (Module A)	112
7.3.8	Résultats du calcul avec AMECO3	113
7.3.8.1	Système structural en acier S235.....	113
7.3.8.2	Système de structure en acier S460	118
7.3.8.3	Système structural en béton	119
7.3.8.4	Comparaison des impacts GWP entre le système structural acier S235 vs S460	124
7.3.8.5	Comparaison des impacts GWP des structures en acier S460 vs en béton	125
7.3.9	Analyse des avantages environnementaux procurés par une isolation plus épaisse.....	126
8	Références	130

1 Introduction et objet

Le présent document a pour but de fournir des informations sur les différentes étapes de l'évaluation environnementale des bâtiments en acier et en matériaux composites dans le logiciel Ameco.

Il a été élaboré dans le cadre du projet de dissémination **LVS³: Valorisation de la contribution des structures en acier au développement durable** (RFS2-CT-2013-00016).

Le guide de conception propose ce qui suit:

- Une description du processus de calcul: les spécifications techniques détaillent les étapes successives de l'évaluation environnementale des bâtiments dans le logiciel AMECO;
- Un guide d'utilisation de l'outil AMECO;
- L'application d'AMECO à des études de cas.

Les approches utilisées dans le logiciel AMECO ont été développées et validées dans le cadre du projet européen RFCS SB-Steel: *Sustainability of Steel Buildings (SB_Steel, 2014)*.

Ces méthodologies complémentaires sont:

- La méthode des macro-composants, qui concerne l'évaluation du cycle de vie des bâtiments et/ou de leurs composants mais pas la quantification de l'énergie consommée dans le cadre de la phase d'utilisation d'un bâtiment;
- Une approche axée sur la phase d'utilisation d'un bâtiment et qui permet de quantifier l'énergie consommée dans le cadre de la phase opérationnelle des bâtiments.

Le document intitulé « **Document de référence** », une publication également fournie dans le cadre du projet RFCS LVS³, propose un aperçu détaillé des approches adoptées: pour l'évaluation du cycle de vie des impacts environnementaux et des besoins en énergie d'un bâtiment au cours de sa durée de vie opérationnelle.

2 Code et environnement informatiques

AMECO est un outil d'évaluation des impacts environnementaux des structures porteuses en acier et en béton. Ameco 3 est une extension d'Ameco (version 2), conçue pour tenir compte de la phase d'utilisation du bâtiment.

Ameco 3 utilise le langage informatique VB2008. Ce langage utilise la technologie Microsoft .NET. Dès lors, il est supposé que Microsoft .NET Framework est installé sur l'ordinateur de l'utilisateur. Le .NET Framework est automatiquement inclus dans les nouveaux systèmes d'exploitation (OS) Microsoft Vista et Seven, mais pas dans les versions antérieures. Dans ce cas, l'utilisateur final devra l'installer avant d'utiliser Ameco 3.

Le développement est basé sur la version .NET Framework 2.0, qui peut être installé sur les systèmes d'exploitation suivants: Windows 2000 Service Pack 3; Windows 98; Windows 98 Second Edition; Windows ME; Windows Server 2003, Windows XP Service Pack 2. Par ailleurs, Ameco 3 pourrait ne pas être compatible avec une configuration qui n'est pas mentionnée ci-dessus.

3 Caractéristiques générales du programme AMECO3

3.1 Avant-propos

Ameco 3 traite soit de bâtiments soit de ponts en acier et en béton. Il tient compte de 24 types de grandeurs réparties dans les groupes suivants:

- Grandeurs décrivant les impacts environnementaux (GWP, ODP, PA, PE, POCP, ADP-éléments, ADP-combustibles fossiles).
- Grandeurs décrivant l'utilisation des ressources, les matériaux et combustibles secondaires, et l'utilisation de l'eau (Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières, Utilisation des ressources d'énergie renouvelables utilisées en tant que matières premières, Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières), Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières, Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières, Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières), Utilisation de matières secondaires, Utilisation des combustibles secondaires renouvelables, Utilisation des combustibles secondaires non renouvelables, Utilisation nette d'eau douce).
- Autres informations environnementales décrivant les catégories de déchets (Déchets dangereux éliminés, Déchets non dangereux éliminés, Déchets radioactifs éliminés).
- Autres informations environnementales décrivant les flux sortants (Composantes destinés à la réutilisation, Matériaux destinés au recyclage, Matériaux destinés à la récupération d'énergie, Énergie fournie à l'extérieur).

En outre, chaque quantité est répartie en 4 modules (Phase de production et de construction, Phase d'utilisation, Fin de vie, Bénéfices et charges au-delà des frontières du système).

Index	Données disponibles	Abréviations	Désignations	Unité
Impacts environnementaux				
1	Oui	GWP	Potentiel de réchauffement global	tCO ₂ eq
2	Oui	ODP	Potentiel de destruction de la couche d'ozone	tCFCeq
3	Oui	AP	Potentiel d'acidification	tSO ₂ eq
4	Oui	PE	Potentiel d'eutrophisation	tPO ₄ eq
5	Oui	POCP	Potentiel de formation d'ozone photochimique	tEtheneeq
6	Oui	ADP-e	Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques – éléments	tSbeq
7	Oui	ADP-ff	Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques – combustibles fossiles	GJ NCV

Utilisation des ressources, matières et combustibles secondaires				
8	Non	RPE	Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières	GJ NCV
9	Non	RER	Utilisation des ressources d'énergie renouvelables utilisées en tant que matières premières	GJ NCV
10	Oui	RPE-total	Utilisation totale de l'énergie primaire renouvelable (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	GJ NCV
11	Non	Non-RPE	Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières	GJ NCV
12	Non	Non-RER	Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières	GJ NCV
13	Oui	Non-RPE-total	Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	GJ NCV
14	Non	SM	Utilisation de matières secondaires	t
15	Non	RSF	Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	GJ NCV
16	Non	Non-RSF	Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	GJ NCV
17	Oui	NFW	Utilisation nette d'eau douce	10 ³ m ³
Autres informations environnementales décrivant les catégories de déchets				
18	Oui	HWD	Déchets dangereux éliminés	t
19	Oui	Non-HWD	Déchets non dangereux éliminés	t
20	Oui	RWD	Déchets radioactifs éliminés	t
Autres informations environnementales décrivant les flux sortants				
21	Non	CR	Composants destinés à la réutilisation	t
22	Non	MR	Matériaux destinés au recyclage	t
23	Non	MER	Matériaux destinés à la récupération d'énergie	t
24	Non	EE	Énergie fournie à l'extérieur	t

Tableau 1 : Impacts environnementaux

La principale nouveauté d'Ameco 3 est l'introduction du calcul de la phase d'utilisation au sein du calcul de l'impact environnemental. Cela permet d'estimer les besoins énergétiques pour divers systèmes d'un bâtiment (chauffage, refroidissement...). Leur calcul est basé sur plusieurs normes internationales telles que l'ISO-13370, l'ISO-13789 et l'ISO-13790; de même que sur la norme européenne (EN 15316).

Le logiciel Ameco peut analyser soit un bâtiment soit un pont. Néanmoins, l'extension de la phase d'utilisation ne peut être utilisée que pour les bâtiments.

3.2 Installation

Ameco est fourni avec un paquet d'installation, généré par l'application gratuite "Install Creator" et qui comprend:

- le fichier *.exe
- toute bibliothèque dynamique ou de composants nécessaire (fichiers *.dll)
- les bases de données
- les fichiers d'aide
- les fichiers linguistiques
- les icônes et les images nécessaires

3.3 Langues

Ameco est une application multilingue. Tous les textes affichés dans l'IUG sont lus dans des fichiers linguistiques séparés, chacun d'entre eux étant associé à une langue. Le texte des fichiers linguistiques est regroupé en blocs et identifié par des mots-clés.

3.4 Gestion de l'unité

Compte tenu des paramètres à définir, l'unité imposée suivante sera utilisée pour l'IUG:

Poids:	tonnes
Dimensions:	m
Épaisseurs des dalles:	mm
Distances:	km
Densités:	kg/m ³
Superficie des étages	m ²
Besoin énergétique	kWh

Les unités utilisées pour les impacts environnementaux sont indiquées dans le tableau 10 (voir § 5.2 Données de rendement global de la phase d'utilisation).

4 Description technique

4.1 Définition d'un projet

Pour calculer les impacts, il est nécessaire de connaître plusieurs grandeurs décrivant la structure et le type de transport des éléments de construction jusqu'au site, ainsi que quelques informations sur la manière dont les éléments seront utilisés une fois la structure démolie.

Le calcul de la phase d'utilisation nécessite plusieurs grandeurs qui définissent le bâtiment; elles sont décrites ci-après avant de détailler les équations. Dans les paragraphes qui suivent, la lettre *m* désigne le mois, le nombre *m* allant de 1 à 12; l'abréviation *dir*, quant à elle, désigne la direction - soit N, O, E ou S.

4.1.1 Définition de la structure et des données générales d'un bâtiment

4.1.1.1 Paramètres généraux

La définition générale du bâtiment dépend de paramètres définis par l'utilisateur:

Longueur	ℓ_b
Largeur	w_b
Nombre d'étages	$n_{b,fl}$
Superficie des étages	$a_{b,fl,custom}$

La superficie par défaut des étages est calculée par l'expression:

$$a_{b,fl,default} = n_{b,fl} \ell_b w_b \quad (\text{Éq. 1})$$

En fonction des options de calcul choisies par l'utilisateur, la superficie des étages utilisée dans les calculs est la suivante:

$$\begin{aligned} a_{b,fl} &= a_{b,fl,custom} && \text{si la superficie est définie par l'utilisateur} && (\text{Éq. 2}) \\ a_{b,fl} &= a_{b,fl,default} && \text{autre} \end{aligned}$$

L'emplacement du bâtiment doit être choisi parmi les villes reprises dans la base de données des villes.

Les paramètres suivants sont définis dans la base de données pour chaque ville:

Pays	
$\theta_{ext}(m)$	température extérieure au mois <i>m</i> [°C]
$I_{sol,k}(m, dir)$	rayonnement solaire incident dans la direction <i>dir</i> au mois <i>m</i> [W/m ²]
$I_{sol,k,roof}(m)$	rayonnement solaire incident sur le toit au cours du mois <i>m</i> [W/m ²]
$f_{H,shut}(m)$	fraction du jour au cours de laquelle il fait nuit pendant le mois <i>m</i> pour le mode de chauffage (afin de prendre en considération l'isolation supplémentaire fournie par les dispositifs d'ombrage) [-]
$f_{sh,with}(m, dir)$	fraction pondérée du temps d'utilisation du dispositif de protection solaire [-]
Latitude	latitude de la ville
Climat	peut être subpolaire, intermédiaire ou tropical
Climat Geiger	peut être Csa, Csb, Cfb, Dfb, Dfc

Le paramètre climat étant connu, le paramètre suivant est obtenu :

$\Delta\theta_{er}$ écart moyen entre la température de l'air extérieur et la température du ciel en fonction du *climat* (voir **Tableau 14**) [°C]

L'Annex 3 présente des tableaux avec ces valeurs pour Coimbra, Tampere et Timisoara.

Plusieurs affectations sont proposées pour le bâtiment (bâtiment résidentiel (RB), bâtiment de bureaux (OB), bâtiment commercial (CB) et bâtiment industriel (IB)). Ce choix a une incidence sur plusieurs valeurs par défaut reprises dans les paragraphes ci-après.

Le bâtiment est de forme rectangulaire. Les données associées sont:

ℓ_b	longueur des façades Nord-Sud [m]
w_b	longueur des façades Est-Ouest [m]
$n_{b,fl}$	nombre d'étages intermédiaires [-]
$h_{floor,ceiling}$	hauteur de l'étage sous le plafond (identique pour tous les étages) [m] avec la contrainte $h_{floor,ceiling} < h_{floor}$
$a_{b,fl,custom}$	superficie des étages [m ²]

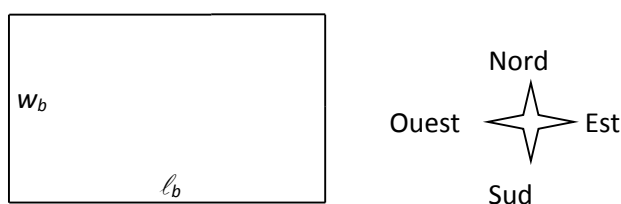


Figure1 : forme du bâtiment

La superficie totale du bâtiment est calculée par l'expression suivante:

$$a_{b,fl,default} = (n_{b,fl} + 1) \cdot \ell_b \cdot w_b$$

La superficie des étages utilisés dans les calculs pour les modules A, C et D est la superficie des étages intermédiaires.

Cette superficie est automatiquement calculée comme suit:

$$a_{b,fl,interm,default} = n_{b,fl} \cdot \ell_b \cdot w_b$$

Trois autres superficies sont utilisées:

$A_{conditionedarea}$	la superficie totale des zones climatisées [m ²]
A_{area1}	la superficie des zones climatisées primaires (gains thermiques internes plus importants) [m ²]
A_{area2}	la superficie des autres zones climatisées (gains thermiques internes plus faibles) [m ²]

Elles satisfont à:

$$A_{conditionedarea} = A_{area1} + A_{area2}$$

$A_{conditionedarea}$ équivaut à la superficie totale du bâtiment $a_{b,fl,default}$ alors que A_{area1} et A_{area2} sont calculés en pourcentage de $A_{conditionedarea}$ en utilisant le **Tableau 12** à l'**Annexe 2** (Area 1 pour les zones climatisées primaires et Area 2 pour les autres zones climatisées). Ces 3 zones ne sont pas affichées.

4.1.1.2 Dalles de plancher

Éléments en acier:

Les éléments en acier utilisés pour les dalles de plancher du bâtiment sont définis par les paramètres suivants:

Type de dalle, à choisir dans la liste suivante:

- Dalle pleine (pas de bac porteur en acier)
- Dalle en composite
- Coffrage perdu
- Préfabriqué
- Plancher sec

Les coffrages en acier sont choisis dans la même base de données que dans Ameco [1].

La masse totale du plancher en acier dans le bâtiment est obtenue par:

$$m_{tss} = m_{ssu} a_{b,fl} \quad (\text{Éq 3})$$

avec m_{ssu} la masse du plancher en acier (par unité de surface) telle que figurant dans la base de données;
 $a_{b,fl}$ la surface des planchers (cf. 4.1.1.1)

Éléments en béton:

Les paramètres suivants des éléments en béton seront utilisés:

Type de béton, à choisir dans la liste suivante:

- Sur site/déversé
- Préfabriqué

Qualité du béton, à choisir dans la liste suivante:

- C20/25
- C30/37

Épaisseur totale du plancher t_{tfl}
 Acier de renforcement m_{conrs}

Le poids total du béton m_{consl} est calculé en utilisant:

$$m_{consl} = a_{b,fl} \rho_{consl} (t_{tfl} - t_{minss} + V_{tmin}) / 10^6 \quad (\text{Éq. 4})$$

où $a_{b,fl}$ la surface des planchers (cf. 4.1.1.1)
 $\rho_{consl} = 2360 \text{ kg/m}^3$
 t_{minss} l'épaisseur minimale de la dalle avec bac porteur en acier, obtenue à partir de la base de données
 V_{tminss} le volume de béton pour l'épaisseur minimale de la dalle, obtenue à partir de la base de données

Remarques:

- Pour les planchers secs, $m_{consl} = 0$
- Pour les dalles sans bac porteur en acier, $t_{minss} = 0$ et $V_{tmin} = 0$ sont pris en considération dans la formule précédente.

4.1.1.3 Structure porteuse

Éléments en acier:

Les paramètres caractérisant les éléments en acier de la structure sont définis par l'utilisateur:

Masse totale des poutres	m_{tsb}	
Masse totale des colonnes	m_{tsc}	
Masse totale des goujons	m_{tst}	
Masse totale des boulons	m_{tbo}	
Masse totale des raccords de plaques	m_{tpl}	
Taux de perte pour les profilés en acier	s_{plos}	

Ce dernier signifie que pour obtenir la masse finale m pour un profilé dans la structure, il faut produire $m(1 + s_{plos})$ de ce profilé.

Éléments en béton:

Les paramètres décrivant la structure en béton seront, comme pour les dalles de plancher:

La masse totale des poutres en béton	m_{tcb}
La masse totale des colonnes en béton	m_{tcc}
La masse totale de l'armaturage en acier	m_{trs}

Type de béton, à choisir dans la liste suivante:

- Sur site/déversé
- Préfabriqué

Qualité du béton, à choisir dans la liste suivante:

- C20/25
- C30/37

Éléments en bois:

Dans Ameco, les éléments en bois sont pris en compte à travers plusieurs grandeurs. Les nouveaux paramètres décrivant les éléments en bois sont les suivants:

Masse totale des poutres	m_{twb}
Masse totale des colonnes	m_{twc}

4.1.1.4 Hypothèses de transport

Transport du béton du site de production jusqu'au site de construction:

Les paramètres définissant le transport du béton sont les suivants:

Distance pour le béton produit sur site	d_{conmix}
Distance pour le béton préfabriqué	d_{conreg}

Ameco calculera les parts du béton produit sur site ou préfabriqué comme suit:

$$\text{Part du béton produit sur le site: } m_{conmix} = m_1 + m_2 \quad (\text{Éq. 5})$$

$$\text{Part du béton préfabriqué: } m_{conreg} = m_3 + m_4 \quad (\text{Éq. 6})$$

où $m_1 = m_{consl}$ si le type de béton pour les éléments des dalles en béton (cf. 4.1.1.2) est fabriqué sur site/déversé; autrement $m_1 = 0$

$m_2 = m_{tcb} + m_{tcc} + m_{trs}$ si le type de béton pour les éléments en béton de la structure porteuse (cf. 4.1.1.3) est fabriqué sur site/déversé; autrement $m_2 = 0$

$m_3 = m_{consl}$ si le type de béton pour les éléments des dalles en béton (cf. 4.1.1.2) est préfabriqué; autrement $m_3 = 0$

$m_4 = m_{tcb} + m_{tcc} + m_{trs}$ si le type de béton pour les éléments en béton de la structure porteuse (cf. 4.1.1.3) est préfabriqué; autrement $m_4 = 0$

Transport de l'acier du site de production jusqu'au site de construction:

L'utilisateur a la possibilité de consulter ou non des valeurs moyennes issues de la base de données européenne pour le transport de l'acier.

Ameco calculera la masse totale de l'acier transporté comme suit:

$$m_{tstrtot} = m_{tss} + m_{conrs} + m_{tsb} + m_{tsc} + m_{tsst} + m_{tbo} + m_{tpl} + m_{trs} \quad (\text{Éq. 7})$$

Si des valeurs moyennes ne sont pas utilisées, les paramètres supplémentaires suivants sont alors nécessaires:

Masse de l'acier transporté en train	m_{str}	
Distance pour l'acier transporté en train	d_{str}	
Masse de l'acier transporté par camion ordinaire		m_{sreg}
Distance pour l'acier transporté par camion ordinaire		d_{sreg}

En outre, l'expression suivante doit être satisfaite:

$$m_{tstrtot} = m_{str} + m_{sreg} \quad (\text{Éq. 8})$$

Transport du bois du site de production jusqu'au site de construction:

Les paramètres définissant le transport du bois sont les suivants:

Masse de bois transportée en train	m_{wtr}	
Distance pour le bois transporté en train	d_{wtr}	
Masse de bois transporté par camion ordinaire		m_{wreg}
Distance pour le bois transporté par camion ordinaire		d_{wreg}

Ameco calculera la masse de bois totale transportée:

$$m_{twtrtot} = m_{twb} + m_{twc} \quad (\text{Éq. 9})$$

Avec l'Éq. 9, l'expression suivante doit être satisfaite:

$$m_{twtrtot} = m_{wtr} + m_{wreg} \quad (\text{Éq. 10})$$

4.1.1.5 Fin de vie

L'utilisateur a la possibilité de modifier tous les paramètres en rapport avec la fin de vie des éléments.

Acier:

Pour les éléments en acier, une partie est recyclée après la démolition du bâtiment. Le ratio de l'élément recyclé est noté $re_{element}$. De plus, certaines poutres et colonnes peuvent être réutilisées et un ratio spécifique re_{sbc} est introduit. La part de matériau qui n'est pas recyclée ou réutilisée est perdue.

Dès lors, les ratios définissant la fin de vie de l'acier, à définir par l'utilisateur, sont les suivants:

Recyclage de l'acier de renforcement	eol_{srs}
Recyclage des couvertures	eol_{sd}
Recyclage des poutres et des colonnes	eol_{sbc}
Réutilisation des poutres et des colonnes	re_{sbc}
Recyclage des montants et des boulons	eol_{sstbo}
Recyclage des raccords de plaques	eol_{spl}

Béton:

Les éléments en béton ne sont pas recyclés; toutefois, ils peuvent être valorisés en les utilisant comme du gravier. Le ratio de l'élément en béton valorisé est noté $val_{element}$.

Les paramètres définissant la valorisation du béton, à définir par l'utilisateur, sont les suivants:

Valorisation pour les planchers	val_{confl}
Valorisation pour la structure	val_{const}

Bois:

Après la démolition d'un bâtiment, une partie des éléments en bois est incinérée. Au cours de ce processus, une partie de l'énergie libérée par la combustion est convertie en courant électrique dans l'unité thermique.

Le paramètre définissant la fin de vie du bois correspond à ce ratio, et doit être défini par l'utilisateur:

Incinération avec récupération d'énergie d'éléments structurels en bois	inc_w
---	---------

4.1.2 Définition d'un pont

4.1.2.1 Structure porteuse

Éléments en acier:

Les paramètres définissant les éléments en acier du pont, à définir par l'utilisateur, sont les suivants:

Masse totale des profilés	m_{tspr}
Masse totale des montants	m_{tstbr}
Masse totale des plaques d'extrémité	m_{tepr}
Masse totale des autres sections	m_{totbr}
Masse totale des autres barres d'armature	m_{torbr}
Taux de perte pour les profilés en acier	s_{plos}

Ce dernier point signifie que pour obtenir la masse finale m pour un profilé dans la structure, il faut produire $m(1 + s_{plos})$ de ce profilé.

Béton:

Les paramètres décrivant les éléments en béton du pont seront modifiés comme suit:

Masse totale du béton	m_{tcbr}
Masse totale de l'acier de renforcement	m_{trsbr}

Type de béton, à choisir dans la liste suivante:

- Sur site/déversé
- Préfabriqué

Qualité du béton, à choisir dans la liste suivante:

- C20/25
- C30/37

4.1.2.2 Hypothèses de transport

Transport du béton du site de production jusqu'au site de construction:

Les paramètres qui définissent le transport du béton sont les suivants:

Distance pour le béton produit sur le site	$d_{conmixbr}$
Distance pour le béton préfabriqué	$d_{conregbr}$

Ameco calculera les parts de béton produites sur site ou préfabriquées comme suit:

Part de béton produite sur le site:	$m_{conmixbr}$
Part du béton préfabriquée:	$m_{conregbr}$

où $m_{conmixbr} = m_{tcbr}$ si le type de béton des éléments en béton est fabriqué sur site/déversé;
autrement 0

$m_{conregbr} = m_{tcbr}$ si le type de béton pour les éléments en béton est préfabriqué;
autrement 0

Transport de l'acier du site de production jusqu'au site de construction:

L'utilisateur a la possibilité de consulter ou non des valeurs moyennes issues de la base de données européenne pour le transport de l'acier.

Ameco va calculer la masse totale de l'acier transporté à partir de l'expression suivante:

$$m_{tstrtotbr} = m_{tspbr} + m_{tstbr} + m_{tepbr} + m_{totbr} + m_{torbr} + m_{trsbr} \quad (\text{Éq. 11})$$

Si des valeurs moyennes ne sont pas utilisées, les paramètres supplémentaires suivants sont alors nécessaires:

Masse de l'acier transporté en train	m_{strbr}
Distance pour l'acier transporté en train	d_{strbr}
Masse de l'acier transporté par camion ordinaire	m_{sregbr}
Distance pour l'acier transporté par camion ordinaire	d_{sregbr}

En outre, l'expression suivante doit être satisfaite:

$$m_{tstrtot} = m_{str} + m_{sreg} \quad (\text{Eq 12})$$

4.1.2.3 Fin de vie

De la même manière que pour un bâtiment, l'utilisateur a la possibilité de modifier tous les paramètres en rapport avec la fin de vie pour les éléments d'un pont.

Acier:

Comme pour les bâtiments, les ratios définissant la fin de vie de l'acier, à définir par l'utilisateur, sont les suivants:

Recyclage des profilés	eol_{spbr}
Réutilisation des profilés	re_{spbr}
Recyclage des montants	eol_{stbr}
Recyclage des plaques d'extrémité	eol_{sepbr}
Recyclage d'autres sections	eol_{sotbr}
Recyclage d'autres barres d'armature	eol_{sorbr}
Recyclage de l'acier de renforcement	eol_{srsbr}

Béton:

Avec la même définition que pour les bâtiments, le ratio définissant la valorisation du béton, à définir par l'utilisateur, est le suivant:

Valorisation du béton	val_{conbr}
-----------------------	---------------

4.1.3 Enveloppe du bâtiment

4.1.3.1 Géométrie de la façade

La description des murs inclut les paramètres suivants:

$A_{lat,tot}(dir)$:	superficie du mur orientée dans la direction dir calculée automatiquement comme le produit de la longueur et de la largeur [m ²]
$A_{lat,opening}(dir)$	la superficie des ouvertures dans le mur dir définie par un pourcentage de la zone totale de la superficie de la façade [m ²]
$A_{lat,opening}(dir) A_{lat}(dir)$	superficie nette du mur orienté dans la direction dir calculée automatiquement comme la différence entre et [m ²]
$F_{glazing,sh}(dir) A_{lat}(dir)$	facteur d'obstruction de l'ombrage des ouvertures dans le mur dir , valeur 1 par défaut masquée.
$F_{walls,sh}(dir)$	facteur d'obstruction de l'ombrage du mur dir , valeur 1 par défaut masquée.

4.1.3.2 Propriétés de la façade

L'utilisateur sélectionne le type du mur et des ouvertures (*WallType* et *OpeningType*) parmi les éléments des listes correspondantes de macro-composants (voir **Tableau 16** et **Tableau 15** à l'annexe 2) et les variables associées sont actualisées:

U_{walls}	valeur U pour les murs [W/(m ² .K)], non modifiable
$k_{m,walls}$	inertie par mètres carrés [J/(m ² .K)], masquée et non modifiable
$U_{mean,opening}$	valeur U pour les ouvertures [W/(m ² .K)], non modifiable
g_n	transmission de l'énergie solaire pour un rayonnement perpendiculaire au vitrage, paramètre masqué (voir Tableau 15 à l'annexe 2) [-]

La sélection du dispositif d'ombrage (*ShadingType* et *ShadingColor*, voir **Tableau 21** à l'annexe 2, détermine la variable:

f_f transmission de l'énergie solaire totale de la fenêtre, lorsque le dispositif d'ombrage est utilisé [-]

Les valeurs par défaut pour *ShadingType* et *ShadingColor* sont « No shading device » (pas de dispositif d'ombrage) et « Intermediate » (Intermédiaire). Le paramètre *ShadingColor* n'est pas affiché.

La sélection du volet (*ShutterType*, voir **Tableau 13** à l'annexe 2) a une incidence sur la valeur des 4 variables:

R_{sh} Résistance thermique supplémentaire avec une perméabilité à l'air spécifique des volets [$m^2.K/W$]
 ΔR_{high} perméabilité élevée ou très élevée [$m^2.K/W$]
 ΔR_{avg} perméabilité moyenne [$m^2.K/W$]
 ΔR_{low} perméabilité faible [$m^2.K/W$]

Ces 4 variables sont masquées.

Les variables suivantes sont également masquées:

NightHeatingActivation pour le contrôle des volets, s'ils sont fermés pendant la nuit afin de réduire les déperditions de chaleur pendant l'hiver par la fenêtre, valeur par défaut conformément au

Type de protections extérieures	Refroidissement diurne
Aucune protection extérieure	<i>Non</i>
Tout autre type de protection	<i>Oui</i>

Tableau 23 à l'annexe 2.

DayCoolingActivation pour le contrôle des dispositifs d'ombrage, s'ils sont activés pendant la journée afin de réduire les apports de chaleur solaire pendant l'été à travers les fenêtres, valeur par défaut conformément au

Type de protections extérieures	Refroidissement diurne
Aucune protection extérieure	<i>Non</i>
Tout autre type de protection	<i>Oui</i>

Tableau 23 à l'annexe 2.

valeur par défaut 0,3 [-]

4.1.3.3 Dalle de sol

Les paramètres suivants sont utilisés pour définir le sol:

U_f Valeur U pour la chape [$W/(m^2.K)$]

<i>GroundFloorType</i>	type de sol pour lequel l'utilisateur doit choisir « Dalle sur sol » « Suspendu »,
<i>D_{concretebasefloor}</i>	Épaisseur de la dalle de sol en béton, valeur par défaut 0 [m]
<i>M_{steelbasefloor}</i>	masse de l'armaturage d'acier, valeur par défaut 0 [t]

Le paramètre *SoilType* (valeur par défaut masquée) détermine deux variables:

(ρc)	la capacité thermique du sol (voir Tableau 22 à l'annexe 2), paramètre masqué [J/(m ³ .K)]
λ	la conductivité du sol (voir Tableau 22), paramètre masqué [W/(m.K)]

Une autre variable masquée est utilisée:

<i>w_{ground}</i>	épaisseur des murs du sous-sol, valeur par défaut 0,2, [m]
---------------------------	--

Le périmètre et la superficie du rez-de-chaussée ne sont pas affichés et sont calculés automatiquement en utilisant:

$$P_{eri} = 2(w_b + l_b)$$

$$A_{ground} = w_b \cdot l_b$$

Selon le rez-de-chaussée (*GroundFloorType*), les paramètres suivants sont définis. Ils ne sont pas affichés.

- Plancher bas
Plusieurs options sont disponibles pour l'isolation (*Edgeinsulation*): "aucune", "horizontale", "verticale" ou "les deux".

Les autres paramètres sont:

<i>d_{n,hor}</i>	épaisseur de l'isolation de bords horizontale [mm]
<i>λ_{hor}</i>	conductivité thermique de l'isolation de bords horizontale [W/(m.K)]
<i>w_{hor}</i>	largeur de l'isolation de bords horizontale [m]
<i>d_{n,vert}</i>	épaisseur de l'isolation de bords verticale [mm]
<i>λ_{vert}</i>	conductivité thermique de l'isolation de bords verticale [W/(m.K)]
<i>w_{vert}</i>	profondeur de l'isolation de bords verticale [m]

- Suspendu

Les paramètres définissant un rez-de-chaussée suspendu sont:

<i>h</i>	hauteur du mur au-dessus du sol comme pour un rez-de-chaussée de type sous-sol [m]
<i>h_z</i>	hauteur du mur en dessous du sol [m]
<i>A_{irflow}</i>	flux d'air, valeur par défaut 0,1 [ac/h]
<i>A_{wind}</i>	superficie des ouvertures de ventilation par longueur du périmètre, déterminée sur 1, paramètre masqué [m ² /m]
<i>w_{avgspeed}</i>	vitesse moyenne du vent à une hauteur de 10 m, paramètre masqué [m/s]

Les 3 derniers paramètres sont liés par:

$$w_{avgspeed} = \frac{A_{irflow} \cdot A_{ground} \cdot (h + h_z)}{3600 \cdot P_{eri} \cdot A_{wind}}$$

4.1.3.4 Paramètres supplémentaires

Quelques paramètres supplémentaires sont liés à l'enveloppe du bâtiment. Ces paramètres sont masqués.

<i>R_{se}</i>	résistance de la surface extérieure, valeur par défaut 0,04 [m ² .K/W]
<i>α_{s,c}</i>	coefficient d'absorption du rayonnement solaire, valeur par défaut 0,5 [-]
<i>h_r</i>	coefficient de transfert thermique par rayonnement externe, valeur par défaut 4,5 [W/(m ² .K)]
<i>C_m</i>	capacité thermique intérieure [J/K], calculée comme suit:

$$C_m = k_{m,walls} \cdot \sum_{dir} A_{lat}(dir) + k_{m,roof} \cdot A_{roof} + k_{m,ext,floor} \cdot A_{ext,floor} + k_{m,ground} \cdot A_{ground} + k_{m,interm,floor} \cdot a_{b,fl,interm} + k_{m,intern,walls} \cdot \left(Ratio_{intern,walls} \cdot \sum_{dir} A_{lat,tot}(dir) \right)$$

Où:

$k_{m,walls}$	capacité thermique intérieure des murs [J/K/m ²], valeur dépendant du macro-composant sélectionné pour le mur
$k_{m,roof}$	capacité thermique intérieure du toit [J/K/m ²], valeur dépendant au macro-composant sélectionné pour le toit
$k_{m,ext,floor}$	capacité thermique intérieure des étages extérieurs [J/K/m ²], valeur par défaut 50000 J/K/m ²
$k_{m,ground}$	capacité thermique intérieure des rez-de-chaussée [J/K/m ²], valeur par défaut 50000 J/K/m ²
$k_{m,interm,floor}$	capacité thermique intérieure des étages intermédiaires [J/K/m ²], valeur par défaut 50000 J/K/m ²
$k_{m,intern,walls}$	capacité thermique intérieure des murs intérieurs [J/K/m ²], valeur par défaut équivalant au double de la valeur de J/K/m ²
$Ratio_{intern,walls}$	rapport de la superficie des murs internes divisée par les superficies des façades, valeur par défaut 40%

4.1.3.5 Toiture

L'utilisateur sélectionne le macro-composant pour le toit conformément au **Tableau 25** à l'annexe 2. Les paramètres suivants définissent le toit:

U_{roof}	valeur U pour un toit plat, valeur par défaut dépendant du macro-composant, non modifiable [W/(m ² .K)]
$A_{ext,floor}$	superficie de l'étage extérieur, valeur par défaut, masquée [m ²]
A_{roof}	superficie de la partie plate du toit, valeur par défaut calculée en fonction des dimensions du bâtiment, masquée [m ²]
$A_{slopedroof}$	superficie de la partie inclinée du toit, valeur par défaut 0, masquée [m ²]
$A_{roof,opening}$	superficie des ouvertures dans le toit, valeur par défaut 0, masquée [m ²]
$F_{glazing,sh,roof}$	facteur d'obstruction de l'ombrage des ouvertures dans le toit, valeur par défaut 1, masquée
$U_{slopedroof}$	valeur U pour le toit incliné, valeur par défaut 0, masquée [W/(m ² .K)]
$U_{ext,floor}$	valeur U pour le toit externe, valeur par défaut 0, masquée [W/(m ² .K)]
$U_{floorunconditionedspace}$	valeur U pour le toit de l'espace non climatisé, valeur par défaut 0, masquée [W/(m ² .K)]

4.1.4 Occupation du bâtiment

L'occupation du bâtiment est divisée en trois périodes par jour; de plus, une distinction est faite entre les jours ouvrables et le week-end. Enfin, deux éléments sont pris en considération pour l'occupation: d'une part, la présence d'occupants et d'autre part, le besoin en éclairage. Ces choix peuvent différer entre les zones climatisées (zone 1) et les autres zones climatisées (zone 2).

Chacun des 24 choix est défini par trois grandeurs:

$h_{function,beg,place,Date,i}$	l'heure de début [h]
$h_{function,end,place,Date,i}$	l'heure de fin [h]
$Gain_{function,place,Date,i}$	l'apport de chaleur interne [h]

Où *fonction* \in {occupation ; éclairage}, *lieu* \in {zone 1 ; zone 2}, *Date* \in {Lundi à vendredi ; Samedi à dimanche}, *i* \in {1 ; 2 ; 3}.

Les valeurs par défaut sont indiquées dans les **Tableau 27** à **Tableau 30** (à l'annexe 2) en fonction du type de bâtiment. Ces 24 grandeurs sont masquées.

Les conditions intérieures sont liées au confort des occupants et sont définies par 4 paramètres. Les valeurs par défaut sont déterminées conformément au **Tableau 31** n Annexe 1; elles ne peuvent être modifiées:

$\theta_{int,set,H}$	température de chauffage [°C]
$\theta_{int,set,C}$	température de refroidissement [°C]
n_H	débit d'air pour le mode de chauffage (par m ²) [ac/h]
n_C	débit d'air pour le mode de refroidissement (par m ²) [ac/h]

4.1.5 Systèmes du bâtiment

4 systèmes du bâtiment sont pris en considération.

4.1.5.1 Système de chauffage

L'utilisateur doit définir le type de système de chauffage ($\eta_{HeatingType_System}$, voir **Tableau 17** à l'annexe 2).

Ce choix a un impact sur le rendement du système de chauffage pris en considération dans les calculs:

$\eta_{HeatingEfficiencySystem}$ rendement du système de chauffage, masqué en mode normal [-]

L'énergie utilisée ($EnergyType_{heating}$), les valeurs par défaut étant définies conformément au **Tableau 33** à l'annexe 2; détermine un facteur de conversion de l'énergie finale à l'énergie primaire:

$k_{energytype,heating}$ type d'énergie (voir le **Tableau 20** à l'annexe 2) [kgoe/kWh]

Ces deux champs sont masqués.

Les grandeurs suivantes sont utilisées mais ne sont pas affichées. Les valeurs sont définies conformément au **Tableau 32** à l'annexe 2.

$h_{begd,heating}$	heure de début pour le programme de fonctionnement [h]
$h_{end,heating}$	heure de fin pour le programme de fonctionnement [h]
$NbDay_{working,heating}$	nombre de jours de fonctionnement par semaine [-]

4.1.5.2 Système de refroidissement

L'utilisateur doit déterminer le type de système de refroidissement ($\eta_{CoolingType_System}$, voir **Tableau 18** à l'annexe 2).

Ce choix a une incidence sur le rendement du système de refroidissement:

$\eta_{CoolingEfficiencySystem}$ rendement du système de refroidissement, masqué [-]

L'énergie utilisée (), les valeurs par défaut étant définies conformément au **Tableau 33** à l'annexe 2; détermine un facteur de conversion de l'énergie finale à l'énergie primaire:

$k_{energytype,cooling}$ type d'énergie (voir **Tableau 20**) [kgoe/kWh]

Ces deux champs sont masqués.

Enfin, comme pour le système de chauffage, une variable similaire est définie. Elle est masquée et sa valeur par défaut est déterminée conformément au **Tableau 34**:

$NbDay_{working,cooling}$ nombre de jours de fonctionnement par semaine [-]

4.1.5.3 Système de ventilation

La définition du système de ventilation est fonction de l'utilisation d'un système de récupération de chaleur (*HeatRecovery*). Dans ce cas, les caractéristiques du système sont:

$HeatRecovery\%$ fraction du volume d'air traversant l'unité de récupération de chaleur, valeur par défaut 0,8, masquée[-]
 η_{hru} rendement de l'unité de récupération de chaleur, valeur par défaut 0,6, masquée [-]

4.1.5.4 Système d'eau chaude sanitaire

Le type de système d'eau chaude sanitaire ($\eta_{TypeDHW}$, voir **Tableau 19** à l'annexe 2), est lié au rendement du système d'eau chaude sanitaire:

η_{DHW} DHW efficiency system, masqué en mode normal [-]

L'énergie utilisée ($EnergyType_{DHW}$), les valeurs par défaut étant déterminées conformément au **Tableau 35**, détermine un facteur de conversion de l'énergie finale à l'énergie primaire:

$k_{energytype,DHW}$ type d'énergie (voir **Tableau 20**) [kgoe/kWh]

Le système d'eau chaude sanitaire dépend de plusieurs paramètres:

$\theta_{w,t}$ la température de l'eau souhaitée au point de puisage, valeur par défaut 60, masquée [°C]
 $\theta_{w,outside}$ température de l'eau d'admission, valeur par défaut 15, masquée [°C]
 $DHW_{energyreduction}$ fraction de l'énergie fournie pour l'eau chaude sanitaire fournie par des sources d'énergie renouvelables, valeur par défaut 0, masquée [-]

4.2 Constantes et paramètres spécifiques

Constantes générales:

$MonthLength(m)$ nombre de secondes au cours du mois m en mégasecondes
 $MonthDay(m)$ nombre de jours au cours du mois m [-]
 $NbDayWorking(m)$ nombre de jours ouvrables au cours du mois m [-]

Les grandeurs suivantes sont traitées de manière spécifique. Il s'agit au départ de données d'entrée, mais étant donné que leur signification peut ne pas être claire pour l'utilisateur, elles sont traitées comme des constantes dans AMECO 3.

F_w facteur de correction pour un vitrage non diffusant [-]
 f_w facteur écran [-]

$b_{tr,U}$	facteur d'ajustement pour l'espace non climatisé [-]
$F_{r,v}$	facteur de rayonnement pour un toit vertical [-]
$F_{r,h}$	facteur de rayonnement pour les murs horizontaux [-]

Paramètres spécifiques pour le **mode de chauffage**:

$k_{D,cor,H}$	facteur de correction pour le transfert thermique par transmission [-]
$k_{cor,ve,H}$	facteur de correction pour le transfert thermique par renouvellement d'air [-]
$k_{cor,int,H}$	facteur de correction pour les apports internes [-]
$k_{cor,H}$	facteur de correction pour les apports de chaleur solaires [-]
a_{H0}	paramètre numérique de référence sans dimension [-]
τ_{H0}	Constante de temps de référence [h]
$b_{H,red}$	Facteur de corrélation empirique (défini sur 3) [-]

Certains de ces paramètres dépendent du paramètre ClimatGeiger et de la présence d'un dispositif d'ombrage (voir **Tableau 26**).

Paramètres spécifiques pour le **mode de refroidissement**:

$k_{D,cor,C}$	facteur de correction pour le thermique par transmission [-]
$k_{cor,ve,C}$	facteur de correction pour le transfert thermique par renouvellement d'air [-]
$k_{cor,int,C}$	facteur de correction pour les apports internes [-]
$k_{cor,C}$	facteur de correction pour les apports de chaleur solaires [-]
a_{C0}	paramètre numérique de référence sans dimension [-]
τ_{C0}	Constante de temps de référence [h]
$b_{C,red}$	Facteur de corrélation empirique (défini sur 3) [-]

Certains de ces paramètres dépendent du paramètre ClimatGeiger et de la présence d'un dispositif d'ombrage (voir **Tableau 26**).

Constantes pour la production d'eau chaude sanitaire:

Conformément à la norme EN15316-3-1, les trois constantes suivantes sont définies (bâtiments résidentiels).

$$X = 32 \text{ [l/(day.m}^2\text{)]}$$

$$Y = 160 \text{ [l/(day.m}^2\text{)]}$$

$$Z = 2 \text{ [l/(day.m}^2\text{)]}$$

4.3 Calcul de l'impact environnemental d'une structure

4.3.1 Principes

La méthode utilisée par Ameco repose sur 24 indicateurs d'impacts environnementaux, chacun d'entre eux étant réparti dans quatre modules :

- Module A: Phase de production et de construction
- Module B: Phase d'utilisation
- Module C: Fin de vie
- Module D: Bénéfices et charges au-delà des frontières du système

Les 24 indicateurs respectent les mêmes équations. Les seules différences entre eux sont les valeurs des coefficients. Tous ces coefficients sont indiqués dans les tableaux 2 et 3.

La dénomination de chaque coefficient est donnée au Tableau 2 et les valeurs sont précisées dans les paragraphes suivants. La valeur de tous les paramètres définis dans ce chapitre peut être affichée par Ameco. Tous les paramètres de ce chapitre ont les mêmes valeurs pour les bâtiments et pour les ponts. Ils ne sont pas modifiables.

Dans Ameco, des coefficients d'impact seront définis pour 10 indicateurs. Pour les 14 indicateurs restants, la valeur zéro leur sera attribuée.

Coefficient d'impact pris en considération	Dénomination
RER: Tôle d'acier worldsteel	$k_{RERStPI}$
RER: Profilés en acier worldsteel	$k_{RERStSec}$
GLO : Barre d'armature en acier worldsteel	k_{GLOSt}
RER: Acier galvanisé à chaud worldsteel	$k_{RERStHDG}$
DE: Béton C20/25 PE	$k_{DEConC20}$
DE : Béton C30/37 PE	$k_{DEConC30}$
DE : Bois lamellé-collé PE [pour 1 kg]	k_{DEW}
GLO : Valeur de la ferraille Worldsteel	k_{GLO}
Démolition d'un bâtiment en acier - impact pour 1 kg traité	$k_{StBldgDem}$
CH : élimination, bâtiment, béton, non armé, pour élimination finale	k_{CHCon}
CH : élimination, bâtiment, acier d'armature, pour élimination finale	k_{CHSt}
CH : élimination, bâtiment, béton, non armé, vers l'usine de tri [y compris 40% vers décharge contrôlée]	$k_{CHConPlt}$
CH : élimination, bâtiment, acier d'armature, vers usine de tri	$k_{CHStPlt}$
CH: élimination, béton, 5% d'eau, vers décharge de matériaux inertes	$k_{CHConLdf}$
CH: gravier, non spécifié, à la la mine	k_{CHGr}
RER: Décharge pour matières inertes (acier) PE	$k_{RERStLdf}$
EU-27: Incinération de déchets des produits en bois (OSB, panneau de particules) ELCD/CEWEP <p-agg> [1 kg de bois]	k_{EUWWa}
Crédit pour l'incinération des déchets (agg moins p-agg)	k_{Wa}
EU-27: Décharge pour les produits en bois (OSB, panneau de particules) PE <p-agg>	k_{EUWLDf}
CH : élimination, matériau inerte, 0% d'eau, vers décharge contrôlée	k_{CHLdf}
RER: Transport par camion articulé PE [pour 1tkm]	k_{RERALT}
Transport en train [pour 1tkm]	k_{Tr}
Transport par camion à béton [pour 100 kgkm]	k_{Cont}
Transport européen moyen pour l'acier [pour 1t sur une distance européenne moyenne]	k_{StAvg}

EU-27: Mix électrique PE [1kWh]	k_{EUElec}
Récupération de la production électrique	k_{EOR}
RER: Tôle d'acier worldsteel (apport de ferraille)	$k_{RERStPIO}$
RER: Profilés en acier worldsteel (apport de ferraille)	$k_{RERStSec0}$
RER: Acier galvanisé à chaud (apport de ferrailles)	$k_{RERStHDGO}$
GLO: Barre d'armature en acier worldsteel (apport de ferrailles)	k_{GLOSt0}

Tableau 2 : Dénomination du coefficient

Les acronymes utilisés dans le **Tableau 2** signifient:

- GLO : Global (moyenne)
- DE : Allemand (moyenne)
- CH : Suisse (moyenne)

Les 5 derniers coefficients d'impact (pas d'unité) ont la même valeur pour tous les indicateurs d'impact:

k_{EOR}	8.865E-01
$k_{RERStPIO}$	1.125E-01
$k_{RERStSec0}$	8.492E-01
$k_{RERStHDGO}$	9.162E-02
k_{GLOSt0}	6.983E-01

Tableau 3 : Valeurs pour les coefficients d'apport de ferrailles

4.3.1.1 Paramètres décrivant les impacts environnementaux

Le tableau 4 contient les valeurs de coefficients pour les indicateurs GWP, ODP, AP, PE, POCP, ADP-éléments, ADP-combustibles fossiles.

	GWP	ODP	PA	PE	POCP	APD-e	ADP-ff
	t CO2 eq / t	t CFC eq / t	t SO2 eq / t	t Ethene eq / t	t PO4 eq / t	t Sb eq / t	GJ NCV / t
$k_{RERStPI}$	2.458E+00	9.112E-09	6.229E-03	4.424E-04	1.170E-03	5.396E-07	2.538E+01
$k_{RERStSec}$	1.143E+00	4.948E-08	3.158E-03	2.706E-04	5.051E-04	-7.001E-06	1.239E+01
k_{GLOSt}	1.244E+00	1.110E-08	3.533E-03	2.802E-04	5.494E-04	-2.103E-06	1.349E+01
$k_{RERStHDG}$	2.556E+00	3.726E-08	6.980E-03	4.486E-04	1.243E-03	2.318E-05	2.621E+01
$k_{DEConC20}$	9.883E-02	5.635E-11	1.485E-04	2.610E-05	1.740E-05	1.553E-07	4.626E-01
$k_{DEConC30}$	1.114E-01	6.562E-11	1.524E-04	2.553E-05	1.778E-05	1.867E-07	4.545E-01
k_{DEW}	-1.185E+00	1.347E-09	1.179E-03	1.418E-04	1.243E-04	1.317E-07	7.670E+00
k_{GLO}	1.512E+00	-4.834E-08	3.610E-03	9.974E-05	8.072E-04	7.272E-06	1.598E+01
$k_{StBldgDem}$	8.810E-04	3.251E-12	9.345E-06	1.193E-06	8.336E-07	3.461E-10	1.212E-01
k_{CHCon}	1.401E-02	3.098E-09	8.901E-05	2.551E-05	1.590E-05	1.448E-08	2.771E-01
k_{CHSt}	6.732E-02	9.741E-09	4.988E-04	1.387E-04	7.727E-05	2.544E-08	1.017E+00
$k_{CHConPlt}$	1.398E-02	2.527E-09	3.581E-04	2.831E-05	1.456E-05	1.956E-08	2.398E-01
$k_{CHStPlt}$	6.139E-02	7.782E-09	4.629E-04	1.295E-04	6.945E-05	2.279E-08	8.537E-01
$k_{CHConLdf}$	7.102E-03	2.128E-09	4.226E-05	1.223E-05	8.602E-06	7.345E-09	1.785E-01
k_{CHGr}	2.824E-03	3.257E-10	1.760E-05	6.317E-06	2.284E-06	9.374E-09	3.626E-02
$k_{RERStLdf}$	1.396E-02	1.368E-11	8.491E-05	1.163E-05	8.972E-06	4.949E-09	1.865E-01
k_{EUWWa}	1.671E+00	2.920E-09	6.252E-04	1.428E-04	4.099E-05	-4.267E-08	5.289E-01
k_{Wa}	-7.514E-01	-7.786E-08	-4.946E-03	-2.013E-04	-2.622E-04	-3.164E-08	-8.651E+00
k_{EUWLdf}	1.455E+00	2.606E-10	4.386E-04	1.878E-03	3.408E-04	1.370E-08	1.082E+00
k_{CHLdf}	1.228E-02	3.091E-09	7.480E-04	2.565E-05	1.382E-05	1.490E-08	2.781E-01
k_{RERALT}	4.714E-02	1.749E-11	3.085E-04	7.432E-05	-1.260E-04	1.861E-09	6.515E-01
k_{Tr}	1.711E-02	8.846E-10	8.593E-05	9.950E-06	7.298E-06	1.250E-09	2.036E-01
k_{Cont}	1.201E-02	4.452E-12	7.527E-05	1.806E-05	-3.035E-05	4.739E-10	1.659E-01
k_{StAvg}	2.422E+01	1.328E-07	1.548E-01	3.578E-02	-5.727E-02	1.037E-06	3.301E+02
k_{EUElec}	4.887E-01	3.192E-08	2.083E-03	1.118E-04	1.267E-04	4.007E-08	5.569E+00

Tableau 4 : Valeurs pour les coefficients environnementaux

4.3.1.2 Paramètres décrivant l'utilisation des ressources, les matières ou combustibles secondaires, ainsi que l'utilisation de l'eau

Le **Tableau 5** contient les valeurs des coefficients pour les trois indicateurs:

- Utilisation totale de l'énergie primaire renouvelable (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) [RPE-Total].
- Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) [non RPE-Total].
- Utilisation nette d'eau douce [NFW].

	RPE-Total	Non RPE total	NFW
	GJ NCV / t	GJ NCV / t	10 ³ m ³ / t
$k_{RERStPI}$	2.987E-01	2.577E+01	1.352E-02
$k_{RERStSec}$	6.107E-01	1.419E+01	1.332E-03
k_{GLOSt}	2.362E+00	1.406E+01	1.387E-02
$k_{RERStHDG}$	5.477E-01	2.768E+01	1.586E-02
$k_{DEConC20}$	3.458E-02	5.084E-01	3.208E-04
$k_{DEConC30}$	3.692E-02	5.077E-01	3.225E-04
k_{DEW}	1.855E+01	8.766E+00	6.636E-01
k_{GLO}	-8.226E-01	1.423E+01	1.307E-02
$k_{StBldgDem}$	4.747E-03	1.216E-01	1.228E-04
k_{CHCon}	2.259E-03	2.879E-01	1.264E-02
k_{CHSt}	5.325E-03	1.043E+00	3.083E-02
$k_{CHConPIt}$	8.531E-03	2.821E-01	4.905E-02
$k_{CHStPIt}$	9.525E-03	9.019E-01	5.568E-02
$k_{CHConLdf}$	1.464E-03	1.855E-01	7.997E-03
k_{CHGr}	6.248E-03	6.613E-02	3.753E-02
$k_{RERStLdf}$	1.450E-02	1.960E-01	2.788E-04
k_{EUWWa}	1.618E-02	6.576E-01	4.269E-03
k_{Ww}	-1.063E+00	-1.172E+01	-1.042E-03
k_{EUWLdf}	4.911E-02	1.134E+00	3.901E-02
k_{CHLdf}	4.758E-03	3.005E-01	3.552E-04
k_{RERALT}	2.553E-02	6.539E-01	6.604E-04
k_{Tr}	3.643E-02	2.858E-01	1.561E-04
k_{Cont}	6.499E-03	1.665E-01	1.681E-04
k_{StAvg}	1.694E+01	3.428E+02	3.275E-01
k_{EUElec}	1.246E+00	8.534E+00	3.829E-03

Tableau 5 : Valeurs pour les coefficients relatifs à l'utilisation des ressources, les matières et combustibles secondaires, ainsi que l'utilisation de l'eau

En raison de l'absence de données, la valeur zéro est attribuée aux coefficients des indicateurs suivants (il en résulte une valeur d'impact nulle):

- Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières [RPE].
- Utilisation des ressources d'énergie renouvelables utilisées en tant que matières premières [RER].
- Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières [Non-REP].

- Utilisation des ressources d'énergie non renouvelables utilisées en tant que matières premières [Non-RER].
- Utilisation de matières secondaires [SM].
- Utilisation de combustibles secondaires renouvelables [RSF].
- Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables [Non-RSF].

4.3.1.3 Autres informations environnementales décrivant les catégories de déchets

Le **Tableau 6** contient les valeurs des coefficients pour les indicateurs suivants:

- Déchets dangereux éliminés
- Déchets non dangereux éliminés
- Déchets radioactifs éliminés

	Déchets dangereux éliminés	Déchets non dangereux éliminés	Déchets radioactifs éliminés
	t /t	t /t	t /t
$k_{RERStPI}$	-6.239E-04	-1.306E-03	-1.663E-04
$k_{RERStSec}$	-5.212E-04	-8.676E-04	-3.832E-04
k_{GLOSt}	-2.460E-04	-1.186E-04	-1.428E-04
$k_{RERStHDG}$	-4.771E-04	-6.745E-04	-4.717E-04
$k_{DEConC20}$	0.000E+00	0.000E+00	-1.859E-05
$k_{DEConC30}$	0.000E+00	0.000E+00	-2.164E-05
k_{DEW}	0.000E+00	1.483E+00	4.461E-04
k_{GLO}	-1.536E-05	-3.524E-06	5.177E-04
$k_{StBldgDem}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{CHCon}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{CHSt}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{CHConPit}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{CHStPit}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{CHConLdf}$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{CHGr}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$k_{RERStLdf}$	0.000E+00	1.000E+00	-3.459E-06
k_{EUWWa}	0.000E+00	-6.430E-02	-3.659E-05
k_{Ww}	0.000E+00	1.940E+00	9.767E-04
k_{EUWLdf}	0.000E+00	4.813E-01	-1.972E-05
k_{CHLdf}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{RERALT}	0.000E+00	0.000E+00	-9.099E-07
k_{Tr}	0.000E+00	0.000E+00	-3.383E-05
k_{Cont}	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
k_{StAvg}	0.000E+00	0.000E+00	-5.190E-03
k_{EUElec}	0.000E+00	-1.827E+00	-1.229E-03

Tableau 6 : Valeurs des autres informations environnementales décrivant les catégories de déchets

4.3.1.4 Autres informations environnementales décrivant les flux sortants

Les coefficients suivants ne sont pas connus et une valeur de zéro leur est affectée pour les quatre indicateurs suivants dans Ameco 3:

- Composants destinés à la réutilisation.
- Matériaux destinés au recyclage.
- Matériaux destinés à la récupération d'énergie.
- Énergie fournie à l'extérieur.

4.3.2 Impact environnemental d'un bâtiment

4.3.2.1 Module A

Les équations de l'évaluation des impacts environnementaux pour le module A sont:

Module A			
Phase de production des produits	A1 Fourniture des matières premières	Béton des sols	$m_{consl} k_{DECon}$
		Tôles d'acier	$m_{tss} k_{RERStHDG}$
		Béton de la structure	$(m_{tcb} + m_{tcc}) k_{DECon}$
		Barre d'armature	$(m_{conrs} + m_{trs}) k_{GLOSt}$
		Poutres en acier	$m_{tsb} (1 + S_{plos}) k_{RERStSec}$
		Colonnes en acier	$m_{tsc} (1 + S_{plos}) k_{RERStSec}$
		Poutres en bois	$m_{twb} k_{DEW}$
		Colonnes en bois	$m_{twc} k_{DEW}$
	A3 Fabrication	Pertes de production	$(m_{tsb} + m_{tsc}) S_{plos} k_{RERALT} / 10$
		Montants et boulons en acier	$(m_{tst} + m_{tbo}) k_{GLOSt}$
Raccordements de plaques		$m_{tpl} k_{RERStPI}$	
A1-A3	Macro-composant		
Phase du processus de construction	A4 Transport	Béton - camion-malaxeur	$m_{conmix} d_{conmix} k_{Cont} / 100$
		Béton - camion ordinaire	$m_{conreg} d_{conreg} k_{RERALT} / 1000$
		Acier - camion ordinaire	$m_{sreg} d_{sreg} k_{RERALT} / 1000$
		Acier - train	$m_{str} d_{str} k_{Tr} / 1000$
		Acier - transport moyen	$m_{tstrtot} k_{StAvg}$
		Bois - train	$m_{wtr} d_{wtr} k_{Tr} / 1000$
		Bois - camion ordinaire	$m_{wreg} d_{wreg} k_{RERALT} / 1000$
		Macro-composant	
Total Module A			Somme de toutes les grandeurs du module A

Tableau 7 : impacts environnementaux pour le module A

Dans ce tableau, les équations surlignées présentent les expressions modifiées ou ajoutées dans le cadre du projet LVS3.

Considérant les paramètres ajoutés pour le rez-de-chaussée, les équations suivantes sont modifiées:

Poids total du béton $m_{consl,LVS3}$:

$$m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor} A_{ground} \cdot \rho_{consl}$$

Masse de la barre d'armature:

$$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) k_{GLOSt}$$

Une partie supplémentaire est prise en considération pour la phase de production des produits:

*Macro – component*_{A1-A3}

$$= \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A1-A3,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A1-A3,opening} + A_{roof} \cdot k_{A1-A3,roof}$$

La masse totale de l'acier transporté $m_{tstrtot,LVS3}$ est à présent:

$$m_{tstrtot,LVS3} = m_{tstrtot} + M_{steelbasefloor}$$

Une partie supplémentaire est prise en compte pour la phase du processus de construction:

$$Macro - component_{A4} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{A4,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{A4,opening} + A_{roof} \cdot k_{A4,roof}$$

Les valeurs de $k_{A1-A3,wall}$, $k_{A4,wall}$, $k_{A1-A3,opening}$ et $k_{A4,opening}$ sont indiquées à l'0.

4.3.2.2 Module B: Phase d'utilisation

Le calcul de la phase d'utilisation comporte plusieurs étapes. La première étape concerne le calcul des caractéristiques de la dalle de sol.

Vient ensuite l'évaluation du besoin énergétique pour le chauffage des locaux et les apports de chaleur solaires associés.

Le refroidissement des locaux et les apports de chaleur solaires associés fait l'objet d'une procédure similaire.

L'étape suivante concerne le système d'eau chaude sanitaire.

La dernière partie résume l'ensemble de ces calculs.

4.3.2.2.1 Évaluation des caractéristiques du rez-de-chaussée (ISO 13370)

Cette partie a pour objectif de calculer $H_g, H_{pi}, H_{pe}, \alpha$ et β .

Les variables intermédiaires suivantes sont estimées indépendamment du paramètre *GroundFloorType* :

$$B' = \frac{A_{ground}}{0.5P_{eri}}$$

$$d_{ground} = w_{ground} + \frac{\lambda}{U_f}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{3.15 \cdot 10^7 \lambda}{\pi(\rho c)}}$$

$$U_g = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_{ground}} \cdot \ln \left(1 + \frac{\pi B'}{d_{ground}} \right)$$

- La température intérieure étant supposée constante, nous avons:

$$H_{pi} = 0$$

- En outre, pour le type de rez-de-chaussée considéré, la valeur de α est unique:

$$\alpha = 0$$

Le reste des quantités dépend du **type de dalle sur sol**.

- **Dalle sur sol**

β équivaut à 1 pour un plancher bas sur sol:

$$\beta = 1$$

Calcul de H_g :

$$U = \begin{cases} U_g & \text{if } d_{ground} < B' \\ \frac{\lambda}{0.457B' + d_{ground}} & \text{else} \end{cases}$$

Ce qui donne:

$$H_g = U \cdot A_{ground}$$

Calcul de H_{pe}

$$d'_{n,hor} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{hor}} - 1 \right) \cdot d_{n,hor} \cdot 10^{-3}$$

$$d'_{n,vert} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{vert}} - 1 \right) \cdot d_{n,vert} \cdot 10^{-3}$$

$$H_{pe,hor} = 0.37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left[\left(1 - \exp\left(-\frac{w_{hor}}{\delta}\right) \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground} + d'_{n,hor}}\right) + \exp\left(-\frac{w_{hor}}{\delta}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) \right]$$

$$H_{pe,vert} = 0.37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left[\left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot w_{vert}}{\delta}\right) \right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground} + d'_{n,vert}}\right) + \exp\left(-\frac{2 \cdot w_{vert}}{\delta}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) \right]$$

$$H_{pe} = \begin{cases} 0.37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) & \text{if edgeinsulation = none} \\ H_{pe,hor} & \text{if edgeinsulation = horizontal} \\ H_{pe,vert} & \text{if edgeinsulation = vertical} \\ \min(H_{pe,hor}; H_{pe,vert}) & \text{else} \end{cases}$$

Calcul de H_{pe}

$$H_{pe} = \begin{cases} 0.37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left[\exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + 2 \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right)\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_w}\right) \right] & \text{if Base} \\ & \text{mentType} = \text{heated} \\ A_{ground} \cdot U_f \cdot \frac{0.37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left(2 - \exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right)\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0.33n_H \cdot V}{\frac{(A_{ground} + h_z \cdot P_{eri}) \cdot \lambda}{\delta} + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0.33n_H \cdot V + A_{ground} \cdot U_f} & \text{if Base} \\ & \text{mentType} = \text{unheated and for the heating calculation} \\ A_{ground} \cdot U_f \cdot \frac{0.37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \left(2 - \exp\left(\frac{-h_z}{\delta}\right)\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0.33n_C \cdot V}{\frac{(A_{ground} + h_z \cdot P_{eri}) \cdot \lambda}{\delta} + h \cdot P_{eri} \cdot U_{walls} + 0.33n_C \cdot V + A_{ground} \cdot U_f} & \text{if Base} \\ & \text{mentType} = \text{unheated and for the cooling calculation} \end{cases}$$

- **Plancher suspendu**

- β équivaut à zéro pour un plancher suspendu:

$$\beta = 0$$

Calcul de H_g

$$U_x = \frac{2 \cdot h \cdot U_{walls}}{B'} + \frac{1450 \cdot A_{wind} \cdot w_{avgspeed} \cdot f_w}{B'}$$

$$U_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g}}$$

$$H_g = U_{eq} \cdot A_{ground}$$

Calcul de H_{pe}

$$H_{pe} = U_f \cdot \frac{0.37P_{eri} \cdot \lambda \cdot \ln\left(1 + \frac{\delta}{d_{ground}}\right) + U_x \cdot A_{ground}}{\frac{\lambda}{\delta} + U_x + U_f}$$

4.3.2.2.2 Besoin énergétique pour le chauffage des locaux et les apports de chaleur solaires

Le calcul du besoin énergétique et des apports de chaleur solaires est assez similaire pour le chauffage et le refroidissement. Seules quelques équations diffèrent et certaines variables ont des valeurs spécifiques en fonction du mode considéré. Le calcul sera donc basé sur le même module dans Ameco 3 et les spécificités de chaque mode seront prises en compte.

- **Préaffectation**

Avant de commencer le calcul du besoin énergétique pour le chauffage des locaux, les grandeurs liées au mode de chauffage sont affectées. En voici la liste:

$$\begin{aligned}
 H_g &= H_{g,H} \\
 H_{pi} &= H_{pi,H} \\
 H_{pe} &= H_{pe,H} \\
 \bar{\theta}_i &= \theta_{int,set,H} \\
 k_{D,cor} &= k_{D,cor,H} \\
 k_{cor,ve} &= k_{cor,ve,H} \\
 k_{cor,int} &= k_{cor,int,H} \\
 k_{cor} &= k_{cor,H} \\
 f_{shut}(m) &= f_{H,shut}(m) \\
 AFR_{floor} &= n_H \\
 a_0 &= a_{H0} \\
 \tau_0 &= \tau_{H0} \\
 b_{red} &= b_{H,red}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{EfficiencySystem} &= \eta_{HeatingEfficiencySystem} \\
 k_{energytype} &= k_{energytype,heating}
 \end{aligned}$$

- **Transfert thermique par transmission**

Les formules suivantes sont axées sur le transfert de chaleur au sol.

La température extérieure annuelle moyenne est:

$$\bar{\theta}_e = \sum_m \frac{\theta_{ext}(m)}{12}$$

Les amplitudes des variations de la température mensuelle moyenne sont:

$$\begin{aligned}
 \theta_i(m) &= \bar{\theta}_i - \hat{\theta}_i \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right) \\
 \theta_e(m) &= \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right)
 \end{aligned}$$

Et les températures mensuelles moyennes pour le mois m suivent:

$$\begin{aligned}
 \theta_i(m) &= \bar{\theta}_i - \hat{\theta}_i \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right) \\
 \theta_e(m) &= \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m}{12}\right)
 \end{aligned}$$

Où τ_m est l'indice du mois durant lequel la température extérieure est minimale.

Le taux du flux de thermique mensuel est:

$$\Phi(m) = H_g \cdot (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \hat{\theta}_i \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m + \alpha}{12}\right) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{m - \tau_m - \beta}{12}\right)$$

Cela donne le coefficient mensuel de transfert thermique au sol:

$$H_g(m) = \frac{\Phi(m)}{\theta_i(m) - \theta_e(m)}$$

Enfin, le transfert de chaleur au sol total est:

$$Q_{tr,g}(m) = \frac{24}{1000} \cdot \Phi(m) \cdot MonthDay(m) \text{ [kWh]}$$

Le transfert thermique par transmission est évalué pour plusieurs parties de l'enveloppe du bâtiment, à savoir les murs, le vitrage, le toit, l'étage externe et le rez-de-chaussée.

Murs

$$A_{lat} = \sum_{dir} A_{lat}(dir)$$

En utilisant la superficie latérale totale des murs, on calcule le coefficient de transfert thermique par transmission vers l'environnement extérieur des murs:

$$H_{D,walls} = U_{walls} \cdot A_{lat} \cdot k_{D,cor}$$

Et ensuite, le transfert thermique par transmission total des murs:

$$Q_{tr,walls}(m) = \frac{H_{D,walls}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Vitrage

$$A_{lat,opening} = \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir)$$

$$U_{W+shut,0} = \frac{1}{\frac{1}{U_{mean,opening}} + R_{sh} + \Delta R_{avg}}$$

$$U_{W+shut}(m) = U_{W+shut,0} \cdot f_{shut}(m) + U_{mean,opening} \cdot (1 - f_{shut}(m))$$

Ainsi, le coefficient de transfert thermique par transmission vers l'environnement extérieur du vitrage est:

$$H_{D,glazing}(m) = \begin{cases} U_{W+shut}(m) \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor} & \text{if } NightHeatdingActivation = YES \\ U_{mean,opening} \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor} & \text{else} \end{cases}$$

Et le transfert thermique par transmission total associé du vitrage:

$$Q_{tr,glazing}(m) = \frac{H_{D,glazing}(m)}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Étage et rez-de-chaussée extérieurs

Pour le coefficient de transfert thermique par transmission de l'étage extérieur, la formule est la suivante:

$$H_{D,ext,floor} = U_{ext,floor} \cdot A_{ext,floor} \cdot k_{D,cor}$$

D'où le transfert thermique par transmission total de l'étage extérieur:

$$Q_{tr,ext,floor}(m) = \frac{H_{D,ext,floor}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Le transfert thermique par transmission total au sol est donné par:

$$Q_{tr,ground}(m) = Q_{tr,g}(m) \cdot k_{D,cor} \text{ [kWh]}$$

Toiture

Les coefficients de transfert de chaleur par transmission du toit sont définis de la même manière avec d'autres coefficients:

$$H_{D,roof} = U_{roof} \cdot A_{roof} \cdot k_{D,cor}$$

$$H_{D,pitchedroof} = U_{slopedroof} \cdot A_{slopedroof} \cdot b_{tr,U} \cdot k_{D,cor}$$

Pour le transfert de chaleur par transmission total du toit, les équations sont:

$$Q_{tr,roof}(m) = \frac{H_{D,roof}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

$$Q_{tr,pitchedroof}(m) = \frac{H_{D,pitchedroof}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \text{ [kWh]}$$

Le transfert de chaleur par transmission total est alors calculé:

$$Q_{tr}(m) = Q_{tr,walls}(m) + Q_{tr,glazing}(m) + Q_{tr,ext,floor}(m) + Q_{tr,roof}(m) + Q_{tr,ground}(m) + Q_{tr,pitchedroof}(m) \text{ [kWh]}$$

Les coefficients de transfert de chaleur par transmission vers le sol et les espaces non climatisés sont estimés comme suit:

$$H_{g,cor}(m) = H_g(m) \cdot k_{D,cor}$$

$$H_u = A_{slopedroof} \cdot U_{unconditionedarea} \cdot b_{tr,U} \cdot k_{D,cor}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par transmission total est calculé par les expressions suivantes:

$$H_D(m) = H_{D,walls} + H_{D,glazing}(m) + H_{D,ext,floor} + H_{D,roof}$$

$$H_{tr,adj}(m) = H_D(m) + H_{g,cor}(m) + H_u$$

- **Transfert thermique par renouvellement d'air**

Le transfert thermique par renouvellement d'air implique les formules suivantes:

Débit d'air (m³/s):

$$q_{ve,k} = \frac{AFR_{floor} \cdot h_{floor,ceiling} \cdot A_{conditionedarea}}{3600}$$

Facteur d'ajustement de la température:

$$b_{ve,k} = \begin{cases} 1 & \text{if HeatRecovery} = NO \\ 1 - \frac{HeatRecovery\%}{100} \cdot \eta_{hrv} & \text{else} \end{cases}$$

Moyenne temporelle du débit d'air (m³/s):

$$q_{ve,k,mn} = q_{ve,k} \cdot f_{ve,t,k}$$

Où la fraction de temps de fonctionnement de la ventilation par jour est:

$$f_{ve,t,k} = 1$$

Donc, le coefficient du transfert thermique par renouvellement d'air est calculé comme suit:

$$H_{ve,adj} = 1200 \cdot b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}$$

D'où le transfert thermique par renouvellement d'air total associé:

$$Q_{ve}(m) = \frac{H_{ve,adj}}{3.6} (\bar{\theta}_i - \theta_{ext}(m)) \cdot MonthLength(m) \cdot k_{cor,ve} \text{ [kWh]}$$

- **Apports de chaleur internes**

Les apports de chaleur internes sont calculés à l'aide de la même méthode que pour les apports liés aux occupants et aux appareils dans le bâtiment et pour l'éclairage du bâtiment.

Certaines variables intermédiaires sont introduites:

$$\begin{aligned} PartA = A_{area1} \cdot [& |h_{occ,beg,kitch,MtoF,1} - h_{occ,end,kitch,MtoF,1}| \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,1} \\ & + |h_{occ,beg,kitch,MtoF,2} - h_{occ,end,kitch,MtoF,2}| \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,2} \\ & + |24 - h_{occ,beg,kitch,MtoF,3} + h_{occ,end,kitch,MtoF,3}| \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,3}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PartB = A_{area2} \cdot [& |h_{occ,beg,other,MtoF,1} - h_{occ,end,other,MtoF,1}| \cdot Gain_{occ,other,MtoF,1} \\ & + |h_{occ,beg,other,MtoF,2} - h_{occ,end,other,MtoF,2}| \cdot Gain_{occ,other,MtoF,2} \\ & + |24 - h_{occ,beg,other,MtoF,3} + h_{occ,end,other,MtoF,3}| \cdot Gain_{occ,kitch,MtoF,3}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PartC = A_{area1} \cdot [& |h_{occ,beg,kitch,StoS,1} - h_{occ,end,kitch,StoS,1}| \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,1} \\ & + |h_{occ,beg,kitch,StoS,2} - h_{occ,end,kitch,StoS,2}| \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,2} \\ & + |24 - h_{occ,beg,kitch,StoS,3} + h_{occ,end,kitch,StoS,3}| \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,3}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PartD = A_{area2} \cdot [& |h_{occ,beg,other,StoS,1} - h_{occ,end,other,StoS,1}| \cdot Gain_{occ,other,StoS,1} \\ & + |h_{occ,beg,other,StoS,2} - h_{occ,end,other,StoS,2}| \cdot Gain_{occ,other,StoS,2} \\ & + |24 - h_{occ,beg,other,StoS,3} + h_{occ,end,other,StoS,3}| \cdot Gain_{occ,kitch,StoS,3}] \end{aligned}$$

Ensuite, les apports de chaleur dûs aux occupants et aux appareils sont déduits:

$$\begin{aligned} \phi_{int,mn}(m) = & \frac{NbDayWorking(m) \cdot \{PartA + PartB\}}{1000} \\ & + \frac{(MonthDay(m) - NbDayWorking(m)) \cdot \{PartC + PartD\}}{1000} \end{aligned}$$

PartA2, *PartB2*, *PartC2*, *PartD2* sont calculés de la même manière que pour *PartA*, *PartB*, *PartC*, *PartD* mais avec des des valeurs « éclairage » au lieu de valeurs « occupation ».

Et les apports de chaleur provenant de l'éclairage sont déterminés comme suit:

$$\begin{aligned} \phi_{int,l,mn}(m) = & \frac{NbDayWorking(m) \cdot \{PartA2 + PartB2\}}{1000} \\ & + \frac{(MonthDay(m) - NbDayWorking(m)) \cdot \{PartC2 + PartD2\}}{1000} \end{aligned}$$

Les apports de chaleur totaux des sources internes sont finalement estimés comme suit:

$$Q_{int}(m) = (\phi_{int,mn}(m) + \phi_{int,l,mn}(m)) \cdot k_{cor,int} \text{ [kWh]}$$

- **Apports de chaleur solaires**

Le calcul de l'apport de chaleur solaire peut être divisé en deux parties. La première a trait au vitrage alors que la seconde concerne les murs.

Vitrage

Le rayonnement solaire à travers le vitrage est estimé par:

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir)$$

$$= k_{cor} \cdot A_{lat,opening}(dir) \cdot F_{glazing,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m, dir) \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction)$$

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) = A_{roof,opening} \cdot F_{glazing,sh,roof} \cdot I_{sol,k,roof}(m) \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction)$$

Et le rayonnement vers le ciel par:

$$\phi_{r,glazing}(dir) = U_{mean,opening} \cdot R_{se} \cdot A_{lat,opening}(dir) \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,v}$$

$$\phi_{r,glazing,hor} = U_{mean,opening} \cdot R_{se} \cdot A_{roof,opening} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,h}$$

Ensuite, on déduit le flux thermique par apports solaires à travers le vitrage:

$$\phi_{glazing,sol,mn,k}(m, dir) = F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) - \phi_{r,glazing}(dir)$$

$$\phi_{glazing,sol,mn,k,hor}(m) = F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) - \phi_{r,glazing,hor}$$

Vient enfin le calcul des apports de chaleur solaires totaux à travers le vitrage:

$$Q_{sol,glazing}(m) = \frac{MonthLength(m)}{3.6} \cdot \left[\sum_{dir} \phi_{glazing,sol,mn,k}(m, dir) + \phi_{glazing,sol,mn,k,hor}(m) \right] \text{ [kWh]}$$

Murs

Le rayonnement solaire pour les murs est estimé comme suit:

$$F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{walls} \cdot A_{lat}(dir) \cdot F_{walls,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m, dir) \cdot k_{cor}$$

$$F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{roof} \cdot A_{roof} \cdot I_{sol,k,roof}(m)$$

Et le rayonnement vers le ciel comme suit:

$$\phi_{r,walls}(dir) = U_{walls} \cdot R_{se} \cdot A_{lat}(dir) \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,v}$$

$$\phi_{r,walls,hor} = U_{roof} \cdot R_{se} \cdot A_{roof} \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \cdot F_{r,h}$$

Comme pour le vitrage, le flux thermique par apports solaires à travers les murs (le facteur de réduction de l'ombrage du mur n'est pas inclus dans le calcul) est déterminé comme suit:

$$\phi_{walls,sol,mn,k}(m, dir) = F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) - \phi_{r,walls}(dir)$$

$$\phi_{walls,sol,mn,k,hor}(m) = F_{walls,sh,ok,k} A_k I_{sol,k,hor}(m) - \phi_{r,walls,hor}$$

Enfin, l'apport de chaleur solaire total à travers les murs est calculé comme suit:

$$Q_{sol,walls}(m) = \frac{MonthLength(m)}{3.6} \cdot \left[\sum_{dir} \phi_{walls,sol,mn,k}(m, dir) + \phi_{walls,sol,mn,k,hor}(m) \right] \text{ [kWh]}$$

- **Transfert de chaleur et apports de chaleur totaux**

Le transfert thermique total Q_{ht} et les apports de chaleur Q_{gn} sont calculés de la manière suivante:

$$Q_{ht}(m) = Q_{tr}(m) + Q_{ve}(m)$$

$$Q_{gn}(m) = Q_{sol,glazing}(m) + Q_{sol,walls}(m) + Q_{int}(m)$$

- **Besoin énergétique pour le chauffage**

La dernière partie est consacrée au calcul du besoin énergétique pour le chauffage. Il repose sur deux étapes secondaires: l'estimation de paramètres dynamiques et la durée du mois de chauffage.

Paramètres dynamiques

Un premier facteur d'utilisation des apports est introduit:

$$\gamma_H(m) = \frac{Q_{gn}(m)}{Q_{ht}(m)}$$

La constante de temps du bâtiment est définie par:

$$\tau = \frac{C_m}{3600} \frac{1}{H_{tr,adj}(1) + H_{ve,adj}}$$

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$$

Un second facteur d'utilisation des apports est également utilisé:

$$\eta_{gn}(m) = \begin{cases} \frac{a}{a+1} & \text{if } \gamma_H(m) = 1 \\ \frac{1}{\gamma_H(m)} & \text{if } \gamma_H(m) < 0 \\ \frac{1 - \gamma_H(m)^a}{1 - \gamma_H(m)^{1+a}} & \text{else} \end{cases}$$

Durée du mois de chauffage

$$\gamma_{lim} = \frac{1+a}{a}$$

$$\gamma_H(m+0.5) = \frac{\gamma_H(m) + \gamma_H(m+1)}{2}$$

$$\gamma_H(m-0.5) = \frac{\gamma_H(m-1) + \gamma_H(m)}{2}$$

$$\gamma_1(m) = \min(\gamma_H(m-0.5); \gamma_H(m+0.5))$$

$$\gamma_2(m) = \max(\gamma_H(m-0.5); \gamma_H(m+0.5))$$

$$\gamma_{1bool}(m) = \begin{cases} 0 & \text{if } \gamma_1(m) > \gamma_{lim} \text{ or } \gamma_1(m) < 0 \\ \text{"LESS"} & \text{else} \end{cases}$$

$$\gamma_{2bool}(m) = \begin{cases} \text{"MORE"} & \text{if } \gamma_2(m) > \gamma_{lim} \\ 0 & \text{if } \gamma_2(m) < 0 \\ 1 & \text{else} \end{cases}$$

Deux grandeurs intermédiaires sont définies:

$$val(m) = \frac{1}{2} \frac{\gamma_{lim} - \gamma_1(m)}{\gamma_H(m) - \gamma_1(m)}$$

$$interm(m) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{\gamma_{lim} - \gamma_H(m)}{\gamma_2(m) - \gamma_H(m)}$$

De même qu'une condition qui dépend de la valeur des grandeurs du mois de chauffage:

$$cond(m) = \begin{cases} 0 & \text{if } \gamma_{1bool}(m) \neq "LESS" \\ 1 & \text{if } \gamma_{2bool}(m) \neq "MORE" \\ val(m) & \text{if } \gamma_H(m) > \gamma_{lim} \\ interm(m) & \text{else} \end{cases}$$

Il est ainsi possible d'estimer la variable finale $\gamma_{cor}(m)$:

$$\gamma_{cor}(m) = \begin{cases} cond(m) & \text{if } \gamma_1(m) > 0 \text{ or } \gamma_2(m) > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

Besoin énergétique pour le chauffage

$$f_{hr} = \frac{h_{end,heating} - h_{beg,heating}}{24} \cdot \frac{NbDay_{working,heating}}{7}$$

$$a_{red}(m) = \begin{cases} f_{hr} & \text{if } 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_0 \cdot \gamma_H(m) \cdot (1 - f_{hr})}{\tau} < f_{hr} \\ 1 & \text{if } 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_0 \cdot \gamma_H(m) \cdot (1 - f_{hr})}{\tau} > 1 \\ 1 - \frac{b_{red} \cdot \tau_0 \cdot \gamma_H(m) \cdot (1 - f_{hr})}{\tau} & \text{else} \end{cases}$$

Il en résulte le besoin énergétique mensuel (énergie sensible):

$$Q_{H,month}(m) = a_{red}(m) \cdot \max\left(0; Q_{ht}(m) - \max\left(0; \eta_{gn}(m)\right) \cdot Q_{gn}(m)\right) \cdot \gamma_{cor}(m) \text{ [kWh]}$$

Le besoin énergétique annuel (énergie sensible):est alors:

$$Q_{nd} = \sum_m Q_{month}(m) \text{ [kWh/year]}$$

Ainsi, l'énergie (finale ou secondaire) fournie annuellement est déterminée comme suit:

$$Q_{delivered} = \begin{cases} 0 & \text{if the user has selected no heating system} \\ \frac{Q_{nd}}{\eta_{EfficiencySystem}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{year}} \right] & \text{else} \end{cases}$$

Et le besoin en énergie primaire annuel associé pour le chauffage équivaut à l'expression suivante:

$$Q_{prim} = Q_{delivered} \cdot k_{energytype} \text{ [kgoe/year]}$$

4.3.2.2.3 Besoin énergétique pour le refroidissement des locaux et apports de chaleur solaires

Comme indiqué au point 4.3.2.2.2, la plupart des formules utilisées pour le chauffage restent valables pour le mode de refroidissement. Donc, seules les formules qui sont modifiées sont décrites ici.

- **Préaffectation**

La première étape consiste à affecter les variables en rapport avec le mode de refroidissement:

$$H_g = H_{g,C}$$

$$H_{pi} = H_{pi,C}$$

$$H_{pe} = H_{pe,C}$$

$$\bar{\theta}_i = \theta_{int,set,C}$$

$$k_{D,cor} = k_{D,cor,C}$$

$$k_{cor,ve} = k_{cor,ve,C}$$

$$k_{cor,int} = k_{cor,int,C}$$

$$k_{cor} = k_{cor,C}$$

$$f_{shut}(m) = 0$$

$$AFR_{floor} = n_C$$

$$a_0 = a_{C0}$$

$$\tau_0 = \tau_{C0}$$

$$b_{red} = b_{C,red}$$

$$\eta_{EfficiencySystem} = \eta_{CoolingEfficiencySystem}$$

$$k_{energytype} = k_{energytype,cooling}$$

- **Transfert de chaleur au sol**

Dans cette partie, les équations restent inchangées.

- **Transfert thermique par transmission**

Le transfert thermique du vitrage par transmission vers l'environnement extérieur devient:

$$H_{D,glazing}(m) = U_{mean,opening} \cdot A_{lat,opening} \cdot k_{D,cor}$$

- **Transfert thermique par renouvellement d'air**

Les formules suivantes sont simplifiées pour le mode de refroidissement:

$$f_{ve,t,k} = 1$$

$$b_{ve,k} = 1$$

- **Apports internes**

Les équations restent identiques à celles du mode de chauffage.

- **Apports de chaleur solaires**

Pour le vitrage, les formules du rayonnement solaire évoluent:

$$F_{C,sh,gl}(m, dir) = 1 - f_{sh,with}(m, dir) + f_{sh,with}(m, dir) \cdot \frac{f_f}{g_n \cdot F_w}$$

$$A_{sol,c}(m, dir) = \begin{cases} F_{C,sh,gl}(m, dir) \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction) & \text{if DayCoolingActivation} = YES \\ g_n \cdot F_w \cdot (1 - FrameAreaFraction) & \text{else} \end{cases}$$

$$F_{glazing,sh,ok,k} A_k I_{sol,k}(m, dir) = A_{lat,opening}(dir) \cdot F_{glazing,sh}(dir) \cdot I_{sol,k}(m, dir) \cdot A_{sol,c}(m, dir) \cdot k_{cor}$$

- **Transfert de chaleur et apports de chaleur totaux**

Les formules sont identiques.

- **Paramètres dynamiques**

Le second facteur d'utilisation des apports est à présent:

$$\eta_{gn}(m) = \begin{cases} \frac{a}{a+1} & \text{if } \gamma_H(m) = 1 \\ 1 & \text{if } \gamma_H(m) < 0 \\ \frac{1 - \gamma_H(m)^{-a}}{1 - \gamma_H(m)^{-(1+a)}} & \text{else} \end{cases}$$

- **Durée du mois de refroidissement**

S'agissant du pas de temps du mois de chauffage, on parle désormais de pas de temps du mois de refroidissement. Même si l'approche est globalement la même, les nouvelles formules associées sont les suivantes:

$$\begin{aligned} invv_{lim} &= \frac{1+a}{a} \\ invv_{\gamma_H}(m) &= \frac{1}{\gamma_H(m)} \\ invv_{\gamma_H}(m+0.5) &= \frac{invv_{\gamma_H}(m) + invv_{\gamma_H}(m+1)}{2} \\ invv_{\gamma_H}(m-0.5) &= \frac{invv_{\gamma_H}(m-1) + invv_{\gamma_H}(m)}{2} \\ invv_{\gamma_1}(m) &= \min(inv v_{\gamma_H}(m-0.5); inv v_{\gamma_H}(m+0.5)) \\ invv_{\gamma_2}(m) &= \max(inv v_{\gamma_H}(m-0.5); inv v_{\gamma_H}(m+0.5)) \\ invv_{\gamma_1bool}(m) &= \begin{cases} 0 & \text{if } invv_{\gamma_1}(m) > invv_{lim} \\ \text{"LESS"} & \text{else} \end{cases} \\ invv_{\gamma_2bool}(m) &= \begin{cases} \text{"MORE"} & \text{if } invv_{\gamma_2}(m) > invv_{lim} \\ 1 & \text{else} \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} invval(m) &= \frac{1}{2} \frac{invv_{lim} - invv_{\gamma_1}(m)}{invv_{\gamma_H}(m) - invv_{\gamma_1}(m)} \\ invinterm(m) &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{invv_{lim} - invv_{\gamma_H}(m)}{invv_{\gamma_2}(m) - invv_{\gamma_H}(m)} \\ invcond(m) &= \begin{cases} 0 & \text{if } invv_{\gamma_1bool}(m) \neq \text{LESS} \\ 1 & \text{if } invv_{\gamma_2bool}(m) \neq \text{MORE} \\ invval(m) & \text{if } invv_{\gamma_H}(m) > invv_{lim} \\ invinterm(m) & \text{else} \end{cases} \\ \gamma_{cor}(m) &= \begin{cases} invcond(m) & \text{if } invv_{\gamma_1}(m) > 0 \text{ or } invv_{\gamma_2}(m) > 0 \\ 1 & \text{else} \end{cases} \end{aligned}$$

- **Besoin énergétique pour le refroidissement**

De la même manière que pour le pas de temps du mois de refroidissement, le besoin énergétique pour le pas de refroidissement est dérivé du besoin énergétique pour le pas de chauffage.

Seulement deux formules sont modifiées:

$$f_{hr} = \frac{NbDay_{working,cooling}}{7}$$

Quant au besoin énergétique mensuel (sobriété énergétique) pour le refroidissement:

$$Q_{C,month}(m) = a_{red}(m) \cdot \max(0; Q_{gn}(m) - \max(0; \eta_{gn}) \cdot Q_{ht}(m)) \cdot \gamma_{cor}(m)$$

Le besoin en énergie primaire annuel pour le refroidissement est déterminé comme suit:

$$Q_{delivered} = \begin{cases} 0 & \text{if the user has selected no cooling system} \\ \frac{Q_{nd}}{\eta_{EfficiencySystem}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{year}} \right] & \text{else} \end{cases}$$

4.3.2.2.4 Besoin énergétique pour la production d'eau chaude sanitaire

La première étape consiste à calculer quelques grandeurs intermédiaires:

$$a = \begin{cases} \frac{X \cdot \ln(A_{conditionedarea}) - Y}{A_{conditionedarea}} & \text{if } A_{conditionedarea} > 30 \\ Z & \text{else} \end{cases}$$

$$V_w = a \cdot A_{conditionedarea}$$

$$\Delta T_{req} = \theta_{w,t} - \theta_{w,outside}$$

$$Q_w(m) = \frac{4.182}{3.6} \frac{V_w}{1000} \Delta T_{req} \cdot MonthDay(m) \text{ [kWh]}$$

Le besoin énergétique annuel pour l'eau chaude sanitaire (sobriété énergétique) est déterminé comme suit:

$$Q_{DHW,nd} = \sum_m Q_w(m) \text{ [kWh/year]}$$

L'énergie (finale ou secondaire) fournie annuellement pour l'eau chaude sanitaire est la suivante:

$$Q_{DHW,delivered} = \begin{cases} 0 & \text{if the user has selected no DHW system} \\ Q_{DHW,nd} \cdot \frac{1 - DHW_{energyreduction}}{\eta_{DHW}} \text{ [kWh/year]} & \text{else} \end{cases}$$

Le besoin en énergie primaire annuel pour l'eau chaude sanitaire est donc:

$$Q_{DHW,prim} = Q_{DHW,delivered} \cdot k_{energytype,DHW} \text{ [kgoe/year]}$$

4.3.2.3 Module C

Les équations pour l'évaluation des impacts environnementaux pour le module C sont les suivantes:

Module C			
Fin de vie	C1 Déconstruction	Tôles d'acier	$m_{tss} k_{StBldgDem}$
		Poutres en acier	$m_{tsb} k_{StBldgDem}$
		Colonnes en acier	$m_{tsc} k_{StBldgDem}$
		Montants et boulons en acier	$(m_{tst} + m_{tbo}) k_{StBldgDem}$
		Raccordements de plaques	$m_{tpl} k_{StBldgDem}$
	C2 Transport	Tôles d'acier	$m_{tss} k_{RERALT} / 10$
		Poutres en acier	$m_{tsb} k_{RERALT} / 10$
		Colonnes en acier	$m_{tsc} k_{RERALT} / 10$
		Montants et boulons en acier	$(m_{tst} + m_{tbo}) k_{RERALT} / 10$
		Raccordements de plaques	$m_{tpl} k_{RERALT} / 10$
		Poutres en bois	$m_{twb} k_{RERALT} / 10$
		Colonnes en bois	$m_{twc} k_{RERALT} / 10$
		Macro-composant	
	C3 Traitement des déchets	Béton des planchers vers l'usine de tri	$m_{consl} eol_{srs} k_{Corr}$
		Béton de la structure vers l'usine de tri	$(m_{tcb} + m_{tcc}) eol_{srs} k_{Corr}$
		Barres d'armature vers l'usine de tri	$(m_{conrs} + m_{trs}) eol_{srs} k_{CHStPit}$
	C4 Élimination	Tôles d'acier	$m_{tss} (1 - eol_{sd}) k_{RERSTLdf}$
		Poutres en acier	$m_{tsb} (1 - eol_{sbc}) k_{RERSTLdf}$
		Colonnes en acier	$m_{tsc} (1 - eol_{sbc}) k_{RERSTLdf}$
		Montants et boulons en acier	$(m_{tst} + m_{tbo}) (1 - eol_{stbo}) k_{RERSTLdf}$
		Raccordements de plaques	$m_{tpl} (1 - eol_{spl}) k_{RERSTLdf}$
		Béton des étages mis en décharge	$m_{consl} [(1 - eol_{srs}) k_{CHCon} + (eol_{srs} - val_{confi}) k_{CHConLdf}]$
		Béton de la structure mis en décharge	$(m_{tcb} + m_{tcc}) [(1 - eol_{srs}) k_{CHCon} + (eol_{srs} - val_{const}) k_{CHConLdf}]$
		Barres d'armature mises en décharge	$(m_{conrs} + m_{trs}) (1 - eol_{srs}) k_{CHSt}$
		Poutres en bois	$m_{twb} (inc_w k_{EUWWa} + (1 - inc_w) k_{EUWLdf})$
		Colonnes en bois	$m_{twc} (inc_w k_{EUWWa} + (1 - inc_w) k_{EUWLdf})$
		Macro-composant	
Total Module C		Somme de toutes les grandeurs du module C	

Tableau 8 : impacts environnementaux pour le module C

Les équations modifiées ou ajoutées dans le cadre du projet LVS3 sont surlignées.

Considérant les paramètres ajoutés pour la dalle de sol, les équations suivantes sont modifiées:

Une partie supplémentaire est prise en considération pour le transport:

$$Macro - component_{c2} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{C2,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{C2,opening} + A_{roof} \cdot k_{C2,roof}$$

Poids total du béton $m_{consl,LVS3}$:

$$m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor} A_{ground} \cdot \rho_{consl}$$

Barres d'armature vers l'usine de tri

$$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) eol_{srs} k_{CHStPt}$$

Barres d'armature mises en décharge:

$$(m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) (1 - eol_{srs}) k_{CHSt}$$

Une partie supplémentaire est prise en considération pour le transport:

$$Macro - component_{C4} = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{C4,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{C4,opening} + A_{roof} \cdot k_{C4,roof}$$

Les valeurs de $k_{C2,wall}$, $k_{C4,wall}$, $k_{C2,opening}$ et $k_{C4,opening}$ sont indiquées à l'0.

4.3.2.4 Module D

Les équations pour l'évaluation des impacts environnementaux pour le module D sont les suivantes:

Module D			
Bénéfices et charges au-delà des frontières du système	D Bénéfices	Béton des sols	- $m_{consl} val_{confl} k_{CHGr}$
		Tôles d'acier	- $m_{tss} (eol_{sd} - k_{RERStHDGO}) k_{GLO}$
		Béton de la structure	- $(m_{tcb} + m_{tcc}) val_{const} k_{CHGr}$
		Barre d'armature	- $(m_{conrs} + m_{trs}) (eol_{srs} - k_{GLOSt0})$
		Poutres en acier	- $m_{tsb} [(eol_{sbc} - k_{RERStSec0}) k_{GLO} + re_{sbc} (k_{RERStSec} - k_{StAvg} / 1000)]$
		Colonnes en acier	- $m_{tsc} [(eol_{sbc} - k_{RERStHDGO}) k_{GLO} + re_{sbc} (k_{RERStSec} - k_{StAvg} / 1000)]$
		Montants et boulons en acier	- $(m_{tst} + m_{tbo}) (eol_{stbo} - k_{GLOSt0}) k_{GLO}$
		Raccordements de plaques	- $m_{tpl} (eol_{spl} - k_{RERStPIO}) k_{GLO}$
		Poutres en bois	- $m_{twb} (inc_w k_{Wa} + (1 - inc_w) k_{EOR} k_{EUElec} / 3.6)$
		Colonnes en bois	- $m_{twc} (inc_w k_{Wa} + (1 - inc_w) k_{EOR} k_{EUElec} / 3.6)$
		Macro-composant	
Total Module D		Somme de toutes les grandeurs dans le module D	

Tableau 9 : impacts environnementaux pour le module D

Les équations modifiées ou ajoutées dans le cadre du projet LVS3 sont surlignées.

Considérant les paramètres ajoutés pour la dalle de sol, les équations suivantes sont modifiées:

Poids total du béton $m_{consl,LVS3}$:

$$m_{consl,LVS3} = m_{consl} + D_{concretebasefloor} A_{ground} \cdot \rho_{consl}$$

Impact de la barre d'armature:

$$- (m_{conrs} + m_{trs} + M_{steelbasefloor}) (eol_{srs} - k_{GLOSt0})$$

Une partie supplémentaire est prise en considération pour le transport:

$$Macro - component_D = \sum_{dir} A_{lat}(dir) \cdot k_{D,wall} + \sum_{dir} A_{lat,opening}(dir) \cdot k_{D,opening} + A_{roof} \cdot k_{D,roof}$$

Les valeurs de $k_{D,wall}$, $k_{D,wall}$, $k_{D,opening}$ et $k_{D,opening}$ sont indiquées à l'0.

5 Résultats du logiciel

Les résultats d'Ameco seront affichés comme indiqué ci-après dans l'onglet "Résultats", en fonction de l'option choisie par l'utilisateur:

- sous la forme d'une feuille de calcul;
- sous la forme d'un histogramme ou d'un tableau pour l'impact sélectionné. L'histogramme va distinguer les modules A, C, D et également le total A à C et A à D.
- sous la forme d'un graphique radial résumant le total A vers C et A vers D pour tous les impacts.

Les résultats détaillés pour la phase d'utilisation seront affichés dans des tableaux spécifiques dans la feuille de calcul, conformes à la description faite au point 5.1. Les résultats pour les impacts seront indiqués dans la feuille de calcul et sur l'interface graphique.

5.1 Résultats détaillés de la phase d'utilisation

Les tableaux de résultats pour la phase d'utilisation seront affichés sur la feuille de calcul - un tableau pour le besoin énergétique pour le chauffage des locaux, un tableau pour le besoin énergétique pour le refroidissement des locaux, un tableau pour le besoin énergétique pour la production d'eau chaude sanitaire, un tableau résumant les totaux énergétiques et finalement un tableau concernant les apports de chaleur solaires. La disposition graphique sera basée sur le fichier Excel fourni par l'Université de Coimbra tel que présenté dans les paragraphes suivants.

5.1.1 Besoin énergétique pour le chauffage des locaux

Pour le transfert thermique par transmission, la somme des éléments positifs sur le mois est affichée. Cela comprend:

$$\begin{aligned}
 Q_{tr,walls} &= \sum_m \max(Q_{tr,walls}(m), 0) \\
 Q_{tr,glazing} &= \sum_m \max(Q_{tr,glazing}(m), 0) \\
 Q_{tr,extfloor} &= \sum_m \max(Q_{tr,ext,floor}(m), 0) \\
 Q_{tr,roof} &= \sum_m \max(Q_{tr,roof}(m), 0) + \max(Q_{tr,pitchedroof}(m), 0) \\
 Q_{tr,ground} &= \sum_m \max(Q_{tr,ground}(m), 0) \\
 Q_{tr,total} &= \sum_m \max(Q_{tr}(m), 0)
 \end{aligned}$$

Pour le transfert thermique par renouvellement d'air et pour les apports de chaleur, les sommes sont calculées comme suit:

$$\begin{aligned}
 Q_{ve} &= \sum_m \max(Q_{ve}(m), 0) \\
 Q_{sol,glaz} &= \sum_m \max(Q_{sol,glazing}(m), 0) \\
 Q_{sol,opaq} &= \sum_m Q_{sol,walls}(m)
 \end{aligned}$$

$$Q_{int} = \sum_m Q_{int}(m)$$

En outre, les interruptions du transfert de chaleur (transfert thermique par transmission et transfert thermique par renouvellement d'air) sont affichées dans un diagramme en barres.

En plus de ces grandeurs, le besoin énergétique mensuel pour le chauffage des locaux et les grandeurs globales associées sont indiqués. Les valeurs par mètre carré de la surface non climatisée sont également calculées.

ENERGY FOR SPACE HEATING										Heating season length:		4.5		
HEAT TRANSFER BY TRANSMISSION						HEAT TRANSFER BY VENTILATION		HEAT GAINS						
$Q_{tr,WALLS}$	$Q_{tr,GLAZING}$	$Q_{tr,EXT FLOOR}$	$Q_{tr,ROOF}$	$Q_{tr,GROUND}$	$Q_{tr,TOTAL}$	Q_{ve}		GLAZED	OPAQUE	INTERNAL				
2395.1	4373.4	321.2	0.0	782.0	9038.0	2849.2		$Q_{sol,GLAZ}$	$Q_{sol,OPAQ}$	Q_{int}				
								17162.7	470.0	6679.3				
ENERGY NEED FOR HEATING														
$Q_{H,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
kWh	211.5	140.5	52.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.7	178.3		
kWh/m ²	1.7	1.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.4		
ENERGY BREAKDOWNS														
BUILDING TOTALS FOR HEATING														
ENERGY NEED		681.8 kWh/year												
		5.5 kWh/m ² /year												
DELIVERED ENERGY		170.4 kWh/yea		PRIMARY		49.4 kgoe/yea								
COP: 4		1.4 kWh/m ² /		f_{conv} : 0.29		0.4 kgoe/m ² /								

Figure 2 : feuille Excel indiquant les résultats concernant le besoin énergétique pour le chauffage des locaux

5.1.2 Besoin énergétique pour le refroidissement des locaux

Les mêmes grandeurs étant calculées dans le mode de chauffage et dans le mode de refroidissement, les résultats sont présentés de la même manière (voir

ENERGY FOR SPACE COOLING											Cooling season length:		5.2	
HEAT TRANSFER BY TRANSMISSION						HEAT TRANSFER BY VENTILATION				HEAT GAINS				
$Q_{tr,WALLS}$	$Q_{tr,GLAZING}$	$Q_{tr,EXT FLOOR}$	$Q_{tr,ROOF}$	$Q_{tr,GROUND}$	$Q_{tr,TOTAL}$	Q_{ve}				GLAZED	OPAQUE	INTERNAL		
4278.0	9914.4	573.8	0.0	1458.3	18460.5	10517.4				8836.4	565.1	7547.6		
ENERGY NEED FOR COOLING														
$Q_{C,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
kWh	0.0	0.0	0.0	0.0	334.1	676.9	853.7	717.0	578.4	78.9	0.0	0.0		
kWh/m ²	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	5.5	6.9	5.8	4.7	0.6	0.0	0.0		
BUILDING TOTALS FOR COOLING														
ENERGY NEED					3239.1 kWh/year									
					26.2 kWh/m ² /year									
DELIVERED ENERGY			1079.7 kWh/yea		PRIMARY			313.1 kgoe/yea						
COP: 3			8.7 kWh/m ² /		f _{conv} : 0.29			2.5 kgoe/m ² /						

Figure 3).

ENERGY FOR SPACE COOLING											Cooling season length:		5.2	
HEAT TRANSFER BY TRANSMISSION						HEAT TRANSFER BY VENTILATION				HEAT GAINS				
$Q_{tr,WALLS}$	$Q_{tr,GLAZING}$	$Q_{tr,EXT FLOOR}$	$Q_{tr,ROOF}$	$Q_{tr,GROUND}$	$Q_{tr,TOTAL}$	Q_{ve}				GLAZED	OPAQUE	INTERNAL		
4278.0	9914.4	573.8	0.0	1458.3	18460.5	10517.4				8836.4	565.1	7547.6		
ENERGY NEED FOR COOLING														
$Q_{C,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
kWh	0.0	0.0	0.0	0.0	334.1	676.9	853.7	717.0	578.4	78.9	0.0	0.0		
kWh/m ²	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	5.5	6.9	5.8	4.7	0.6	0.0	0.0		
BUILDING TOTALS FOR COOLING														
ENERGY NEED					3239.1 kWh/year									
					26.2 kWh/m ² /year									
DELIVERED ENERGY			1079.7 kWh/yea		PRIMARY			313.1 kgoe/yea						
COP: 3			8.7 kWh/m ² /		f _{conv} : 0.29			2.5 kgoe/m ² /						

Figure 3 : feuille Excel indiquant les résultats concernant le besoin énergétique pour le refroidissement des locaux

5.1.3 Besoin énergétique pour la production d'eau chaude sanitaire

S'agissant de la production d'eau chaude sanitaire, seul le besoin énergétique mensuel et la valeur annuelle associée sont repris, comme indiqué à l'

ENERGY NEED FOR DHW PRODUCTION												
$Q_{c,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	217.8	203.3	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1
kWh/m ²	1.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
BUILDING TOTALS FOR DHW PRODUCTION												
ENERGY NEED		2642.6	kWh/year									
		21.3	kWh/m ² /year									
DELIVERED ENERGY		2936.3	kWh/yea		PRIMARY ENERGY		851.5	kgoe/year				
η:		0.90	23.7	kWh/m ² /	f _{conv} :		0.29	6.9	kgoe/m ² /year			

Figure 4.

ENERGY NEED FOR DHW PRODUCTION												
$Q_{c,nd}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	217.8	203.3	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1
kWh/m ²	1.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
BUILDING TOTALS FOR DHW PRODUCTION												
ENERGY NEED		2642.6	kWh/year									
		21.3	kWh/m ² /year									
DELIVERED ENERGY		2936.3	kWh/yea		PRIMARY ENERGY		851.5	kgoe/year				
η:		0.90	23.7	kWh/m ² /	f _{conv} :		0.29	6.9	kgoe/m ² /year			

Figure 4 : feuille Excel fournissant des résultats pour le besoin énergétique pour la production d'eau chaude sanitaire

5.1.4 Totaux énergétiques

Une partie de l'onglet des résultats présente des valeurs totales, calculées comme suit:

$$Q_{H+c,nd}(m) = Q_{H,month}(m) + Q_{c,month}(m)$$

$$Q_{T,nd}(m) = Q_{H,month}(m) + Q_{c,month}(m) + Q_{DHW,month}(m)$$

Le besoin énergétique total annuel correspond à l'addition du besoin énergétique annuel pour le chauffage des locaux, du besoin énergétique annuel pour le refroidissement des locaux et du besoin énergétique annuel pour la production d'eau chaude sanitaire. L'énergie fournie totale et l'énergie primaire sont calculées de la même manière.

ENERGY TOTALS (DHW + HEATING + COOLING)												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{H+C,nd}$ (kWh)	211.5	140.5	52.7	0.0	334.1	676.9	853.7	717.0	578.4	78.9	98.7	178.3
$Q_{T,nd}$ (kWh)	429.3	343.8	277.7	217.8	559.2	894.7	1078.8	942.0	796.2	304.0	316.5	403.4
$Q_{DHW,nd}$ (kWh)	217.8	203.3	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1	225.1	217.8	225.1	217.8	225.1

BUILDING TOTALS PER YEAR	
TOTAL ENERGY NEED	6563.5 kWh/year 53.0 kWh/m ² /year

TOTAL DELIVERED ENERGY	4186.4 kWh/yea 33.8 kWh/m ²	TOTAL PRIMARY ENERGY	1214.1 kgoe/year 9.8 kgoe/m ² /year
------------------------	---	----------------------	---

Figure 5 : feuille de calcul Excel fournissant des résultats qui résument les totaux énergétiques

5.1.5 Apports de chaleur solaires

Les apports de chaleur mensuels pour le vitrage et les murs sont rappelés dans deux tableaux (voir Figure 6).

SOLAR HEAT GAINS												
HEATING MODE												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{sol, GLAZED}$ (kWh)	1121.8	1069.1	1554.4	1673.5	1671.9	1712.5	1770.3	1803.8	1589.4	1393.5	918.3	884.1
$Q_{sol, OPAQUE}$ (kWh)	-10.1	0.9	39.1	64.5	73.7	89.7	94.7	86.5	51.9	21.1	-16.6	-25.3
COOLING MODE												
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
$Q_{sol, GLAZED}$ (kWh)	435.2	559.9	736.4	846.6	1066.5	1037.3	991.2	803.3	738.7	614.1	524.0	483.0
$Q_{sol, OPAQUE}$ (kWh)	-4.4	6.5	47.4	73.8	83.3	99.9	105.2	96.9	60.6	28.5	-11.9	-20.8

Figure 6 : feuille de calcul Excel fournissant des résultats pour les apports de chaleur solaires

5.2 Résultats globaux de la phase d'utilisation

Ameco évalue les impacts environnementaux; il convient dès lors d'évaluer en termes d'impacts les informations détaillées calculées dans la phase d'utilisation. Pour ce faire, la procédure suivante est utilisée pour chacun des 24 impacts:

$$Module B_{impact} = Q_{heating, delivered} \cdot k_{heating} + Q_{cooling, delivered} \cdot k_{cooling} + Q_{DHW, delivered} \cdot k_{DHW}$$

Où $k_{heating}$, $k_{cooling}$, k_{DHW} dépend du type d'énergie et de l'impact conformément au tableau ci-dessous :

Abréviation	Désignation	Électricité	Gaz	Liquide	Solide	Biomasse	Unité
Impacts environnementaux							
GWP	Potentiel de réchauffement global	4.82E-01	4.84E-01	4.33E-01	2.92E-01	0	tCO ₂ eq
ODP	Potentiel de destruction de la couche d'ozone	4.32E-10	7.97E-11	3.11E-11	3.02E-11	0	t _{CF} Ceq
AP	Potentiel d'acidification	2.28E-03	1.61E-03	2.95E-03	1.34E-03	0	t _{SO2} eq
EP	Potentiel d'eutrophisation	1.20E-04	7.85E-05	1.46E-04	1.70E-04	0	t _{PO4} eq
POCP	Potentiel de formation d'ozone photochimique	1.34E-04	3.49E-04	4.41E-04	1.43E-04	0	t _{Ethene} eq
ADP-e	Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques – éléments	6.63E-08	1.18E-07	1.04E-07	5.01E-09	0	t _S beq
ADP-ff	Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques – combustibles fossiles	8.48E+00	5.02E+01	5.07E+01	2.79E+01	0	GJ NCV

Utilisation des ressources, matières et combustibles secondaires							
RPE	Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières	1.41E+00	2.41E-01	8.53E-02	5.72E-02	0	GJ NCV
RER	Utilisation des ressources d'énergie renouvelables utilisées en tant que matières premières	0	0	0	0	0	GJ NCV
RPE-total	Utilisation totale de l'énergie primaire renouvelable (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	1.41E+00	2.41E-01	8.53E-02	5.72E-02	0	GJ NCV
Non-RPE	Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières	4.90E+00	5.05E+00	8.06E+00	1.28E+00	0	GJ NCV
Non-RER	Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières	3.60E+00	4.52E+01	4.26E+01	2.66E+01	0	GJ NCV

Non-RPE-total	Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	8.50E+00	5.03E+01	5.07E+01	2.79E+01	0	GJ NCV
SM	Utilisation de matières secondaires	0	0	0	0	0	t
RSF	Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	1.73E-04	3.37E-04	2.97E-04	1.53E-05	0	GJ NCV
Non-RSF	Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	1.82E-03	3.54E-03	3.13E-03	1.60E-04	0	GJ NCV
NFW	Utilisation nette d'eau douce	1.84E+00	3.12E-01	1.36E-01	6.88E-02	0	10 ³ m ³

Autres informations environnementales décrivant les catégories de déchets							
HWD	Déchets dangereux éliminés	0	0	0	0	0	t
Non-HWD	Déchets non dangereux éliminés	1.92E+00	3.32E-01	1.10E-01	4.94E+00	0	t
RWD	Déchets radioactifs éliminés	1.25E-03	2.07E-04	6.31E-05	2.47E-05	0	t

Autres informations environnementales décrivant les flux sortants							
CR	Composantes destinés à la réutilisation	0	0	0	0	0	t
MR	Matériaux destinés au recyclage	0	0	0	0	0	t
MER	Matériaux destinés à la récupération d'énergie	0	0	0	0	0	t
EE	Énergie fournie à l'extérieur	0	0	0	0	0	t

Tableaux 10 : coefficient d'impact pour la phase d'utilisation

6 Guide d'utilisation du logiciel AMECO3

AMECO3 permet de calculer les impacts environnementaux e tous les types de bâtiment et de pont. Pour les applications relatives aux bâtiments, AMECO 3 permet également de calculer la consommation d'énergie en phase opérationnelle, notamment pour le chauffage, le refroidissement et la production d'eau chaude.

Ce guide a pour objectif d'adapter le menu d'aide des versions antérieures d'AMECO en fonction des nouvelles améliorations apportées dans le cadre du projet LVS³, pour le projet de bâtiment.

Divers modules sont mis à disposition pour saisir et traiter les paramètres. Les modules sont sélectionnés à l'aide de la barre d'outils Study et sont affichés dans la zone de travail. Pour une étude complète d'un bâtiment, et notamment de la phase d'utilisation, les modules à utiliser sont les suivants:

- Projet
- Bâtiment
- Enveloppe
- Chape
- Toit
- Occupation
- Systèmes
- Étages
- Structure
- Transport
- Résultats

Si « Yes » est sélectionné dans le champ correspondant à l'option « Structure only », seuls les modules suivants sont disponibles:

- Projet
- Bâtiment
- Étages
- Structure
- Transport

L'utilisateur peut choisir la finalité du calcul par le biais du module Bâtiment.

6.1 Projet

Dans ce module, des paramètres optionnels doivent être définis pour identifier le projet. Ils servent à éditer la feuille de calcul; toutefois, les champs peuvent rester vides sans aucune incidence sur les calculs. Les cinq paramètres suivants peuvent être saisis:

- le nom du projet
- le nom du bâtiment
- la société responsable de l'étude
- le nom de l'utilisateur
- un commentaire.

Ces champs sont facultatifs et peuvent donc rester vides sans affecter les calculs.

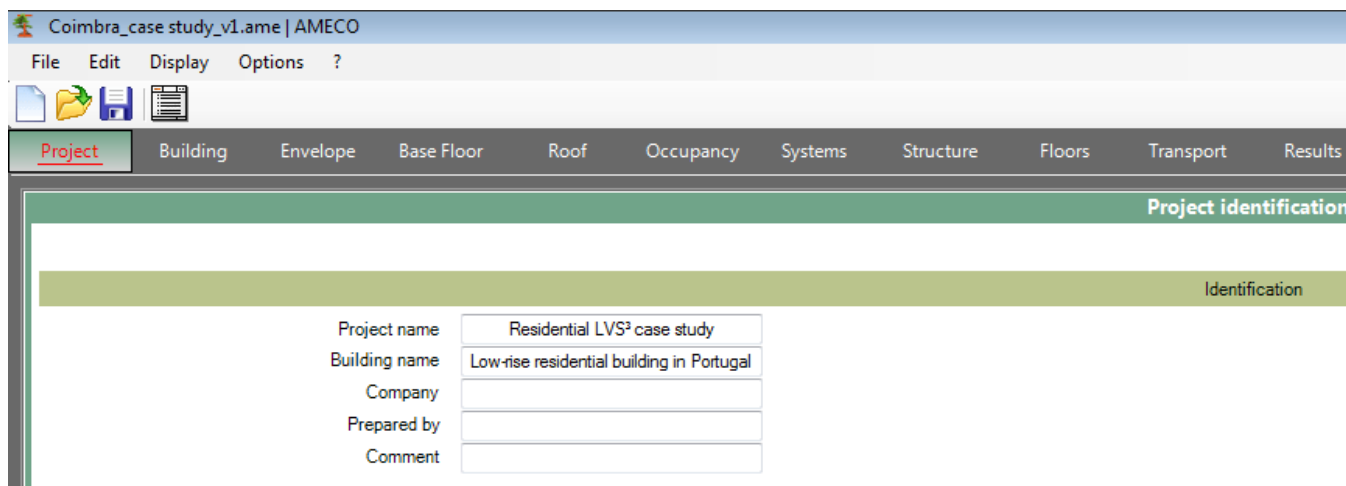


Figure 7 : Définition du projet

6.2 Bâtiment

6.2.1 Paramètres généraux

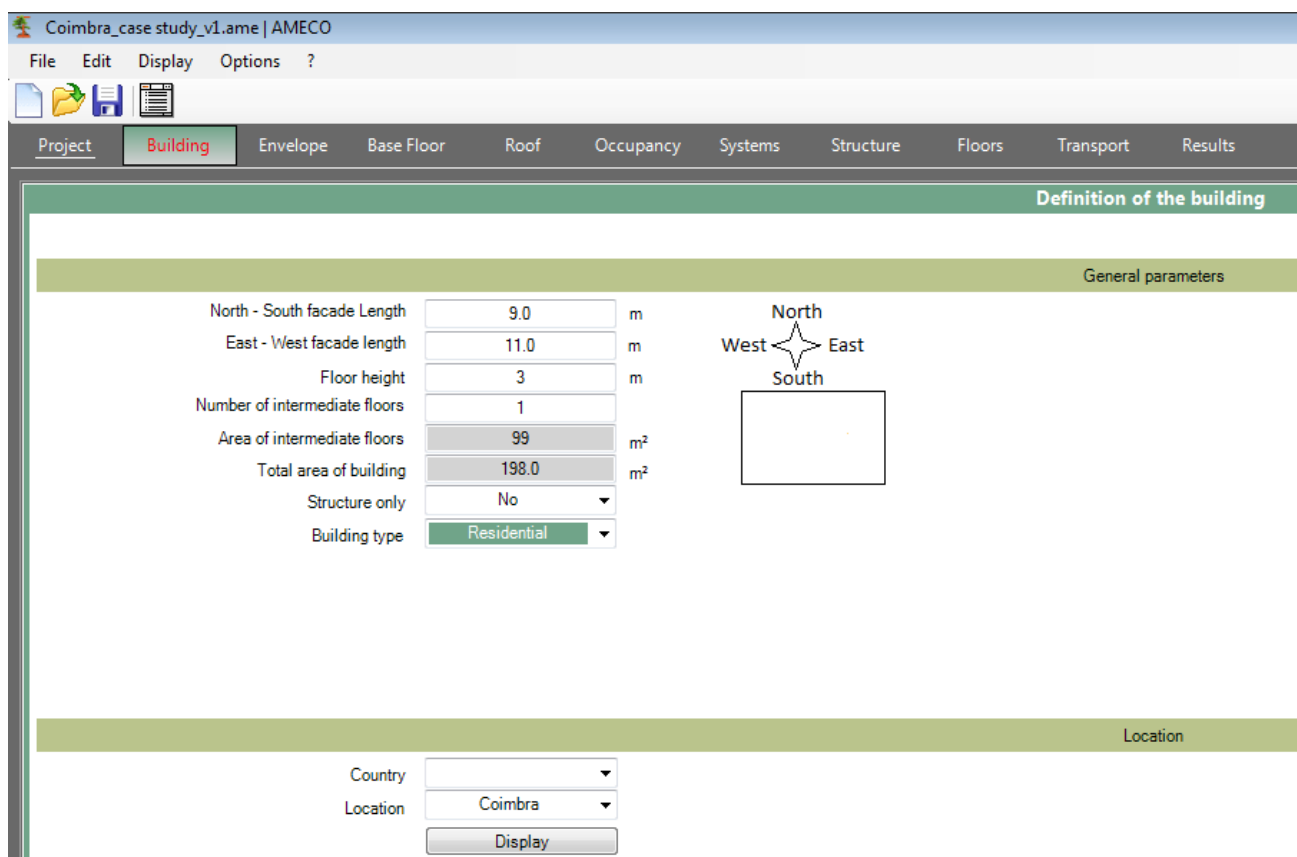


Figure 8 : caractéristiques principales du bâtiment, calcul de la phase d'utilisation inclus

Dans ce module, l'utilisateur définit les paramètres généraux du bâtiment:

- la longueur nord-sud l_b ;
- la longueur est-ouest w_b ;

La définition de ces dimensions permet d'orienter le bâtiment. Seul un bâtiment rectangulaire peut être introduit dans AMECO3.

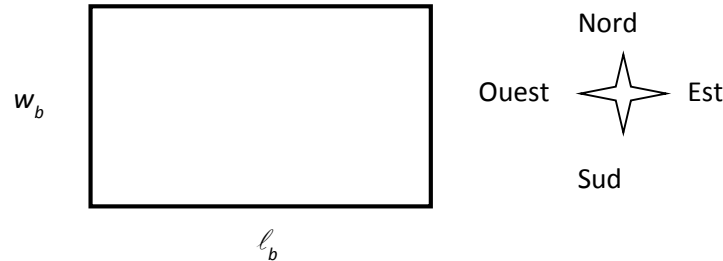


Figure 9 : forme du bâtiment

- la hauteur de l'étage;
- le nombre d'étages n ;
- les surfaces totales des étages intermédiaires, calculées à partir des paramètres ci-dessus. Le calcul est basé sur $a_{def,floors} = n l_b w_b$, en supposant que chaque étage a la même superficie. Cette valeur exclut la superficie du rez-de-chaussée.
- la superficie totale du bâtiment, calculée en tenant compte des étages N+1;
- La finalité du calcul par le biais du champ « Structure only ».

Cette option permet à l'utilisateur d'ignorer les calculs des consommations d'énergie en sélectionnant « Oui ». Dans ce cas, seuls les impacts environnementaux dus aux matériaux utilisés pour ériger la structure du bâtiment, tels que les poutres et les colonnes primaires ainsi que les étages intermédiaires et les impacts de leur transport, seront pris en considération dans le calcul.

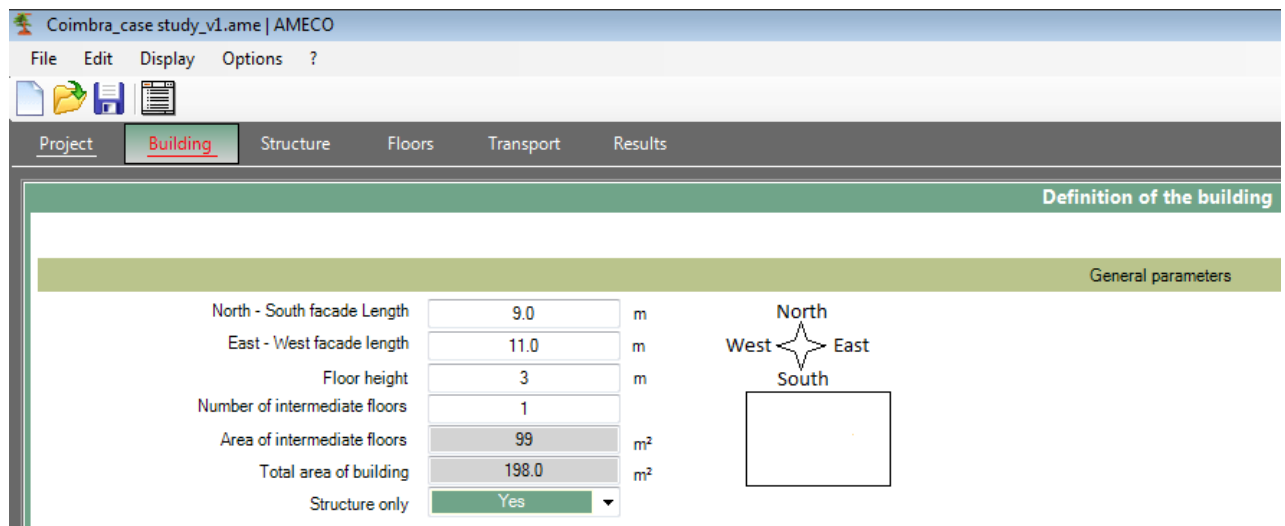


Figure 10 : caractéristiques principales du bâtiment, calcul de la phase d'utilisation exclus

Si l'utilisateur sélectionne « Non », des modules complémentaires, en rapport avec la définition des paramètres nécessaires pour calculer l'énergie opérationnelle du bâtiment, sont affichés. Le premier champ affiché lorsque la phase d'utilisation est comprise dans les calculs est le type de bâtiment;

- Le type de bâtiment peut être sélectionné à partir du menu déroulant, parmi les choix suivants:
 - Résidentiel
 - Bureaux
 - Commercial
 - Industriel;

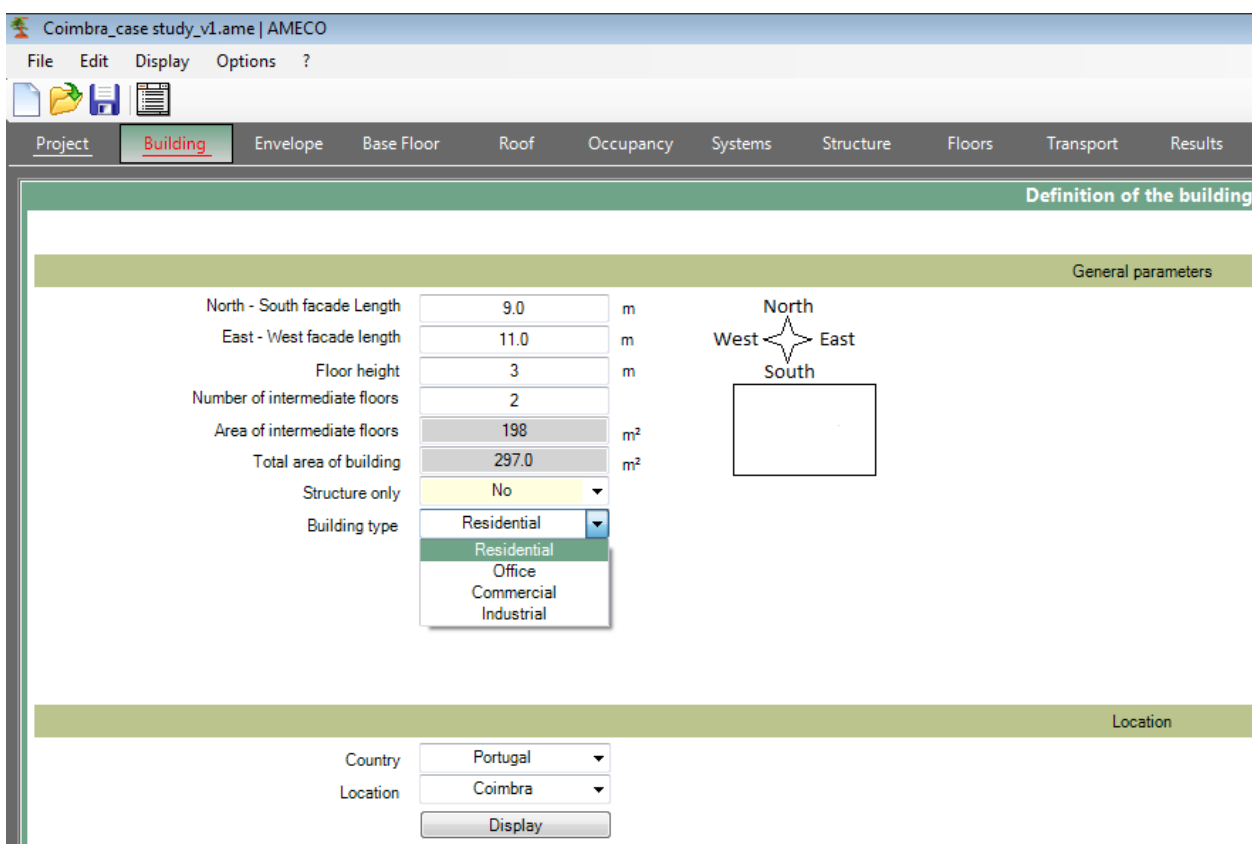


Figure 11 : Sélection du type de bâtiment

Le type du bâtiment a un impact uniquement sur le calcul de la phase d'utilisation. En effet, les utilisateurs du bâtiment ont un impact sur les consommations du bâtiment. Ainsi, les systèmes d'éclairage produisent une énergie de chaleur supplémentaire dans les bureaux, laquelle est susceptible d'augmenter le besoin en refroidissement.

Pour chaque type de bâtiment, un scénario d'utilisation spécifique est défini, qu'il s'agisse de l'occupation, de l'éclairage et de l'allocation entre les zones ayant une fonction différente au sein d'un même bâtiment, exprimée en pourcentage de la surface de plancher totale. Les détails du scénario d'utilisation correspondant à chaque type de bâtiment sont présentés dans les chapitres suivants du guide de conception.

6.2.2 Emplacement

Dans la partie inférieure du module, l'utilisateur définit l'emplacement du bâtiment, en sélectionnant:

Dans la partie inférieure du module, l'utilisateur définit l'emplacement du bâtiment, en sélectionnant:

- le pays;
- une ville correspondante;

AMECO3 propose 23 pays et 48 villes:

Pays	Ville
Autriche	Vienne, Graz
Biélorussie	Minsk
Belgique	Bruxelles
République tchèque	Prague
Angleterre	Londres
Finlande	Helsinki, Tampere
France	Nantes, Paris, Montpellier, Marseille, Nice
Allemagne	Berlin, Munich, Hambourg
Grèce	Thessaloniki, Athènes
Italie	Milan, Rome, San Remo, Gènes
Pays-Bas	Amsterdam
Norvège	Oslo
Pologne	Varsovie
Portugal	Lisbonne, Porto, Coimbra
Roumanie	Bucarest, Timisoara
Russie	Moscou, Arhanglesk
Slovaquie	Bratislava
Slovénie	Lubiana
Espagne	Madrid, Barcelone, Séville, La Coruna, Salamanque, Vigo, Bilbao
Suède	Stockholm, Kiruna, Ostersund
Suisse	Zurich
Turquie	Istanbul, Ankara
Ukraine	Kiev

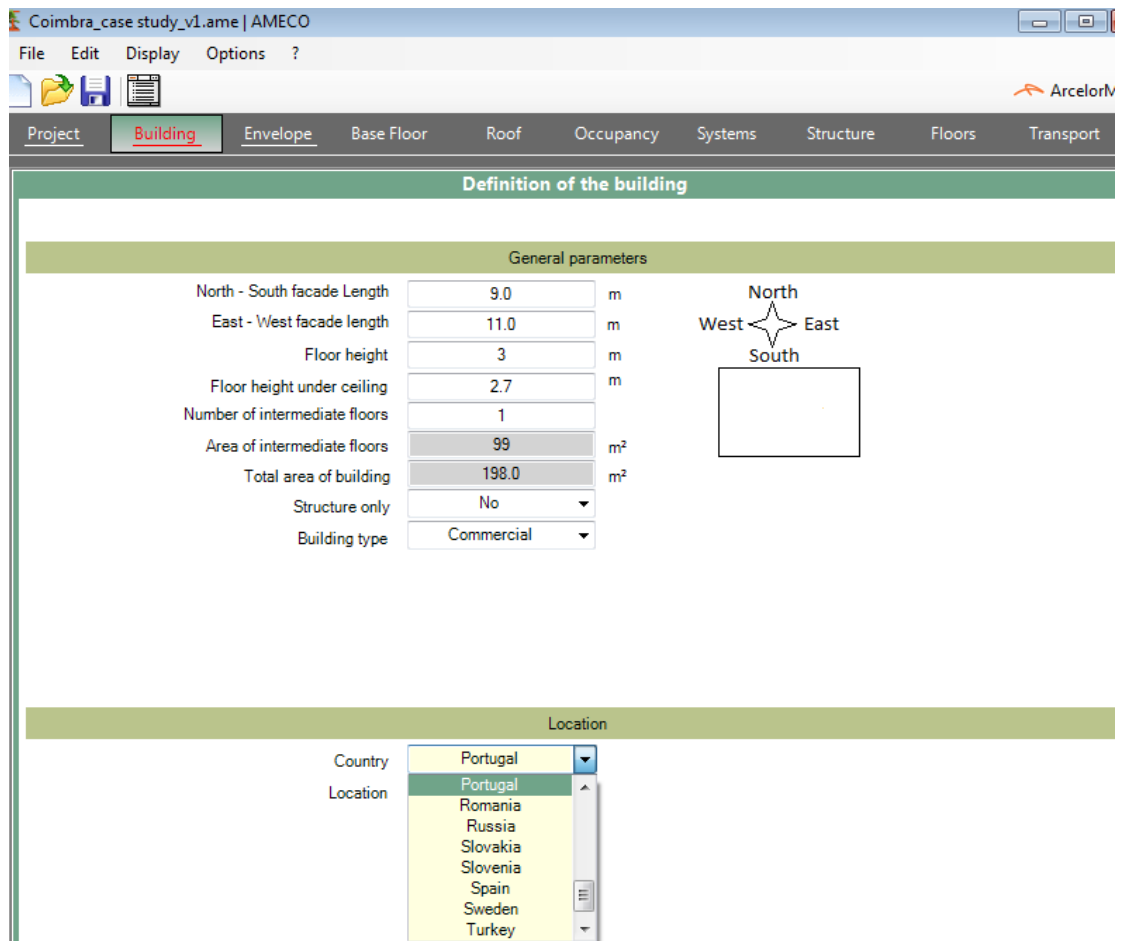


Figure 12 : Sélection du pays

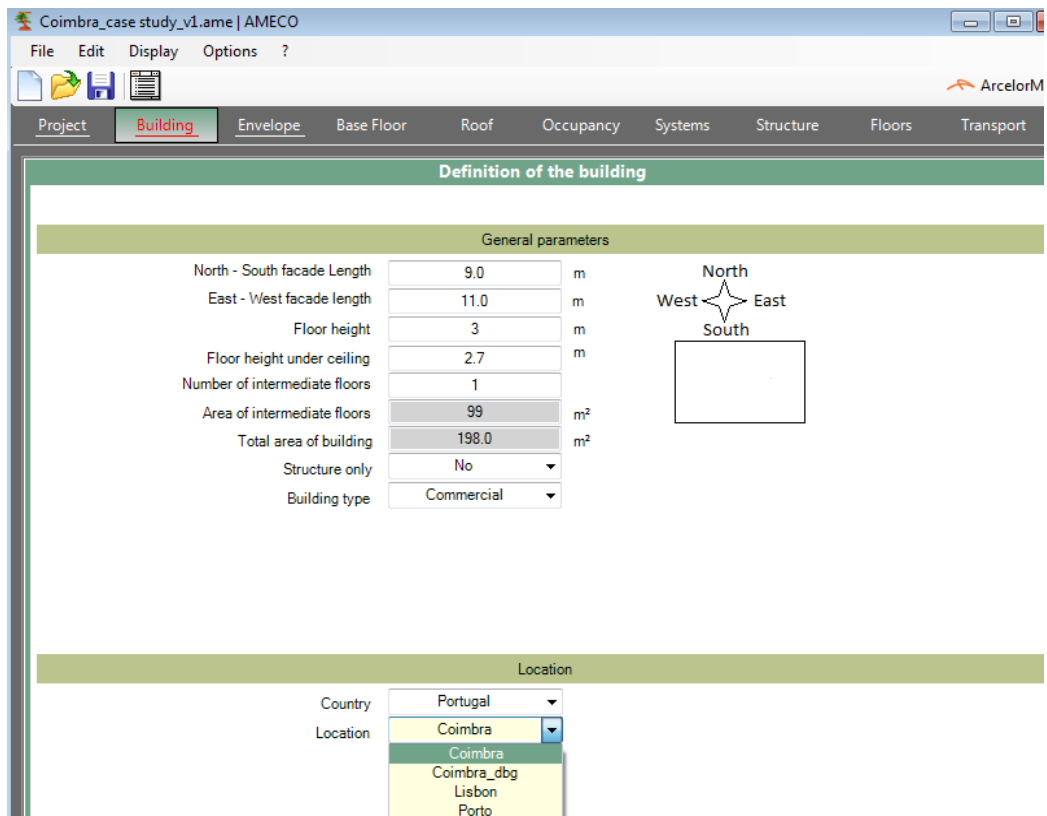


Figure 13 : Sélection de la ville correspondante

En cliquant sur le bouton « Display », l'utilisateur peut consulter les données climatiques spécifiques à l'emplacement sélectionné, comme le montre la figure suivante:

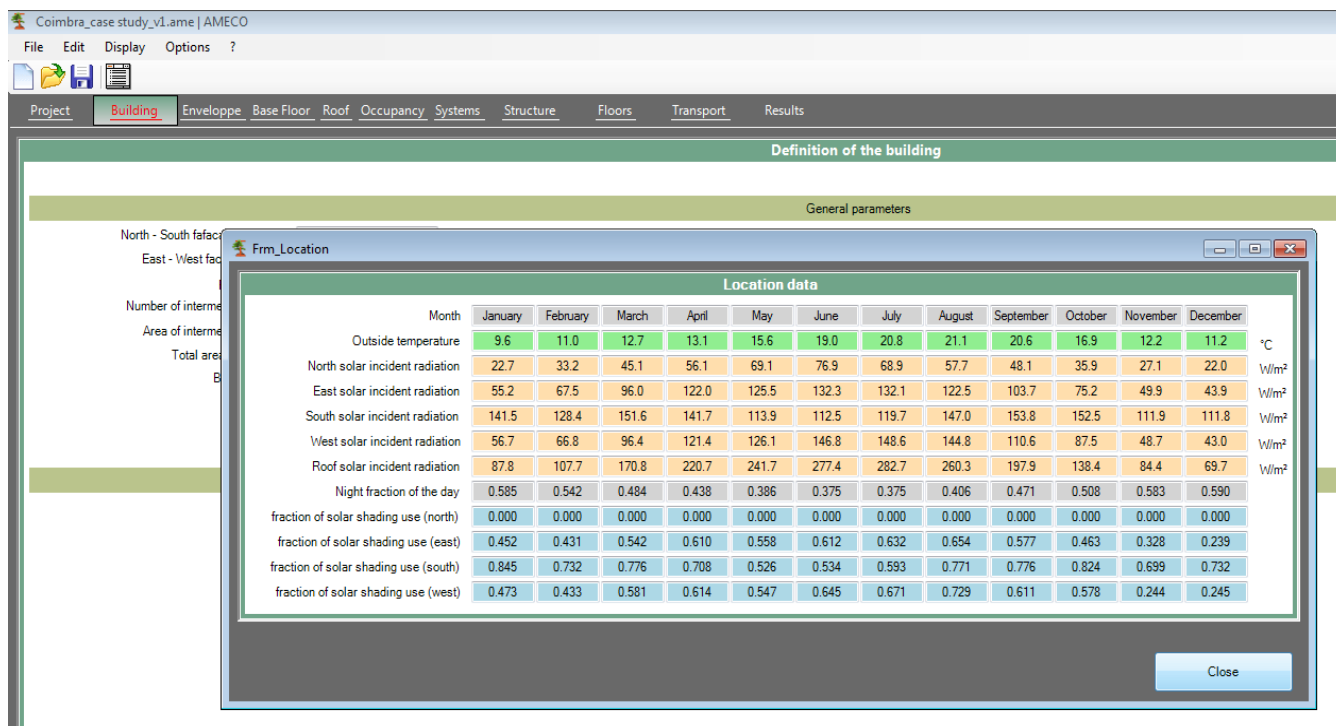


Figure 14 : Données de l'emplacement

6.2.3 Enveloppe

Dans la partie supérieure de la section relative à l'enveloppe, l'utilisateur a accès aux caractéristiques de la façade:

- Les superficies des murs qui sont calculées automatiquement pour chaque orientation. Ces superficies résultent de la multiplication de la longueur correspondante par la hauteur du bâtiment et par le nombre d'étages + 1;
- Les superficies des ouvertures pour chaque orientation, en définissant un pourcentage de la superficie totale de la façade.

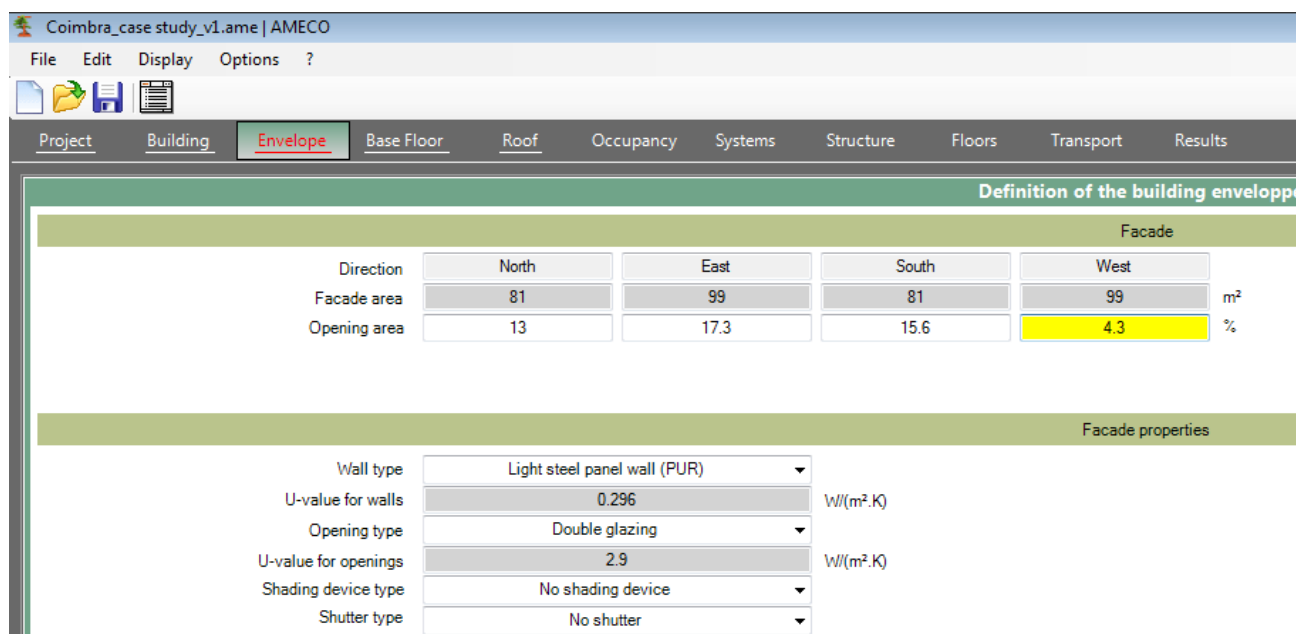


Figure 15 : description de l'enveloppe

Dans la partie inférieure de la section relative à l'enveloppe, les propriétés de la façade sont définies:

- Le type de mur, qui est la composition de la façade.
 - 3 types de mur principaux sont définis dans AMECO 3:
 - Une vêtue en acier léger;
 - Un mur double en briques de terre cuite;
 - Un panneau sandwich.

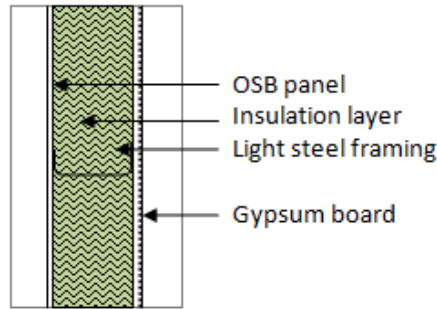
La vêtue en acier léger et le mur double en briques de terre cuite sont proposés avec différents types de matériau d'isolation:

- Laine de roche;
- EPS (polystyrène expansé);
- XPS (polystyrène extrudé);
- PUR (polyuréthane).

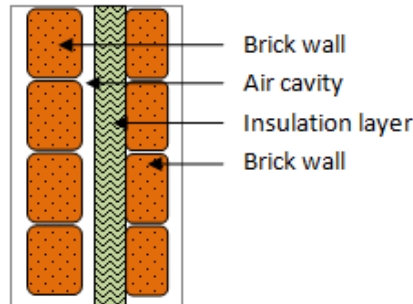
Le panneau sandwich est en polyuréthane, avec différentes épaisseurs: 80 mm et 200 mm.

Les types de mur sont présentés dans les figures suivantes:

Light steel panel wall:



Double clay brick wall:



Sandwich panel:

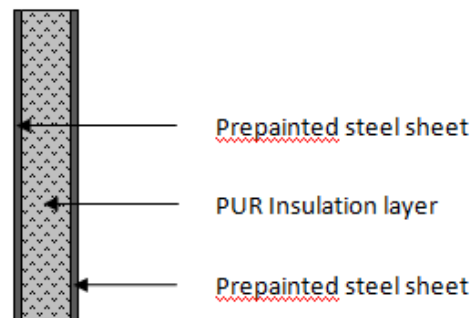


Figure 16 : schémas et description des composants du mur, disponibles dans AMECO3

Coimbra_case study_v1.ame | AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building **Envelope** Base Floor Roof Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

Definition of the building envelope

Facade					
Direction	North	East	South	West	
Facade area	81	99	81	99	m ²
Opening area	13	17.3	15.6	4.3	%

Facade properties

Wall type	Light steel panel wall (PUR)	
U-value for walls	Light steel panel wall (rock wool)	W/(m ² .K)
Opening type	Light steel panel wall (EPS)	
	Light steel panel wall (XPS)	
U-value for openings	Light steel panel wall (PUR)	W/(m ² .K)
	Light steel panel wall (Cork)	
Shading device type	Double clay brick wall (Rock wool)	
	Double clay brick wall (EPS)	
Shutter type	Double clay brick wall (XPS)	

Figure 17 : Sélection du type de mur

Les impacts environnementaux correspondants pour toutes les configurations de murs sont décrits dans le document de référence.

- La valeur U, également connue comme étant la transmission thermique, est affichée en fonction de la sélection de l'utilisateur.
Les valeurs U des types de mur ont été calculées en tenant compte des ponts thermiques intégrés.
- Les types d'ouverture, avec différentes valeurs U, telles que:
 - o Double vitrage
 - o Double vitrage à faible émissivité (type 1)
 - o Double vitrage à faible émissivité (type 2)
 - o Double vitrage à faible émissivité (type 3)

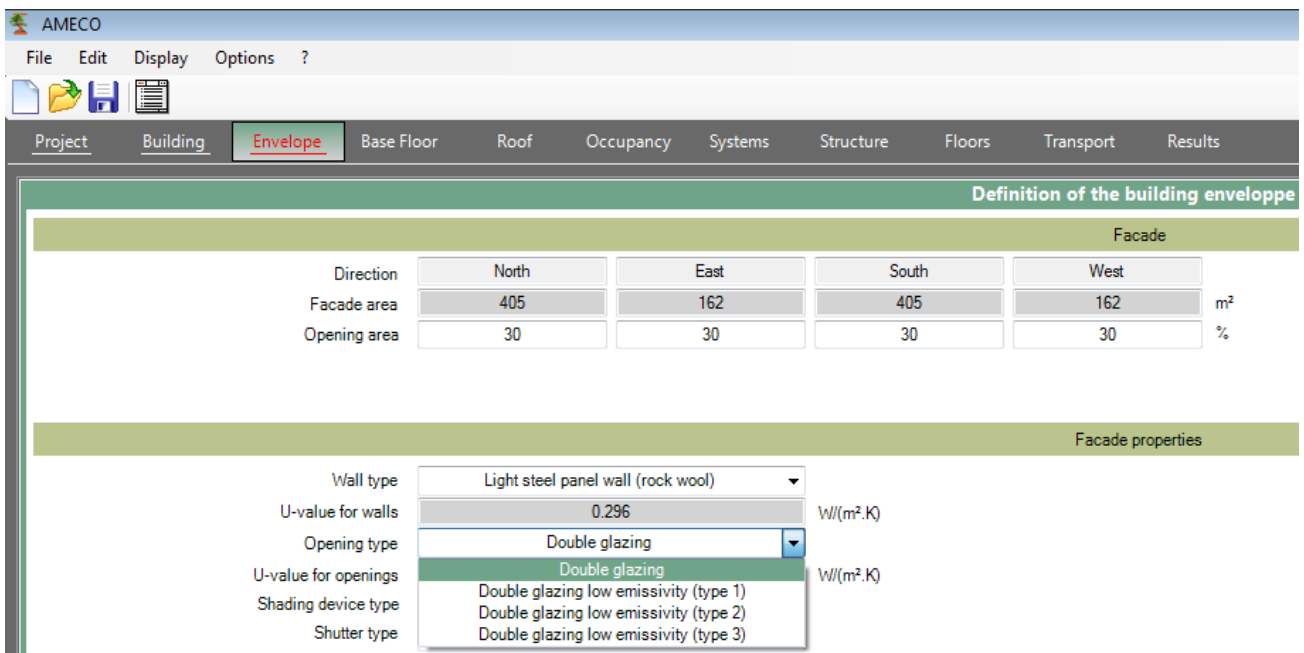


Figure 18 : Sélection du type d'ouverture

- La valeur U du type de fenêtre sélectionné;
- Le type de dispositif d'ombrage, notamment:
 - o Pas de dispositif d'ombrage
 - o Dispositif opaque extérieur en bois (pas d'isolation)
 - o Fermeture roulante extérieure en bois (pas d'isolation)
 - o Volet roulant extérieur en aluminium (pas d'isolation)
 - o Fermeture roulante extérieure en plastique (pas d'isolation)
 - o Stores vénitiens extérieurs en bois
 - o Stores vénitiens extérieurs métalliques
 - o Stores roulants opaques extérieurs

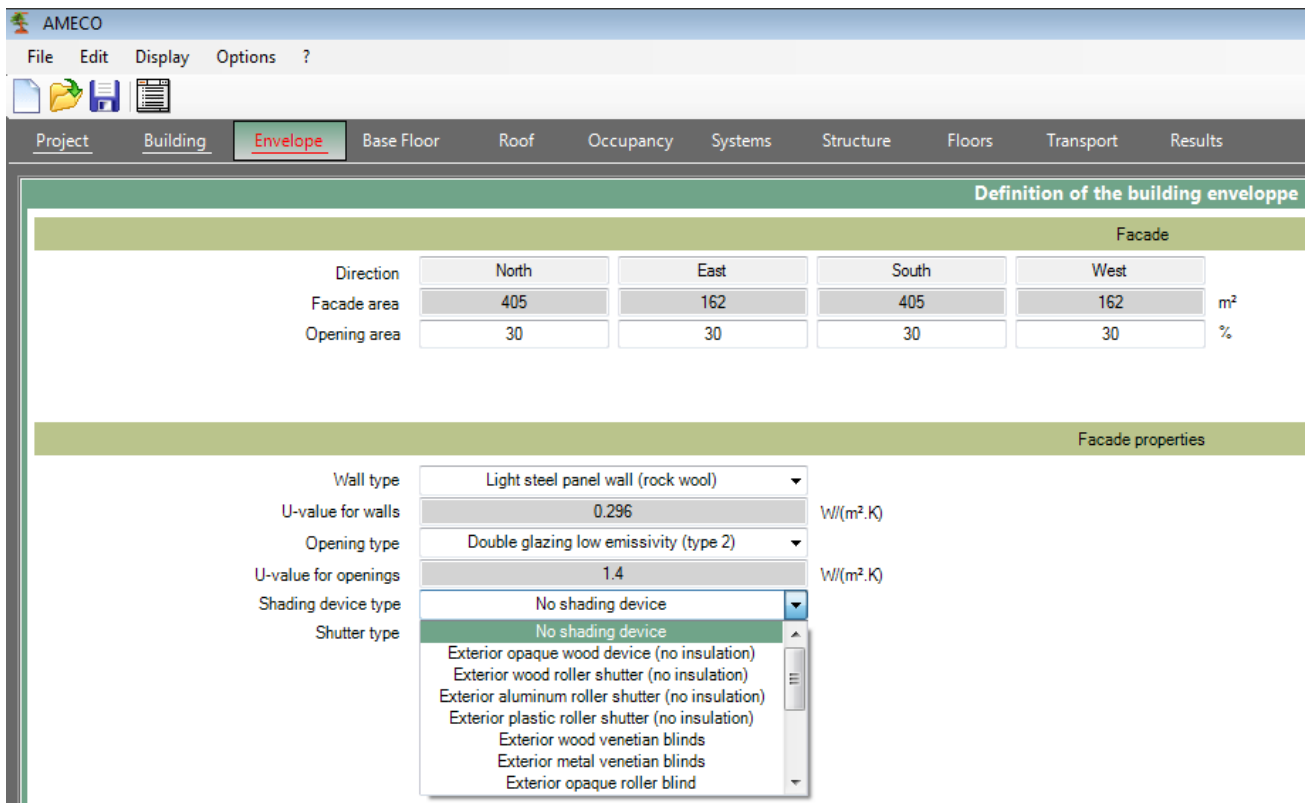


Figure 19 : Sélection du type de dispositif d'ombrage

- Le type de volet, qui peut être sélectionné dans la liste suivante:
 - o Pas de dispositif d'ombrage
 - o Dispositif opaque extérieur en bois (pas d'isolation)
 - o Fermeture roulante extérieure en bois (pas d'isolation)
 - o Volet roulant extérieur en aluminium (pas d'isolation)
 - o Fermeture roulante extérieure en plastique (pas d'isolation)
 - o Stores vénitiens extérieurs en bois
 - o Stores vénitiens extérieurs métalliques
 - o Stores roulants opaques extérieurs

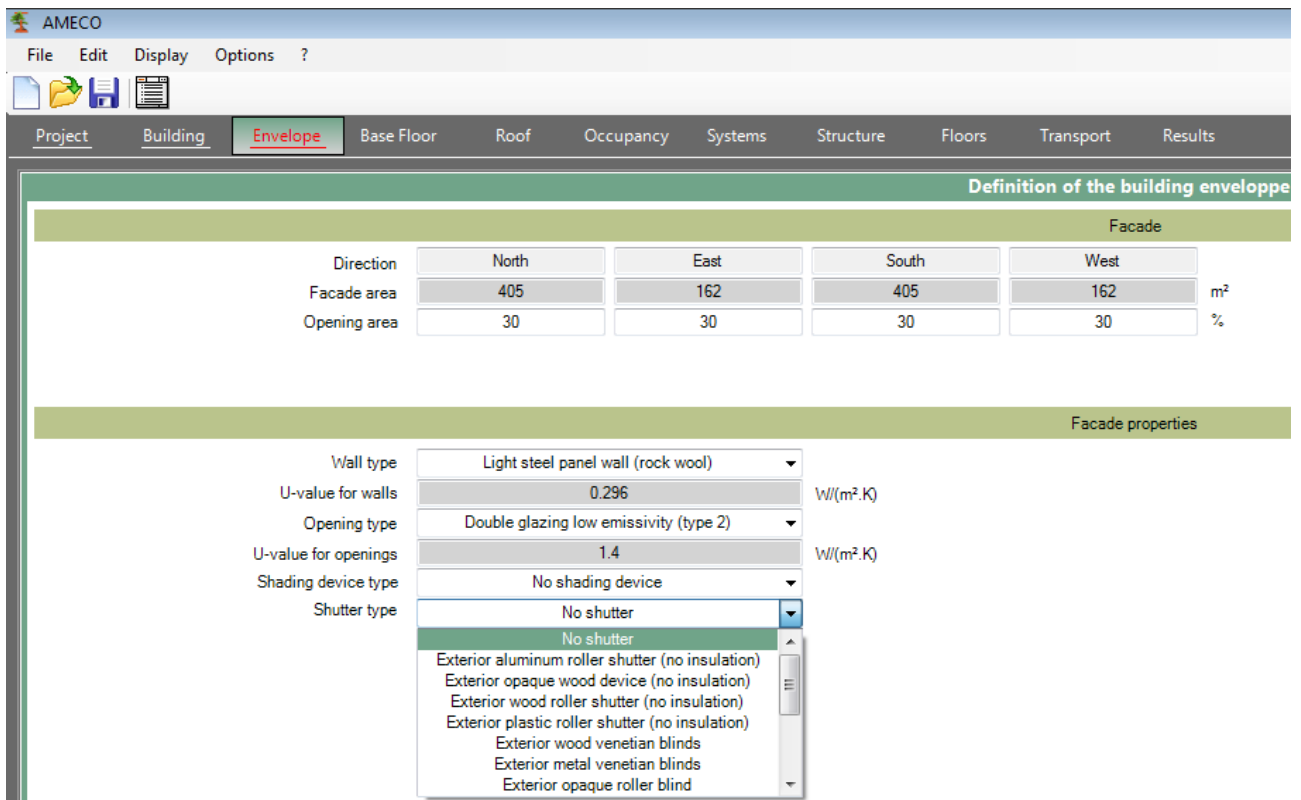


Figure 20 : Sélection du type de volet

6.2.4 Dalle de sol

Ce module définit les caractéristiques de la dalle de sol:

- la valeur U de la dalle de sol en fonction de la quantité d'isolation;
- le type de dalle, sélectionné parmi les choix suivants:
 - o plancher bas à niveau de sol
 - o plancher de sous-sol

Le type de dalle de sol est déterminant pour le comportement thermique du bâtiment; des paramètres spécifiques lui sont attribués, définis comme des valeurs par défaut pour simplifier l'interface. Une description complète de ces paramètres par définis comme des valeurs par défaut est proposée dans le document de référence.

- l'épaisseur de la dalle de sol, en mètre, et
- la masse totale des barres d'armature, en tonnes, utilisées pour renforcer les dalles.

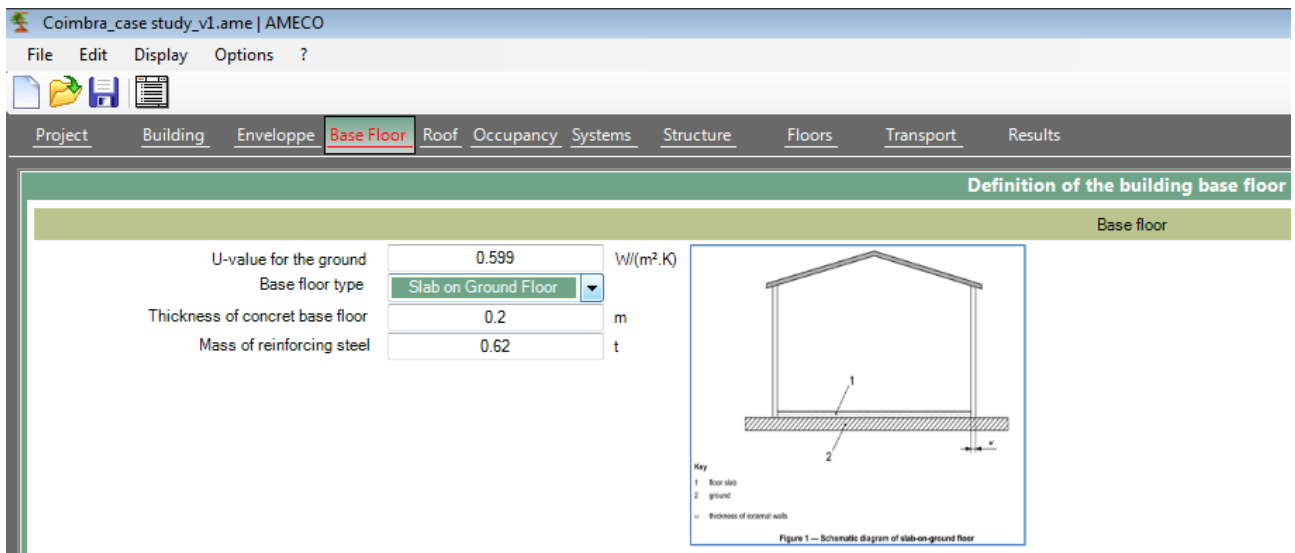


Figure 21 : description de la chape

6.2.5 Toit

Dans ce module, le composant du toit est défini:

- Le type de toit;
- La valeur U correspondante est affichée.

Deux types de toit sont proposés:

- Un toit en acier avec une membrane imperméable
- Type de toit 2

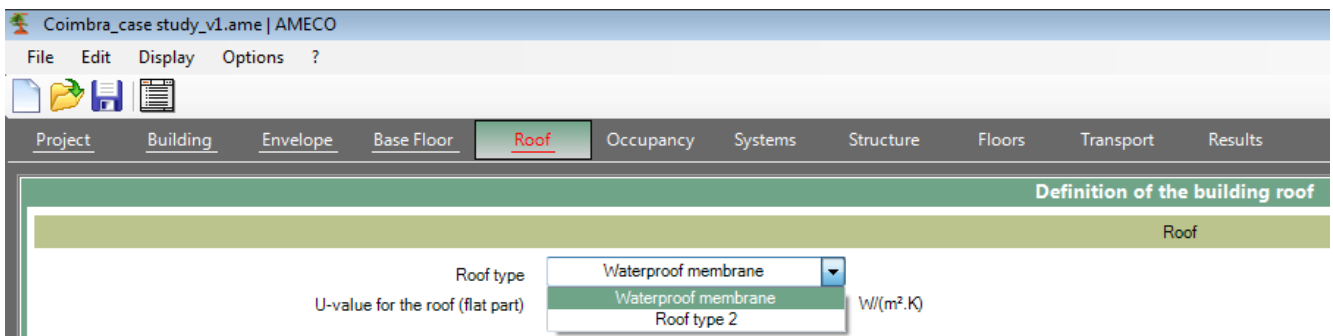


Figure 22 : sélection du composant du toit

Weatherproof membrane steel roof:



Roof type 2 :

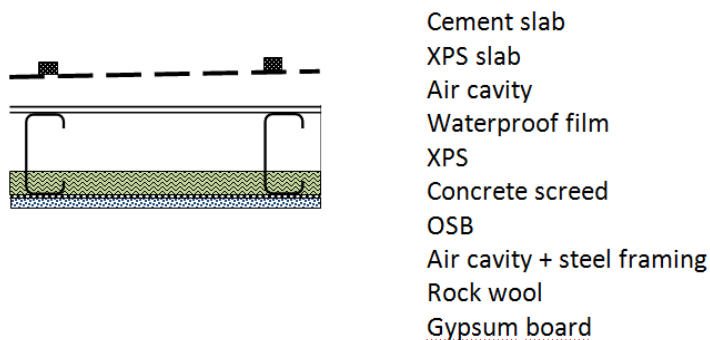


Figure 23 : Illustration du type de toit disponible dans AMECO3

6.2.6 Occupation

Ce module définit les conditions intérieures utilisées dans le calcul:

- La température du point de consigne de chauffage, en degrés, qui active le système de chauffage si la température intérieure est inférieure à cette température;
- La température du point de consigne de refroidissement, en degrés, qui active le système de refroidissement si la température intérieure est supérieure à cette température;
- Le débit d'air, en nombre de renouvellements d'air par heure, correspondant au mode de chauffage;
- Le débit d'air correspondant au mode de refroidissement;

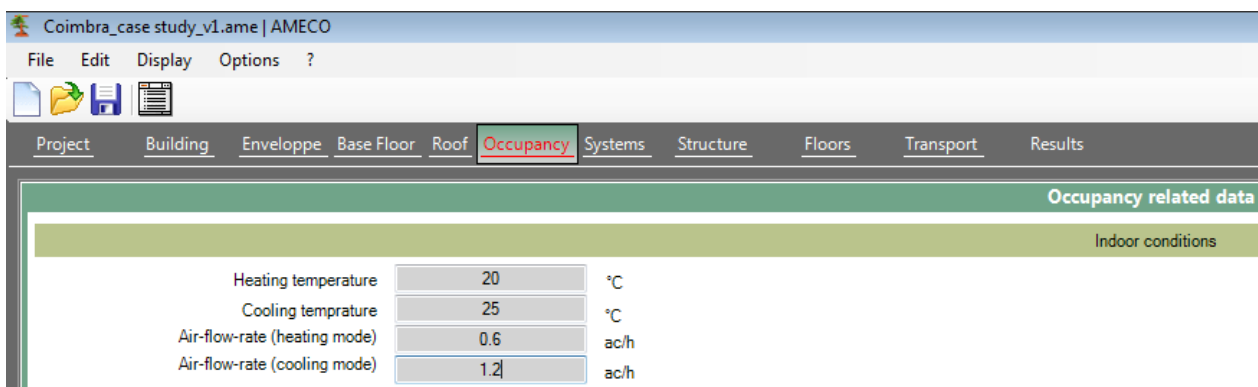


Figure 24 : paramètres liés au scénario d'occupation du bâtiment résidentiel

Ces paramètres sont définis comme des valeurs fixes et dépendent directement du type de bâtiment sélectionné par l'utilisateur dans le module Bâtiment.

6.2.7 Systèmes

Ce module définit les systèmes d'énergie actifs:

- Le type de système de chauffage, qui peut être choisi parmi les types suivants:
 - o Résistance électrique
 - o Chauffage au combustible gazeux
 - o Chauffage au combustible liquide
 - o Chauffage au combustible solide
 - o Chauffage bibloc
 - o Pas de chauffage

- Le type de système de refroidissement, qui peut être:
 - o Un refroidissement bibloc
 - o Une machine frigorifique (cycle à compression)
 - o Une machine frigorifique (cycle à absorption)
 - o Pas de refroidissement

- Le système de récupération de chaleur. Exprimé en pourcentage, ce paramètre doit être spécifié si le bâtiment est doté d'un système de ventilation à double flux. Dans le cas d'une ventilation naturelle, aucun système de récupération de chaleur n'est installé dans le bâtiment.

- Le type du système de production d'eau chaude sanitaire, qui peut être choisi dans la liste suivante:
 - o Chaudière électrique
 - o Chaudière au gaz
 - o Chauffe-eau instantané (condensation)
 - o Chauffe-eau instantané
 - o Pas d'eau chaude sanitaire

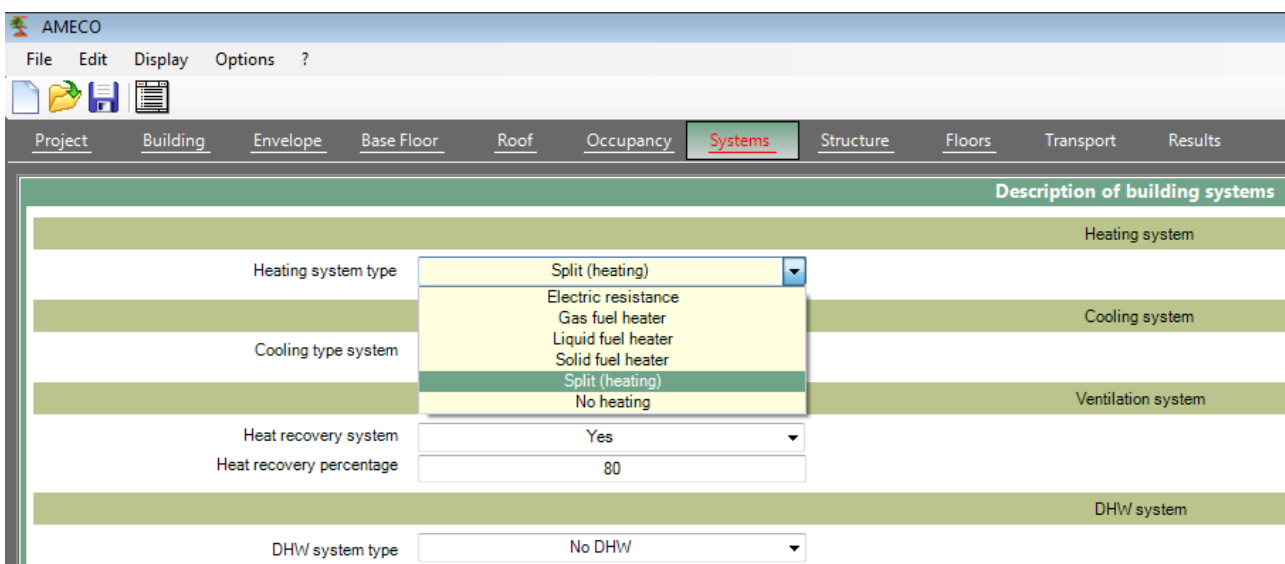


Figure 25 : sélection du type de système de chauffage

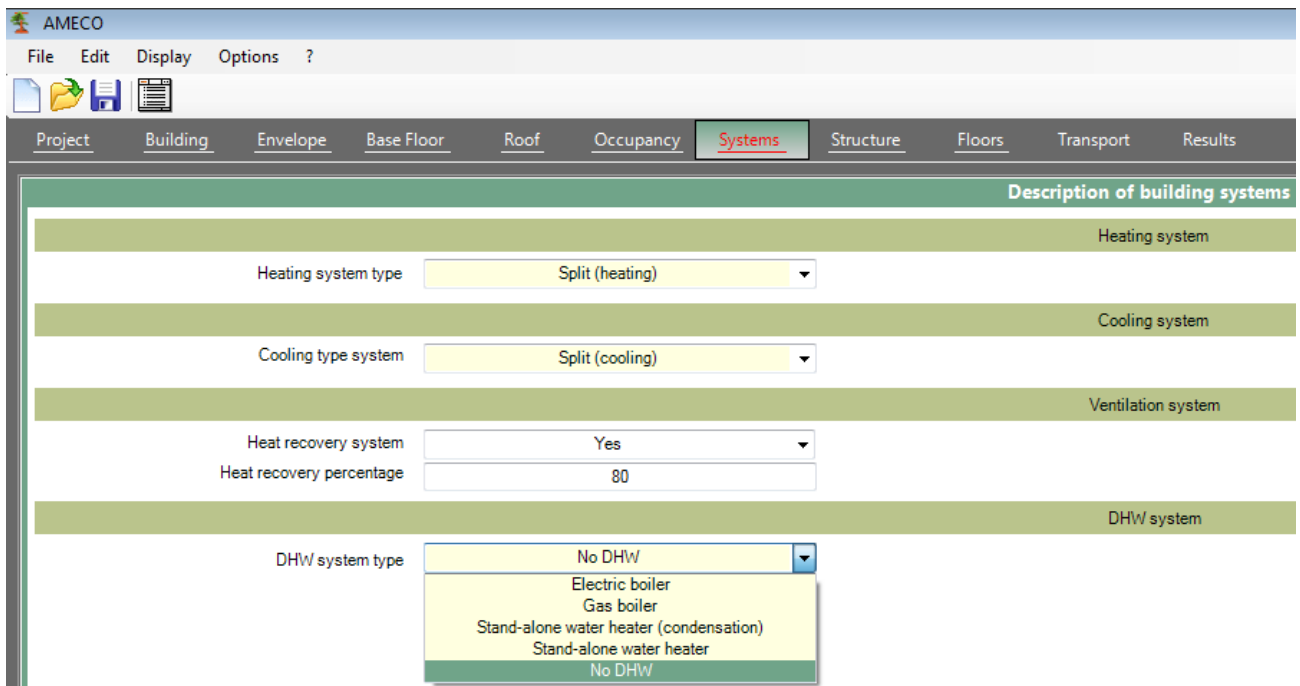


Figure 26 : sélection du type de système d'eau chaude sanitaire

6.2.8 Structure

Dans ce module, les éléments en acier de la structure du bâtiment, exprimés en tonnes, doivent être spécifiés.

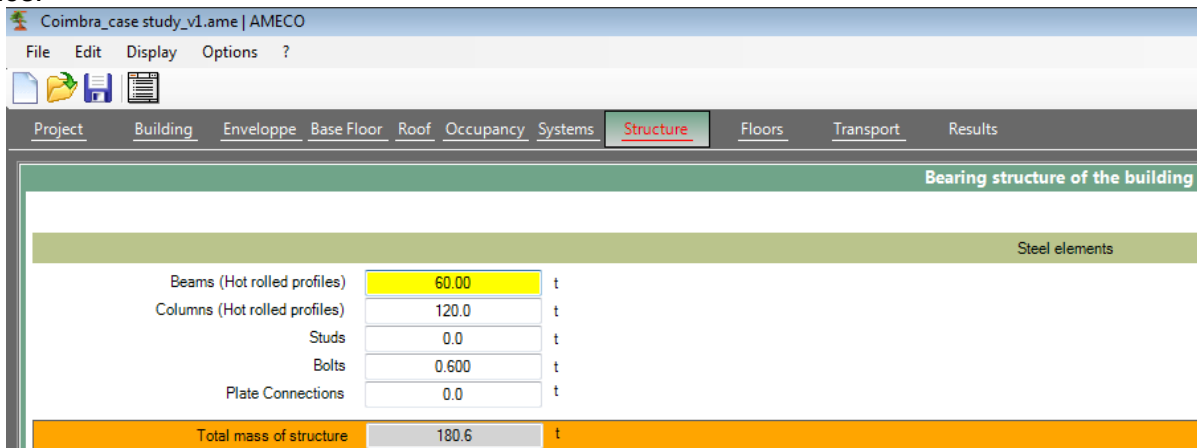


Figure 27 : Définition des différents poids des éléments structurels en acier

Éléments en acier

- la masse totale des poutres en acier;
- la masse totale des colonnes en acier;
- la masse totale des montants;
- la masse totale des boulons;
- la masse totale des pièces en acier (plaques, angles...);

6.2.9 Étages

Dans ce module, les paramètres pour la conception des étages intermédiaires sont requis.

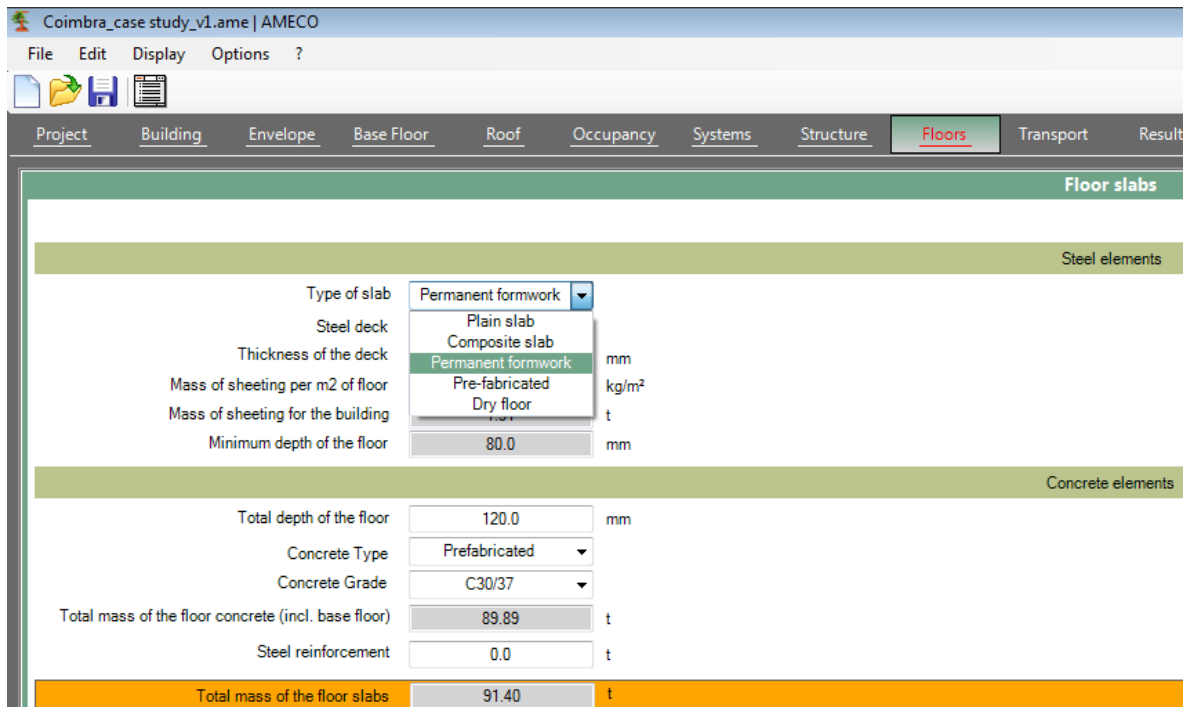


Figure 28 : Sélection et définition des éléments des dalles des étages intermédiaires, le cas échéant.

En fonction du choix de la technologie du plancher, l'utilisateur doit spécifier les caractéristiques des éléments de sol en acier et/ou en béton.

Éléments en acier

- le type de dalle, à choisir dans la liste suivante:
 - o dalle pleine;
 - o dalles en composite;
 - o coffrage permanent;
 - o préfabriqué et
 - o planchers secs.

À l'exception des premiers, tous ces types sont basés sur l'utilisation de coffrages en acier spécifiques.

- le coffrage en acier utilisé pour la dalle (s'il ne s'agit pas d'une dalle pleine), à choisir dans une liste obtenue en fonction du type de plancher sélectionné dans la base de données des bacs porteurs en acier.
- l'épaisseur des bacs porteurs en acier (s'il ne s'agit pas de dalles pleines), à choisir dans une liste obtenue en fonction de la tôle sélectionnée dans la base de données de bacs porteurs en acier.
- s'il ne s'agit pas de dalles pleines, la densité des bacs porteurs en acier sélectionnés est affichée comme étant la masse totale des tôles en acier pour les bâtiments.

Éléments en béton:

- le contenu du ciment dans le béton utilisé pour les sols
- la densité de béton par défaut est calculée automatiquement à partir du contenu du ciment
- la densité du béton des sols doit être définie soit comme étant équivalente à la valeur par défaut soit directement saisie par l'utilisateur.
- la profondeur totale des sols (y compris les coffrages en acier le cas échéant)
- à partir de cette valeur, la densité du béton et la superficie des sols, la masse totale du béton utilisé pour les sols est calculée et affichée.
- la masse totale de l'armaturage utilisé pour les sols doit également être saisie.

Si le bâtiment ne compte pas de plancher intermédiaire, l'utilisateur doit directement passer au module suivant.

6.2.10 Transport

Dans ce module, les paramètres pour le transport des éléments du bâtiment sont saisis.

Transport des éléments en acier

L'utilisateur a la possibilité de sélectionner soit des données moyennes concernant le transport européen soit des données utilisateur. Dans le premier cas, les valeurs par défaut, détaillées dans le document de référence, sont prises en compte dans le calcul. Dans l'autre, les données de l'utilisateur à définir sont les suivantes:

- la masse de l'acier transporté en train électrique;
- la distance parcourue par ces trains électriques (aller simple de l'usine vers le site de construction);
- la masse de l'acier transporté en camions ordinaires;
- la distance parcourue par ces camions (aller simple de l'usine vers le site de construction);
- la somme des masses d'acier transportées en train et transportées en camion ordinaire équivaut à la masse totale de l'acier dans le bâtiment, en ce compris les poutres, les colonnes, les boulons, les autres parties en acier, les coffrages en acier et les barres d'armatures.

Éléments en béton:

Pour le transport du béton, deux méthodes sont possibles: soit le béton est produit sur le site, ce qui suppose un transport de béton liquide par camions-malaxeurs, soit le béton est préfabriqué en usine, ce qui suppose le transport des éléments préfabriqués dans des camions ordinaires. Il convient dès lors de préciser les paramètres suivants pour le transport du béton:

- la masse du béton produit sur le site et ensuite transporté par des camions-malaxeurs;
- la distance parcourue par ces camions-malaxeurs (aller simple de l'usine de béton vers le site de construction);
- la masse de béton préfabriqué, transporté par des camions ordinaires;
- la distance parcourue par ces camions ordinaires (trajet simple de l'usine vers le site de construction);
- Bien entendu, la somme de la masse de béton produit sur le site et du béton préfabriqué équivaut à la masse totale du béton dans le bâtiment (étages et structure).

Les valeurs moyennes utilisées sont décrites dans le document de référence.

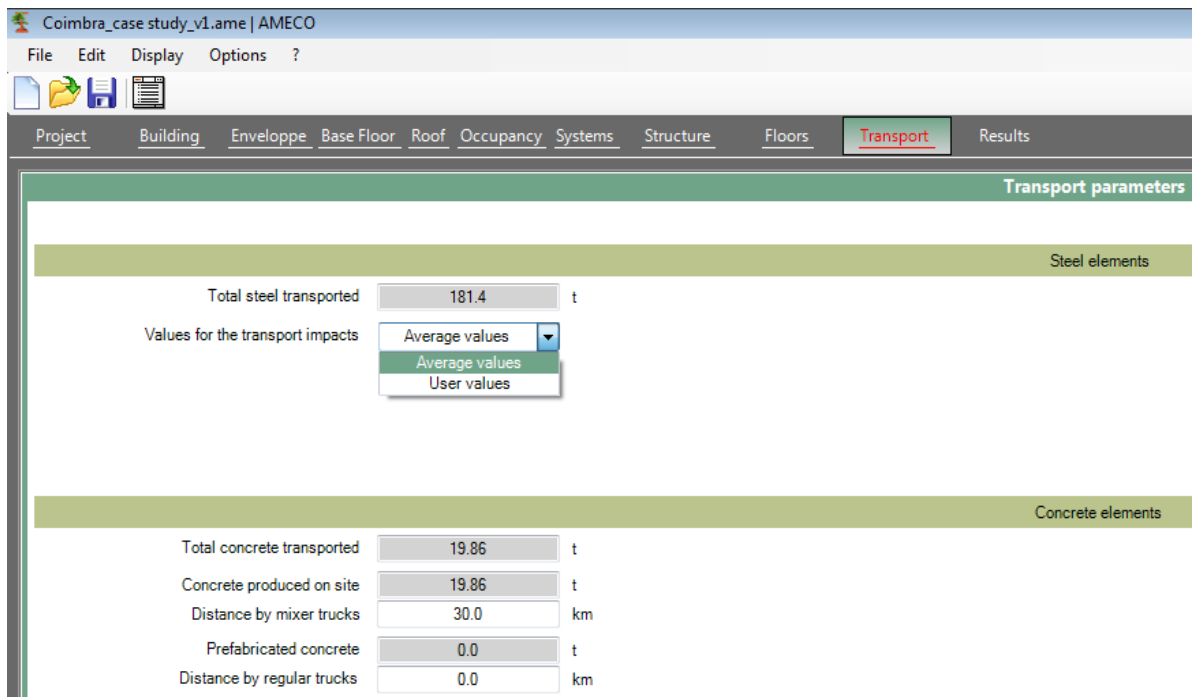


Figure 29 : définition des paramètres concernant le transport des matériaux, en mode par défaut

Si « user values » (valeurs utilisateur) est sélectionné, les paramètres suivants doivent être spécifiés:

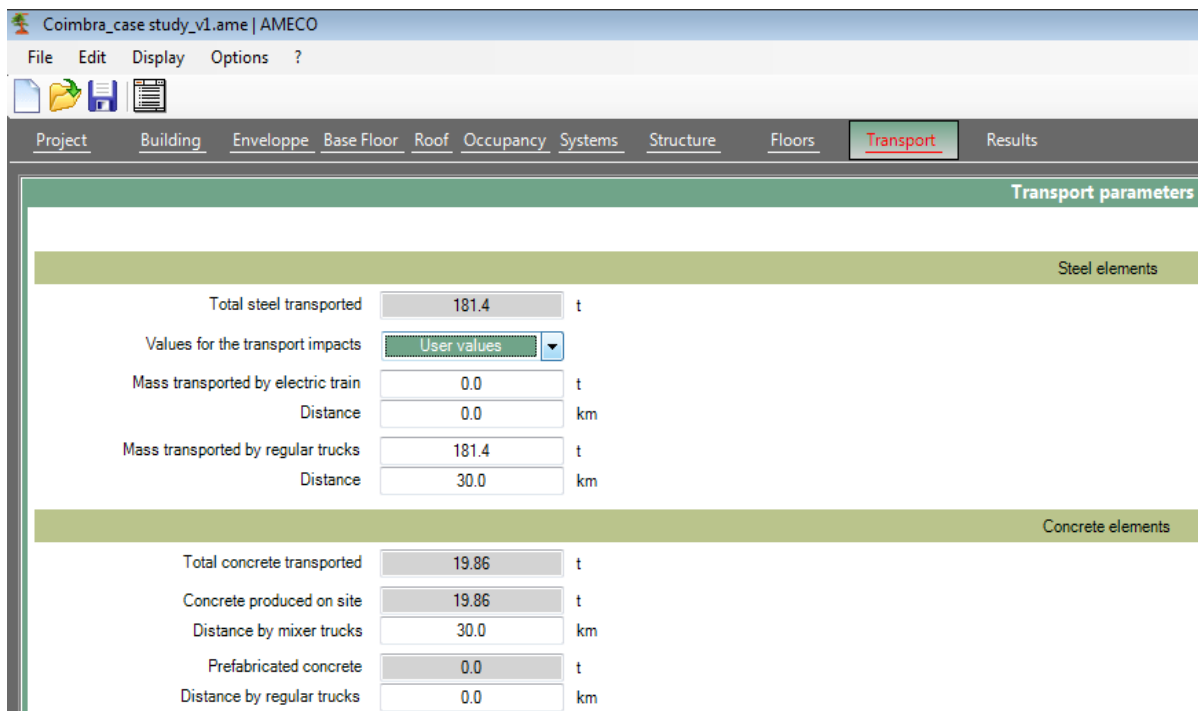


Figure 30 : définition des paramètres concernant le transport des matériaux, en mode user values

6.2.11 Résultats

Le calcul est lancé lorsque l'utilisateur clique sur le bouton « Results » (résultats).

Les résultats des calculs peuvent soit être consignés dans la feuille de calcul soit être directement affichés dans l'interface utilisateur par le biais du module Résultats. Dans le dernier cas de figure, décrit ci-après, des diagrammes en barres, des graphiques radar et des tableaux sont proposés.

6.2.11.1 Diagrammes en barres

Un diagramme en barres spécifique peut être réalisé dans l'interface de chaque indicateur:

- Indicateurs décrivant les impacts environnementaux (EN15978)
 - Potentiel de réchauffement global, GWP (kg d'équiv. CO₂)
 - Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique, ODP (kg d'équiv. CFC 11)
 - Potentiel d'acidification des sols et de l'eau; PA (kg d'équiv. SO₂)
 - Potentiel d'eutrophisation, PE (kg d'équiv. (PO₄)₃)
 - Potentiel de création d'oxydants photochimiques créant l'ozone troposphérique, POCP (kg d'équiv. éthène)
 - Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques non fossiles pour les éléments, ADP_éléments (kg d'équiv. Sb)
 - Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques fossiles, ADP_combustibles fossiles (MJ)
- Indicateurs décrivant l'utilisation des ressources (EN15978)
 - Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières, (MJ, pouvoir calorifique net)
 - Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées en tant que matières premières, (MJ, pouvoir calorifique net)
 - Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières, (MJ, pouvoir calorifique net)
 - Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières, (MJ, pouvoir calorifique net)
 - Utilisation de matières secondaires (kg)
 - Utilisation de combustibles secondaires renouvelables (MJ)
 - Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables (MJ)
 - Utilisation nette d'eau douce (m³)
- Indicateurs décrivant les catégories de déchets (EN15978)
 - Déchets dangereux éliminés (kg)
 - Déchets non dangereux éliminés (kg)
 - Déchets radioactifs éliminés (kg)
- Indicateurs décrivant les flux sortants quittant le système (EN15978)
 - Composants destinés à la réutilisation (kg)
 - Matériaux destinés au recyclage (kg)
 - Matériaux destinés à la récupération d'énergie (autre que l'incinération de déchets) (kg)
 - Énergie fournie à l'extérieur (MJ par vecteur énergétique)

Les indicateurs peuvent être choisis à partir du menu "Display" (Affichage) à la gauche de l'écran:

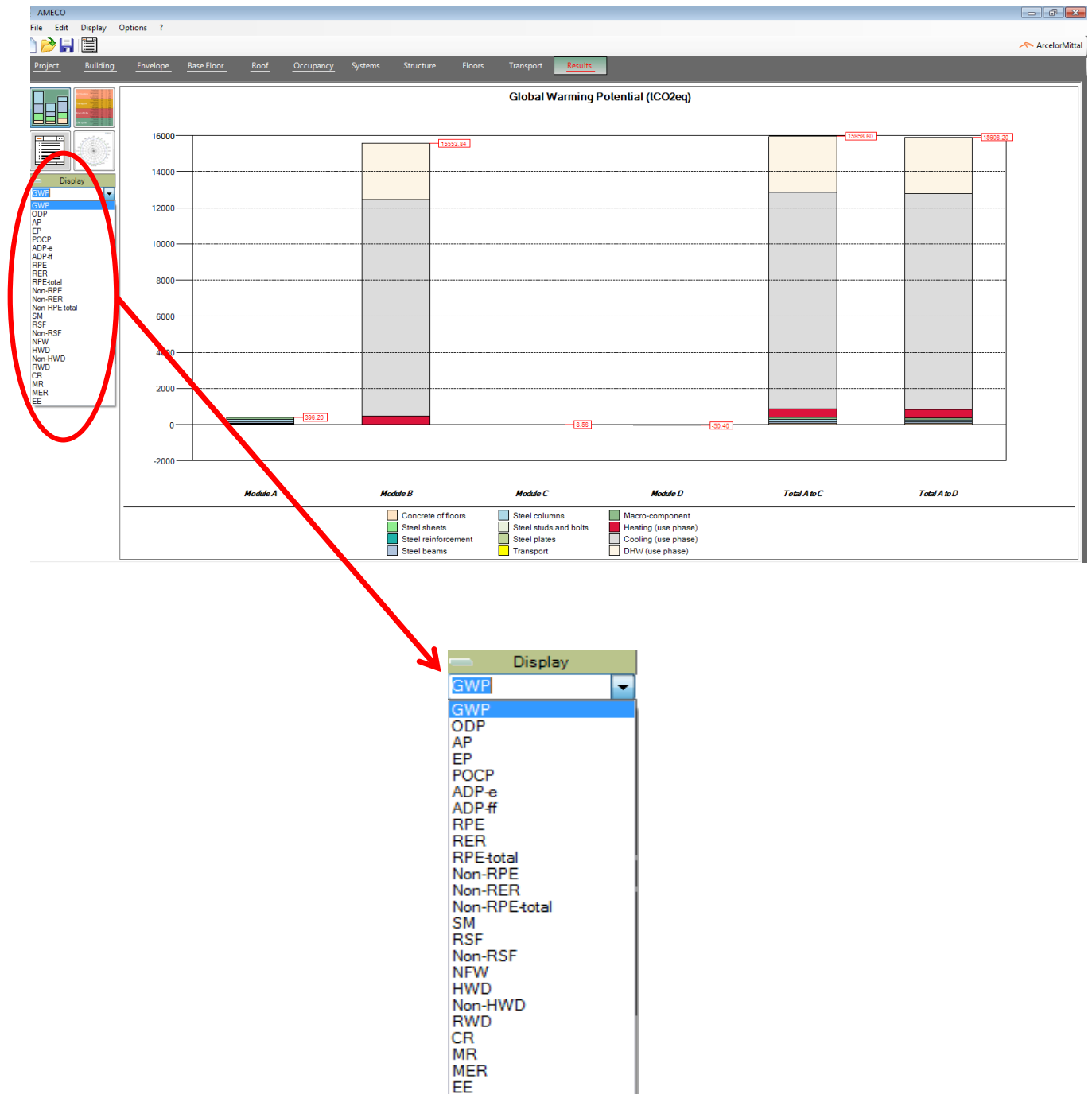


Figure 31 : diagramme en barres et la sélection de l'indicateur affiché: GWP

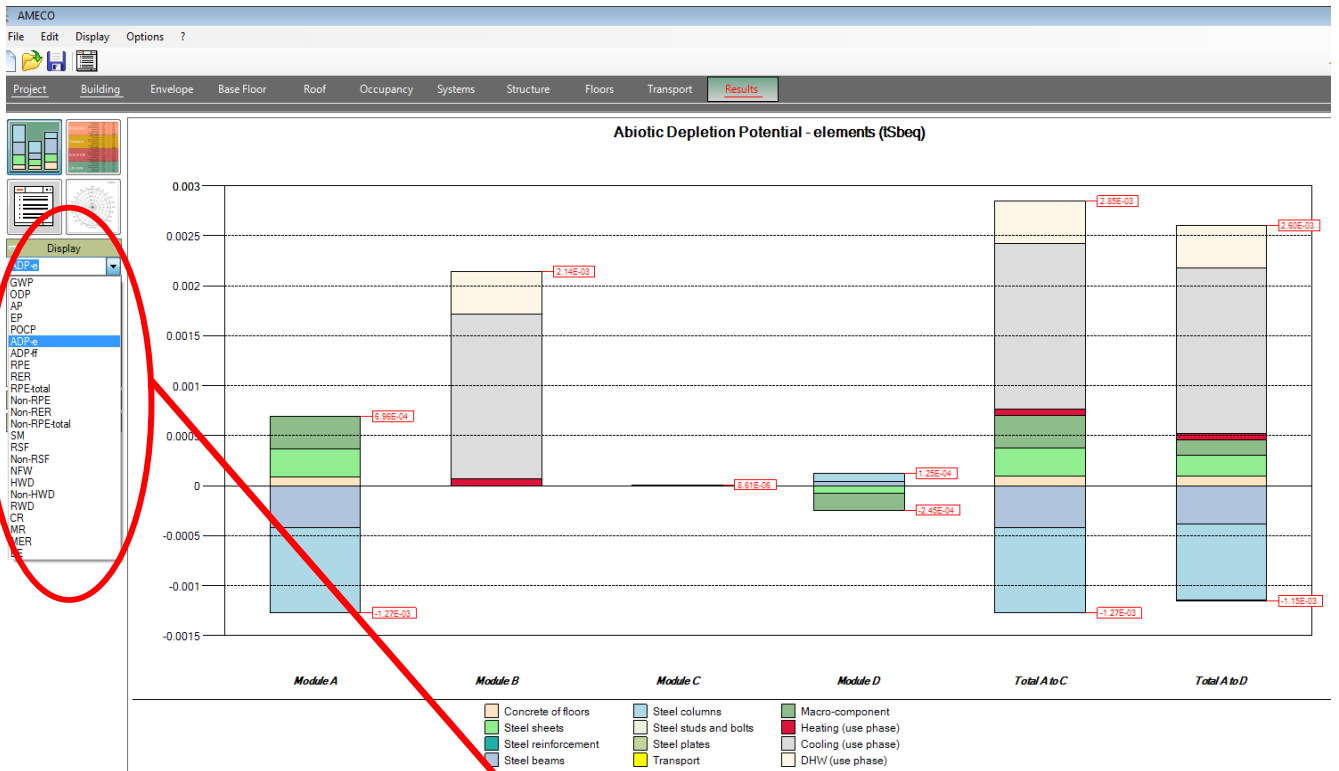


Figure 32 : diagramme en barres et la sélection de l'indicateur affiché: Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques

Les résultats sont affichés pour le cycle de vie du bâtiment, pour tous les modules:

- Module A: Phase de production des produits et des processus de construction
- Module B: Phase d'utilisation
- Module C: Phase de la fin de vie
- Module D: Bénéfices et charges au-delà des frontières du système de produits
- Module A à C (soit la somme des trois modules A, B et C)
- Module A à D: Cycle de vie global du bâtiment (soit la somme des 4 modules précédents)

Pour chaque module, les impacts sont représentés pour les ensembles d'éléments suivants (s'ils sont présents dans la structure):

Éléments de la structure:

- Béton des sols
- Béton de la structure
- Tôles d'acier
- Barres d'armature
- Poutres en acier
- Colonnes en acier
- Montants et boulons en acier
- Plaques en acier

Composants de l'enveloppe:

- Macro-composant

Transport de tous les composants:

- Transport

Phase d'utilisation

- Chauffage
- Refroidissement
- Eau chaude sanitaire

6.2.11.2 Tableau

Les impacts peuvent être affichés dans un tableau, pour chaque phase et ensemble d'éléments utilisé pour les diagrammes en barres.

Building 1		ADP-e (tSbeq)
Module A	Concrete of floors	8.57E-05
	Steel sheets	2.85E-04
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	-4.24E-04
	Steel columns	-8.49E-04
	Steel studs and bolts	-1.26E-06
	Plate Connections	0.00E00
	Transport	2.65E-07
	Macro-component	3.25E-04
	Module A	-5.78E-04
Module B	Energy need for space heating	6.41E-05
	Energy need for space cooling	1.65E-03
	Energy need for DHW production	4.28E-04
Module B	2.14E-03	
Module C	Concrete of floors	8.38E-06
	Steel sheets	9.58E-09
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	4.68E-08
	Steel columns	9.36E-08
	Steel studs and bolts	4.68E-10
	Plate Connections	0.00E00
	Transport	0.00E00
	Macro-component	8.09E-08
	Module C	8.61E-06
Module D	Concrete of floors	-4.30E-07
	Steel sheets	-7.67E-05
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	4.16E-05
	Steel columns	8.33E-05
	Steel studs and bolts	-1.10E-06
	Plate Connections	0.00E00
	Transport	0.00E00
Macro-component	-1.67E-04	
Module D	-1.20E-04	
	Concrete of floors	9.41E-05
	Steel sheets	2.85E-04
	Steel reinforcement	0.00E00
	Steel beams	-4.24E-04
	Steel columns	-8.48E-04

Figure 33 : tableau affichant les résultats pour l'indicateur sélectionné

6.2.11.3 Graphique radial

L'utilisateur peut également afficher les résultats dans un graphique radial résumant le total des modules A à C et A à D pour tous les indicateurs.

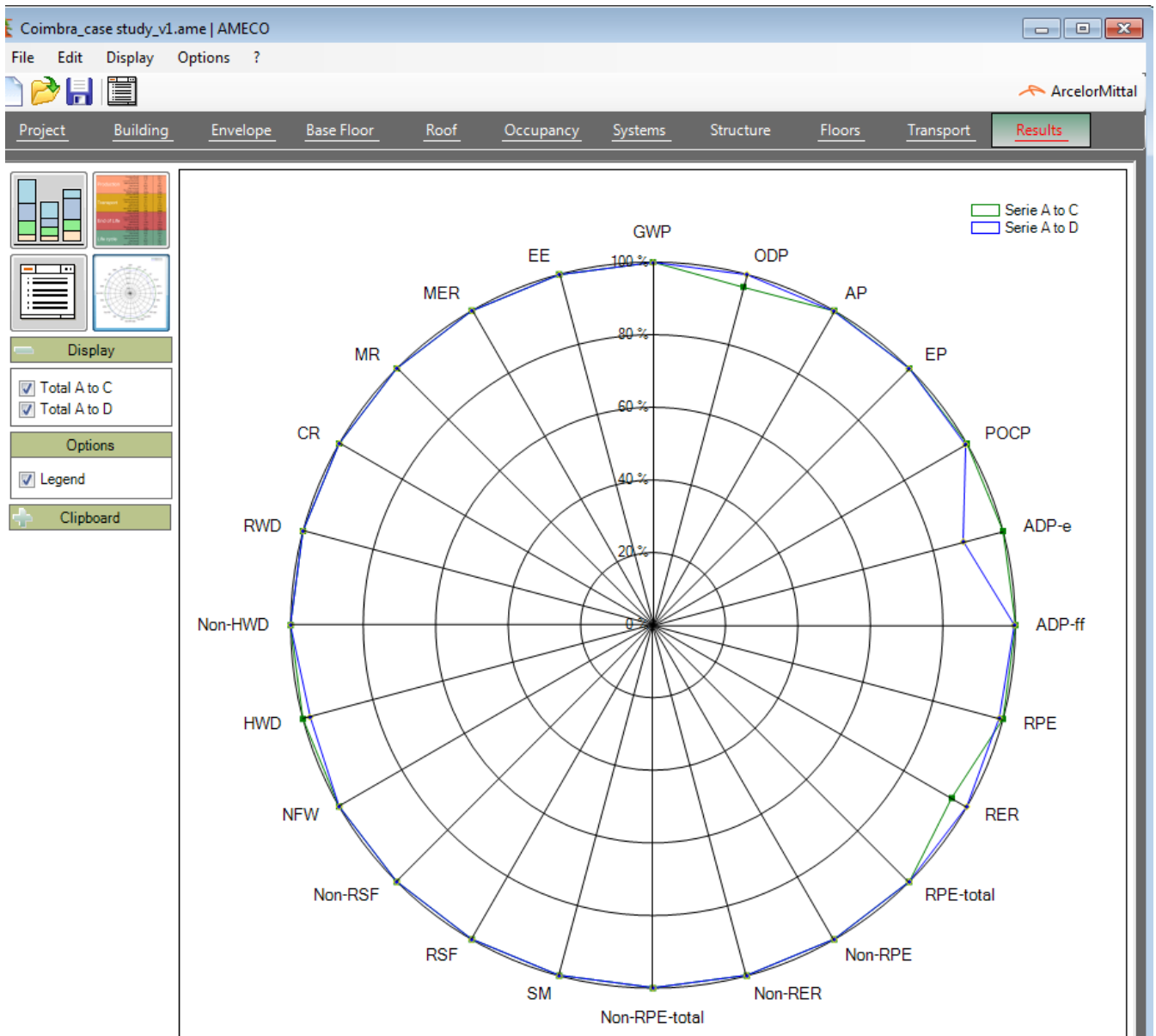


Figure 34 : Graphique radial

6.2.11.4 Feuille de calcul

Une feuille de calcul, également appelée « preliminary design note » (note de conception préliminaire), peut être générée en sélectionnant l'icône :

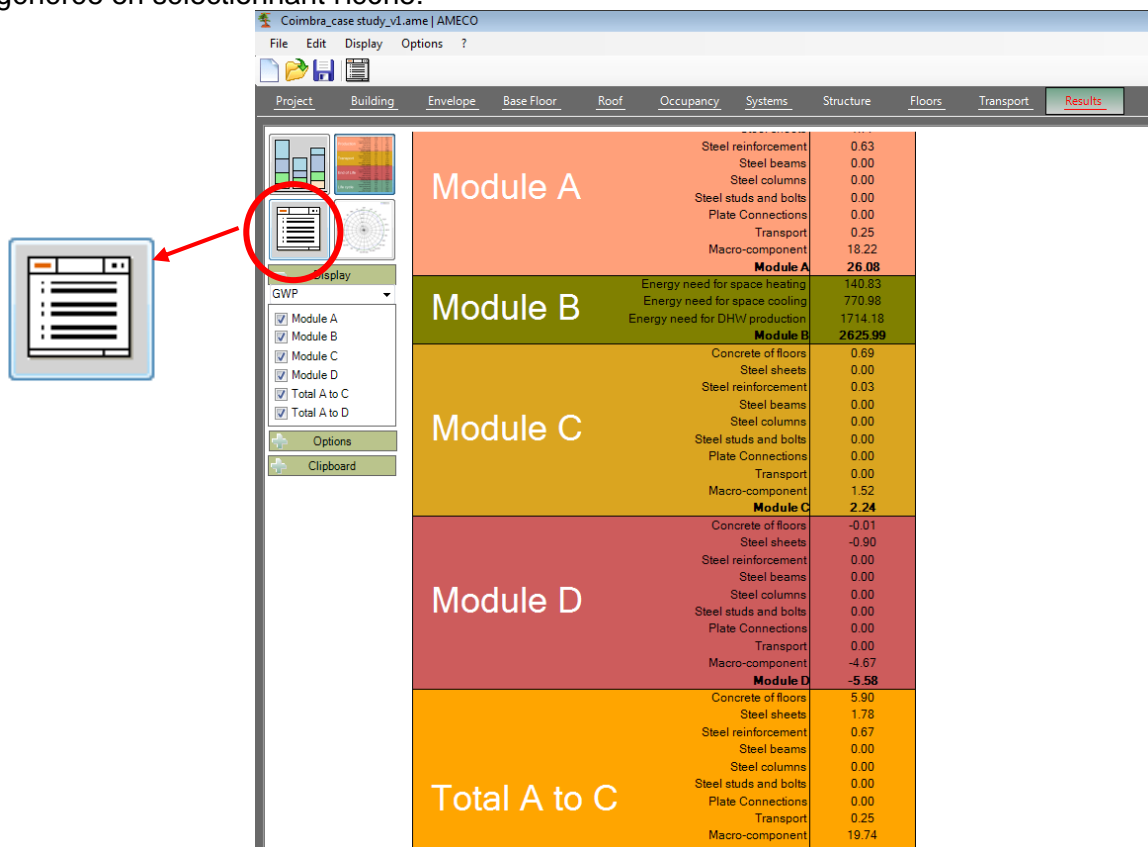


Figure 35 : bouton de la feuille de calcul

Ce rapport, imprimable, a affiché tous les intrants et les extrants du bâtiment.

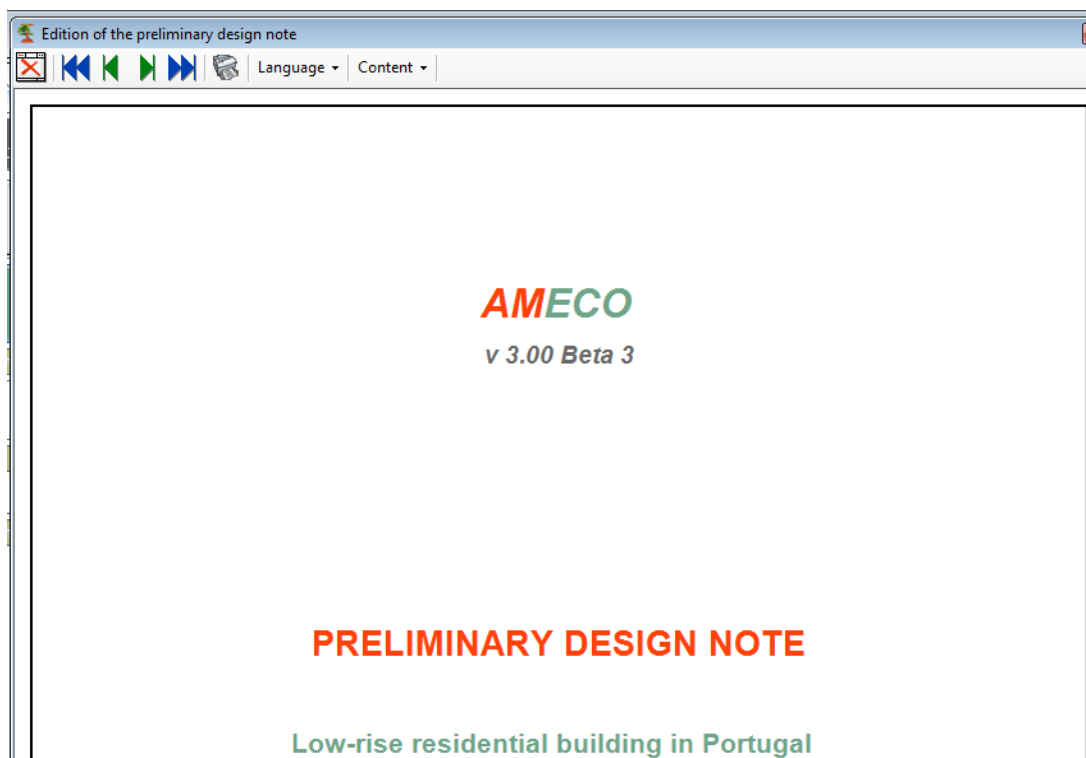


Figure 36 : Note de conception préliminaire

Synthesis*Synthesis of results for Low-rise residential building in Portugal*

	Module A	Module B	Module C	Module D	Total A to C	Total A to D
GWP (tCO ₂ eq)	26.08	2625.99	2.24	-5.58	2654.32	2648.73
ODP (tCF ₂ eq)	1.70E-07	2.36E-06	1.50E-07	9.90E-08	2.68E-06	2.78E-06
AP (tSO ₂ eq)	6.81E-02	1.24E01	5.44E-03	-1.74E-02	1.25E01	1.25E01
EP (tPO ₄ eq)	8.29E-03	6.55E-01	1.55E-03	-6.36E-04	6.65E-01	6.64E-01
POCP (tEtheneeq)	8.70E-03	7.32E-01	8.46E-04	-3.16E-03	7.42E-01	7.39E-01
ADP-e (tSbeq)	6.79E-05	3.61E-04	8.87E-07	-4.85E-05	4.30E-04	3.82E-04
ADP-ff (GJ NCV)	292.54	46225.20	14.61	-87.50	46532.35	46444.85
RPE (GJ NCV)	200.15	7710.97	1.09	-79.03	7912.21	7833.18
RER (GJ NCV)	40.38	0.00	0.05	2.01	40.43	42.44
RPE-total (GJ NCV)	5.44	7710.97	0.31	0.46	7716.73	7717.19
Non-RPE (GJ NCV)	104.35	26714.85	15.29	-8.79	26834.50	26825.71
Non-RER (GJ NCV)	0.45	19627.40	0.00	0.00	19627.86	19627.86
Non-RPE-total (GJ NCV)	104.80	46342.26	15.29	-8.79	46462.36	46453.57
SM (t)	47.15	0.00	0.00	0.00	47.15	47.15
RSF (GJ NCV)	1.61	0.95	0.00	0.00	2.55	2.55
Non-RSF (GJ NCV)	16.92	9.90	0.00	0.00	26.83	26.83
NFW (1000 m ³)	28.44	10030.69	5.85	0.42	10064.99	10065.41
HWD (t)	4.56E-04	0.00E00	0.00E00	-9.15E-06	4.56E-04	4.47E-04
Non-HWD (t)	31.36	10476.45	0.87	-2.41	10508.68	10506.27
RWD (t)	2.42E-03	6.81E00	2.70E-06	-3.08E-04	6.81E00	6.81E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.60
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Detailed results*Global Warming Potential*

	Module A tCO ₂ eq	Module B tCO ₂ eq	Module C tCO ₂ eq	Module D tCO ₂ eq	Total A to C tCO ₂ eq	Total A to D tCO ₂ eq
Steel total	2.41	0.00	0.04	-0.90	2.44	1.54
Floor sheets	1.77	0.00	0.00	-0.90	1.78	0.88
Concrete total	5.20	0.00	0.69	-0.01	5.90	5.88
Concrete slabs	5.20	0.00	0.69	-0.01	5.90	5.88
Use phase total	0.00	2536.56	0.00	0.00	2536.56	2536.56
Heating	0.00	57.22	0.00	0.00	57.22	57.22
Cooling	0.00	765.16	0.00	0.00	765.16	765.16
DHW	0.00	1714.18	0.00	0.00	1714.18	1714.18
Transport	0.25	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
Total impact of module	26.08	2536.56	2.24	-5.58	2564.89	2559.31

Figure 37 : tableaux disponibles dans la note de conception préliminaire, reprenant les résultats pour tous les indicateurs

Les résultats détaillés pour la phase d'utilisation sont précisés dans la note de conception préliminaire.

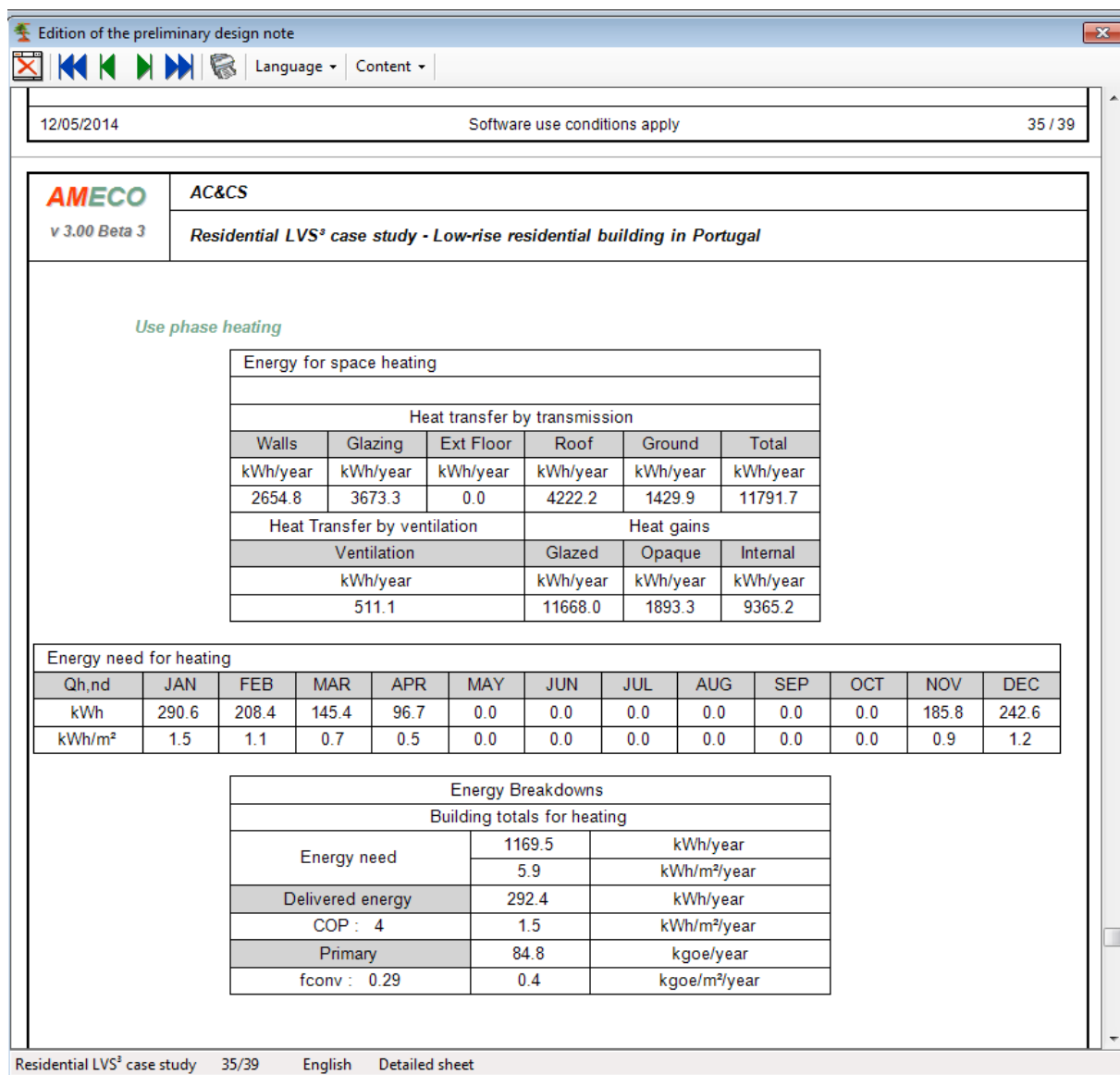


Figure 38 : tableau concernant les consommations de la phase d'utilisation

7 Cas d'étude

7.1 Immeuble de bureaux

7.1.1 Introduction

Les paragraphes qui suivent présentent le calcul de l'impact environnemental d'un immeuble de bureaux et comparent différents types de structure à l'aide du logiciel AMECO3.

Trois types de système structural sont analysés:

- une structure composite acier-béton
- une structure en béton
- une structure composite acier-béton optimisée (cette optimisation a été réalisée sur la base d'un ECO-Design)

Le dimensionnement a été réalisé par un bureau d'ingénierie externe dans le cadre d'une étude commanditée par ArcelorMittal. En outre, ce dimensionnement a également été examiné par un groupe d'experts indépendants [4].

Les 3 systèmes sont les plus répandus en Europe pour les immeubles de bureaux.

7.1.2 Description des bâtiments

Dimensions du bâtiment	42,4 m x 24,4 m.
Nombre d'étages de la superstructure	R + 8
Nombre d'étages de l'infrastructure	2
Hauteur du bâtiment	31,2 m
Hauteur de l'étage (de plancher à plancher)	3,4 m (à l'exception du rez-de-chaussée 4,0 m)

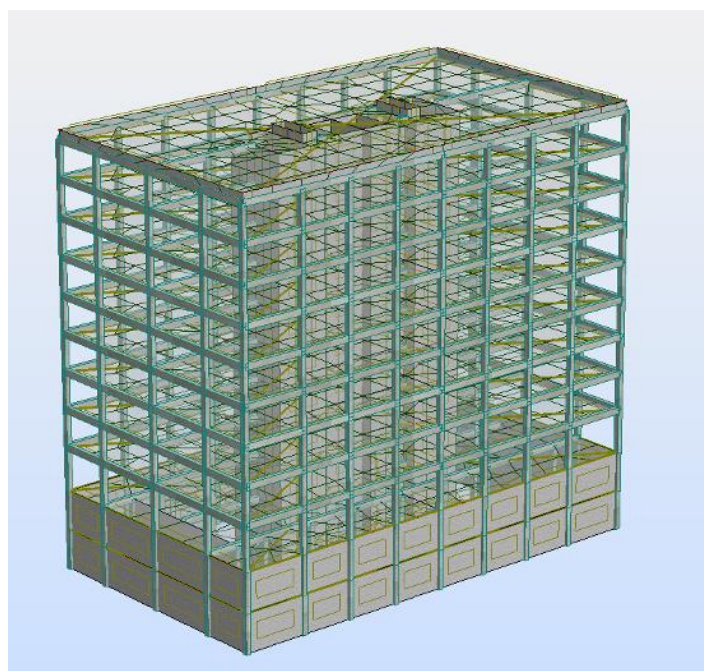


Figure 39 : Vue en trois dimensions du bâtiment, y compris les sous-sols

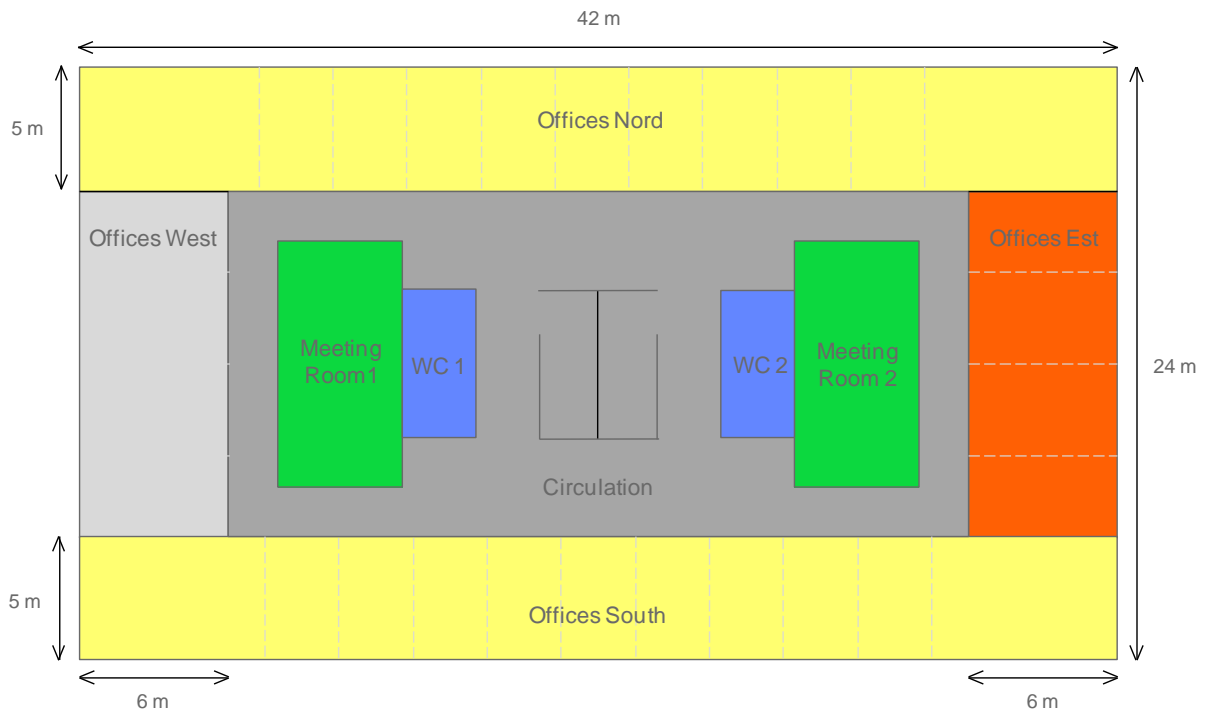


Figure 40 : Arrangement de plancher type

De multiples solutions:

Les éléments différenciant les 3 bâtiments couvrent uniquement la superstructure (colonnes, poutres et dalles), et le noyau stabilisation central. Les autres éléments de la structure (fondations et infrastructure), l'enveloppe et les finitions intérieures sont identiques.

L'enveloppe est composée de panneaux en acier léger, isolés avec 50mm de polystyrène extrudé. Les fenêtres sont de type double vitrages, avec des protections solaires extérieures pour les baies orientées au sud. La toiture est constituée d'un bac porteur et isolée avec 18cm de polystyrène expansé. Les systèmes de chauffage et de refroidissement se basent sur des unités individuelles dispatchées dans les différentes zones. La ventilation est de type double flux avec récupérateur de chaleur.

Les services fournis par les bâtiments sont considérés comme équivalents entre les différentes variantes de structure de bâtiment, les surfaces utiles étant les mêmes. Et ce, bien que le volume du bâtiment soit légèrement plus important dans le cas des structures composites que dans le cas de la structure en béton.

Les bâtiments ont été dimensionnés pour la région climatique de Paris.

La durée de vie programmée (LTS) pour les bâtiments est de 100 ans. En effet, pour les immeubles de bureaux, dans la vaste majorité des cas, la vie du bâtiment dépend des éléments structurels; les autres éléments peuvent être rénovés ou remplacés. Cependant, dans la présente étude, les matériaux des structures sont tout à fait capables d'avoir une durée de vie de 100 ans. Enfin, il est intéressant de noter que la durée de vie programmée n'est pas un élément de différenciation entre les diverses structures de bâtiment examinées dans cette étude.

1. Solution composite en acier et en béton

Le bâtiment composite en acier et en béton a une superstructure composite acier-béton et un noyau en béton.

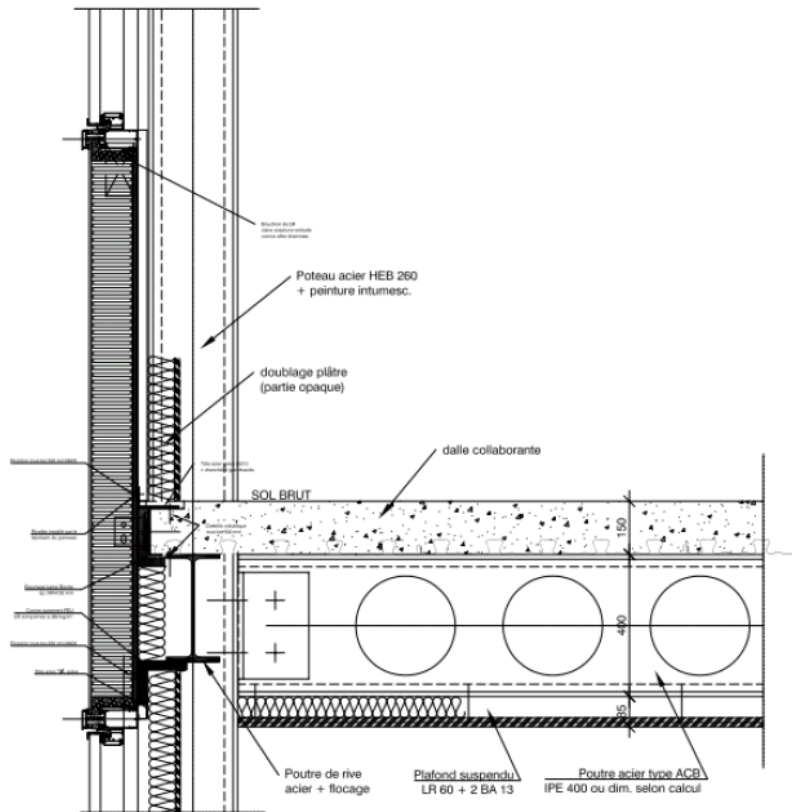


Figure 41 : Vue détaillée du système structural

Comme le montre la Figure 41, le système structural comporte des poutres cellulaires composites en acier S355 connectées à un montant en acier au niveau de la dalle composite.

La dalle composite est composée d'une tôle d'acier COFRA+60 et de béton de qualité C30/37.

Le noyau du bâtiment est en béton.

Cette structure correspond à ce qui se fait de mieux en matière d'immeubles de bureaux sur le marché français.

2. Solution en béton

Le bâtiment en béton a une dalle creuse préfabriquée supportée par une structure en béton armé et un noyau en béton.

Pour le noyau creux préfabriqué et le béton renforcé; un béton de qualité C30/37 a été utilisé.

Le noyau du bâtiment est en béton.

Cette structure correspond également à ce qui se fait de mieux en matière d'immeubles de bureaux sur le marché français.

3. Structure composite acier-béton éco-optimisée

Le bâtiment composite éco-optimisé en acier et en béton a une superstructure composite acier-béton et un cœur en acier.

Le système structural est composé de poutres cellulaires composites en acier S460 reliées à un montant en acier à la dalle composite.

La dalle composite est composée d'une tôle d'acier COFRA+60 et de béton de qualité C30/37.

Le noyau du bâtiment est en acier.

La structure est basée sur ce qui se fait de mieux en matière d'immeubles de bureaux sur le marché français, mais elle a été optimisée en termes d'utilisation des matériaux afin de réduire l'empreinte environnementale.

Noyau central des bâtiments:

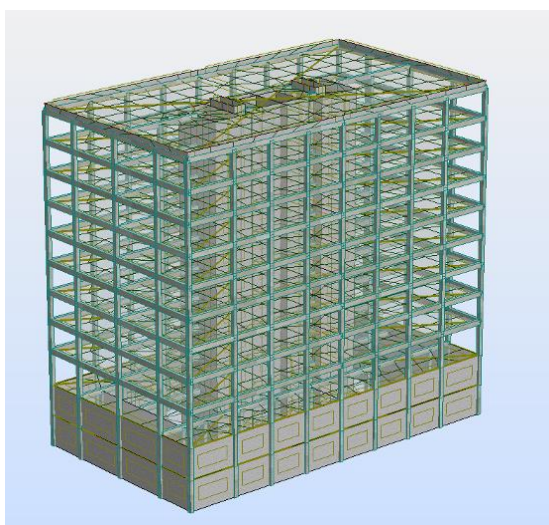


Figure 42 : Noyau en béton (Solutions 1 & 2)

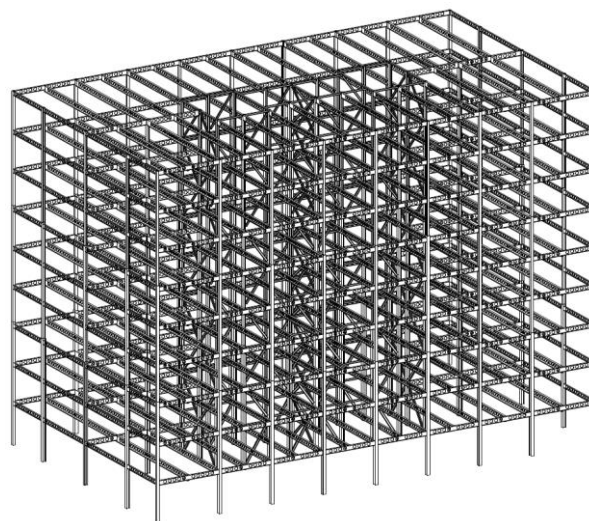


Figure 43 : Noyau en acier (Solution 3)

Données structurelles pour les 3 solutions:

Superstructure Valeurs en tonnes (t)	Structure				Dalle de plancher			
	Profilés	Raccordements des tôles d'acier	Béton C30/37	Barres d'armature	Éléments en acier	Profondeur totale	Sol en béton	Barres d'armature
Acier S355	239,9 t	14 994 t	-	-	70,6 t (Cofraplus 60)	150 mm	2246 t	16,56 t
Béton	-	-	1199 t	59,1 t	-	240 mm + 70 mm de chape	4688 t	16,56 t
Acier S460	197,1 t	11 827 t	-	-	70,6 t (Cofraplus 60)	150 mm	2246 t	16,56 t
Noyau en acier	75,46 t	6 037 t	-	-	-	-	-	-
Noyau en béton	-	-	1941 t	44,16 t				

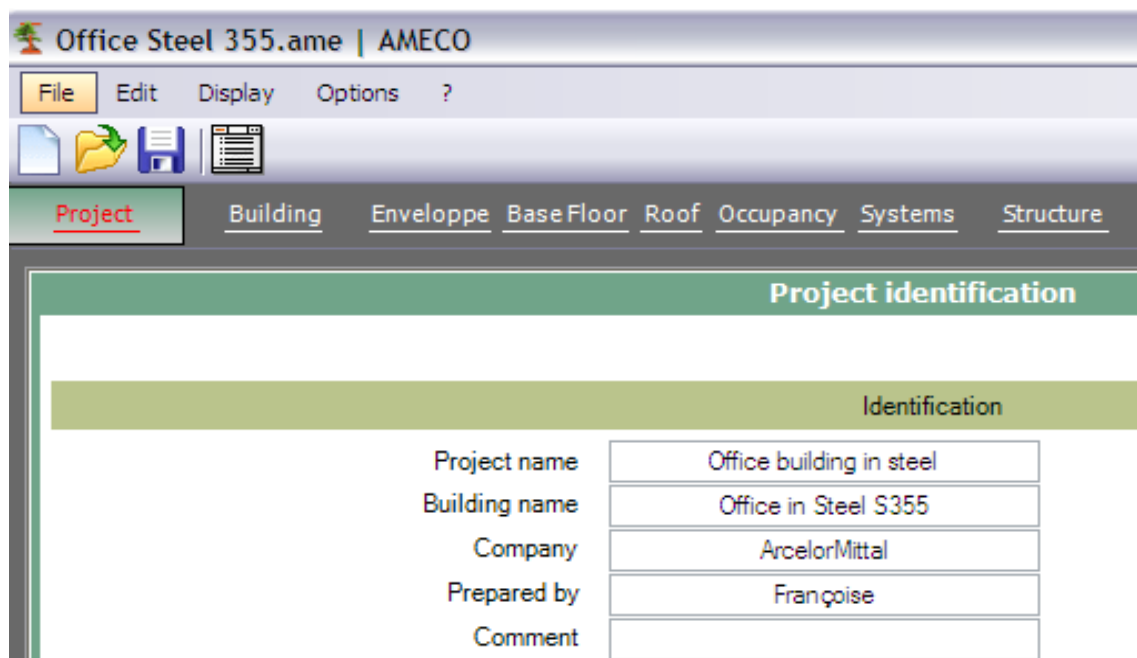
avec: Bâtiment 1 = Structure en acier, et noyau en béton
 Bâtiment 2 = Structure en béton, avec un noyau en béton
 Bâtiment 3 = Structure en acier S460, et noyau en acier

N.B. : densité du béton = 2500 kg/m³

7.1.3 Analyse environnementale avec le logiciel AMECO3

7.1.3.1 Données d'entrée dans le logiciel AMECO3

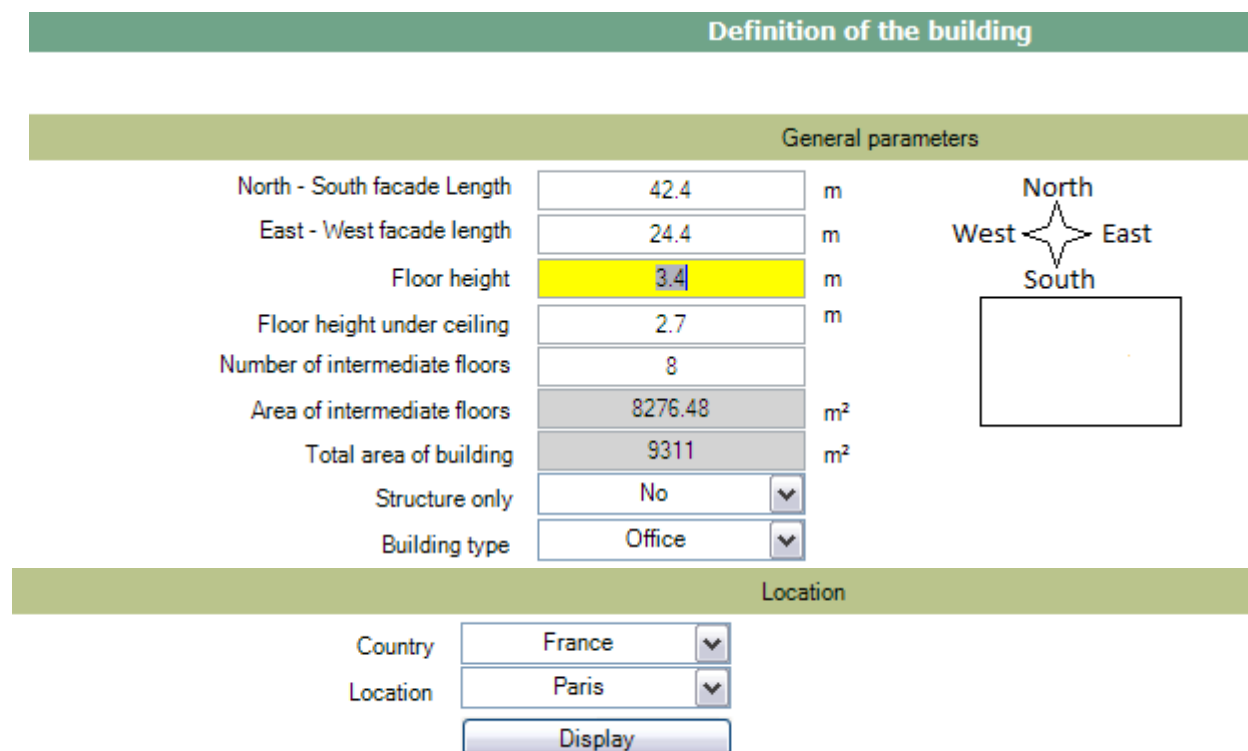
⇒ Saisie des données générales du bâtiment 1 dans AMECO3



Project identification	
Identification	
Project name	Office building in steel
Building name	Office in Steel S355
Company	ArcelorMittal
Prepared by	Françoise
Comment	

⇒ Saisie des données pour l'enveloppe (Modules A-C-D)

- Définition des données générales du bâtiment:



Definition of the building		
General parameters		
North - South facade Length	42.4	m
East - West facade length	24.4	m
Floor height	3.4	m
Floor height under ceiling	2.7	m
Number of intermediate floors	8	
Area of intermediate floors	8276.48	m ²
Total area of building	9311	m ²
Structure only	No	▼
Building type	Office	▼

North
West * East
South

Location	
Country	France ▼
Location	Paris ▼
Display	

- Définition de l'enveloppe du bâtiment: les caractéristiques thermiques (valeurs U) utilisées pour l'enveloppe (murs, ouvertures, sol et toit) sont utilisées pour les composants implémentés dans AMECO3.

Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure	Floors	Transport	Results
Definition of the building envelope								
Facade								
Direction	North	East	South	West				
Facade area	1297.44	746.64	1297.44	746.64	m ²			
Opening area	30	30	30	30	%			
Facade properties								
Wall type	Light steel panel wall (rock wool)							
U-value for walls	0.296				W/(m ² .K)			
Opening type	Double glazing low emissivity (type 1)							
U-value for openings	1.7				W/(m ² .K)			
Shading device type	No shading device							
Shutter type	No shutter							

- Définition de la dalle de sol du bâtiment:

Project	Building	Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure	Floors	Tran
Definition of the building base floor									
Base floor									
U-value for the base floor	0.599			W/(m ² .K)					
Base floor type	Suspended Floor								
Thickness of concrete base floor	0.2			m					
Mass of reinforcing steel	0			t					
Internal heat capacity of ground	50000			J/(m ² .K)					
Internal heat capacity of intermediate floor	50000			J/(m ² .K)					
Internal heat capacity of internal wall	20000			J/(m ² .K)					
				<p>Key 1 floor slab 2 height of floor surface above stable ground level 3 thermal resistance of floor construction 4 effective thermal resistance of ground</p>					

- Définition du toit:

Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure	Floors	Transport
Definition of the building roof							
Roof							
Roof type	Roof type 2						
U-value for the roof (flat part)	0.373			W/(m ² .K)			

⇒ Données d'entrée pour la phase d'utilisation du bâtiment (Module B)

- Définition de l'occupation:

Building	Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure
Occupancy related data						
Comfort requirements						
Heating set-point temperature			20		°C	
Cooling set-point temperature			26		°C	
Air-flow-rate (heating mode)			0.6		ac/h	
Air-flow-rate (cooling mode)			1		ac/h	

- Description des systèmes du bâtiment:

Building	Envelope	Base Floor	Roof	Occupancy	Systems	Structure
Description of building systems						
Heating system						
Heating system type					Split (heating)	
Cooling system						
Cooling type system					Split (cooling)	
Mechanical ventilation system						
Heat recovery system					Yes	
Heat recovery percentage					80	
DHW system						
DHW system type					Electric boiler	

⇒ Données générales pour la structure du bâtiment (Modules A-C-D)

- Description de la structure porteuse:

Bearing structure of the building		
Steel elements		
Beams (Hot rolled profiles)	239.9	t
Columns (Hot rolled profiles)	0.0	t
Studs	0.0	t
Bolts	0.0	t
Plate Connections	14.99	t
Concrete elements		
Concrete Type	In-situ/Poured	▼
Concrete Grade	C30/37	▼
Beams	0.0	t
Columns	1941	t
Steel reinforcement	44.16	t
Wood elements		
Beams	0.0	t
Columns	0.0	t
Total mass of structure	2240	t

- Description des systèmes de plancher:

Floor slabs		
Steel elements		
Type of slab	Composite slab	▼
Steel deck	Cofraplus 60	▼
Thickness of the deck	0.750	▼ mm
Mass of sheeting per m2 of floor	8.53	kg/m ²
Mass of sheeting for the building	70.6	t
Minimum depth of the floor	100	mm
Concrete elements		
Total depth of the floor	150.0	mm
Concrete Type	In-situ/Poured	▼
Concrete Grade	C30/37	▼
Total mass of the floor concrete (incl. base floor)	2735	t
Steel reinforcement	0.0	t
Total mass of the floor slabs	2805	t

⇒ *Données pour le transport des éléments (Module A)*

<u>Building</u>	<u>Envelope</u>	<u>Base Floor</u>	<u>Roof</u>	<u>Occupancy</u>	<u>Systems</u>	<u>Structure</u>	<u>Floors</u>	Transport
Transport parameters								

Steel elements

Total steel transported	<input type="text" value="369.6"/>	t
Values for the transport impacts	<input type="text" value="User values"/>	
Mass transported by electric train	<input type="text" value="0.0"/>	t
Distance	<input type="text" value="0.0"/>	km
Mass transported by regular trucks	<input type="text" value="369.6"/>	t
Distance	<input type="text" value="500"/>	km

Concrete elements

Total concrete transported	<input type="text" value="4676"/>	t
Concrete produced on site	<input type="text" value="4676"/>	t
Distance by mixer trucks	<input type="text" value="50.0"/>	km
Prefabricated concrete	<input type="text" value="0.0"/>	t
Distance by regular trucks	<input type="text" value="0.0"/>	km

7.1.3.2 Résultats du calcul avec AMECO3

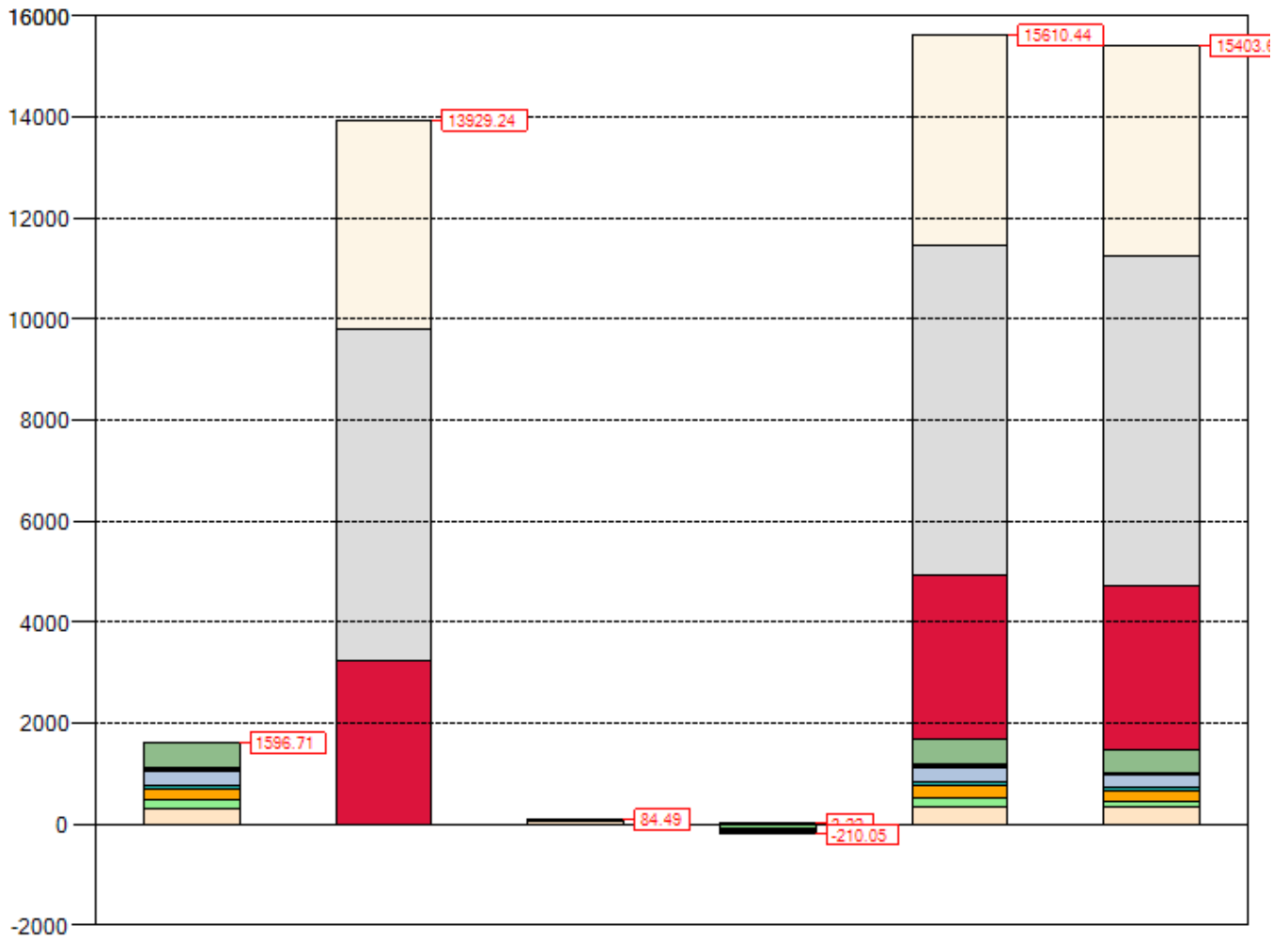
Bâtiment 1: acier S355 – noyau en bétonRésultats détaillés pour le potentiel de réchauffement global (t CO₂eq):

Office building in steel S355	Module A tCO ₂ eq	Module B tCO ₂ eq	Module C tCO ₂ eq	Module D tCO ₂ eq	Total A to C tCO ₂ eq	Total A to D tCO ₂ eq
Steel total	549.17	0	4.71	-148.78	553.88	405.1
Beams	276.92	0	1.38	-40.71	278.3	237.59
Columns	0	0	0	0	0	0
Plate connections	36.84	0	0.09	-19.66	36.93	17.27
Reinforcement	54.93	0	2.8	3.22	57.73	60.95
Floor sheets	180.48	0	0.44	-91.63	180.92	89.29
Concrete total	520.77	0	63.22	-3.51	583.99	580.48
Concrete of structure	216.19	0	23.02	-2.74	239.21	236.47
Concrete slabs	304.58	0	40.2	-0.77	344.78	344.01
Envelope	489.99	0	16.55	-54.54	506.54	452
Use phase total	0	13929.24	0	0	13929.24	13929.24
Heating	0	3233.37	0		3233.37	3233.37
Cooling	0	6543.84	0		6543.84	6543.84
DWH	0	4152.03	0		4152.03	4152.03
Transport	36.78	0	0		36.78	36.78
Total impact of module	1596.71	13929.24	84.48	-206.83	15610.43	15403.6

Ces résultats nous indiquent que le module B, qui concerne la phase d'utilisation du bâtiment, est prédominant par rapport aux autres modules.

Résultats graphiques pour le potentiel de réchauffement global (t CO₂eq):

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Module A	Module B	Module C	Module D	Total A to C	Total A to D
Concrete of floors	Steel beams	Wood beams	Heating (use phase)		
Steel sheets	Steel columns	Wood columns	Cooling (use phase)		
Concrete of structure	Steel studs and bolts	Transport	DHW (use phase)		
Steel reinforcement	Steel plates	Envelope			

Bâtiment 2: structure et noyau en béton

Résultats détaillés pour le potentiel de réchauffement global (t CO₂eq):

Office building in concrete	Module A tCO ₂ eq	Module B tCO ₂ eq	Module C tCO ₂ eq	Module D tCO ₂ eq	Total A to C tCO ₂ eq	Total A to D tCO ₂ eq
Steel total	128.45	0	6.55	7.54	135	142.54
Beams	0	0	0	0	0	0
Columns	0	0	0	0	0	0
Plate connections	0	0	0	0	0	0
Reinforcement	128.45	0	6.55	7.54	135	142.54
Floor sheets	0	0	0	0	0	0
Concrete total	1078.55	0	133.44	-6.28	1211.99	1205.71
Concrete of structure	349.74	0	37.24	-4.43	386.98	382.55
Concrete slabs	728.81	0	96.2	-1.85	825.01	823.16
Envelope	489.99	0	16.55	-54.54	506.54	452
Use phase total	0	13929.24	0	0	13929.24	13929.24
Heating		3233.37			3233.37	3233.37
Cooling		6543.84			6543.84	6543.84
DWH		4152.03			4152.03	4152.03
Transport	60.56	0	0	0	60.56	60.56
Total impact of module	1757.55	13929.24	156.54	-53.28	15843.33	15790.05

Bâtiment 3: structure et noyau en acier S460

Résultats détaillés pour le potentiel de réchauffement global (t CO₂eq):

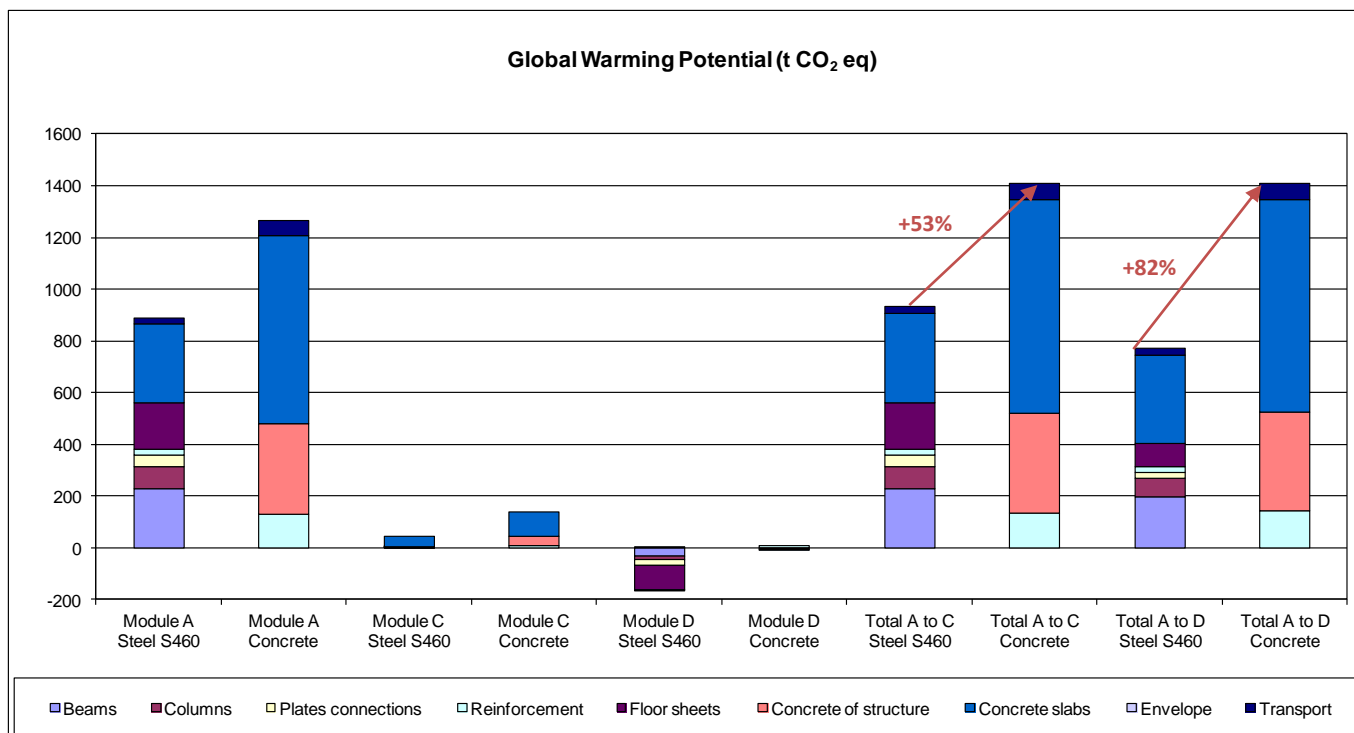
Office building in steel S460	Module A tCO ₂ eq	Module B tCO ₂ eq	Module C tCO ₂ eq	Module D tCO ₂ eq	Total A to C tCO ₂ eq	Total A to D tCO ₂ eq
Steel total	559.6	0	3.15	-160.09	562.75	402.66
Beams	227.51	0	1.13	-33.44	228.64	195.2
Columns	87.1	0	0.43	-12.8	87.53	74.73
Plate connections	43.91	0	0.1	-23.43	44.01	20.58
Reinforcement	20.6	0	1.05	1.21	21.65	22.86
Floor sheets	180.48	0	0.44	-91.63	180.92	89.29
Concrete total	304.58	0	40.2	-0.77	344.78	344.01
Concrete of structure	0	0	0	0	0	0
Concrete slabs	304.58	0	40.2	-0.77	344.78	344.01
Envelope	489.99	0	16.55	-54.54	506.54	452
Use phase total	0	13929.24	0	0	13929.24	13929.24
Heating		3233.37			3233.37	3233.37
Cooling		6543.84			6543.84	6543.84
DWH		4152.03			4152.03	4152.03
Transport	25.31	0	0	0	25.31	25.31
Total impact of module	1379.48	13929.24	59.9	-215.4	15368.62	15153.22

Une fois encore, nous remarquons pour les trois bâtiments que le module B, qui concerne la phase d'utilisation du bâtiment, est prédominant par rapport aux autres modules. En outre, la phase d'utilisation ne dépend pas du type (béton ou acier) de la structure du bâtiment.

Ces résultats montrent que la structure a une très faible incidence sur les impacts environnementaux globaux du bâtiment, par rapport à l'exploitation et à l'activité des bâtiments.

Pour les comparaisons qui suivent, la phase d'utilisation du bâtiment sera ignorée afin de montrer en quoi le type de bâtiment influence réellement les impacts environnementaux.

La comparaison entre le bâtiment en béton et le bâtiment optimisé en acier est illustrée par la figure suivante.



En termes d'impact CO₂, les résultats fournis par le logiciel indiquent qu'il y a une différence importante entre le bâtiment en béton et le bâtiment éco-optimisé, et qu'elle peut atteindre 82% s'il est tenu compte du recyclage de l'acier et de la valorisation du béton concassé.

Cette étude a mis en exergue le fait qu'une structure composite acier et béton procure de nombreux avantages au niveau de l'empreinte environnementale. Cet avantage s'explique essentiellement par la légèreté des structures composites. Il a été souligné qu'une conception réduisant la quantité de matériaux utilisés permettra de limiter l'empreinte environnementale de la structure des bâtiments.

Le recyclage des matériaux en fin de vie (recyclage infini de l'acier et valorisation du béton concassé) rend les structures plus durables. Le recours au module D de la norme EN 15804 permet d'optimiser l'empreinte environnementale du bâtiment.

Cette étude a démontré que la solution composite acier-béton est de toute évidence le meilleur choix pour la structure de l'immeuble de bureaux. Cette solution offre la possibilité d'employer les deux matériaux dans leur « meilleure configuration », à savoir du béton en compression et de l'acier en tension. Cela permet de réduire l'impact de la déviation sur la conception et d'atténuer l'empreinte environnementale totale du bâtiment.

La même conclusion peut être tirée pour l'utilisation de l'acier haute résistance. Elle atténue l'impact environnemental total des structures en composite en limitant l'utilisation de matériaux.

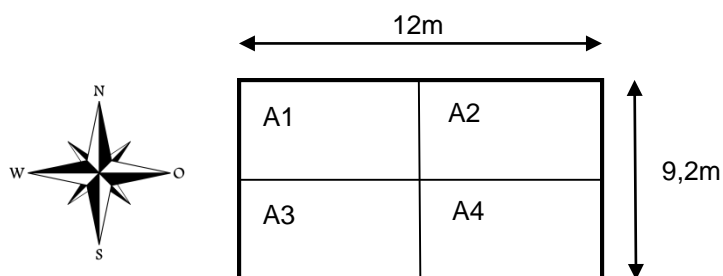
7.2 Bâtiment résidentiel - Résidence CasaBuna en Roumanie

7.2.1 Description du bâtiment

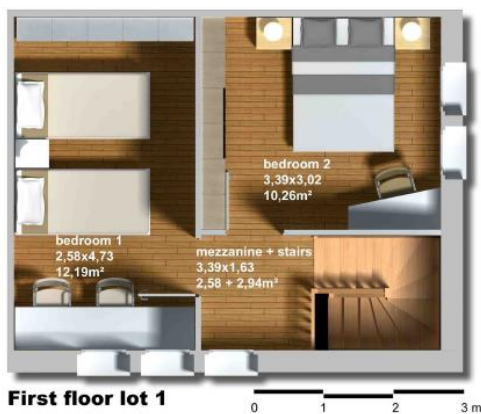
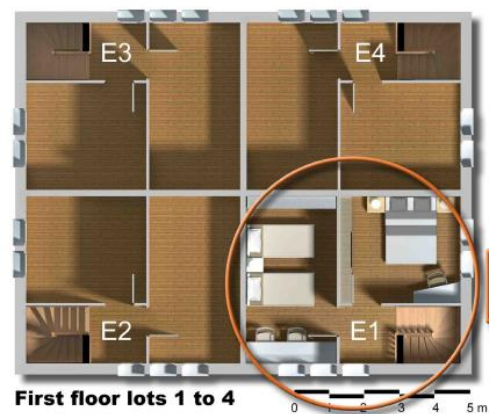
Le concept Casa Buna est une maison pour quatre familles située en Roumanie.



Le bâtiment Casa Bunã compte 4 appartements d'une superficie nette au sol de 55m², répartis uniformément sur deux étages.



La hauteur totale du bâtiment est de 6,85 m, jusqu'au sommet du toit incliné. AMECO3 ne permettant de modéliser que des toits plats, la hauteur moyenne de chaque étage est de 2,9 m. Un profil en travers vertical et les plans horizontaux du bâtiment sont fournis dans les figures ci-dessous:

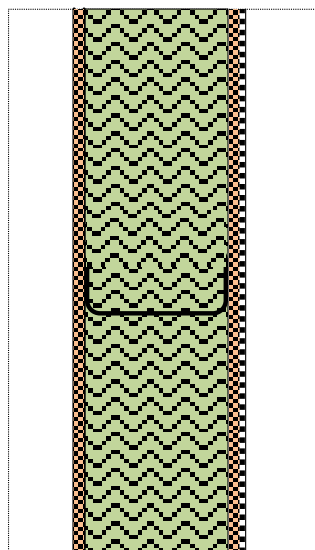


Le tableau suivant résume les surfaces de l'enveloppe du bâtiment.

Tableau Surface des murs et des vitrages

	Nord/Sud [m ²]	Ouest/Est [m ²]	Somme [m ²]
Murs	47	41	87
Vitrage	22	12	34
Surfaces totales	69	53	122

La façade se base sur une charpente en profilé mince, enclose dans un panneau en bois (OSB), 120 mm de laine de roche, et des plaques de plâtre. La figure ci-dessous présente le composant de la façade:



Aucune autre structure primaire n'est intégrée au bâtiment.

La dalle de sol est composée de béton armé et a une épaisseur de 0,2 m, isolée avec 4 cm de polystyrène extrudé. La masse des barres d'armature est de 0,7 t. Le plancher intermédiaire repose sur le principe du plancher sec.

Les fenêtres sont composées d'un double vitrage à faible émissivité et d'un châssis en PVC.

Le tableau suivant précise la valeur U des éléments du bâtiment.

MURS	0,30	W/m ² .K
TOIT PLAT	0,37	W/m ² .K
FENÊTRES	1,70	W/m ² .K
CHAPE	0,60	W/m ² .K

Il est également nécessaire de spécifier en guise de données d'entrée les capacités thermiques intérieures des sols et du mur intérieur. Les détails du calcul sont présentés ci-dessous;

Chape 0,2 m de béton + carreaux	74324	J/m ² K
Plancher intermédiaire Linoléum + OSB + tôle d'acier + couche d'air + plaques de plâtre	32447	J/m ² K
Murs intérieurs plaques de plâtre + laine de roche + LSF + plaques de plâtre	13081	J/m ² K

Les besoins en chauffage et en refroidissement sont satisfaits à l'aide d'unités individuelles type radiateur, avec une température de consigne de respectivement 20 et 25°. Le bâtiment bénéficie d'une ventilation naturelle. Le système d'eau chaude sanitaire se base sur une chaudière électrique avec un rendement de 90%.

Les fondations ainsi que les cloisons et les portes ne sont pas considérées dans la présente étude. L'analyse ne tient par ailleurs pas compte des travaux de parachèvement, comme les finitions intérieures, et des meubles. Seules les déperditions supplémentaires dues aux ponts thermiques intégrés sont intégrées dans la consommation d'énergie du bâtiment.

7.2.2 Données d'entrée dans le logiciel AMECO3

7.2.2.1 Saisie de données générales du bâtiment résidentiel dans AMECO3

Project identification	
Identification	
Project name	LVS3
Building name	CasaBuna dwelling
Company	AC&CS
Prepared by	Valérie
Comment	AMECO v3 beta4

7.2.2.2 Saisie des données pour la géométrie (Modules A-C-D)

Definition of the building	
General parameters	
North - South facade Length	12 m
East - West facade length	9.2 m
Floor height	2.9 m
Floor height under ceiling	2,7 m
Number of intermediate floors	1
Area of intermediate floors	110,4 m ²
Total area of building	220,8 m ²
Structure only	No
Building type	Residential

Location

Country	Romania
Location	Timisoara

Display

7.2.2.3 Données d'entrée pour les composants du bâtiment (Modules A-B-C-D)

CasaBuna_Resid_CaseStudyv4.ame | AMECO

File Edit Display Options ?

Project Building **Envelope** Base Floor Roof Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

Definition of the building envelope

Facade

Direction	North	East	South	West	
Facade area	69.6	53.36	69.6	53.36	m ²
Opening area	22	12	22	12	%

Facade properties

Wall type	Light steel panel wall (rock wool)	
U-value for walls	0.296	W/(m ² .K)
Opening type	Double glazing low emissivity (type 1)	
U-value for openings	1.7	W/(m ² .K)
Shading device type	No shading device	
Shutter type	No shutter	

AMECO

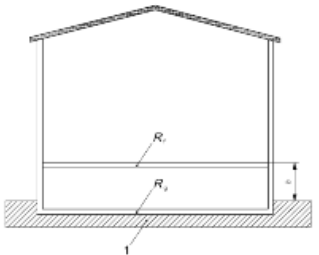
File Edit Display Options ?

Project Building Envelope **Base Floor** Roof Occupancy Systems Structure Floors Tran

Definition of the building base floor

Base floor

U-value for the base floor	0,599	W/(m ² .K)
Base floor type	Suspended Floor	
Thickness of concret base floor	0.2	m
Mass of reinforcing steel	0.7	t
Internal heat capacity of ground	469660	J/(m ² .K)
Internal heat capacity of intermediate floor	37314	J/(m ² .K)
Internal heat capacity of internal wall	26782	J/(m ² .K)



Key

- 1 floor slab
- 2 height of floor surface above outside ground level
- 3 thermal resistance of floor construction
- 4 effective thermal resistance of ground

CasaBuna_Resid_CaseStudyv4.ame | AMECO

File Edit Display Options ?

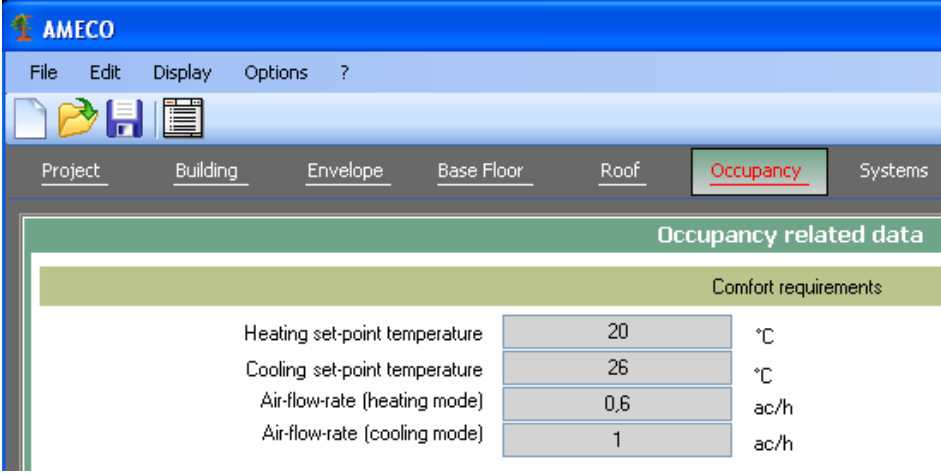
Project Building Envelope Base Floor **Roof** Occupancy Systems Structure Floors Transport Results

Definition of the building roof

Roof

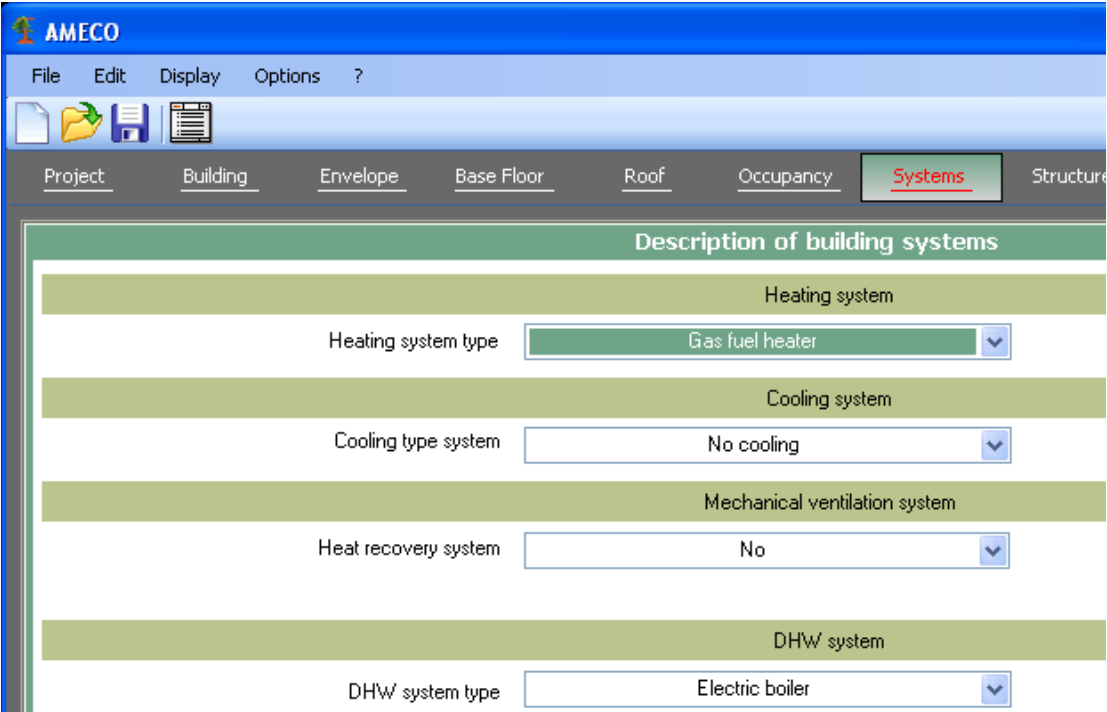
Roof type	Roof type 2	
U-value for the roof (flat part)	0.373	W/(m ² .K)

7.2.2.4 Données pour la phase d'utilisation du bâtiment (Modules B)



The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Occupancy' tab selected. The 'Occupancy related data' section is active, displaying 'Comfort requirements' with the following settings:

Comfort requirements		
Heating set-point temperature	20	°C
Cooling set-point temperature	26	°C
Air-flow-rate (heating mode)	0.6	ac/h
Air-flow-rate (cooling mode)	1	ac/h



The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Systems' tab selected. The 'Description of building systems' section is active, displaying the following settings:

Description of building systems	
Heating system	
Heating system type	Gas fuel heater
Cooling system	
Cooling type system	No cooling
Mechanical ventilation system	
Heat recovery system	No
DHW system	
DHW system type	Electric boiler

7.2.2.5 Données générales pour la structure du bâtiment (Modules A-C-D)

The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Structure' module selected. The main heading is 'Bearing structure of the building'. Below this, there is a section for 'Steel elements' with a table of data:

Steel elements		
Beams (Hot rolled profiles)	0	t
Columns (Hot rolled profiles)	0	t
Studs	0,0	t
Bolts	0	t
Plate Connections	0,0	t
Total mass of structure	0,0	t

The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Floors' module selected. The main heading is 'Floor slabs'. Below this, there is a section for 'Steel elements' with a table of data:

Steel elements		
Type of slab	Dry floor	
Steel deck	Supertsol 56	
Thickness of the deck	0,750	mm
Mass of sheeting per m2 of floor	8,00	kg/m ²
Mass of sheeting for the building	0,883	t
Concrete elements		
Total mass of the floor slabs	52,99	t

7.2.2.6 Données pour le transport des éléments (Module A)

The screenshot shows the AMECO software interface with the 'Transport' module selected. The 'Transport parameters' section is divided into 'Steel elements' and 'Concrete elements'.

Steel elements

Total steel transported	<input type="text" value="1,583"/>	t
Values for the transport impacts	<input type="text" value="Average values"/>	

Concrete elements

Total concrete transported	<input type="text" value="52,11"/>	t
Concrete produced on site	<input type="text" value="52,11"/>	t
Distance by mixer trucks	<input type="text" value="30,0"/>	km
Prefabricated concrete	<input type="text" value="0,0"/>	t
Distance by regular trucks	<input type="text" value="0,0"/>	km

7.2.3 Résultats du calcul avec AMECO3

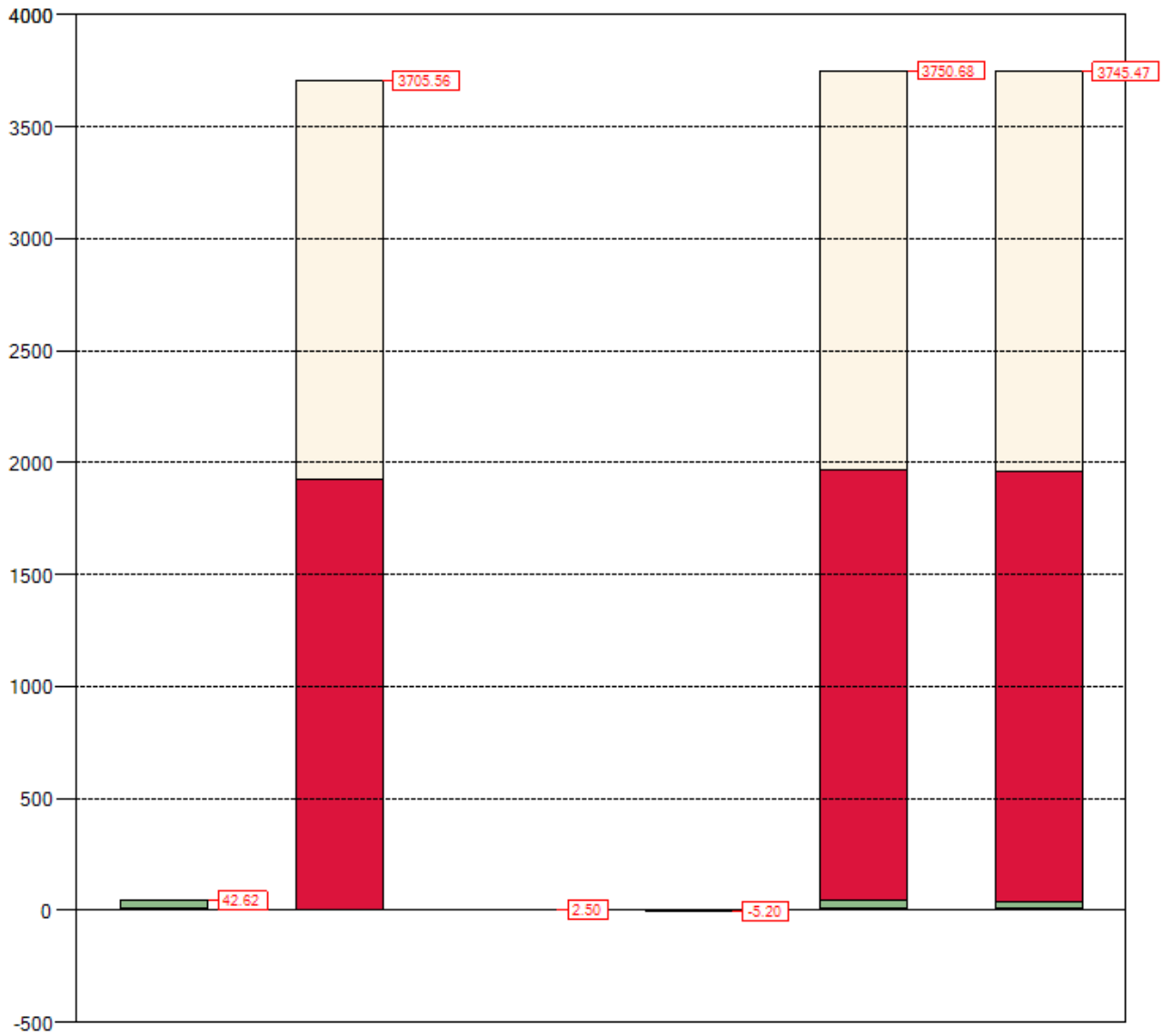
Le tableau résumant tous les résultats de l'ensemble des impacts tout au long du cycle de vie de la résidence CasaBuna est présenté ci-dessous:

Synthesis of results for CasaBuna dwelling

	Module A	Module B	Module C	Module D	Total A to C	Total A to D
GWP (tCO ₂ eq)	42.62	3705.56	2.50	-5.20	3750.68	3745.47
ODP (tCF ₂ eq)	5.40E-07	1.92E-06	1.68E-07	1.04E-07	2.63E-06	2.73E-06
AP (tSO ₂ eq)	1.68E-01	1.48E01	6.82E-03	-1.54E-02	1.50E01	1.50E01
EP (tPO ₄ eq)	1.60E-02	7.56E-01	1.80E-03	-5.05E-04	7.74E-01	7.74E-01
POCP (tEtheneeq)	1.66E-02	1.88E00	1.19E-03	-3.06E-03	1.90E00	1.90E00
ADP-e (tSbeq)	8.55E-05	7.15E-04	1.06E-06	-4.81E-05	8.02E-04	7.54E-04
ADP-ff (GJ NCV)	425.87	230888.89	19.13	-81.51	231333.89	231252.38
RPE (GJ NCV)	304.22	6191.49	3.87	-70.42	6499.58	6429.16
RER (GJ NCV)	81.29	0.00	0.25	1.96	81.53	83.49
RPE-total (GJ NCV)	7.11	6191.49	0.35	0.59	6198.95	6199.54
Non-RPE (GJ NCV)	138.18	38193.48	17.25	-11.15	38348.92	38337.77
Non-RER (GJ NCV)	0.66	192789.01	0.00	0.00	192789.67	192789.67
Non-RPE-total (GJ NCV)	138.85	230982.49	17.25	-11.15	231138.59	231127.44
SM (t)	52.68	0.00	0.00	0.00	52.68	52.68
RSF (GJ NCV)	1.79	1.98	0.00	0.00	3.77	3.77
Non-RSF (GJ NCV)	18.87	20.80	0.00	0.00	39.67	39.67
NFW (1000 m ³)	1281.53	8049.61	139.52	-29.94	9470.66	9440.73
HWD (t)	5.94E-04	0.00E00	0.00E00	-1.17E-05	5.94E-04	5.82E-04
Non-HWD (t)	38.17	8431.51	1.25	-3.07	8470.93	8467.86
RWD (t)	3.11E-03	5.45E00	3.91E-06	-3.93E-04	5.45E00	5.45E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Les résultats montrent la prédominance de la phase d'utilisation pour tous les impacts. Axée sur l'impact du potentiel de réchauffement global, présenté sur le graphique ci-après, la phase d'utilisation est responsable de plus de 99% des impacts GWP totaux (modules A à D) du bâtiment.

Global Warming Potential (tCO₂eq)

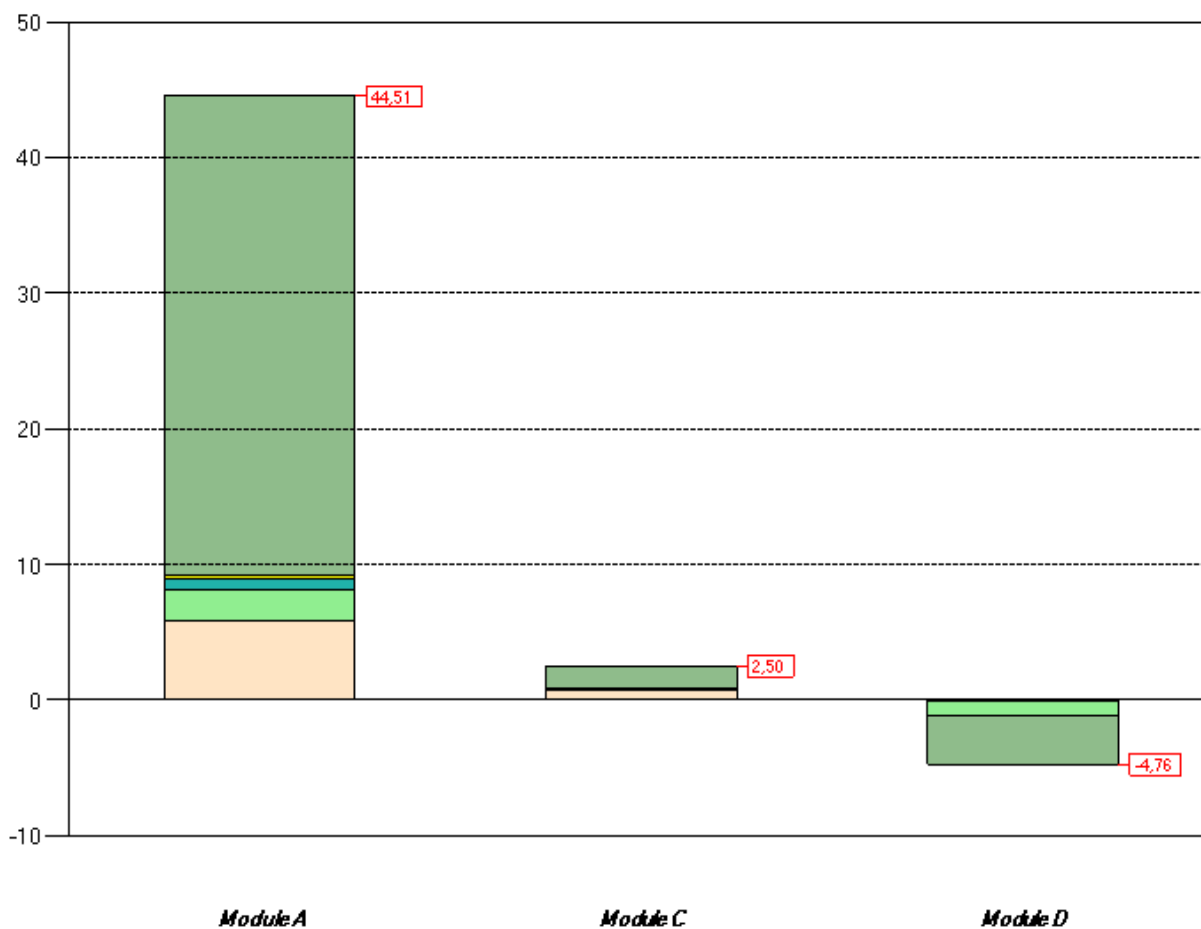


- | | | |
|--|--|--|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

CasaBuna dwelling		GWP (tCO ₂ eq)
Module A	Concrete of floors	5.80
	Steel sheets	2.26
	Steel reinforcement	0.87
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.23
	Envelope	33.46
	Module A	42.62
Module B	Energy need for space heating	1922.38
	Energy need for space cooling	0.00
	Energy need for DHW production	1783.18
Module B	3705.56	
Module C	Concrete of floors	0.77
	Steel sheets	0.01
	Steel reinforcement	0.04
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	1.68
	Module C	2.50
Module D	Concrete of floors	-0.01
	Steel sheets	-1.15
	Steel reinforcement	0.00
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	-4.04
	Module D	-5.20
Total A to C	Total A to C	3750.68
Total A to D	Total A to D	3745.47

L'analyse uniquement des impacts GWP de la production des matériaux (module A), montre que 79% de l'impact total incombent aux composants de l'enveloppe, dont la façade, le toit et les fenêtres.

Global Warming Potential (tCO₂eq)



La consommation énergétique du bâtiment est de 15,6 kWh/m²y.

Use phase heating

Energy for space heating					
Heat transfer by transmission					
Walls	Glazing	Ext Floor	Roof	Ground	Total
kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year
4845.1	5968.3	0.0	3328.8	3008.7	16882.1
Heat Transfer by ventilation			Heat gains		
Ventilation			Glazed	Opaque	Internal
kWh/year			kWh/year	kWh/year	kWh/year
8963.6			14064.4	783.0	10757.0

Energy need for heating												
Qh,nd	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
kWh	911.2	606.4	435.1	129.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.9	454.8	816.6
kWh/m ²	4.1	2.7	2.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.1	3.7

Energy Breakdowns		
Building totals for heating		
Energy need	3454.2	kWh/year
	15.6	kWh/m ² /year
Delivered energy	3970.4	kWh/year
COP : 0.87	18.0	kWh/m ² /year
Primary	341.5	kgoe/year
fconv : 0.086	1.5	kgoe/m ² /year

Etant donné que la phase d'usage compte pour plus de 99% des impacts GWP totaux, ce cas d'étude promeut les éléments d'enveloppe à haute performance thermique, afin de réduire les impacts dus à la phase d'usage du bâtiment. Cela permettra de réduire les impacts environnementaux globaux sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

7.3 Hall industriel

7.3.1 Champ d'application de l'étude

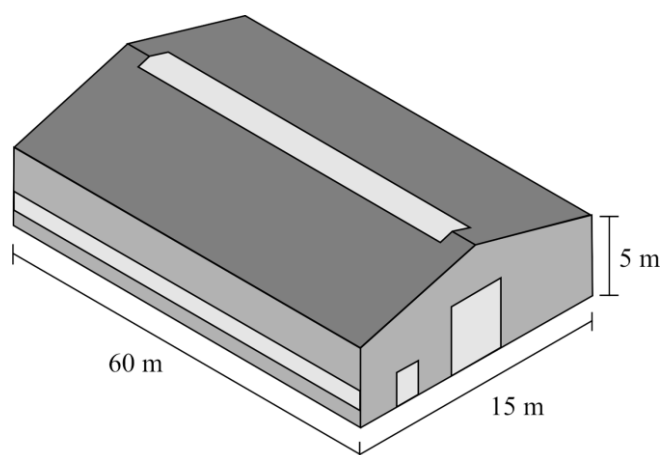
L'étude entend évaluer et comparer les impacts environnementaux d'un bâtiment industriel, recourant à deux systèmes structurels différents:

- Portique avec pieds de poteaux articulés, composé de profilés laminés à chaud
- Colonnes rigides, poutre articulée, composées de poteaux et de poutres en béton armé

Deux nuances d'acier différentes seront prises en compte dans le calcul du système structural en acier.

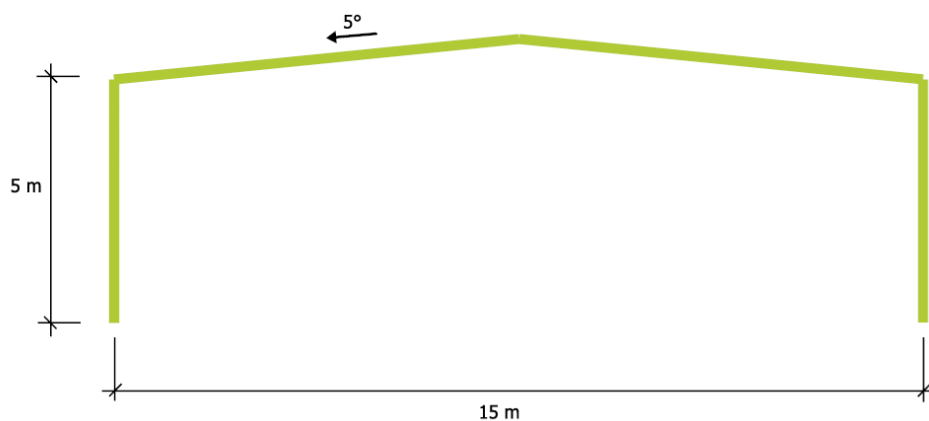
7.3.2 Description du bâtiment

Ce bâtiment à un étage est un hall industriel de 900 m², présenté sur la figure suivante:



7.3.3 Système structural

Les ossatures porteuses s'étendent sur 15 m et la travée entre chaque portique est de 6 m. La hauteur est de 5 m et la pente du toit de 5°, comme le montre la figure suivante:



Les éléments de la structure pour les 3 variantes des systèmes sont décrits dans le tableau ci-dessous:

Élément de la structure	Variante 1 Structure en acier S235	Variante 2 Structure en acier S460	Variante 3 Structure en béton
Poutre	IPE 450	IPE 330	Béton préfabriqué unité T80
			Armature BSt500 202,5 kg/m ³
Colonnes	Primaire: IPE400 Secondaire: HEA480	Primaire: IPE400 Secondaire: HEA480	Section béton 0,4 x 0,4 m C30/37
			Armature BSt500 108,1 kg/m ³

Une image du système structural en acier est proposée ci-dessous.



Les bâtiments sont conçus dans la région climatique de Paris.

La sous-couche est un plancher bas à niveau de sol en béton armé avec isolation périphérique.

La liste des matériaux de structure est détaillée dans le tableau ci-dessous.

Élément de la structure	Variante 1 Structure en acier S235	Variante 2 Structure en acier S460	Variante 3 Structure en béton
Poutre	6,88 t	4,33 t	Béton: 34,19 t
			Armature: 2,93 t
Colonnes	4,17 t	4,17 t	Béton: 30,12 t
			Armature: 1,38 t
Goujons	/	/	/
Boulons	43 kg	43 kg	/
Raccordements de platines	336 kg	336 kg	/
Dalle de sol	Béton: 425,7 kg	Béton: 425,7 kg	Béton: 425,7 kg
	14,4 t	14,4 t	14,4 t

7.3.4 Composants de l'enveloppe

La façade est composée d'un panneau sandwich en polyuréthane de 80 mm; l'épaisseur de ce composant de la façade sera néanmoins augmentée jusqu'à 200 mm afin de constater l'impact sur les résultats environnementaux.

Le toit incliné (5°) est composé de tôles d'acier de soutien d'une épaisseur de 1 mm, et de 140 mm de laine minérale.

Les fenêtres sont composées d'un double vitrage et d'un châssis en aluminium.

Le tableau suivant précise la valeur U des éléments du bâtiment.

MURS: Panneaux sandwich en polyuréthane Épaisseur: 80mm Épaisseur: 200mm	0,33 0,12	W/m ² .K
TOIT	0,31	W/m ² .K
FENÊTRES	2,6	W/m ² .K
DALLE DE SOL	0,44	W/m ² .K

La capacité thermique intérieure des éléments de l'enveloppe est décrite ci-dessous.

DALLE DE SOL 0,2 m de béton	460000	J/m ² K
Plancher intermédiaire	0	J/m ² K
Murs intérieurs	0	J/m ² K

7.3.5 Systèmes HVAC

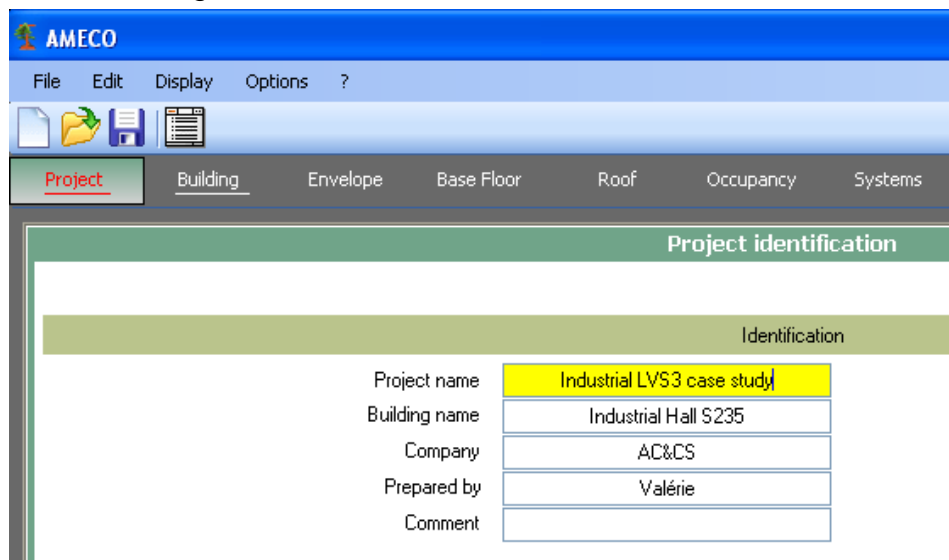
Le système de chauffage se base sur une chaudière à gas, basé sur des températures de consigne de 20 °C. Le bâtiment n'est doté ni d'un système de refroidissement, ni d'une ventilation mécanique, ni d'un système d'eau chaude sanitaire.

7.3.6 Hypothèse principale

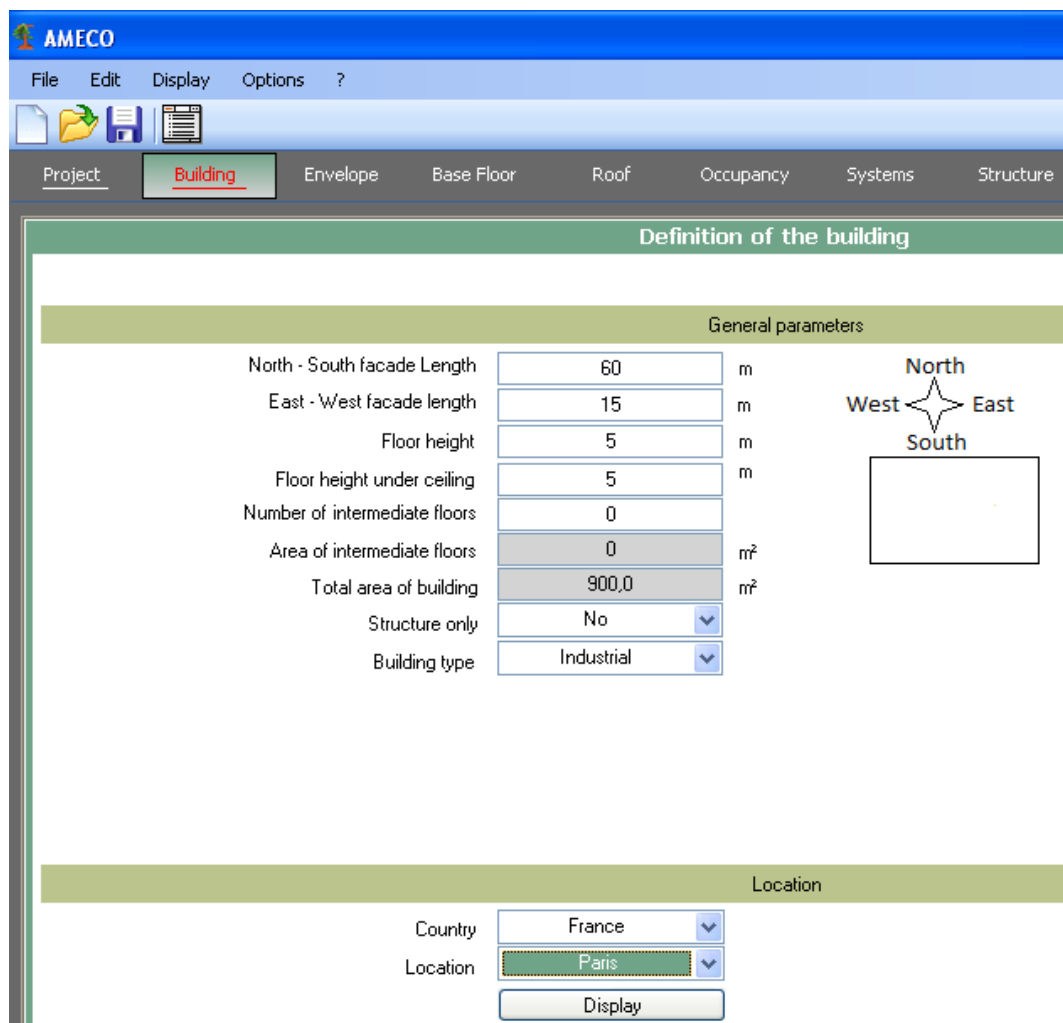
La présente étude ne tient pas compte des fondations ni des cloisons et des portes. Les travaux de parachèvement, comme les finitions intérieures, et les meubles sont également exclus de l'analyse. Seules les déperditions supplémentaires dues aux ponts thermiques intégrés sont intégrées dans la consommation d'énergie du bâtiment.

7.3.7 Données d'entrée dans le logiciel AMECO3

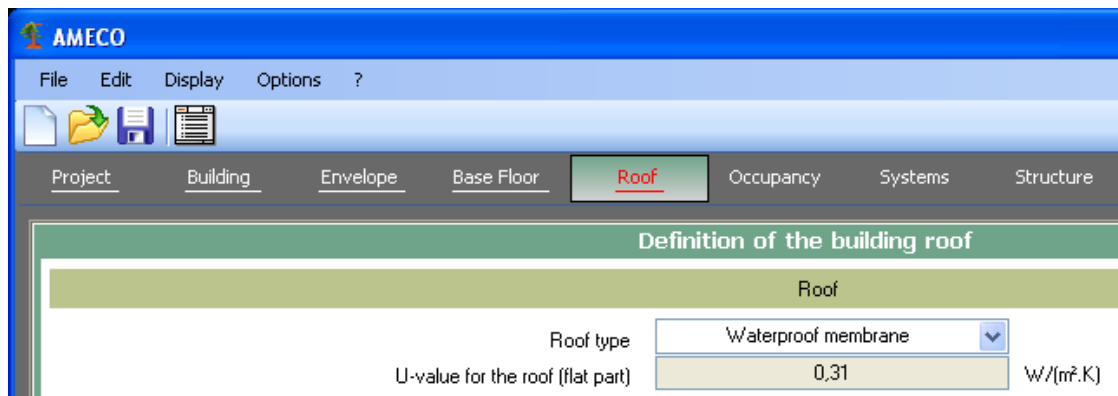
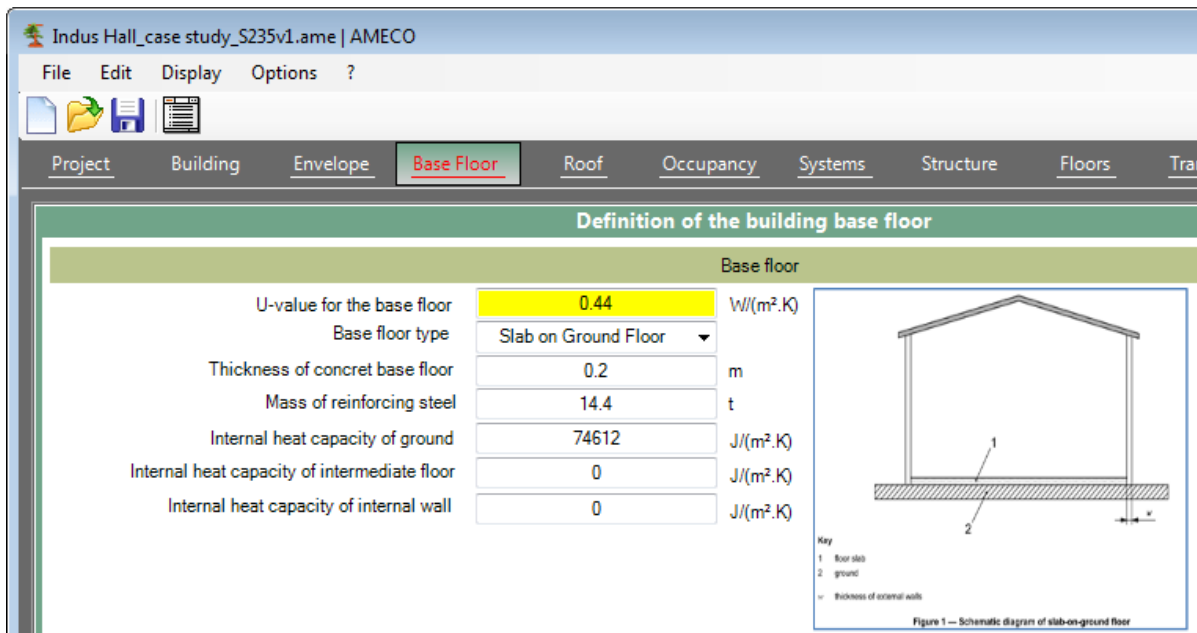
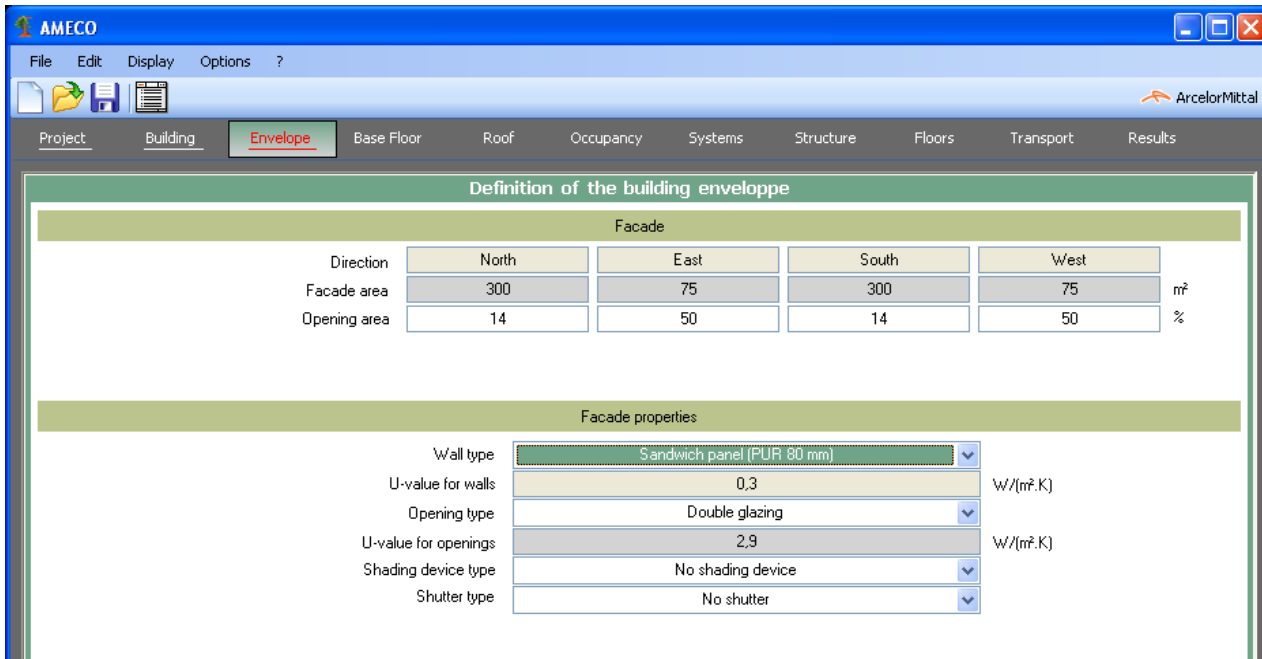
7.3.7.1 Saisie de données générales du bâtiment industriel dans AMECO3



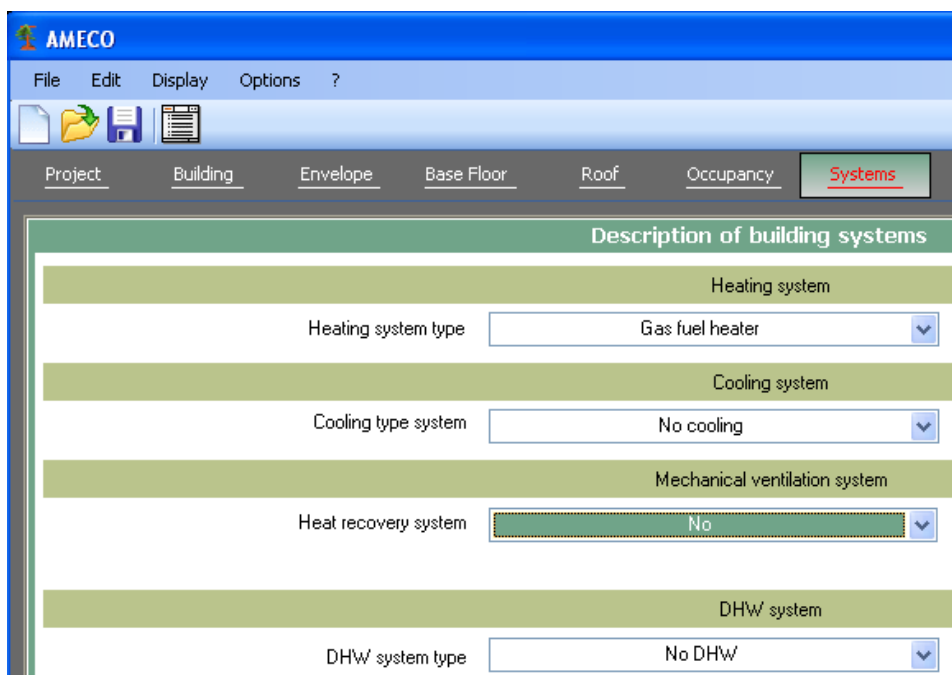
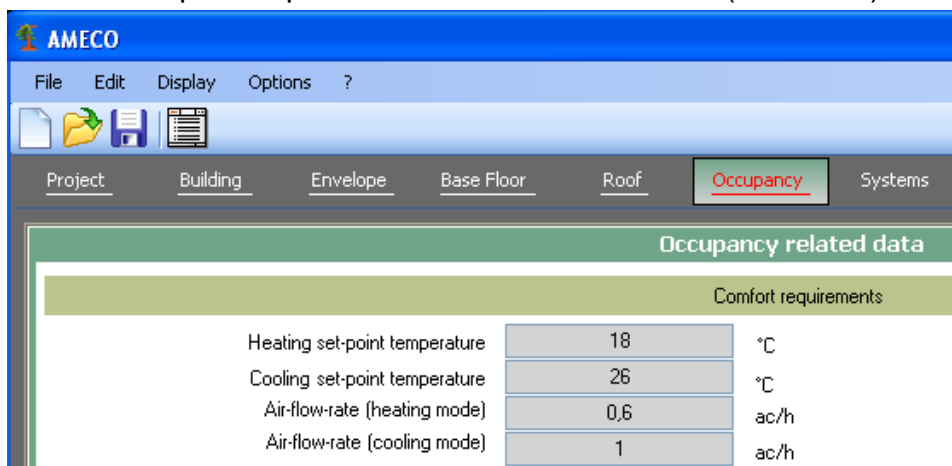
7.3.7.2 Saisie des données pour la géométrie (Modules A-C-D)



7.3.7.3 Données d'entrée pour les composants du bâtiment (Modules A-B-C-D)

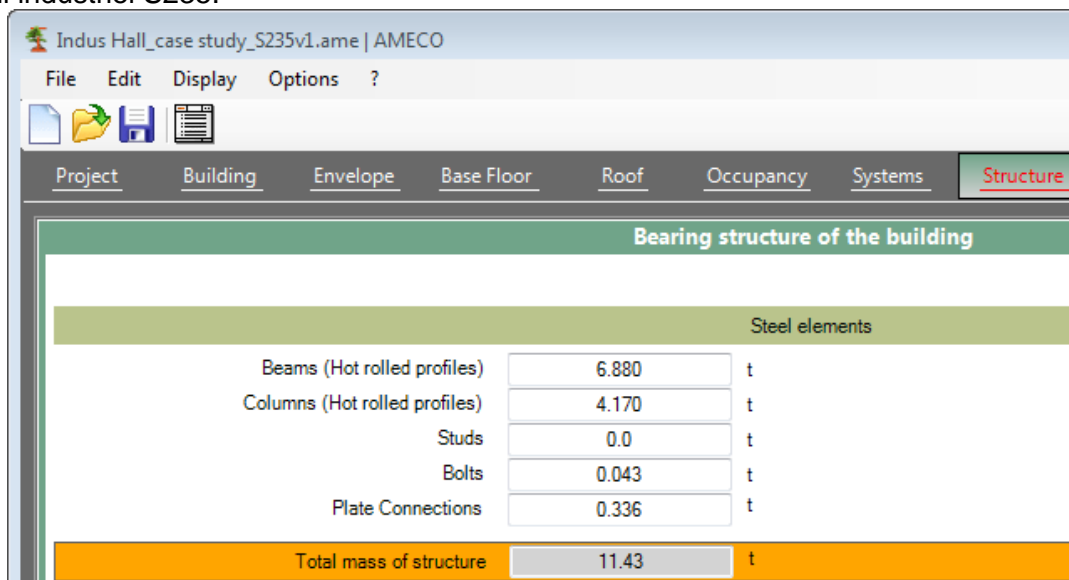


7.3.7.4 Données d'entrée pour la phase d'utilisation du bâtiment (Module B)



7.3.7.5 Données générales pour la structure du bâtiment (Modules A-C-D)

Pour le hall industriel S235:



Pour le hall industriel S460:

Bearing structure of the building		
Steel elements		
Beams (Hot rolled profiles)	4,330	t
Columns (Hot rolled profiles)	4,170	t
Studs	0,0	t
Bolts	0,043	t
Plate Connections	0,336	t
Total mass of structure	8,879	t

7.3.7.6 Données pour le transport des éléments (Module A)

Transport parameters		
Steel elements		
Total steel transported	25,61	t
Values for the transport impacts	Average values	
Concrete elements		
Total concrete transported	424,8	t
Concrete produced on site	424,8	t
Distance by mixer trucks	30,0	km
Prefabricated concrete	0,0	t
Distance by regular trucks	0,0	km

7.3.8 Résultats du calcul avec AMECO3

7.3.8.1 Système structural en acier S235

Le tableau ci-dessous présente les résultats pour chaque impact environnemental du bâtiment compte tenu du système structural d'une qualité S235.

Synthesis of results for Industrial hall

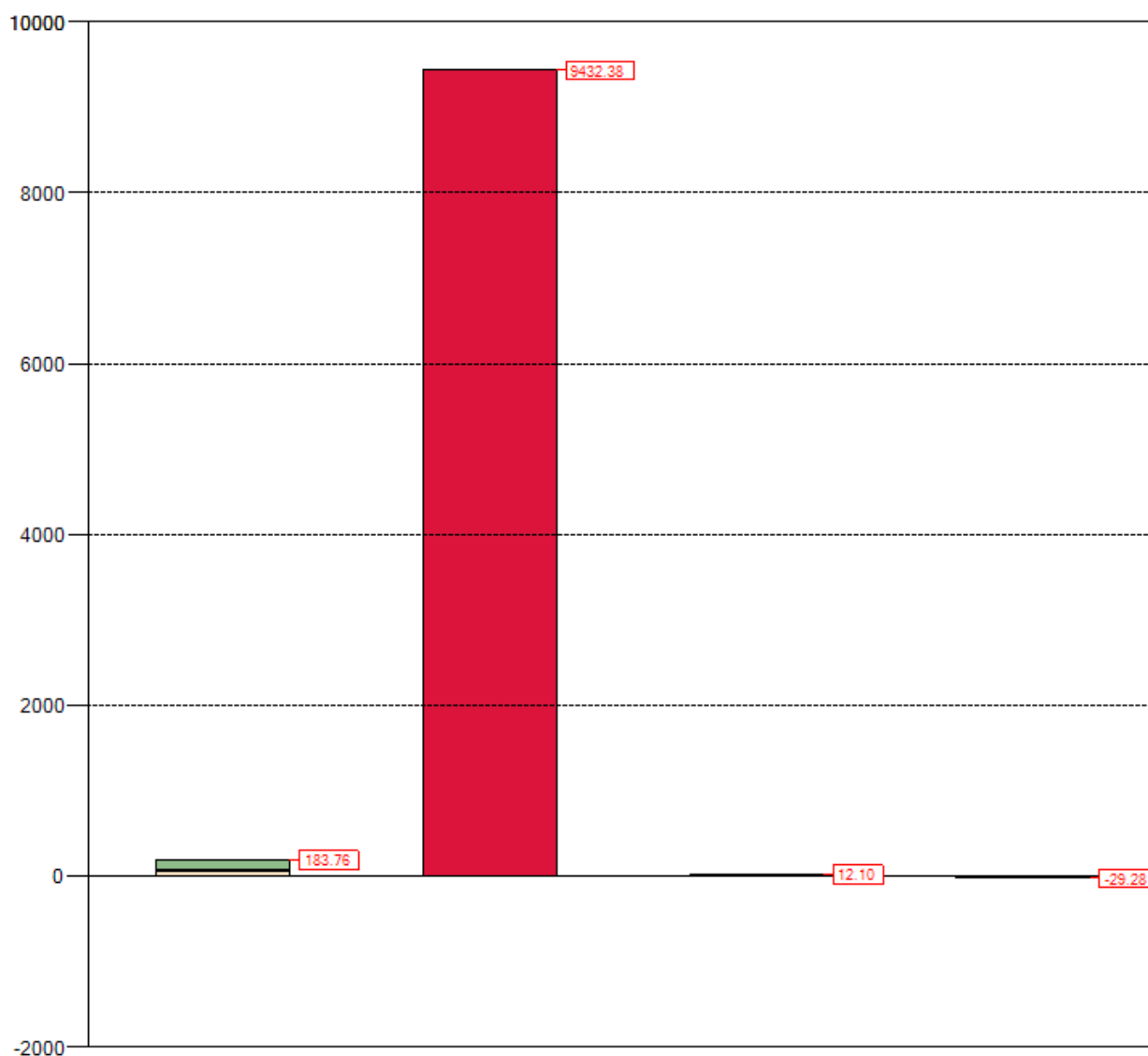
	Module A	Module B	Module C	Module D	Total A to C	Total A to D
GWP (tCO ₂ eq)	183.76	9432.38	12.10	-29.28	9628.25	9598.97
ODP (tCF ₂ eq)	1.09E-06	1.55E-06	1.42E-06	7.58E-07	4.06E-06	4.82E-06
AP (tSO ₂ eq)	5.26E-01	3.14E01	5.03E-02	-7.53E-02	3.19E01	3.19E01
EP (tPO ₄ eq)	6.40E-02	1.53E00	1.69E-02	-2.80E-03	1.61E00	1.61E00
POCP (tEtheneeq)	5.92E-02	6.80E00	8.53E-03	-1.51E-02	6.87E00	6.86E00
ADP-e (tSbeq)	1.75E-03	2.30E-03	8.20E-06	-2.54E-04	4.07E-03	3.81E-03
ADP-ff (GJ NCV)	2041.70	978869.63	138.42	-285.35	981049.75	980764.40
RPE (GJ NCV)	1285.91	4687.50	6.33	-264.44	5979.75	5715.31
RER (GJ NCV)	47.75	0.00	0.00	13.72	47.75	61.47
RPE-total (GJ NCV)	68.65	4687.50	2.91	-0.65	4759.06	4758.41
Non-RPE (GJ NCV)	887.83	98391.18	148.73	-22.75	99427.74	99404.99
Non-RER (GJ NCV)	2.43	880547.69	0.00	0.00	880550.12	880550.12
Non-RPE-total (GJ NCV)	890.26	978938.87	148.73	-22.75	979977.86	979955.11
SM (t)	444.40	0.00	0.00	-0.94	444.40	443.46
RSF (GJ NCV)	14.61	6.56	0.00	0.00	21.18	21.18
Non-RSF (GJ NCV)	153.83	69.05	0.00	0.00	222.88	222.88
NFW (1000 m ³)	30396.65	6075.63	157.18	-100.49	36629.47	36528.98
HWD (t)	4.53E-03	0.00E00	0.00E00	-9.19E-05	4.53E-03	4.44E-03
Non-HWD (t)	276.33	6464.29	5.42	-4.14	6746.03	6741.89
RWD (t)	2.37E-02	4.04E00	1.65E-05	-8.53E-04	4.06E00	4.06E00
CR (t)	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00	1.11
MR (t)	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33
MER (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nous pouvons voir que les impacts du module B sont les plus importants pour chacun d'entre eux.

Les détails de l'impact GWP de chaque type de composant du bâtiment, en incluant le transport, sont proposés ci-dessous.

Comme le montre le graphique suivant, près de 99% de l'impact GWP est imputable au module B (en ce compris les modules A à D) pour ce bâtiment avec le système structural S235 en acier:

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Module A

Module B

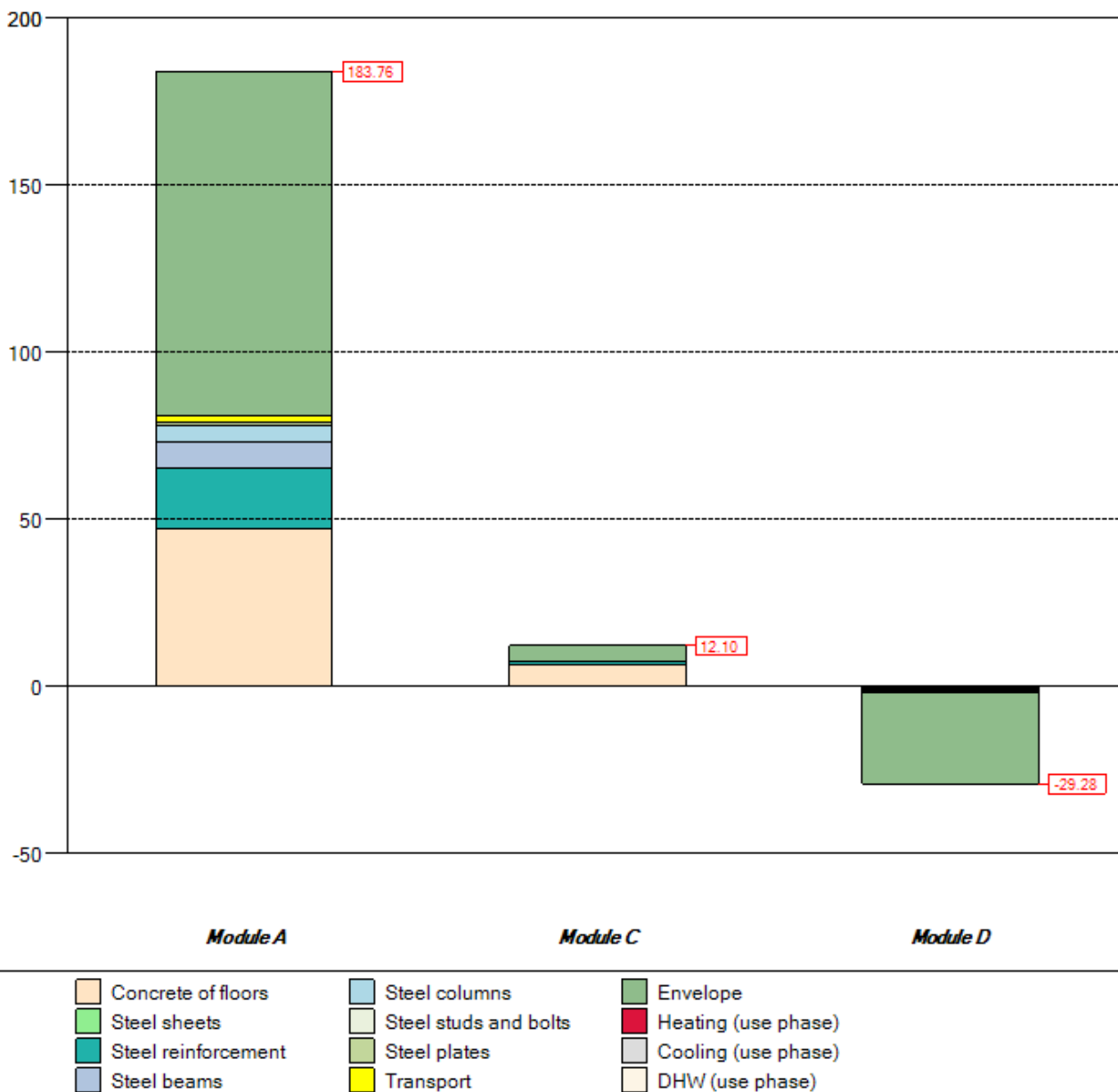
Module C

Module D

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

Les impacts GWP dus aux matériaux utilisés pour ériger le bâtiment, comme le système structural et les composants de l'enveloppe, sont illustrés sur le graphique ci-dessous:

Global Warming Potential (tCO₂eq)

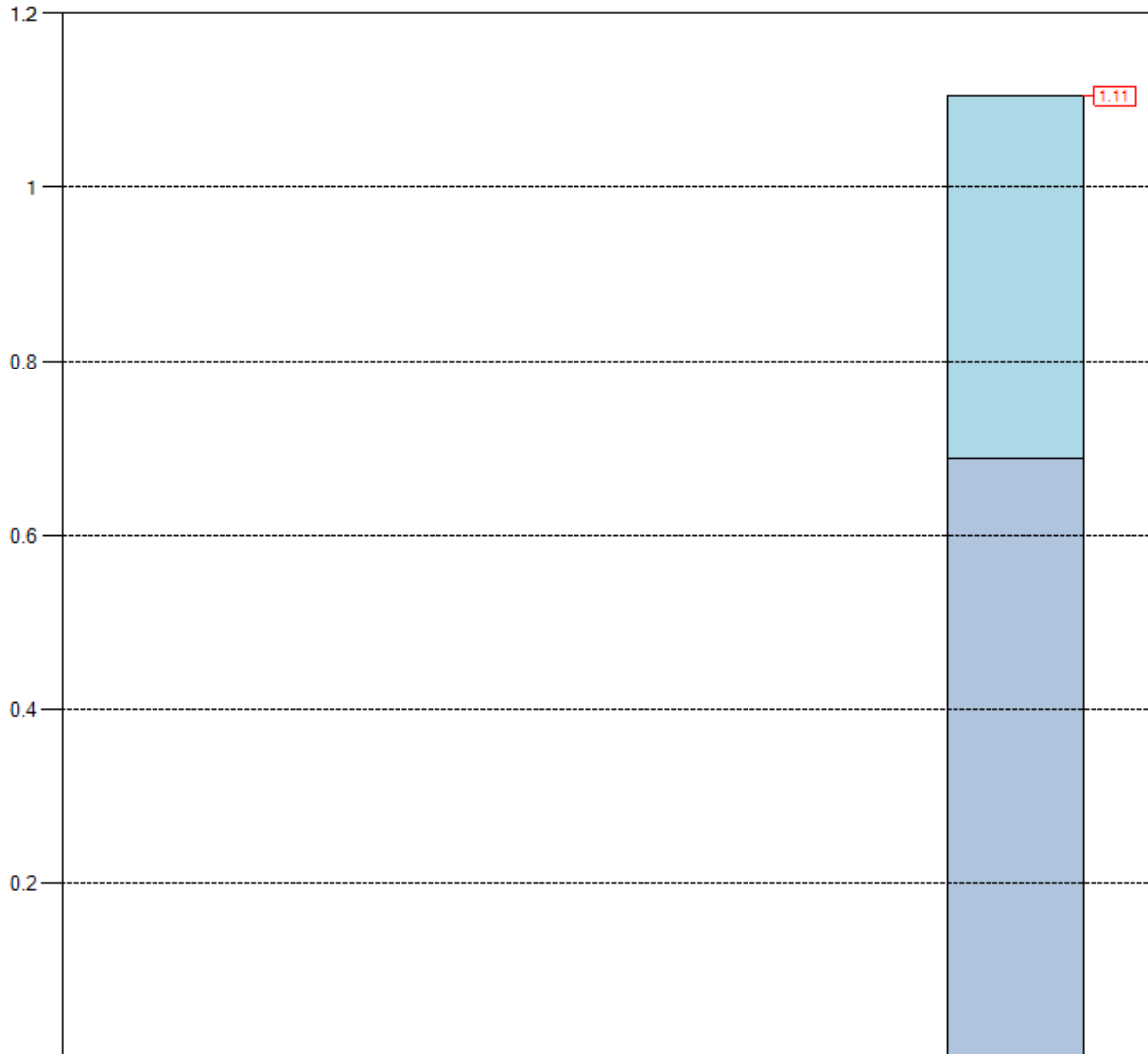


Nous constatons que pour le module A, 56% de l'impact GwP total sont imputables aux matériaux de l'enveloppe.

L'impact GWP du système structural est de 78,6 tCO₂-eq; les impacts GWP du béton des sols équivalent quant à eux à 47,31 tCO₂-eq, soit 60% des impacts du GWP du système structural global.

Le Module D met en exergue les bénéfices de la fin de vie des composants du bâtiment, que ce soit à travers la réutilisation des composants ou le recyclage des matériaux, comme le montrent les graphiques ci-dessous.

Components for reuse (t)



Module A

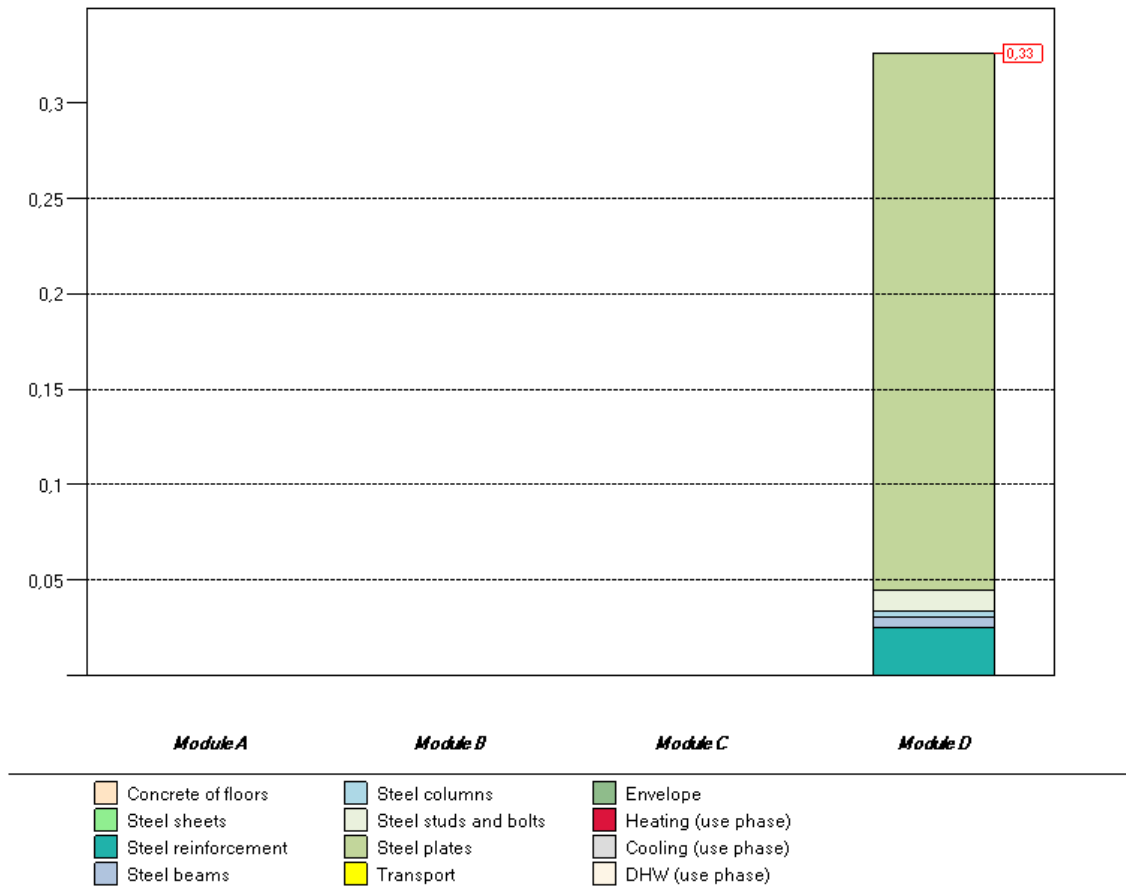
Module B

Module C

Module D

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

Materials for recycling (t)



La consommation énergétique pour le chauffage, détaillée dans le tableau ci-dessous, équivaut à 19 kWh/m²y.

Use phase heating

Energy for space heating					
Heat transfer by transmission					
Walls	Glazing	Ext Floor	Roof	Ground	Total
kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year	kWh/year
11050.9	28739.9	0.0	17389.8	11212.7	66993.5
Heat Transfer by ventilation			Heat gains		
Ventilation			Glazed	Opaque	Internal
kWh/year			kWh/year	kWh/year	kWh/year
52169.4			42631.5	1661.1	64941.9

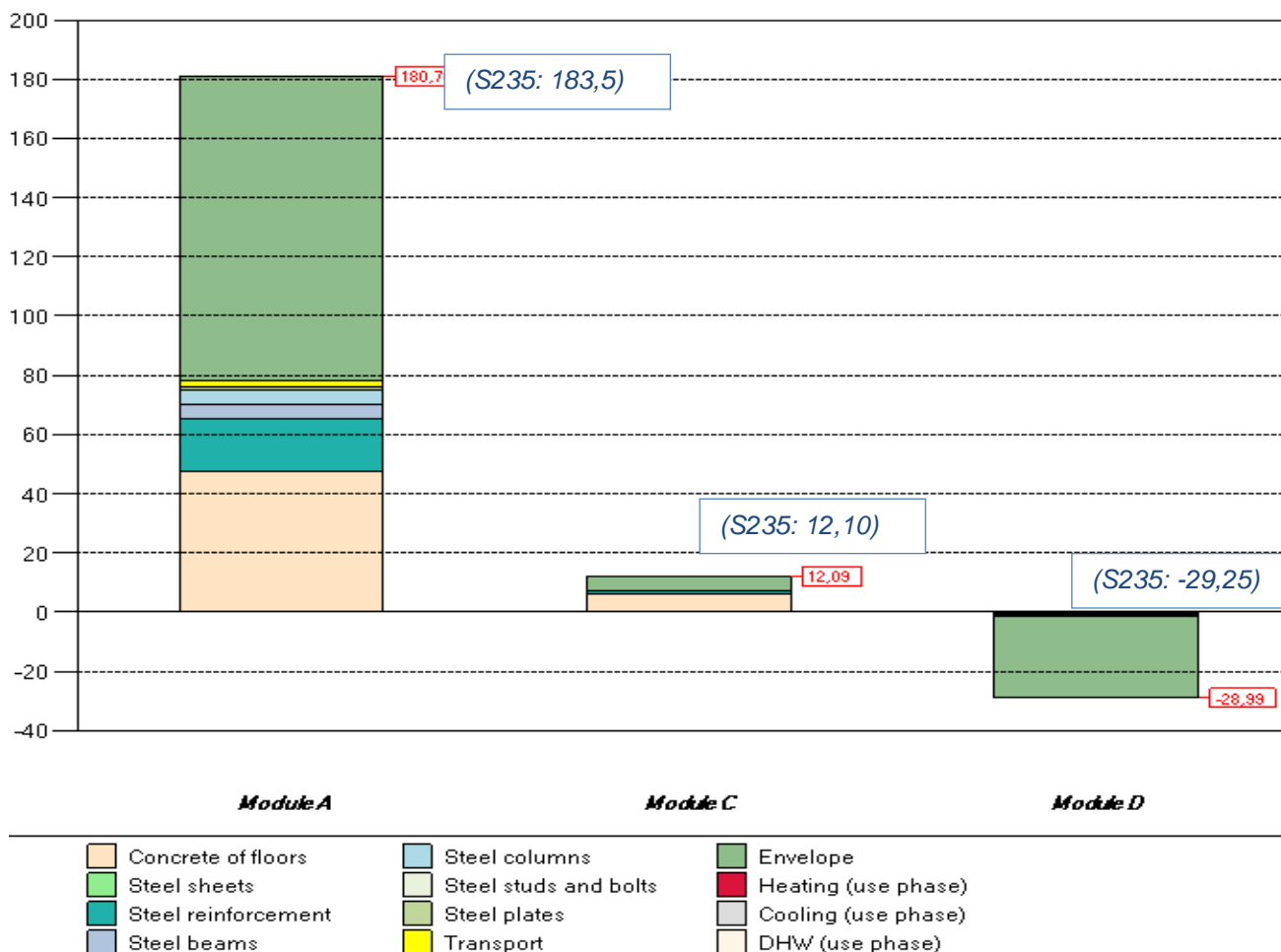
Energy need for heating													
Qh,nd	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
kWh	3642.1	3040.8	2279.5	1099.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	755.8	2582.3	3540.6	
kWh/m ²	4.0	3.4	2.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	2.9	3.9	

Energy Breakdowns		
Building totals for heating		
Energy need	16948.6	kWh/year
	18.8	kWh/m ² /year
Delivered energy	19481.1	kWh/year
COP : 0.87	21.6	kWh/m ² /year
Primary	1675.4	kgoe/year
fconv : 0.086	1.9	kgoe/m ² /year

7.3.8.2 Système de structure en acier S460

L'amélioration de la qualité de l'acier permet de réduire le poids total de la structure en acier: de 6,66 t à 4,33 t d'acier S235, soit une réduction totale de 2,33t des éléments structurels en acier. Cela entraîne donc une réduction des impacts GWP totaux des modules A, C & D.

Global Warming Potential (tCO₂eq)



L'impact GWP du système structural en acier consécutif à l'amélioration de la qualité de l'acier est de 10,69 t CO₂-eq, ce qui permet une réduction nette de 2,69 tCO₂-eq par rapport aux impacts GWP du système en acier S235.

Les impacts GWP des composants de l'enveloppe représentent 57% de l'impact total du module A, ce qui est similaire au ratio obtenu par le système structural S235.

Le détail de l'impact GWP dû au système structural en S460 est montré ci-dessous :

Detailed results*Global Warming Potential*

	Module A tCO ₂ eq	Module B tCO ₂ eq	Module C tCO ₂ eq	Module D tCO ₂ eq	Total A to C tCO ₂ eq	Total A to D tCO ₂ eq
Steel total	28.60	0.00	0.97	-1.44	29.57	28.13
Beams	5.00	0.00	0.03	-0.49	5.03	4.54
Columns	4.81	0.00	0.03	-0.47	4.84	4.37
Studs and bolts	0.05	0.00	0.00	-0.02	0.05	0.04
Plates connections	0.83	0.00	0.00	-0.43	0.83	0.40
Concrete total	47.31	0.00	6.29	-0.12	53.61	53.49
Concrete slabs	47.31	0.00	6.29	-0.12	53.61	53.49
Envelope	102.75	0.00	4.83	-27.43	107.58	80.15
Use phase total	0.00	9432.38	0.00	0.00	9432.38	9432.38
Heating	0.00	9432.38	0.00	0.00	9432.38	9432.38
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DHW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transport	2.09	0.00	0.00	0.00	2.09	2.09
Total impact of module	180.76	9432.38	12.09	-28.99	9625.23	9596.24

7.3.8.3 Système structural en béton

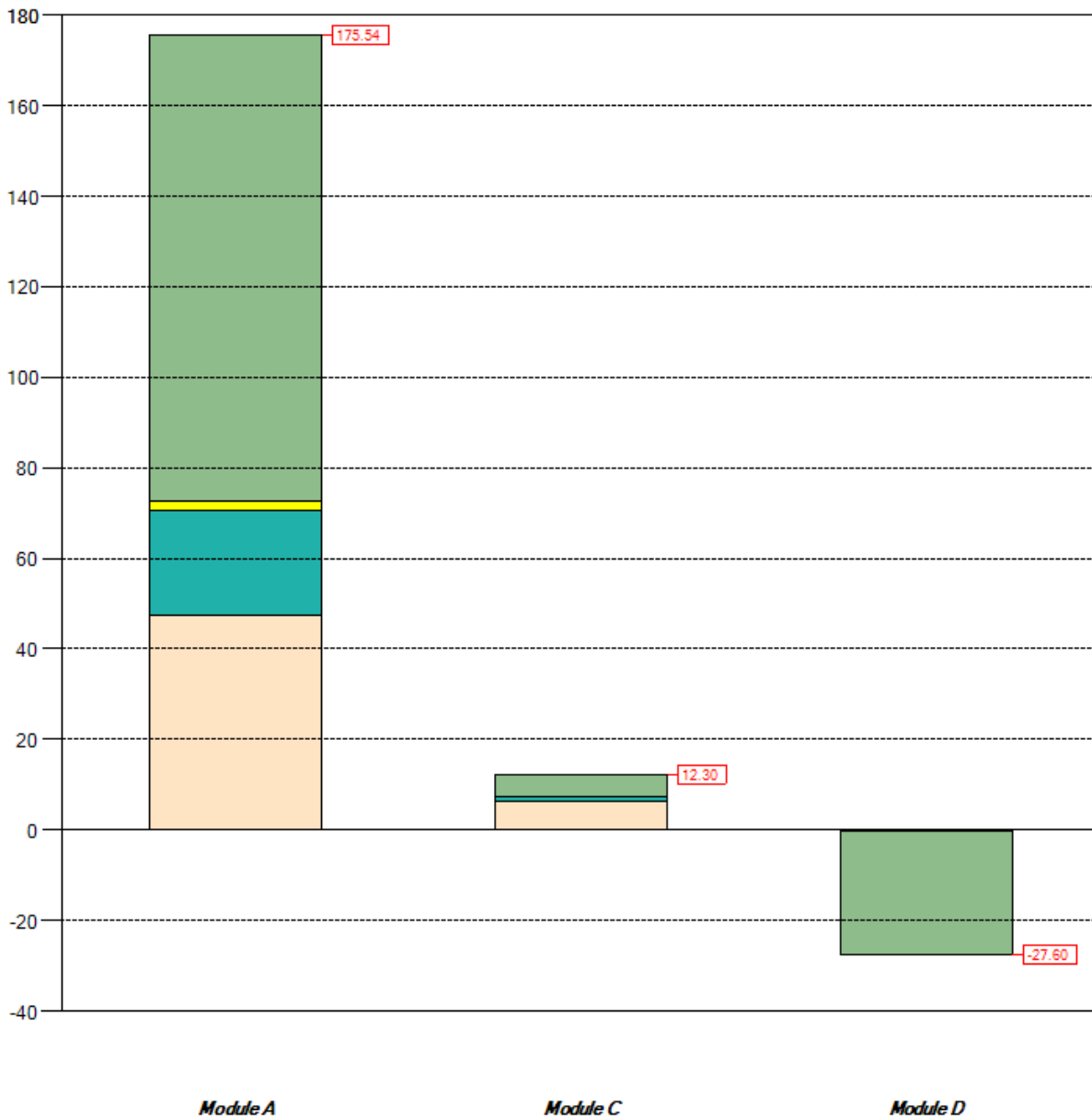
Le tableau ci-dessous résume tous les impacts environnementaux du bâtiment construit à l'aide d'un système structural en béton.

Industrial hall		GWP (tCO ₂ eq)
Module A	Concrete of floors	47.31
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	23.26
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	2.21
	Envelope	102.75
	Module A	182.70
	Module B	Energy need for space heating
Energy need for space cooling		0.00
Energy need for DHW production		0.00
Module B	9432.38	
Module C	Concrete of floors	6.29
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	1.18
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	4.83
Module C	13.07	
Module D	Concrete of floors	-0.12
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	-0.05
	Steel beams	0.00
	Steel columns	0.00
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	-27.43
Module D	-27.69	
Total A to C	Total A to C	9628.16
Total A to D	Total A to D	9600.47

Nous constatons que les impacts dus à la phase d'utilisation sont une fois encore les plus importants et qu'ils équivalent à ceux des bâtiments en acier industriels.

Les impacts GWP sont détaillés ci-dessous par composant et par module.

Global Warming Potential (tCO₂eq)



Le module A a un impact GWP total de 182,7 t CO₂-eq. Les impacts GWP totaux générés par le système structural équivalent à 79,95 t CO₂-eq, dont 29% imputables aux barres d'armature, comme montré au tableau ci-dessous :

Global Warming Potential

	Module A tCO ₂ eq	Module B tCO ₂ eq	Module C tCO ₂ eq	Module D tCO ₂ eq	Total A to C tCO ₂ eq	Total A to D tCO ₂ eq
Steel total	23.26	0.00	1.18	-0.05	24.44	24.39
Reinforcement	23.26	0.00	1.18	-0.05	24.44	24.39
Concrete total	54.48	0.00	7.06	-0.21	61.54	61.33
Concrete of structure	7.16	0.00	0.77	-0.09	7.93	7.84
Concrete slabs	47.31	0.00	6.29	-0.12	53.61	53.49
Envelope	102.75	0.00	4.83	-27.43	107.58	80.15
Use phase total	0.00	24590.14	0.00	0.00	24590.14	24590.14
Heating	0.00	24590.14	0.00	0.00	24590.14	24590.14
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DHW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transport	2.21	0.00	0.00	0.00	2.21	2.21
Total impact of module	182.70	24590.14	13.07	-27.69	24785.91	24758.22

Le béton du sol représente 26% des impacts GWP totaux du module A.

Le graphique ci-dessous présente les impacts GWP du module B et souligne les bénéfices des matériaux recyclés composant les éléments de l'enveloppe: essentiellement des éléments de structure en acier léger dans les composants de la façade et une tôle d'acier dans le toit.

Le graphique ci-dessous indique les impacts du potentiel GWP du module D et met en évidence les bénéfices de l'utilisation de matériaux recyclés dans les éléments de l'enveloppe: essentiellement des éléments de structure en acier léger dans les composants de la façade et une tôle en acier dans le toit.

Global Warming Potential (tCO₂eq)

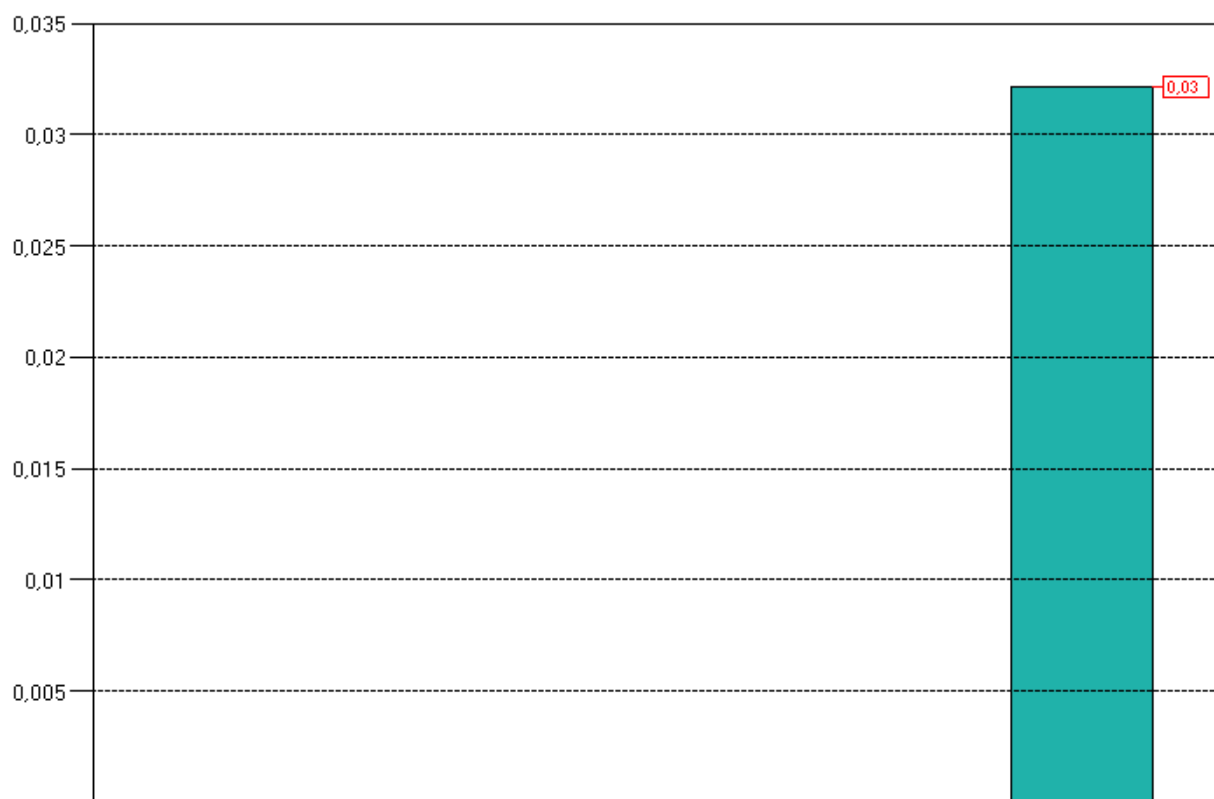


Module D

- | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Concrete of floors | Steel columns | Envelope |
| Steel sheets | Steel studs and bolts | Heating (use phase) |
| Steel reinforcement | Steel plates | Cooling (use phase) |
| Steel beams | Transport | DHW (use phase) |

Les matériaux recyclables représentent 0,03 t, ce qui est inférieur à l'acier S235 du bâtiment (0,33 t).

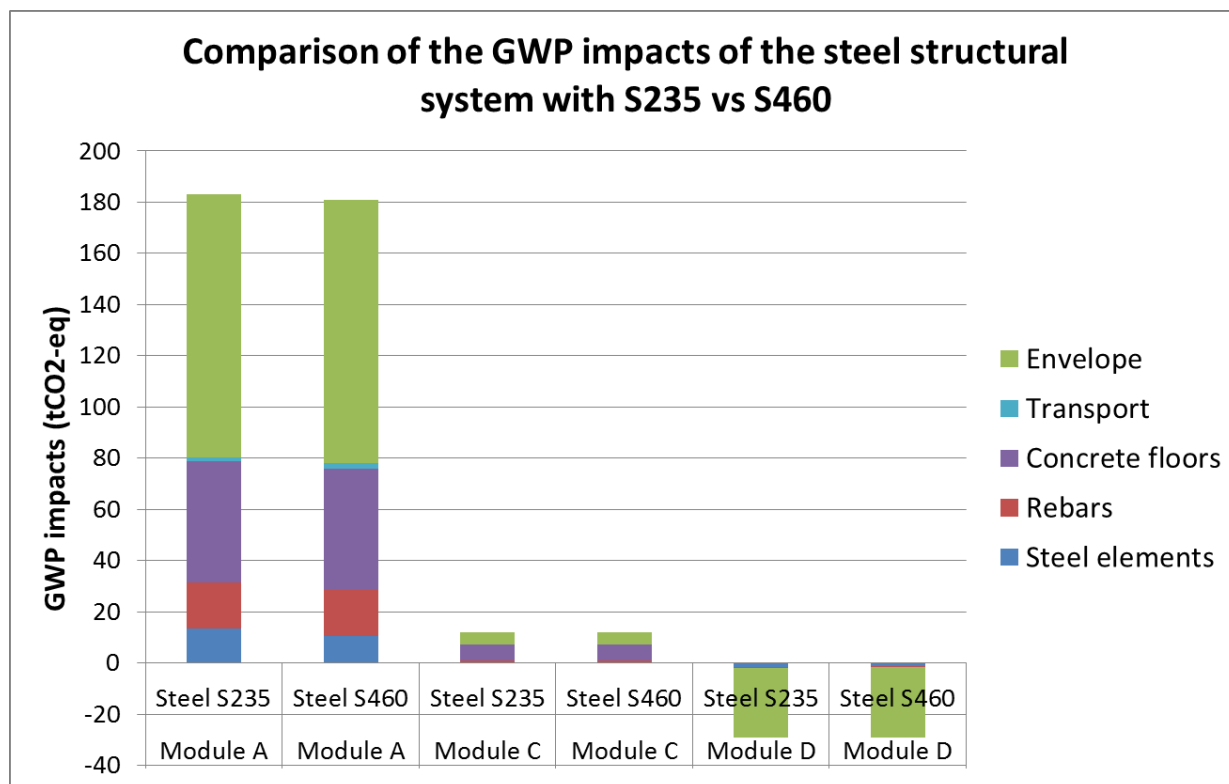
Materials for recycling (t)



<i>Module A</i>		<i>Module B</i>		<i>Module C</i>		<i>Module D</i>	
	Concrete of floors		Steel beams		Wood beams		Heating (use phase)
	Steel sheets		Steel columns		Wood columns		Cooling (use phase)
	Concrete of structure		Steel studs and bolts		Transport		DHW (use phase)
	Steel reinforcement		Steel plates		Envelope		

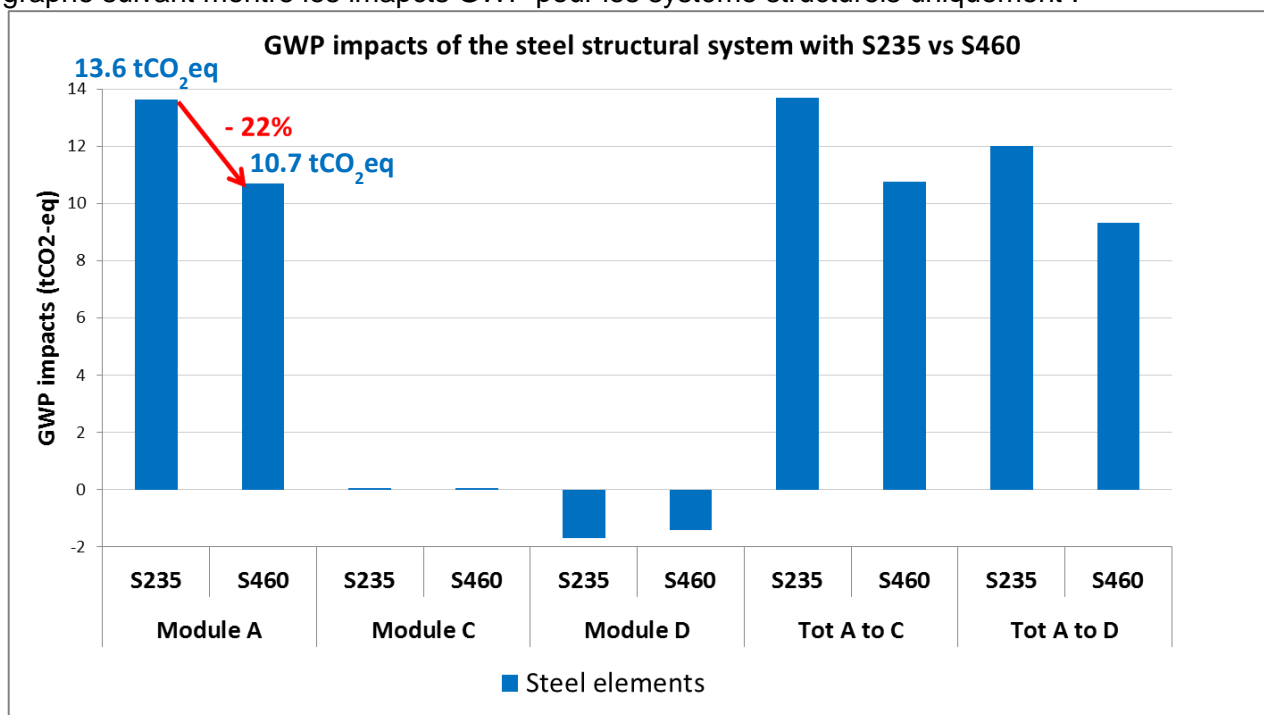
7.3.8.4 Comparaison des impacts GWP entre le système structurel acier S235 vs S460

Le graphe suivant montre les impacts GWP des systèmes de structure en acier S235 et S460 :



On peut y voir que les impacts liés à la production des éléments d’enveloppe compte pour 56% de l’impact total du bâtiment.

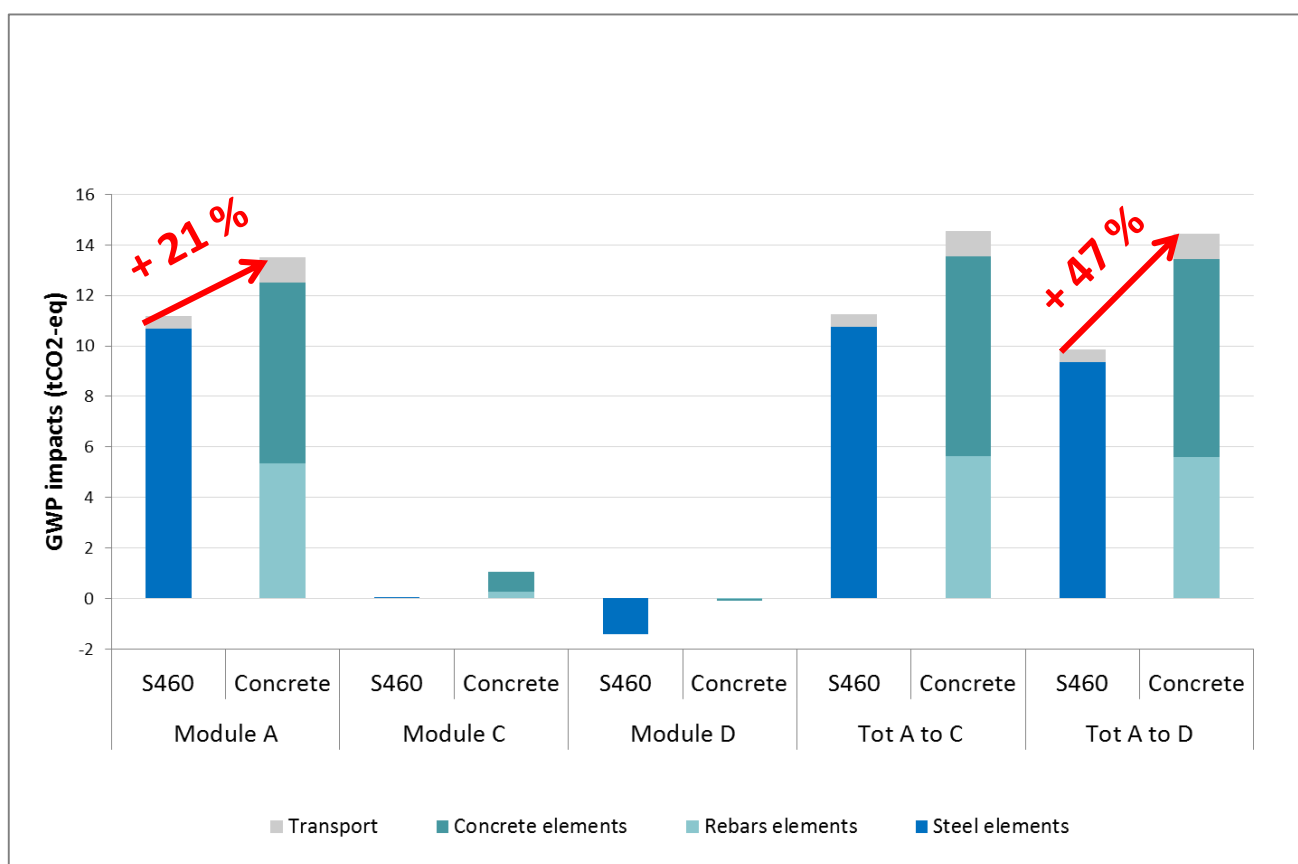
Le graphe suivant montre les impacts GWP pour les systèmes structurels uniquement :



Ce graphe met en évidence que d’augmenter la nuance d’acier permet une réduction totale en poids de 2.3 tonnes de composants de structure et que cela implique une réduction de 22% de t-CO₂ eq pour le module A du système structurel.

7.3.8.5 Comparaison des impacts GWP des structures en acier S460 vs en béton

Le graphique ci-dessous présente la comparaison des impacts GWP totaux du système structural à base d'acier S460 et de béton, dans les modules A, C & D.



Le graphique ci-dessous présente la comparaison des impacts GWP totaux du système structural à

On peut voir que la solution de structure béton implique une augmentation de 47% de l'impact GWP en t-CO2 eq pour les modules A à D, et 21% d'impacts supplémentaires du à la production des matériaux (module A uniquement).

Ceci atteste que les structure en acier faites de profilés laminés à chaud sont moins impactante pour l'environnement que les structures en béton, même si on ne prend pas en compte le recyclage. Grâce au recyclage des matériaux en fin de vie (recyclage infini des matériaux en acier et valorisation du béton concassé), les différences entre l'acier et le béton sont encore plus importantes en faveur de l'acier.

7.3.9 Analyse des avantages environnementaux procurés par une isolation plus épaisse

Comme précisé dans le chapitre précédent, plus de 99% des impacts totaux du GWP au cours de la durée de vie du bâtiment sont imputables à la phase d'utilisation.

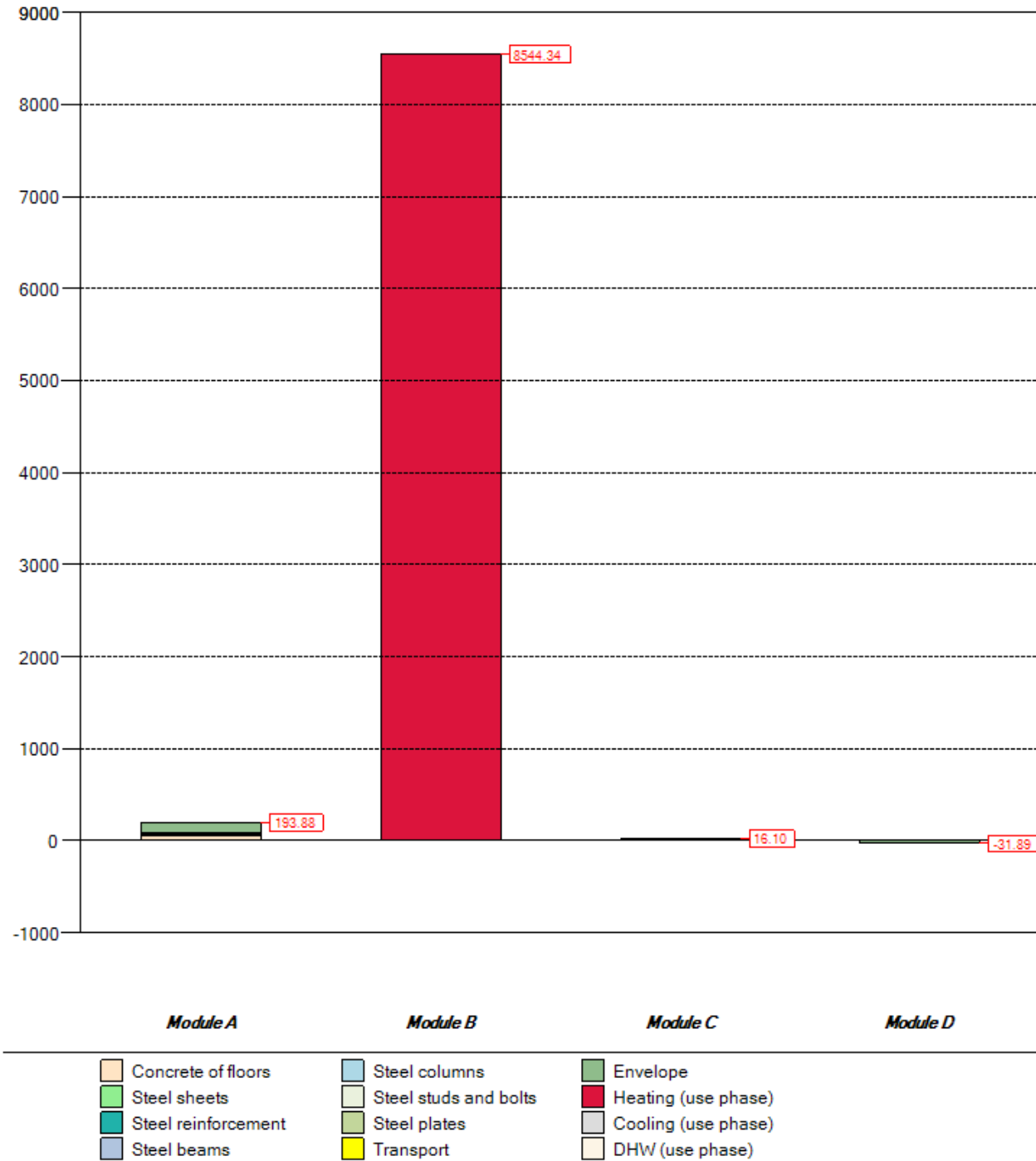
Pour une réduction draconienne des consommations d'énergie et donc des impacts environnementaux du bâtiment, une solution commune est d'améliorer le rendement énergétique des composants de l'enveloppe en augmentant l'épaisseur de l'isolation.

AMECO permet d'analyser facilement les répercussions de telles modifications.

L'épaisseur de l'isolation du composant de la façade (des panneaux sandwich dans le cas présent) de 80 mm a été portée à 200 mm.

Les impacts du GWP pour la phase d'utilisation ont été atténués et permettent une économie nette de 888 tCO₂-eq:

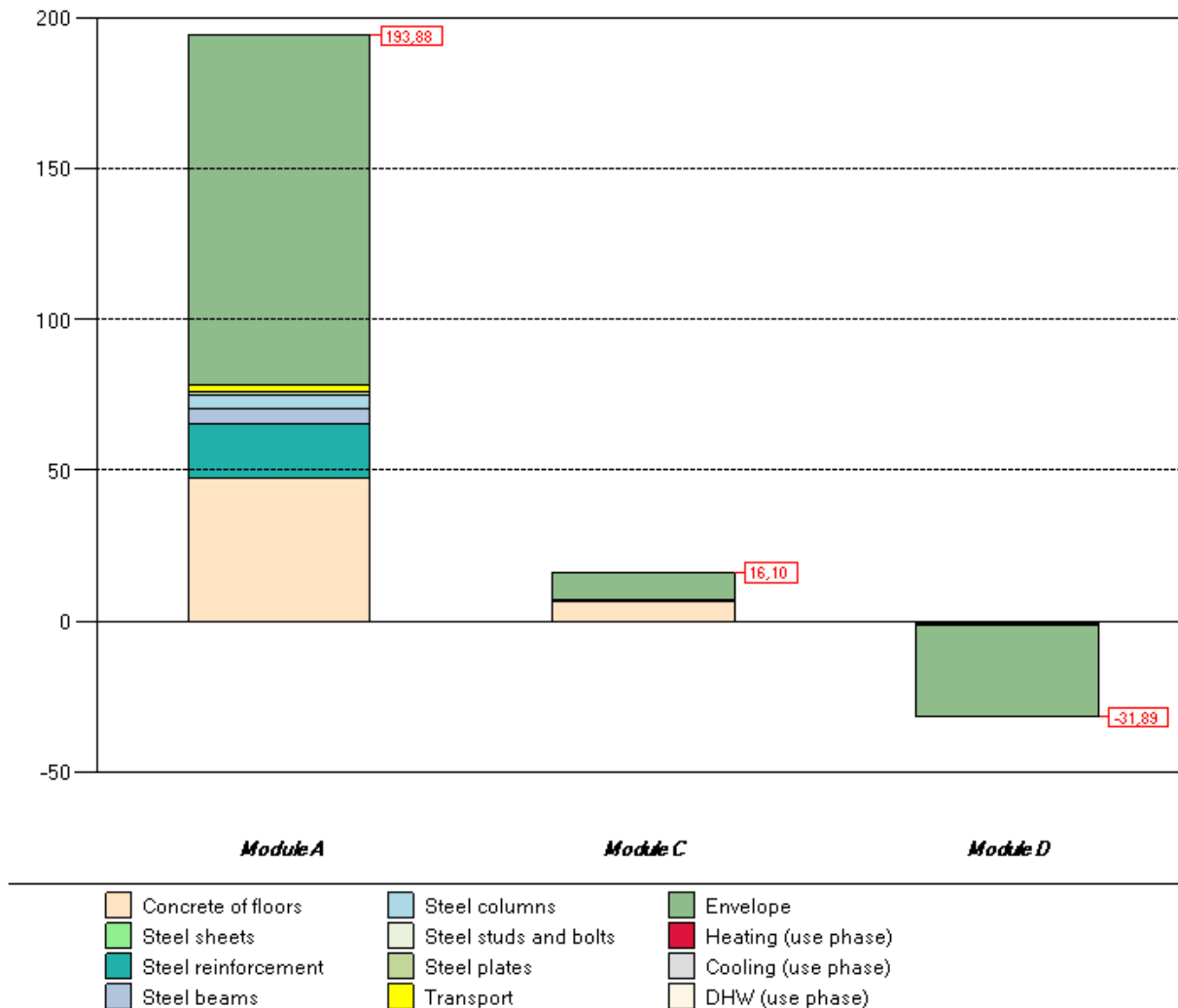
Global Warming Potential (tCO₂eq)



Industrial hall		GWP (tCO ₂ eq)
Module A	Concrete of floors	47.31
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	17.91
	Steel beams	5.00
	Steel columns	4.81
	Steel studs and bolts	0.05
	Plate Connections	0.83
	Transport	2.09
	Envelope	115.87
	Module A	193.88
	Module B	Energy need for space heating
Energy need for space cooling		0.00
Energy need for DHW production		0.00
Module B		8544.34
Module C	Concrete of floors	6.29
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	0.91
	Steel beams	0.03
	Steel columns	0.03
	Steel studs and bolts	0.00
	Plate Connections	0.00
	Transport	0.00
	Envelope	8.85
	Module C	16.10
Module D	Concrete of floors	-0.12
	Steel sheets	0.00
	Steel reinforcement	-0.04
	Steel beams	-0.49
	Steel columns	-0.47
	Steel studs and bolts	-0.02
	Plate Connections	-0.43
	Transport	0.00
	Envelope	-30.33
	Module D	-31.89
Total A to C	Total A to C	8754.33
Total A to D	Total A to D	8722.44

En raison de l'isolation supplémentaire, les impacts totaux du GWP du module A augmentent pour atteindre 193,88 t CO₂-eq, soit une augmentation de 13,12 t CO₂-eq.

Global Warming Potential (tCO₂eq)

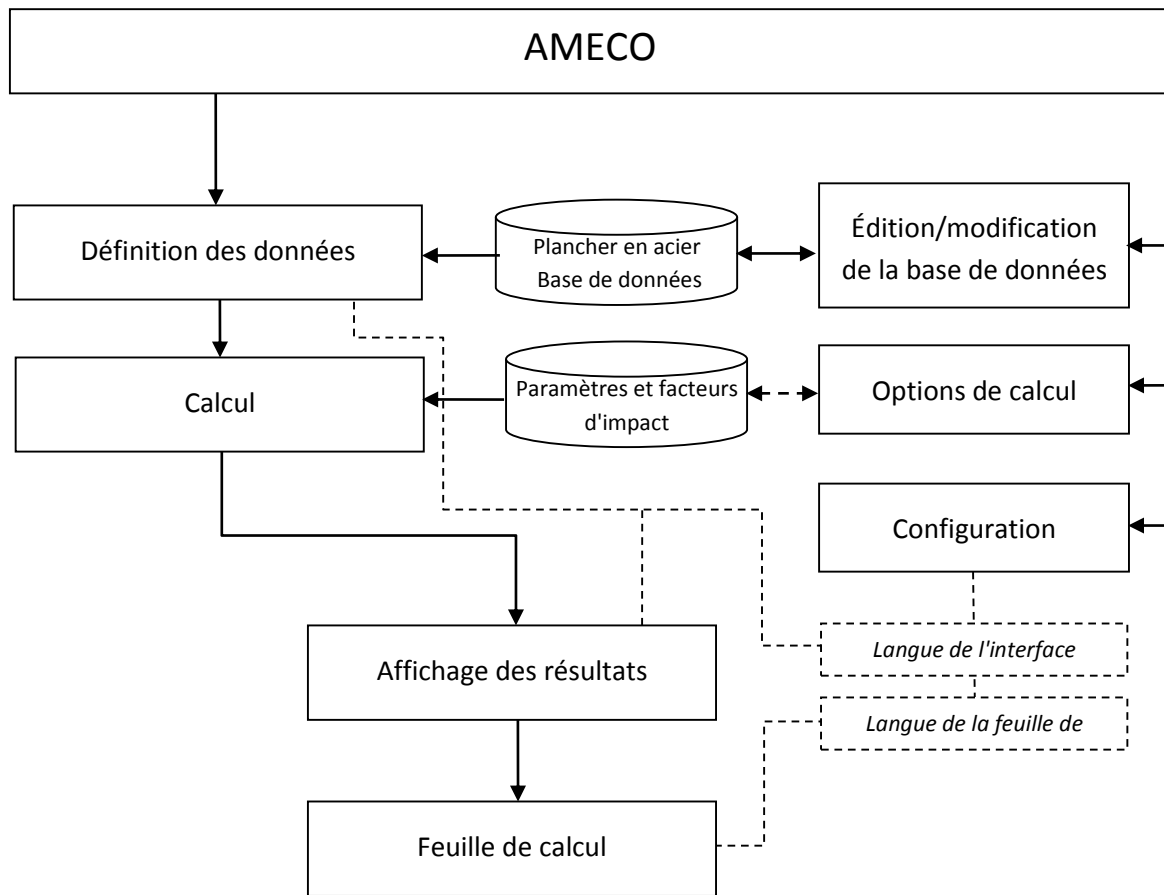


Cela est négligeable par rapport à la réduction de la consommation énergétique, et souligne tout l'intérêt de l'amélioration du rendement énergétique d'un bâtiment.

8 Références

- [1] P-O. MARTIN, AMECO SOFTWARE, Technical Manual, report DRV/10-DRC-107/002-A, CTICM, 2010.
- [2] C. THAUVOYE, AMECO 2 SOFTWARE; Technical and Software Specifications, report DRV/12-DRV-123/001-A, CTICM, 2012.
- [3] P. SANTOS, Excel sheet calculation, Université de Coimbra, 2013
- [4] BIO Intelligence Service, Évaluation de la Qualité Environnementale de Bâtiments Tertiaires – Aspects environnementaux, ArcelorMittal, Juillet 2013

Annex 1. Architecture globale d'Ameco



Annex 2. Tableaux non climatiques

	JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
<i>m</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DuréeMois	2,6784	2,4192	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784
JourMois	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
NbJourFct	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Tableau 11 : DuréeMois [10^6 s], JourMois [jours] et NbJourFct [jours] au cours du mois *m*

Type de bâtiment	Zone 1		Zone 2	
	Étiquette	Défaut %	Étiquette	Défaut %
RB	Espace de vie	40	Autre	60
OB	Espace de bureaux	80	Autre	20
CB	Zone commerciale	60	Autre	40
IB	Hall	80	Autre	20

Tableau 12 : Définition des zones

Type de fermeture	R_{sh} [m ² .K/W]	Perméabilité à l'air		
		Δrh_{high}	Δr_{avg}	Δr_{low}
		[m ² .K/W]		
Pas de fermeture	0,00	0,00	0,00	0,00
Fermeture roulante extérieure en aluminium (pas d'isolation)	0,01	0,00	0,12	0,00
Dispositif opaque extérieur en bois (pas d'isolation)	0,10	0,00	0,16	0,00
Fermeture roulante extérieure en bois (pas d'isolation)	0,10	0,00	0,16	0,00
Fermeture roulante extérieure en plastique (pas d'isolation)	0,10	0,00	0,16	0,00
Stores vénitiens extérieurs en bois	0,01	0,09	0,00	0,00
Stores vénitiens extérieurs métalliques	0,01	0,09	0,00	0,00
Store roulant opaque extérieur	0,01	0,09	0,00	0,00
Store roulant translucide extérieur	0,01	0,09	0,00	0,00
Volet intérieur	0,01	0,00	0,00	0,24
Rideaux opaques intérieurs	0,00	0,00	0,00	0,00
Rideaux transparents intérieurs	0,00	0,00	0,00	0,00
Dispositif en bois opaque intérieur	0,10	0,00	0,00	0,31
Volets roulants en plastique avec garniture en mousse	0,15	0,13	0,19	0,26
Fermetures en bois, de 25 mm à 30 mm d'épaisseur	0,20	0,14	0,22	0,30

Tableau 13 : résistance thermique supplémentaire avec une perméabilité à l'air spécifique des volets

	$\Delta\theta_{er}$
SUBPOLAIRE	9
INTERMÉDIAIRE	11
TROPICAL	13

Tableau 14 : écart moyen entre la température de l'air extérieur et la température du ciel, (ISO 13790)

Type d'ouverture	gn	Valeur U
Double vitrage	0,78	2,9
Double vitrage à faible émissivité (type 1)	0,72	1,7
Double vitrage à faible émissivité (type 2)	0,67	1,4
Double vitrage à faible émissivité (type 3)	0,65	1,2

Tableau 15 : gn-transmission de l'énergie solaire pour un rayonnement perpendiculaire au vitrage et valeur U (source EN 15193)

Macro-composant du mur	Valeur U	km
B2010.20.1a(Laine de roche)	0,296	13391
B2010.20.1b(EPS)	0 296	13391
B2010.20.1c(XPS)	0,296	13391
B2010.20.1d(PUR)	0,296	13391
B2010.20.1e(Liège)	0,296	13391
B2010.20.2a(Laine de roche)	0,305	62047
B2010.20.2b(EPS)	0,305	62047
B2010.20.2c(XPS)	0,305	62047
B2010.20.2d(PUR)	0,305	62047
B2010.20.2e(Liège)	0,305	62047
B2010.20.2f(Laine de verre)	0,305	62047

Tableau 16 : Type de mur

Rendement du système de chauffage	
Résistance électrique	1
Chauffage au combustible gazeux	0,87
Chauffage au combustible liquide	0,8
Chauffage au combustible solide	0,6
Bibloc (chauffage)	4

Tableau 17 : Rendement du système de chauffage

Rendement du système de refroidissement	
Bibloc (refroidissement)	3
Machine frigorifique (cycle à compression)	3
Machine frigorifique (cycle à absorption)	0,8
Pas de refroidissement	0,0

Tableau 18 : Rendement du système de refroidissement

Rendement du système d'eau chaude sanitaire	
Chaudière électrique	0,9
Chaudière au gaz	0,6
Chauffe-eau instantané (condensation)	0,72
Chauffe-eau instantané	0,4
Pas d'eau chaude sanitaire	0,0

Tableau 19 : Rendement du système d'eau chaude sanitaire

Type d'énergie	
Électricité	0,29
Gaz	0,086
Combustible liquide	0,086
Combustible solide	0,086
Biomasse	0

Tableau 20 : Facteur de conversion en énergie primaire en fonction du type d'énergie finale

Type de dispositif d'ombrage	Couleur du dispositif d'ombrage		
	Clair	Intermédiaire	Sombre
Pas de dispositif d'ombrage	1,00	1,00	1,00
Dispositif opaque extérieur en bois (pas d'isolation)	0,03	0,05	0,06
Fermeture roulante extérieure en bois (pas d'isolation)	0,04	0,05	0,07
Fermeture roulante extérieure en aluminium (pas d'isolation)	0,04	0,07	0,09
Fermeture roulante extérieure en plastique (pas d'isolation)	0,04	0,07	0,09
Stores vénitiens extérieurs en bois	0,08	0,08	0,08
Stores vénitiens extérieurs métalliques	0,09	0,09	0,09
Store roulant opaque extérieur	0,04	0,06	0,08
Store roulant translucide extérieur	0,16	0,18	0,2
Volet intérieur	0,47	0,59	0,69
Rideaux opaques intérieurs	0,37	0,46	0,55
Rideaux transparents intérieurs	0,39	0,48	0,58
Dispositif en bois opaque intérieur	0,35	0,46	0,58
Fermetures roulantes extérieures en plastique (avec isolation)	0,04	0,07	0,09
Fermetures en bois, de 25 mm à 30 mm d'épaisseur	0,04	0,05	0,07

Tableau 21 : Transmission de l'énergie solaire de la fenêtre lorsque le dispositif d'ombrage est activé

	λ	ρc
Argile ou limon	1,5	3000000,00
Sable ou gravier	2	2000000,00
Roche homogène	3,5	2000000,00
Par défaut	2	2000000,00

Tableau 22 : Conductivité et capacité thermique du sol (ISO 13370)

Type de protections extérieures	Refroidissement diurne
Aucune protection extérieure	<i>Non</i>
Tout autre type de protection	<i>Oui</i>

Tableau 23 : Valeurs par défaut pour « Refroidissement diurne »

Type de protections extérieures	Chauffage de nocturne
Aucune protection extérieure	<i>Non</i>
Tout autre type de protection	<i>Oui</i>

Tableau 24 : Valeurs par défaut pour « Chauffage nocturne »

Macro-composant du toit	Valeur U	Km
Toiture avec membrane bitumineuse	0.31	22456.0
Macro-composant Toiture 2	0.373	13435.0

Tableau 25 : Macro-composant pour le toit

		Mode de chauffage					Mode de refroidissement					
Dispositifs d'ombrage ON												
Région	a_{H0}	τ_{H0}	$k_{D,cor,H}$	$K_{cor,ve}$	$K_{cor,H}$	$K_{cor,int,H}$	a_{C0}	T_{C0}	$k_{D,cor,C}$	$K_{cor,ve,C}$	$K_{cor,C}$	$K_{cor,int,C}$
Csa	1,00	15,67	1,00	1,00	0,90	0,93	1,20	15,00	1,07	1,00	0,83	0,90
Csb	1,33	15,00	1,00	1,07	0,97	0,93	1,10	15,00	1,03	1,10	0,97	1,00
Cfb	1,33	15,00	0,93	0,83	1,10	1,07	1,30	15,00	1,00	1,00	1,00	1,03
Dfb	1,30	14,67	0,83	0,90	1,25	1,25	1,00	15,00	1,07	1,07	0,97	1,00
Dfc	1,25	14,33	0,83	0,83	1,17	1,50	1,00	15,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dispositifs d'ombrage OFF												
Région	a_{H0}	τ_{H0}	$k_{D,cor,H}$	$K_{cor,ve}$	$K_{cor,H}$	$K_{cor,int,H}$	a_{C0}	T_{C0}	$k_{D,cor,C}$	$K_{cor,ve,C}$	$K_{cor,C}$	$K_{cor,int,C}$
Csa	0,93	15,00	1,00	1,00	1,03	1,03	1,25	15,00	1,17	1,33	0,83	0,90
Csb	1,13	15,00	1,00	0,97	1,03	1,00	0,93	15,00	1,08	1,17	0,87	0,87
Cfb	1,17	15,00	1,00	0,93	1,00	1,03	1,08	15,00	1,08	1,33	0,90	0,87
Dfb	1,33	15,00	0,93	0,87	1,17	1,10	1,20	15,00	1,00	1,00	0,83	0,90
Dfc	1,50	14,00	0,80	0,80	1,07	1,20	1,00	15,00	1,17	1,17	0,92	0,90

Tableau 26 : Facteurs de correction pour chaque région climatique

			BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS					
			Zone 1 (Living et cuisine)			Zone 2 (Autres zones climatisées)		
			De	À	Apport (W/m ²)	De	À	Apport (W/m ²)
OCCUPATION	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	8.0	07.00	17.00	1.0
		Période 2	17.00	23.00	20.0	17.00	23.00	1.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	6.0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	8.0	07.00	17.00	2.0
		Période 2	17.00	23.00	20.0	17.00	23.00	4.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	6.0
ÉCLAIRAGE	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	0	07.00	17.00	0
		Période 2	17.00	23.00	10	17.00	23.00	5
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	10	07.00	17.00	5
		Période 2	17.00	23.00	10	17.00	23.00	5
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0

Tableau 27 : Valeurs par défaut des scénarios pour l'occupation et l'éclairage de bâtiments résidentiels

			IMMEUBLE DE BUREAUX					
			Zone 1: Espaces de bureaux			Zone 2: Autres pièces, vestibules, corridors		
			De	À	Apport (W/m ²)	De	À	Apport (W/m ²)
OCCUPATION	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	20.0	07.00	17.00	8.0
		Période 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	2.0	07.00	17.00	1.0
		Période 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
ÉCLAIRAGE	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	10	07.00	17.00	5
		Période 2	17.00	23.00	5	17.00	23.00	5
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	0	07.00	17.00	0
		Période 2	17.00	23.00	0	17.00	23.00	0
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0

Tableau 28 : Valeurs par défaut des scénarios pour l'occupation et l'éclairage pour les immeubles de bureaux

			BÂTIMENTS COMMERCIAUX					
			Zone 1			Zone 2		
			De	À	Apport	De	À	Apport
OCCUPATION	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	20.0	07.00	17.00	8.0
		Période 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	2.0	07.00	17.00	1.0
		Période 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
ÉCLAIRAGE	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	20.0	07.00	17.00	15
		Période 2	17.00	23.00	0	17.00	23.00	0
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	20	07.00	17.00	15
		Période 2	17.00	23.00	0	17.00	23.00	0
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0

Tableau 29 : Valeurs par défaut des scénarios pour l'occupation et l'éclairage pour les bâtiments commerciaux

			BÂTIMENTS INDUSTRIELS					
			Zone 1			Zone 2		
			De	À	Apport	De	À	Apport
OCCUPATION	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	20.0	07.00	17.00	8.0
		Période 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	2.0	07.00	17.00	1.0
		Période 2	17.00	23.00	2.0	17.00	23.00	1.0
		Période 3	23.00	07.00	2.0	23.00	07.00	1.0
ÉCLAIRAGE	Lundi à vendredi	Période 1	07.00	17.00	13	07.00	17.00	13
		Période 2	17.00	23.00	5	17.00	23.00	5
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0
	Samedi et dimanche	Période 1	07.00	17.00	0	07.00	17.00	0
		Période 2	17.00	23.00	0	17.00	23.00	0
		Période 3	23.00	07.00	0	23.00	07.00	0

Tableau 30 : Valeurs par défaut des scénarios pour l'occupation et l'éclairage pour les bâtiments industriels

Domaines	unité	RB	OB	CB	IB
<i>Température de chauffage</i>	°C	20	20	20	18
<i>Température de refroidissement</i>	°C	26	26	26	26
<i>Débit d'air (chauffage)</i> (valeur minimale pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur)	ac/h	0,60	0,60	0,60	0,60
<i>Débit d'air (refroidissement)</i>	ac/h	1,00	1,00 ^t	1,00 ^t	1,00

Tableau 31 : Valeurs par défaut pour les conditions intérieures

Domaines	RB	OB	CB	IB
<i>Heure de début</i>	17h00	07h00	09h00	08h00
<i>Heure de fin</i>	23h00	17h00	19h00	17h00
<i>Nombre de jours/semaine</i>	7	5	6	5

Tableau 32 : Valeurs par défaut pour les systèmes de chauffage

<i>Type de système de chauffage/de refroidissement</i>	Valeur par défaut ou « <i>Énergie utilisée</i> »
Résistance électrique	Électrique
Chauffage au combustible gazeux	Gaz
Chauffage au combustible liquide	Combustible liquide
Chauffage au combustible solide	Combustible solide
Bibloc (chauffage)	Électricité
Refroidissement bibloc	Électrique
Compression de la machine frigorifique	Électrique
Absorption de la machine frigorifique	Électrique

Tableau 33 : Valeurs par défaut pour l'énergie utilisée pour le chauffage/refroidissement

Domaines	RB	OB	CB	IB
<i>Nombre de jours/semaine</i>	7	5	6	5

Tableau 34 : Valeurs par défaut pour le « Nombre de jours de fonctionnement pour le refroidissement »

<i>Type de système de production d'eau chaude sanitaire</i>	Valeur par défaut ou « <i>Énergie utilisée</i> »
Chaudière électrique	Électrique
Chaudière au gaz	Gaz
Condensation d'un chauffage instantané	Gaz
Chauffage instantané	Gaz

Tableau 35 : Valeurs par défaut pour l'énergie utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire

Annex 3. Tableaux climatiques

Pays: **Portugal**

Latitude: 40

Climat: Intermédiaire

ClimatGeiger: Csb

		JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DEC
Rayonnement solaire incident W/m2	Nord	22,7	33,2	45,1	56,1	69,1	76,9	68,9	57,7	48,1	35,9	27,1	22,0
	Est	55,2	67,5	96,0	122,0	125,5	132,3	132,1	122,5	103,7	75,2	49,9	43,9
	Sud	141,5	128,4	151,6	141,7	113,9	112,5	119,7	147,0	153,8	152,5	111,9	111,8
	Ouest	56,7	66,8	96,4	121,4	126,1	146,8	148,6	144,8	110,6	87,5	48,7	43,0
	Toit	87,8	107,7	170,8	220,7	241,7	277,4	282,7	260,3	197,9	138,4	84,4	69,7
Temp. de l'air [°C]		9,6	11,0	12,7	13,1	15,6	19,0	20,8	21,1	20,6	16,9	12,2	11,2
$f_{H,shut}$ [-]		0,585	0,542	0,484	0,438	0,386	0,375	0,375	0,406	0,471	0,508	0,583	0,590

Tableau 36 : données climatiques pour **Coimbra**

Pays: **Finlande**

Latitude: 61

Climat: Intermédiaire

ClimatGeiger: Dfc

		JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DEC
Rayonnement solaire incident W/m2	Nord	3	12	27	46	70	82	72	56	36	17	6	2
	Est	4	28	48	90	126	140	131	103	59	30	8	4
	Sud	13	85	100	142	159	159	161	138	105	65	22	16
	Ouest	5	31	54	90	129	139	139	101	59	30	8	4
	Toit	7	34	76	139	211	237	224	166	97	46	12	5
Temp. de l'air [°C]		-6,3	-6,7	-2,6	3,0	9,3	13,5	16,6	15,2	9,5	4,6	-1,0	-4,2
$f_{H,shut}$ [-]		0,727	0,616	0,500	0,376	0,267	0,183	0,226	0,328	0,450	0,565	0,693	0,750

Tableau 37 : données climatiques pour **Tampere**

Pays: **Roumanie**

Latitude: 45

Climat: Intermédiaire

ClimatGeiger: Cfb

		JAN	FÉV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DEC
Rayonnement solaire incident W/m2	Nord	19	28	43	57	72	80	74	61	47	34	22	16
	Est	31	52	81	105	132	146	144	130	95	73	40	26
	Sud	80	112	128	129	129	128	141	152	153	155	95	69
	Ouest	32	54	74	102	125	138	141	131	98	76	39	28
	Toit	50	84	136	182	235	266	271	234	168	121	62	43
Temp. de l'air [°C]		0,0	1,5	5,2	10,7	16,8	19,4	22,1	21,4	16,4	11,6	5,7	1,4
$f_{H,shut}$ [-]		0,622	0,546	0,488	0,428	0,366	0,333	0,363	0,388	0,468	0,527	0,583	0,625

Tableau 38 : données climatiques pour **Timisoara**

MOIS	$f_{sh-with}$			
	NORD [-]	EST [-]	SUD [-]	OUEST [-]
JAN	0,00	0,00	0,00	0,00
FÉV	0,00	0,00	0,01	0,00
MAR	0,00	0,00	0,05	0,03
AVR	0,00	0,00	0,09	0,07
MAI	0,00	0,01	0,11	0,10
JUIN	0,00	0,02	0,09	0,11
JUIL	0,00	0,02	0,10	0,11
AOÛT	0,00	0,00	0,09	0,09
SEP	0,00	0,00	0,08	0,05
OCT	0,00	0,00	0,02	0,00
NOV	0,00	0,00	0,00	0,00
DEC	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 39 : f_{shwith} , fraction pondérée du temps d'utilisation du dispositif de protection solaire pour Coïmbra

MONTH	$f_{sh-with}$			
	NORTH [-]	EAST [-]	SOUTH [-]	WEST [-]
JAN	0.00	0.19	0.70	0.20
FÉV	0.00	0.44	0.74	0.40
MAR	0.00	0.50	0.73	0.41
AVR	0.00	0.52	0.65	0.48
MAI	0.00	0.59	0.65	0.54
JUIN	0.00	0.63	0.62	0.59
JUIL	0.00	0.62	0.70	0.62
AOÛT	0.00	0.64	0.76	0.63
SEP	0.00	0.53	0.79	0.57
OCT	0.00	0.48	0.84	0.53
NOV	0.00	0.27	0.70	0.28
DEC	0.00	0.12	0.64	0.17

Tableau 40 : f_{shwith} , fraction pondérée du temps d'utilisation du dispositif de protection solaire pour Timisoara

MONTH	$f_{sh-with}$			
	NORTH [-]	EAST [-]	SOUTH [-]	WEST [-]
JAN	0.00	0.00	0.05	0.00
FÉV	0.00	0.00	0.59	0.00
MAR	0.00	0.00	0.47	0.05
AVR	0.00	0.19	0.54	0.21
MAI	0.00	0.25	0.42	0.24
JUIN	0.00	0.23	0.29	0.22
JUIL	0.00	0.31	0.40	0.35

AOÛT	0.00	0.22	0.32	0.14
SEP	0.00	0.00	0.32	0.00
OCT	0.00	0.00	0.38	0.00
NOV	0.00	0.00	0.44	0.00
DEC	0.00	0.00	0.00	0.00

Tableau 41 : f_{shwith} , fraction pondérée du temps d'utilisation du dispositif de protection solaire pour Tampere

Paramètres des impacts pour le macro-composant

Les 24 impacts environnementaux sont rappelés dans le **Tableau 42**.

Index	Abréviation	Désignation
1	GWP	Potentiel de réchauffement global
2	ODP	Potentiel de destruction de la couche d'ozone
3	PA	Potentiel d'acidification
4	PE	Potentiel d'eutrophisation
5	POCP	Potentiel de formation d'ozone photochimique
6	ADP-e	Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques – éléments
7	ADP-ff	Potentiel d'épuisement des ressources abiotiques – combustibles fossiles
8	RPE	Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières
9	RER	Utilisation des ressources d'énergie renouvelables utilisées en tant que matières premières
10	RPE-Total	Utilisation totale de l'énergie primaire renouvelable (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)
11	Non-RPE	Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières
12	Non-RER	Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées en tant que matières premières
13	Non-RPE-total	Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)
14	SM	Utilisation de matières secondaires
15	RSF	Utilisation de combustibles secondaires renouvelables
16	Non-RSF	Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables
17	NFW	Utilisation nette d'eau douce
18	HWD	Déchets dangereux éliminés
19	Non-HWD	Déchets non dangereux éliminés
20	RWD	Déchets radioactifs éliminés
21	CR	Composantes destinés à la réutilisation
22	MR	Matériaux destinés au recyclage
23	MER	Matériaux destinés à la récupération d'énergie
24	EE	Énergie fournie à l'extérieur

Tableau 42 : Impacts environnementaux

Pour le macro-composant du mur, la valeur zéro est attribuée aux coefficients d'impact suivants: RPE_total, Non_RPE, Non_RER, NonRPE_total, SM, RSF, Non_RSf, HWD, Non_HWD, RWD, CR, MR, MER, EE.

Les coefficients d'impact non nuls pour le macro-composant du mur sont énumérés ci-après.

Macro-composant	Impact	GWP	ODP	PA	PE	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.1a(Laine de roche)	K _{A1A3}	6,50E-02	6,43E-10	2,65E-04	2,41E-05	3,27E-05	3,06E-08	7,09E-01	7,13E-01	1,86E-01	4,53E-02
B2010.20.1a(laine de roche)	K _{A4}	5,86E-05	1,03E-15	2,63E-07	6,05E-08	-8,58E-08	2,19E-12	8,14E-04	8,14E-04	3,19E-05	8,27E-04
B2010.20.1a(laine de roche)	K _{C2}	5,13E-05	8,98E-16	2,28E-07	5,23E-08	-7,40E-08	1,92E-12	7,12E-04	7,12E-04	2,79E-05	7,23E-04
B2010.20.1a(laine de roche)	K _{C4}	4,94E-04	9,24E-14	7,35E-07	1,13E-07	1,91E-07	4,32E-11	1,68E-03	1,68E-03	1,25E-04	2,46E-03
B2010.20.1a(laine de roche)	K _D	-1,73E-02	3,41E-10	-4,81E-05	-1,17E-06	-1,13E-05	-2,10E-07	-3,05E-01	-3,14E-01	9,76E-03	9,10E-03
B2010.20.1b(EPS)	K _{A1A3}	5,18E-02	8,13E-10	1,44E-04	1,03E-05	6,33E-05	2,82E-08	6,75E-01	6,81E-01	1,73E-01	-2,27E-02
B2010.20.1b(EPS)	K _{A4}	5,17E-05	9,05E-16	2,32E-07	5,34E-08	-7,57E-08	1,93E-12	7,18E-04	7,18E-04	2,81E-05	7,29E-04
B2010.20.1b(EPS)	K _{C2}	4,33E-05	7,57E-16	1,92E-07	4,41E-08	-6,24E-08	1,62E-12	6,00E-04	6,00E-04	2,35E-05	6,10E-04
B2010.20.1b(EPS)	K _{C4}	6,79E-03	8,54E-14	8,87E-07	1,50E-07	1,70E-07	5,61E-11	1,84E-03	1,84E-03	1,38E-04	1,39E-02
B2010.20.1b(EPS)	K _D	-2,22E-02	3,41E-10	-7,24E-05	-2,60E-06	-1,27E-05	-2,10E-07	-3,70E-01	-3,78E-01	9,55E-03	2,86E-03
B2010.20.1c(XPS)	K _{A1A3}	5,52E-02	6,41E-10	1,53E-04	1,09E-05	3,16E-05	2,99E-08	7,89E-01	7,93E-01	1,79E-01	4,28E-02
B2010.20.1c(XPS)	K _{A4}	6,00E-05	1,05E-15	2,69E-07	6,20E-08	-8,79E-08	2,24E-12	8,33E-04	8,33E-04	3,27E-05	8,47E-04
B2010.20.1c(XPS)	K _{C2}	4,94E-05	8,65E-16	2,19E-07	5,04E-08	-7,13E-08	1,84E-12	6,85E-04	6,85E-04	2,69E-05	6,97E-04
B2010.20.1c(XPS)	K _{C4}	1,07E-02	1,04E-13	1,16E-06	2,01E-07	2,06E-07	7,46E-11	2,36E-03	2,36E-03	1,78E-04	2,14E-02
B2010.20.1c(XPS)	K _D	-2,52E-02	3,41E-10	-8,70E-05	-3,46E-06	-1,36E-05	-2,10E-07	-4,08E-01	-4,17E-01	9,42E-03	-8,93E-04
B2010.20.1d(PUR)	K _{A1A3}	6,70E-02	6,44E-10	1,66E-04	1,43E-05	2,81E-05	8,52E-08	9,22E-01	9,25E-01	1,92E-01	1,27E-01
B2010.20.1d(PUR)	K _{A4}	6,00E-05	1,05E-15	2,69E-07	6,20E-08	-8,79E-08	2,24E-12	8,33E-04	8,33E-04	3,27E-05	8,47E-04
B2010.20.1d(PUR)	K _{C2}	4,94E-05	8,65E-16	2,19E-07	5,04E-08	-7,13E-08	1,84E-12	6,85E-04	6,85E-04	2,69E-05	6,97E-04
B2010.20.1d(PUR)	K _{C4}	7,11E-03	1,30E-13	3,30E-06	7,68E-07	3,15E-07	7,64E-11	3,02E-03	3,02E-03	1,89E-04	1,75E-02
B2010.20.1d(PUR)	K _D	-2,22E-02	3,41E-10	-7,23E-05	-2,60E-06	-1,27E-05	-2,10E-07	-3,70E-01	-3,78E-01	9,55E-03	2,86E-03
B2010.20.1e(Liège)	K _{A1A3}	5,39E-02	6,40E-10	1,60E-04	1,55E-05	2,50E-05	2,72E-08	5,78E-01	5,82E-01	3,90E-01	6,91E-02
B2010.20.1e(Liège)	K _{A4}	9,34E-05	1,64E-15	4,19E-07	9,64E-08	-1,37E-07	3,49E-12	1,30E-03	1,30E-03	5,08E-05	1,32E-03
B2010.20.1e(Liège)	K _{C2}	4,28E-05	7,49E-16	1,90E-07	4,37E-08	-6,17E-08	1,60E-12	5,94E-04	5,94E-04	2,33E-05	6,03E-04
B2010.20.1e(Liège)	K _{C4}	3,98E-04	7,44E-14	5,92E-07	9,07E-08	1,54E-07	3,48E-11	1,36E-03	1,36E-03	1,01E-04	1,98E-03
B2010.20.1e(Liège)	K _D	-1,73E-02	3,41E-10	-4,81E-05	-1,17E-06	-1,13E-05	-2,10E-07	-3,05E-01	-3,14E-01	9,76E-03	9,10E-03

LVS3 – Valorisation de la contribution des structures en acier au développement durable *Guide de conception*

Macro-composant	Impact	GWP	ODP	PA	PE	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.2a(Laine de roche)	k _{A1A3}	8,12E-02	3,62E-12	1,33E-04	1,58E-05	1,21E-05	4,00E-09	6,11E-01	6,11E-01	1,02E-01	1,56E-01
B2010.20.2a(Laine de roche)	k _{A4}	3,67E-04	6,43E-15	1,65E-06	3,79E-07	-5,37E-07	1,37E-11	5,10E-03	5,10E-03	2,00E-04	5,18E-03
B2010.20.2a(Laine de roche)	k _{C2}	3,21E-04	5,62E-15	1,43E-06	3,28E-07	-4,64E-07	1,20E-11	4,46E-03	4,46E-03	1,75E-04	4,53E-03
B2010.20.2a(Laine de roche)	k _{C4}	1,78E-02	3,32E-12	2,64E-05	4,04E-06	6,86E-06	1,55E-09	6,05E-02	6,05E-02	4,50E-03	8,83E-02
B2010.20.2a(Laine de roche)	k _D	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
B2010.20.2b(EPS)	k _{A1A3}	7,46E-02	8,86E-11	7,23E-05	8,96E-06	2,74E-05	2,81E-09	5,94E-01	5,96E-01	9,56E-02	1,22E-01
B2010.20.2b(EPS)	k _{A4}	3,58E-04	6,27E-15	1,61E-06	3,70E-07	-5,24E-07	1,34E-11	4,97E-03	4,97E-03	1,95E-04	5,05E-03
B2010.20.2b(EPS)	k _{C2}	3,13E-04	5,48E-15	1,39E-06	3,20E-07	-4,52E-07	1,17E-11	4,35E-03	4,35E-03	1,70E-04	4,42E-03
B2010.20.2b(EPS)	k _{C4}	2,09E-02	3,31E-12	2,65E-05	4,06E-06	6,85E-06	1,56E-09	6,06E-02	6,06E-02	4,50E-03	9,40E-02
B2010.20.2b(EPS)	k _D	-2,46E-03	-4,97E-14	-1,22E-05	-7,17E-07	-7,02E-07	-4,49E-11	-3,21E-02	-3,21E-02	-1,06E-04	-3,12E-03
B2010.20.2c(XPS)	k _{A1A3}	7,63E-02	3,00E-12	7,67E-05	9,23E-06	1,15E-05	3,64E-09	6,51E-01	6,51E-01	9,88E-02	1,55E-01
B2010.20.2c(XPS)	k _{A4}	3,59E-04	6,29E-15	1,61E-06	3,71E-07	-5,25E-07	1,34E-11	4,98E-03	4,98E-03	1,95E-04	5,06E-03
B2010.20.2c(XPS)	k _{C2}	3,14E-04	5,50E-15	1,39E-06	3,20E-07	-4,53E-07	1,17E-11	4,36E-03	4,36E-03	1,71E-04	4,43E-03
B2010.20.2c(XPS)	k _{C4}	2,29E-02	3,32E-12	2,66E-05	4,09E-06	6,87E-06	1,57E-09	6,08E-02	6,08E-02	4,52E-03	9,78E-02
B2010.20.2c(XPS)	k _D	-3,94E-03	-7,96E-14	-1,95E-05	-1,15E-06	-1,12E-06	-7,18E-11	-5,14E-02	-5,14E-02	-1,70E-04	-5,00E-03
B2010.20.2d(PUR)	k _{A1A3}	8,22E-02	4,11E-12	8,33E-05	1,09E-05	9,80E-06	3,13E-08	7,17E-01	7,17E-01	1,05E-01	1,97E-01
B2010.20.2d(PUR)	k _{A4}	3,59E-04	6,29E-15	1,61E-06	3,71E-07	-5,25E-07	1,34E-11	4,98E-03	4,98E-03	1,95E-04	5,06E-03
B2010.20.2d(PUR)	k _{C2}	3,14E-04	5,50E-15	1,39E-06	3,20E-07	-4,53E-07	1,17E-11	4,36E-03	4,36E-03	1,71E-04	4,43E-03
B2010.20.2d(PUR)	k _{C4}	2,11E-02	3,34E-12	2,77E-05	4,37E-06	6,92E-06	1,57E-09	6,12E-02	6,12E-02	4,53E-03	9,58E-02
B2010.20.2d(PUR)	k _D	-2,46E-03	-4,99E-14	-1,21E-05	-7,15E-07	-7,02E-07	-4,52E-11	-3,22E-02	-3,22E-02	-1,07E-04	-3,12E-03
B2010.20.2e(Liège)	k _{A1A3}	7,57E-02	2,30E-12	8,06E-05	1,16E-05	8,25E-06	2,27E-09	5,46E-01	5,46E-01	2,04E-01	1,68E-01
B2010.20.2e(Liège)	k _{A4}	3,62E-04	6,35E-15	1,63E-06	3,74E-07	-5,30E-07	1,35E-11	5,03E-03	5,03E-03	1,97E-04	5,11E-03
B2010.20.2e(Liège)	k _{C2}	3,17E-04	5,55E-15	1,41E-06	3,23E-07	-4,57E-07	1,18E-11	4,40E-03	4,40E-03	1,72E-04	4,47E-03
B2010.20.2e(Liège)	k _{C4}	1,77E-02	3,31E-12	2,63E-05	4,03E-06	6,84E-06	1,55E-09	6,03E-02	6,03E-02	4,48E-03	8,80E-02
B2010.20.2e(Liège)	k _D	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Macro-composant	Impact	GWP	ODP	PA	PE	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	NFW
B2010.20.2f(Laine de verre)	k _{A1A3}	7,81E-02	3,81E-12	9,80E-05	1,33E-05	8,60E-06	6,07E-07	6,13E-01	6,13E-01	1,05E-01	1,68E-01
B2010.20.2f(Laine de verre)	k _{A4}	3,61E-04	6,32E-15	1,62E-06	3,73E-07	-5,28E-07	1,35E-11	5,01E-03	5,01E-03	1,96E-04	5,09E-03
B2010.20.2f(Laine de verre)	k _{C2}	3,16E-04	5,53E-15	1,40E-06	3,22E-07	-4,56E-07	1,18E-11	4,38E-03	4,38E-03	1,72E-04	4,45E-03
B2010.20.2f(Laine de verre)	k _{C4}	1,77E-02	3,31E-12	2,63E-05	4,03E-06	6,83E-06	1,55E-09	6,03E-02	6,03E-02	4,48E-03	8,80E-02
B2010.20.2f(Laine de verre)	k _D	5,96E-04	-7,23E-12	3,71E-07	1,04E-06	1,78E-07	1,03E-12	1,80E-04	1,85E-04	-7,20E-05	-1,53E-03

En ce qui concerne le macro-composant de l'ouverture, les coefficients d'impact sont identiques pour tous les types d'ouverture. En outre, les coefficients d'impact sont nuls pour le transport dans le module A (noté k_{A4}), pour l'élimination dans le module C (noté k_{C4}) et pour les bénéfices dans le module D (noté k_D).

Les impacts non nuls pour le macro-composant de l'ouverture sont énumérés ci-après.

impact	GWP	ODP	PA	PE	POCP	ADP_e	ADP_ff	RPE	RER	RPE_total	Non_RPE	Non_RER
k _{A1A3}	1,39E-01	2,11E-12	5,98E-04	1,09E-04	5,02E-05	8,85E-07	1,64E+00	6,72E-02	0,00E+00	6,72E-02	1,71E+00	1,53E-02
k _{C2}	3,52E-04	4,82E-15	2,24E-06	3,07E-07	2,10E-07	1,33E-10	4,63E-03	3,99E-04	0,00E+00	3,99E-04	4,84E-03	0,00E+00

impact	NonRPE_total	SM	RSF	Non_RSF	NFW	HWD	Non_HWD	RWD	CR	MR	MER	EE
k _{A1A3}	1,73E+00	0,00E+00	2,14E-05	1,97E-04	6,22E-04	0,00E+00	2,25E-01	3,36E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
k _{C2}	4,84E-03	0,00E+00	8,67E-06	1,87E-05	2,64E-06	0,00E+00	2,68E-02	8,47E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00