

Sméo

Société à 2000 watts

Ce document vise à définir la démarche et les hypothèses retenues pour l'évaluation des projets par rapport aux objectifs de la société à 2000 watts, selon le cahier technique SIA 2040 : « La voie SIA vers l'efficacité énergétique ». La consommation énergétique inclut l'énergie grise, les énergies d'exploitation (chauffage, eau chaude sanitaire, électricité et climatisation) et la mobilité induite.

| | |
|----------------|---|
| MO | Equipe SméO Bâtiment – Canton de Vaud & Ville de Lausanne |
| Auteurs | Ville de Lausanne - Section durabilité & économie de la construction : Mme Adeline Fabris-Donzel - M. Ulrick Liman Ville de Lausanne & Laboratoire d'architecture et technologies durables (EPFL) : Maria Gracia Riera Etat de Vaud – SIPAL : Mlle Camille Ortlieb – M. Yves Roulet |
| Version | 1 |
| Date | 14 mars 2014 |

Table des matières

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Préambule | 3 |
| 2 | Energie grise | 4 |
| | 2.1 Méthodologie | 4 |
| | 2.2 Calcul de la valeur de projet | 5 |
| | 2.2.1 Surfaces non chauffées | 5 |
| | 2.2.2 Surfaces chauffées | 6 |
| | 2.3 Evaluation | 9 |
| 3 | Energie d'exploitation | 10 |
| | 3.1 Méthodologie | 10 |
| | 3.2 Calcul de la valeur de projet | 10 |
| | 3.2.1 Chaleur : chauffage et eau chaude sanitaire | 10 |
| | 3.2.2 Electricité | 11 |
| | 3.3 Evaluation | 12 |
| | 3.3.1 Valeurs cibles, valeurs limites | 12 |
| | 3.3.2 Potentiel d'amélioration du projet | 13 |
| 4 | Mobilité | 15 |
| | 4.1 Méthodologie | 15 |
| | 4.2 Calcul de la valeur de projet | 16 |
| | 4.2.1 Démarche appliquée pour la génération des valeurs de référence | 16 |
| | 4.2.2 Synthèse des valeurs de référence prises en compte dans SméO | 17 |
| | 4.2.3 Facteurs de correction | 19 |
| | 4.2.4 Surfaces moyennes par personne | 21 |
| | 4.3 Evaluation | 21 |
| 5 | Annexes | 24 |
| | 5.1 Emissions des gaz à effet de serre et ecopoints (UBP) | 24 |
| | 5.1.1 Façades | 24 |
| | 5.1.2 Dalles inférieures | 24 |
| | 5.1.3 Dalles d'étage courant | 25 |
| | 5.1.4 Toiture | 25 |
| | 5.1.5 Murs intérieurs | 26 |
| | 5.1.6 Installations techniques | 26 |
| | 5.1.7 Valeurs cibles / Valeur limites GES et UBP énergie grise | 27 |
| | 5.1.8 Valeurs cibles / Valeur limites GES et UBP énergie d'exploitation | 28 |
| 6 | Références | 29 |

1 Préambule

La réduction de la consommation énergétique et le recours à des sources d'énergie renouvelable constituent des axes majeurs de la stratégie énergétique de la Confédération. Le concept de « Société à 2'000 watts », développé par les Ecoles Polytechniques Fédérales en 1990, propose d'atteindre une consommation correspondant à une puissance disponible moyenne de 2'000 watts par personne pour satisfaire l'ensemble des besoins énergétiques de la société, lorsque la moyenne suisse 2010 représente 6'300 watts dont 80% d'origine fossile. Le second objectif est de réduire les émissions annuelles de gaz à effet de serre d'un facteur 9 en les limitant à seulement 1 tonne par personne et par an, notamment en augmentant le recours aux énergies renouvelables de manière à ce qu'elles couvrent environ 75% des consommations énergétiques. La SIA (Société suisse des ingénieurs et des architectes) produit des normes et des recommandations permettant une meilleure efficacité énergétique et une réduction des consommations. A ce titre, la SIA 2040 « La voie SIA vers l'efficacité énergétique » revêt une importance particulière car elle fixe des valeurs cibles pour le domaine du bâtiment en termes d'énergie primaire non renouvelable et d'émissions de gaz à effet de serre dans l'objectif d'une société à 2'000 watts. Sur les 2'000 watts devant satisfaire l'ensemble des besoins énergétiques de la société (habitat, industrie, tourisme, agriculture, transports, etc.), la part réservée au secteur du bâtiment est de 840 watts environ. Afin d'atteindre le facteur 3 de réduction visé il est nécessaire avant tout de réduire nos besoins en énergie tout en substituant au maximum l'apport en énergies fossiles par des énergies renouvelables.

Sméo est un outil d'aide à la décision visant une intégration holistique de la durabilité des projets. A ce titre, il est important de préciser qu'il s'appuie sur les normes et recommandations de la SIA dans le but d'évaluer les projets selon l'état de l'art, et ce sans se substituer aux outils métiers qui pourront être utilisés en appui de cette démarche. S'agissant des aspects énergétiques, Sméo permet d'estimer, dès la phase d'esquisse d'un projet, la compatibilité de bâtiments ou de quartiers avec la Société 2'000 watts. Ce diagnostic peut-être établi pour des bâtiments et des quartiers, qu'ils soient mono ou multi-affectés. Pour se faire, Sméo adapte les cibles 2'000 watts en fonction :

- du type de travaux (construction, rénovation, transformation);
- des proportions de chaque affectation;
- de la diversité des époques de construction (avant ou après 2000) des différents objets observés, traitant ainsi le cas des planifications de quartiers devant être à la fois transformés et densifiés.

La compatibilité avec la société à 2'000 watts est évaluée dans la page « résultats détaillés ». Sméo évalue non seulement la consommation d'énergie primaire non renouvelable (NRE) et les émissions des gaz à effet de serre (GWP), mais également les unités de charge écologique (UBP). L'évaluation Hermione du macro-critère Energie est l'agrégation de différents critères qualitatifs et quantitatifs, dont les impacts environnementaux des énergies d'exploitation (NRE et GWP), en relation aux cibles 2'000 watts. Les impacts environnementaux de la mobilité sont évalués sous le critère « Viabilité » parallèlement aux différents aspects liés à la mobilité.

De manière à simplifier l'évaluation des projets, Sméo propose un certain nombre de valeurs par défaut issues de calculs simplifiés (écobilan, besoins de chauffage, etc.). Comme évoqué précédemment, ce sont des estimations qui devront être consolidées au fur et à mesure du développement des projets, en faisant appel aux outils métiers référents dans le domaine de l'énergie. A cette fin, toutes les valeurs par défaut proposées par Sméo peuvent être forcées par l'utilisateur qui aurait en sa possession des valeurs affinées issues de calculs externes.

2 Energie grise

Le cahier technique SIA 2032 « L'énergie grise des bâtiments » pose les fondements de l'évaluation de l'impact environnemental des matériaux sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment : construction, rénovation et élimination. Il définit une méthode de calcul de l'énergie grise dans le cas de constructions et de transformations. De manière à pouvoir additionner l'impact des matériaux et celui des énergies d'exploitation, cette méthode définit un amortissement annuel en considérant la durée d'utilisation de chaque élément de construction et une durée de vie globale du bâtiment de 60 ans.

2.1 Méthodologie

Pour simplifier l'évaluation 2'000 watts, un module de calcul basé sur la SIA 2032 et permettant d'estimer l'énergie grise des bâtiments, a été intégré à SméO.

S'agissant des constructions neuves, cet écobilan est structuré de manière à distinguer l'impact des surfaces non chauffées (p.ex. parkings, caves, locaux techniques) de celles qui sont chauffées, ces dernières étant définies comme celles comprises dans l'enveloppe thermique du bâtiment. L'écobilan est établi en choisissant le mode constructif pour chaque macroélément de construction : façades, toitures, type de vitrage, etc. (figure 1). Cette méthode de calcul simplifiée permet d'avoir un aperçu rapide dans les premières phases de projet. L'évaluation finale devra ensuite être réalisée au moyen des outils métiers existants (Lesosai, Eco-bat, outil en ligne bauteilkatalog, ...) afin de considérer les spécificités de chaque projet.

Cette méthode n'est pas proposée dans le cas de projets de rénovation ou de transformation car ces travaux peuvent être d'une grande diversité. Néanmoins, une valeur par défaut correspondant à la valeur limite (125% de la valeur cible, cf. 2.3) est proposée dans l'évaluation. Elle devra être vérifiée au moyen des outils métiers existants.

ÉNERGIE GRISE

SURFACES NON CHAUFFÉES*

SURFACE TOTALE DE RADIER [m²]

PERIMETRE TOTAL DE RADIER [m]

NOMBRE MOYEN DE NIVEAUX [-]

LES CONSTRUCTIONS SONT MAJORITAIREMENT

LES CONSTRUCTIONS EN SOUS-SOL SE TROUVENT MAJORITAIREMENT SOUS L'EMPRISE DES BÂTIMENTS

SURFACES CHAUFFÉES*

| | MODE CONSTRUCTIF 1 | MODE CONSTRUCTIF 2 | MODE CONSTRUCTIF 3 |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------|
| PART DES SP REALISEE SELON [%] | <input type="text" value="100"/> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> |
| FAÇADES* | Ventilée (BA 18cm) <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | Uta (0.11 W/m ² .K) <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| DALLE INFÉRIEURE* | XPS + BA 30cm + <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | Uta contre non ch <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| DALLES D'ETAGE COURANT* | BA 26cm + EPS 3 <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| TOITURE* | BA 20cm + EPS + <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | Uta (0.09 W/m ² .K) <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| MURS INTERIEURS | DENSITÉ DE CLOISONNEMENT | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | CONSTRUCTION | Lourde <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | PROTECTION PHONIQUE | Moyenne <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| FENÊTRES | VITRAGE | Triple vitrage <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | CADRE | Cadre PVC <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | TAUX DE VITRAGES EN FAÇADE* [%] | <input type="text" value="30"/> | <input type="text" value="0"/> |
| INSTALLATIONS TECHNIQUES | Bâtiment Minergie <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Figure 1 - Capture d'écran de la page Données Générales

2.2 Calcul de la valeur de projet

2.2.1 Surfaces non chauffées

L'énergie grise des surfaces non chauffées est composée de l'énergie grise des radiers, des murs contre/hors terre, des murs porteurs, des dalles intermédiaires et de la toiture. Pour son évaluation, SméO identifie la surface de chaque élément à partir des données du projet, puis calcule son impact environnemental grâce aux impacts par unité de surface qui se trouvent dans le tableau 1.

| Élément | NRE [MJ/m ² .an] | GWP [kgCO ₂ /m ² .an] | UBP [UBP/m ² .an] |
|--------------------------------|-----------------------------|---|------------------------------|
| Radier | 19.15 | 2.01 | 2'555 |
| Murs contre terre | 27.68 | 2.55 | 2'782 |
| Murs parking hors sol | 14.95 | 0.96 | 1'648 |
| Murs porteurs sous-sol | 11.73 | 1.25 | 1'887 |
| Dalles intermédiaires sous-sol | 13.61 | 1.59 | 2'158 |
| Toiture contre terre | 19.07 | 1.86 | 2'401 |

Tableau 1- Impacts par m² de surface d'élément

2.2.2 Surfaces chauffées

L'énergie grise des surfaces chauffées du bâtiment est composée de l'énergie grise des façades, de la dalle inférieure, des dalles d'étage courant, de la toiture, des murs intérieurs, des fenêtres. Les impacts environnementaux des différents éléments sont calculés à partir de leur surface, du mode constructif choisi et de la performance thermique projetée. L'outil propose plusieurs modes constructifs pour chaque élément. Les différentes options sont présentées aux tableaux 2 et 3.

| Façade | Dalle inférieure | Dalle d'étage | Toiture |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Préfabriquée (BA 18cm/PUR/BA 8cm) | XPS + BA 22cm + EPS 3cm + Chape 7cm | BA 22cm + EPS 3cm + chape 7cm | BA 20cm + EPS + étanchéité |
| Ventilée (BA 18cm/EPS/Eternit) | XPS + BA 24cm + EPS 3cm + Chape 7cm | BA 24cm + EPS 3cm + chape 7cm | BA 22cm + EPS + étanchéité |
| Isolation périphérique (BA 18cm/EPS/Crépi) | XPS + BA 26cm + EPS 3cm + Chape 7cm | BA 26cm + EPS 3cm + chape 7cm | BA 24cm + EPS + étanchéité |
| Ossature bois (BLC/laine de pierre/crépi) | XPS + BA 30cm + EPS 3cm + Chape 7cm | BA 30cm + EPS 3cm + chape 7cm | Bois 18cm + EPS + étanchéité |
| | XPS + BA 50cm + EPS 3cm + Chape 7cm | Bois-béton 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | |
| | | Bois 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | |

Tableau 2 - Eléments types pour le calcul de l'énergie grise de la construction hors-sol (BA : béton armé, PUR : polyuréthane, EPS : polystyrène expansé, BLC : bois lamellé collé, XPS : polystyrène extrudé)

| Façades et toiture | Dalle inférieure |
|-------------------------------------|--|
| U_{li} (0.2 W/m ² .K) | U_{li} contre extérieur (0.2 W/m ² .K) |
| U_{ta} (0.11 W/m ² .K) | U_{li} contre non chauffé (0.28 W/m ² .K) |
| | U_{ta} contre extérieur (0.11 W/m ² .K) |
| | U_{ta} contre non chauffé (0.15 W/m ² .K) |

Tableau 3 - Eléments types proposés pour l'isolation (U : coefficient de transmission thermique des éléments d'enveloppe, U_{li} correspond à la valeur limite, U_{ta} correspond à la valeur cible, réf. SIA 380/1)

Les tableaux 4, 5, 6 et 7 précisent l'énergie grise des différents composants du bâtiment (façades, dalles inférieures, dalles d'étages, toitures). Les émissions de gaz à effet de serre et les UBP se trouvent à l'annexe 1. Ces valeurs sont issues des « données des écobilans dans la construction » de la KBOB (Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics)¹. Les valeurs mises à jour sont disponibles directement sur la page web de l'outil.

| NRE [MJ/m ² .an] | Type d'isolation | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| | U_{li} (0.2 W/m ² .K) | U_{ta} (0.2 W/m ² .K) |
| FAÇADE | | |
| Préfabriquée (BA 18cm/PUR/BA 8cm) | 32.04 | 42.18 |
| Ventilée (BA 18cm/EPS/Eternit) | 24.90 | 33.33 |
| Isolation périphérique (BA 18cm/EPS/Crépi) | 19.92 | 26.24 |
| Ossature bois (BLC/laine de pierre/crépi) | 13.58 | 17.57 |

¹ Données des écobilans dans la construction 2009/1, KBOB/ eco-bau/IPB, état juin 2012, www.kbob.ch

Tableau 4 - NRE (Energie primaire non renouvelable) pour les éléments types de la façade.

| NRE [MJ/m ² .an] | Type d'isolation | | | |
|-------------------------------------|--|---|---|---|
| | U _{li} contre extérieur (0.2 W/m ² .K) | U _{li} contre non chauffé (0.28 W/m ² .K) | U _{ta} contre extérieur (0.11 W/m ² .K) | U _{ta} contre non chauffé (0.15 W/m ² .K) |
| DALLE INFÉRIEURE | | | | |
| XPS + BA 22cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 28.97 | 23.00 | 42.91 | 34.95 |
| XPS + BA 24cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 29.98 | 24.01 | 43.92 | 35.95 |
| XPS + BA 26cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 30.99 | 25.02 | 44.93 | 36.96 |
| XPS + BA 30cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 33.01 | 27.04 | 46.95 | 38.98 |
| XPS + BA 50cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 43.10 | 37.13 | 57.04 | 49.07 |

Tableau 5 - NRE (Energie primaire non renouvelable) pour les éléments types de dalles inférieures.

| NRE [MJ/m ² .an] | |
|---------------------------------------|-------|
| DALLE D'ÉTAGE COURANT | |
| BA 22cm + EPS 3cm + chape 7cm | 16.48 |
| BA 24cm + EPS 3cm + chape 7cm | 17.49 |
| BA 26cm + EPS 3cm + chape 7cm | 18.50 |
| BA 30cm + EPS 3cm + chape 7cm | 20.52 |
| Bois-béton 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | 12.37 |
| Bois 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | 13.09 |

Tableau 6 - NRE (Energie primaire non renouvelable) pour les éléments types de dalles d'étage courant.

| NRE [MJ/m ² .an] | Type d'isolation | |
|------------------------------|---|---|
| | U _{li} (0.2 W/m ² .K) | U _{ta} (0.2 W/m ² .K) |
| TOITURE | | |
| BA 20cm + EPS + étanchéité | 46.29 | 63.84 |
| BA 22cm + EPS + étanchéité | 47.30 | 64.85 |
| BA 24cm + EPS + étanchéité | 48.31 | 65.86 |
| Bois 18cm + EPS + étanchéité | 38.71 | 56.26 |

Tableau 7 - NRE (Energie primaire non renouvelable) pour les éléments types de toiture.

L'énergie grise des murs intérieurs est déterminée suivant la méthode simplifiée proposée par Lesosai². Le tableau 8 montre les valeurs des impacts selon les types de construction et par m² de mur. La surface des murs est déterminée grâce à la densité de cloisonnement. L'utilisateur a le choix entre trois niveaux de densité de cloisonnement : pièces spacieuses (1 m/4 m² : 1 m linéaire de mur pour 4 m² de surface de référence énergétique), pièces moyennes (1 m/2.5 m²), petites pièces (1 m/2 m²).

² LESOSAI : logiciel de certifications et bilans écologiques et énergétiques de bâtiments www.lesosai.com

| NRE [MJ/m ² .an] | | Type de construction phonique | |
|-----------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| MURS INTERIEURS | | haute | moyenne |
| Type de construction | légère | 16.14 | 13.57 |
| | lourde | 19.71 | 15.72 |

Tableau 8 - NRE (Energie primaire non renouvelable) pour les différents murs intérieurs.

L'énergie grise des installations techniques est déterminée de manière « forfaitaire », comme le montre le tableau 9, selon le standard énergétique visé (bâtiment classique, Minergie® ou Minergie-P®).

| Standards énergétiques | Installations techniques | NRE [MJ/m ² .an] |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Bâtiment standard | Chauffage | 6.3 |
| | Autres | 17.8 |
| Bâtiment Minergie/Minergie-P | Chauffage | 4.3 |
| | Autres | 25.7 |

Tableau 9 - NRE (Energie primaire non renouvelable) des installations techniques pour les deux types de standards énergétiques par m² de surface de référence énergétique.

2.3 Evaluation

La SIA 2040 « La voie SIA vers l'efficacité énergétique » fixe des valeurs cibles d'énergie grise pour les affectations habitations, bureaux et écoles. Les valeurs cibles des affectations non traitées dans la SIA 2040 ont été extrapolées à partir des affectations habitation et bureau. La valeur cible des bureaux a été reprise pour les commerces, hôpitaux et industrie. Celle des habitations a été reprise pour les dépôts, les installations sportives, les lieux de rassemblement et les piscines. L'énergie grise des installations techniques spécifiques à certaines affectations telles que les hôpitaux ou les piscines par exemple, de par leur caractère très particulier, n'est pas considérée dans ce calcul.

Le projet est évalué satisfaisant « vert » si la valeur cible est atteinte, mauvais « rouge » si la valeur limite est dépassé, incertain « jaune » si la valeur de projet se trouve entre deux. La valeur limite a été définie comme étant 25% supérieure à la valeur cible fixée par le cahier technique SIA 2040. Le tableau 10 montre les valeurs limites et cibles par affectation.

| NRE [MJ/m ²] | Valeur cible | | Valeur limite | |
|--------------------------|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| | Construction | Rénovation Transformation | Construction | Rénovation Transformation |
| Habitat collectif | 110 | 60 | 138 | 75 |
| Habitat individuel | 110 | 60 | 138 | 75 |
| Administratif | 130 | 80 | 163 | 100 |
| Ecole | 110 | 60 | 138 | 75 |
| Industrie | 130 | 80 | 163 | 100 |
| Commerce | 130 | 80 | 163 | 100 |
| Restauration | 130 | 80 | 163 | 100 |
| Lieux de rassemblement | 110 | 60 | 138 | 75 |
| Hôpitaux | 130 | 80 | 163 | 100 |
| Dépôts | 110 | 60 | 138 | 75 |
| Installations sportives | 110 | 60 | 138 | 75 |
| Piscines couvertes | 110 | 60 | 138 | 75 |

Tableau 10 - Valeurs cibles et valeurs de projet pour l'énergie grise

Dans le cas d'un projet avec plusieurs affectations, les valeurs cibles et limites sont calculées comme une moyenne pondérée par la surface de référence énergétique de chaque affectation. Les valeurs cibles et limites pour les émissions des gaz à effet de serre (GWP) et les UBP (éco-points) se trouvent à l'annexe 7.

3 Energie d'exploitation

L'énergie d'exploitation comprend les postes de consommation d'énergie durant la vie du bâtiment : chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire et électricité. Diverses normes interviennent pour la définition des besoins : les besoins de chaleur sont définis par la norme SIA 380/1 : « L'énergie thermique dans le bâtiment », l'électricité par la SIA 380/4 : « l'énergie électrique dans le bâtiment » et la climatisation par la SIA 382/1 : « Installations de ventilation et de climatisation - Bases générales et performances requises ».

3.1 Méthodologie

Sméo calcule la consommation énergétique à l'exploitation à partir des besoins énergétiques et des systèmes de production des différents postes : chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation et électricité.

En phase de projet, la compatibilité avec la société à 2'000 watts est évaluée sur la base des consommations d'énergie primaire non renouvelable et des émissions des gaz à effet de serre. La consommation d'énergie finale pour le chauffage et la part d'énergie renouvelable pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité sont également évalués.

L'évaluation des énergies d'exploitation dans l'évaluation d'un bâtiment ou quartier existant se fait exclusivement par rapport aux impacts totaux, tous postes confondus. Les caractéristiques des bâtiments existants étant très diverses il est plus pertinent d'exiger une performance global.

3.2 Calcul de la valeur de projet

Une valeur par défaut, définie selon la SIA 380/1, est proposée pour les besoins énergétiques de chacun des postes : chaleur, eau chaude sanitaire et électricité. Ces valeurs peuvent être forcées dès les valeurs propres au projet connues.

3.2.1 Chaleur : chauffage et eau chaude sanitaire

Sméo propose une liste d'agents de production de chaleur. L'utilisateur a la possibilité de choisir jusqu'à trois agents par poste de consommation. Un rendement de production et de distribution associé à chaque agent est proposé par défaut, mais peut être modifié par l'utilisateur.

A partir de la demande en énergie finale par poste, la NRE et les GWP et les UBP sont calculés pour chacun des postes grâce aux « Données des écobilans de la construction » de la KBOB.

Le calcul des impacts pour une PAC (Pompe à chaleur) est effectué selon la démarche appliquée par la SIA 2031 : l'énergie finale est divisée par le COP (Coefficient de performance) afin de déterminer les besoins en électricité. Les impacts sont calculés par défaut pour une consommation électrique sur le « mix consommateur CH »³. Dans le cas d'un raccordement à un réseau de chauffage à distance urbain, il est possible de reconstituer le mix proposé par le fournisseur à partir des 4 postes « Centrale de chauffage ». L'ensemble des facteurs considérés se trouvent au tableau 11.

³ Dans de futurs développements de l'outil, l'utilisateur devra pouvoir choisir la source de production de l'électricité consommée par la PAC.

| Agent énergétique | η chauffage | η ECS | % EP renouv. | MJ EP/ MJ EF | kCO ₂ kg/ MJ EF | UBP/ MJ EF |
|--------------------------------|------------------|------------|--------------|--------------|----------------------------|------------|
| Biogaz | 0.90 | 0.74 | 7.7 | 0.3735 | 0.0348 | 30.87 |
| Bois bûches | 0.71 | 0.60 | 95.1 | 1.06 | 0.0035 | 27.60 |
| Bois pellets | 0.81 | 0.68 | 82.8 | 1.22 | 0.0102 | 27.80 |
| Bois plaquettes sèches | 0.71 | 0.60 | 94.4 | 1.14 | 0.0031 | 27.80 |
| Centrale de chauffage, bois | 0.95 | 0.80 | 93.8 | 1.18 | 0.0778 | 39.30 |
| Centrale de chauffage, gaz | 0.95 | 0.80 | 0.7 | 1.12 | 0.0658 | 31.50 |
| Centrale de chauffage, géoth. | 0.95 | 0.80 | 89.4 | 1.21 | 0.1081 | 122.28 |
| Centrale de chauffage, pétrole | 0.95 | 0.80 | 0.77 | 1.24 | 0.0827 | 44.38 |
| Electrique accumulateur | 0.88 | 0.72 | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125.00 |
| Electrique direct | 0.95 | 0.74 | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125.00 |
| Gaz à condensation | 0.90 | 0.66 | 0.32 | 1.12 | 0.0658 | 31.50 |
| Gaz sans condensation | 0.81 | 0.70 | 0.32 | 1.12 | 0.0658 | 31.50 |
| Mazout à condensation | 0.86 | 0.66 | 0.64 | 1.24 | 0.0827 | 44.40 |
| Mazout sans condensation | 0.81 | 1.84 | 0.64 | 1.24 | 0.0827 | 44.40 |
| PAC air-eau | 2.19 | 2.32 | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125.00 |
| PAC eaux souterr. direct | 3.04 | 2.16 | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125.00 |
| PAC eaux souterr. indirect | 2.57 | 2.16 | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125.00 |
| PAC registres terrestres | 2.76 | 2.16 | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125.00 |
| PAC sondes verticales | 2.95 | 0.70 | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125.00 |
| Propane butane | 0.86 | 0.80 | 0.54 | 1.18 | 0.0778 | 39.30 |
| Rejets chaleur (UIOM, STEP) | 0.95 | 0.80 | 100 | 0.814 | 0.0454 | 24.20 |
| Solaire thermique | 0.95 | 0.74 | 100 | 0 | 0.0047 | 11.40 |

Tableau 11 - Facteurs environnementaux et de conversion des différents systèmes de production de chaleur (η : rendement de production et de distribution, ECS : Eau Chaude Sanitaire, Chauff. : Chauffage, EP : énergie primaire, EF : énergie finale)

3.2.2 Electricité

Comme pour la chaleur, l'utilisateur peut définir trois sources d'alimentation en électricité. Celles-ci doivent permettre de couvrir les besoins énergétiques.

La production électrique faisant l'objet d'un contrat de rachat Swissgrid ou équivalent ne doit pas être comptabilisée puisqu'elle est réinjectée dans le réseau.

Les facteurs de conversion, issus de la KBOB, permettant d'obtenir les différents impacts à partir de l'énergie finale se trouvent dans le tableau 12.

| Agent énergétique | % EP renouv. | MJ EP/ MJ EF | kCO ₂ kg/ MJ EF | UBP/ MJ EF |
|----------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|------------|
| Eolien (courant vert) | 92.3 | 1.32 | 0.0076 | 24.4 |
| Eolien (prod. sur place) | 93.7 | 1.16 | 0.0048 | 9.43 |
| Hydraulique (courant vert) | 97.2 | 1.22 | 0.0035 | 17.2 |
| Mix Suisse (consommé) | 13.6 | 3.05 | 0.0413 | 125 |
| Mix UCTE | 6.2 | 3.54 | 0.165 | 177 |
| Photovoltaïque (courant vert) | 77.1 | 1.62 | 0.0277 | 52.1 |
| Photovoltaïque (prod. sur place) | 78.0 | 1.43 | 0.0228 | 34.1 |

Tableau 12 - Facteurs de conversion des différents systèmes de production électrique.

3.3 Evaluation

3.3.1 Valeurs cibles, valeurs limites

La SIA 2040 fixe les valeurs cibles des impacts environnementaux de la consommation d'énergie d'exploitation pour les affectations habitation, bureau et école. Les valeurs cibles des autres affectations ont été déterminées sur la base d'une méthode « bottom-up » qui préconise une optimisation des besoins par rapport à l'état de l'art et un choix d'agents énergétiques les plus performants au niveau des impacts environnementaux.

Le projet est évalué satisfaisant « vert » si la valeur cible est atteinte, mauvais « rouge » si la valeur limite est dépassé, incertain « jaune » si la valeur de projet se trouve entre deux. La valeur limite a été définie comme étant 25% supérieure à la valeur cible fixée par le cahier technique SIA 2040 (Tableau 13).

| NRE [MJ/m ²] | Valeur cible | | Valeur limite | |
|--------------------------|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| | Construction | Rénovation Transformation | Construction | Rénovation Transformation |
| Habitat collectif | 200 | 250 | 250 | 310 |
| Habitat individuel | 200 | 250 | 250 | 310 |
| Administratif | 300 | 350 | 370 | 430 |
| Ecole | 180 | 230 | 220 | 280 |
| Industrie | 300 | 350 | 370 | 430 |
| Commerce | 450 | 500 | 560 | 620 |
| Restauration | 400 | 450 | 500 | 560 |
| Lieux de rassemblement | 250 | 300 | 310 | 370 |
| Hôpitaux | 300 | 350 | 370 | 430 |
| Dépôts | 170 | 220 | 210 | 270 |
| Installations sportives | 250 | 300 | 300 | 360 |
| Piscines couvertes | 350 | 400 | 430 | 490 |

Tableau 13 - Valeurs cibles et valeurs de projet pour l'énergie d'exploitation

Les besoins optimisés selon l'état de l'art sont les suivants :

- Valeurs cibles : $Q_h = 0.60 Q_{h,li}$
 Valeurs limites : $Q_h = 0.80 Q_{h,li}$
 Q_h : Besoins annuels pour le chauffage
 $Q_{h,li}$: Valeur limite des besoins annuels pour le chauffage, définie par la SIA 380/1
- Valeurs cibles : $Q_{ww} \text{ projet} = 0.70 Q_{ww}$
 Valeurs limites : $Q_{ww} \text{ projet} = 0.85 Q_{ww}$
 Q_{ww} : Besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire selon la SIA 380/1
- Les besoins annuels pour l'électricité répondant à des critères d'économie énergétique selon l'état de l'art et selon la SIA 380/4, avec une production majoritairement renouvelable.⁴

⁴ Pour plus d'information, contacter les auteurs de la méthodologie.

3.3.2 Potentiel d'amélioration du projet

Pour les projets de construction, rénovation et transformation, Sméo évalue non seulement la consommation de NRE, GWP et UBP, mais également la consommation d'énergie finale pour le chauffage et la part d'énergie renouvelable pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité. Ceci dans le but de mettre en garde sur de potentielles causes de dépassement des valeurs cibles et donc des pistes d'amélioration.

La part d'énergie renouvelable cible augmente avec les besoins d'énergie car la SIA 2040 fixe des valeurs cibles en NRE. La réduction des besoins en énergie, par exemple par une meilleure enveloppe thermique du bâtiment dans le cas du chauffage, réduit donc les exigences en termes de pourcentage d'énergie renouvelable.

3.3.2.1 Chauffage

3.3.2.1.1 Besoins énergétiques

Les valeurs limites définissant l'évaluation des besoins annuels pour le chauffage se trouvent au tableau 14. Celles-ci se basent sur les besoins limites définis ($Q_{h,li}$) par la norme SIA 380/1 pour les nouvelles constructions et pour les rénovations.

L'évaluation est plus exigeante pour les projets de construction que pour les projets de rénovation, le pouvoir d'intervention étant plus important.

| Evaluation | Construction | Rénovation / Transformation |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Vert | $Q_h < 0.6 Q_{h,li}$ | $Q_h < 0.8 Q_{h,li}^*$ |
| Jaune | $0.6 Q_{h,li} < Q_h < 0.9 Q_{h,li}$ | $0.8 Q_{h,li}^* < Q_h < Q_{h,li}^*$ |
| Rouge | $0.9 Q_{h,li} < Q_h < Q_{h,li}$ | $Q_{h,li}^* < Q_h < 1.1 Q_{h,li}^*$ |
| Noir (véto) | $Q_{h,li} < Q_h$ | $1.1 Q_{h,li}^* < Q_h$ |

Tableau 14 - Valeurs seuils pour l'évaluation des besoins annuels pour le chauffage (*La valeur limite des besoins annuels pour le chauffage des bâtiments transformés, elle est fixée à 125% des valeurs limites imposées aux nouveaux bâtiments)

3.3.2.1.2 Part d'énergie renouvelable

Comme le montre la figure 2, si $Q_{h,eff}^5 = Q_{h,li}$ la valeur cible est 100%, car chaque poste de consommation devrait maximiser son potentiel pour l'atteinte de la société à 2'000 watts⁶. La limite rouge est 30% inférieure à la limite verte.

⁵ Le $Q_{h,eff}$ tient compte du débit d'air thermiquement actif

⁶ Ville de Genève, « 100% renouvelable en 2050 », septembre 2006.

http://www.energiestadt.ch/fileadmin/user_upload/Energiestadt/fr/Dateien/Instrumente/1_Entwicklungsplanung/2-1-3_Geneve_100_renouvelable_2050.pdf

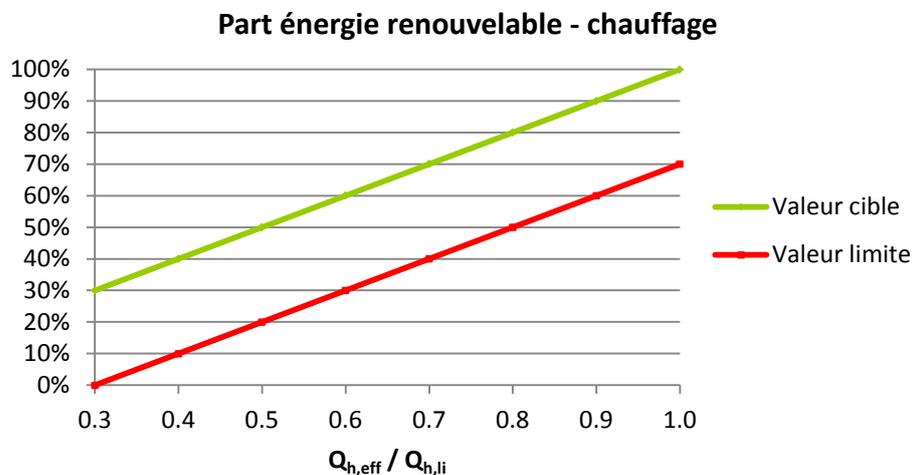


Figure 2 - Seuils d'évaluation pour la part d'énergie renouvelable du chauffage

3.3.2.2 Eau chaude sanitaire

3.3.2.2.1 Part d'énergie renouvelable

La part d'énergie renouvelable correspond à l'état de la technique, c'est-à-dire à 30% pour la limite rouge (figure 3). La valeur cible (verte) est fixée à 70% d'énergie renouvelable pour une consommation égale à la valeur établie par la SIA 380/1. La valeur cible varie proportionnellement au rapport $Q_{ww}(\text{projet}) / Q_{ww}(\text{SIA 380/1})$.

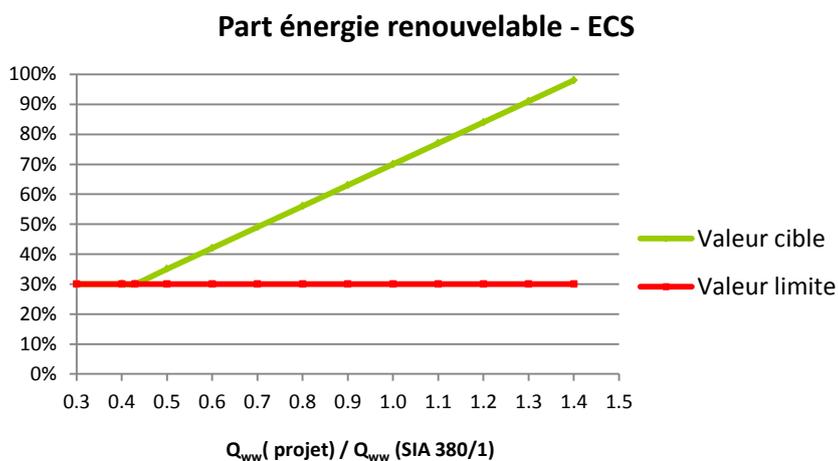


Figure 3 - Seuils d'évaluation pour la part d'énergie renouvelable de l'ECS (Eau Chaude Sanitaire). Q_{ww} : besoins de chaleur pour l'ECS

3.3.2.3 Electricité

3.3.2.3.1 Part d'énergie renouvelable

Comme le montre la figure 4, la part d'énergie renouvelable évolue de manière non-linéaire avec la réduction de l'énergie finale consommée par rapport à la valeur établie par la SIA380/1. Ceci est dû d'un côté au choix restreint de sources d'énergies renouvelables, et de l'autre, aux faibles facteurs d'énergie primaire (EP/EF) de quelques agents énergétiques, comme l'éolien et l'hydraulique (cf. tableau 12). Une augmentation d'énergie renouvelable entraîne une réduction de la consommation d'énergie primaire.

Pour des besoins définis par la SIA 380/1, la valeur cible est de 40% d'énergie renouvelable et la valeur limite (rouge) de 26%, ce qui correspond à une production de 80% de « Mix Suisse (consommé)» et de 20% de photovoltaïque produit sur place.

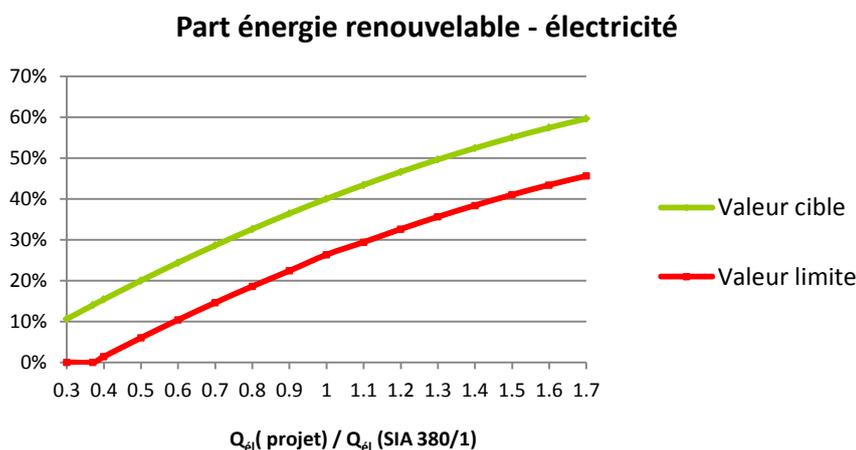


Figure 4 - Seuils d'évaluation pour la part d'énergie renouvelable de l'électricité. $Q_{ét}$: besoins d'énergie finale pour l'électricité.

4 Mobilité

4.1 Méthodologie

En droite ligne avec les autres postes de consommation énergétique, le module de calcul énergétique de la mobilité intégré à Sméo se base sur le cahier technique SIA 2039 « Mobilité – Consommation énergétique des bâtiments en fonction de leur localisation ». Cette méthode se base sur des valeurs de référence traduisant l'impact moyen par personne, pondérées par un facteur de correction résultant de la réponse à différentes questions qualitatives et quantitatives (figure 5), permettant ainsi d'estimer l'impact théorique de la mobilité attribuée à un bâtiment.

| MOBILITÉ | |
|---|-------------------------|
| LIEU D'IMPLANTATION | |
| LE PROJET EST IMPLANTÉ | en centre-ville |
| LE PROJET EST SITUÉ (AU SENS DE LA SIA 424) | hors zone d'activité éc |
| LE NOMBRE TOTAL DE LOGEMENTS INCLUS DANS LE PROJET EST | {-} 59 |
| DISTANCE DU PLUS PROCHE COMMERCE | |
| LE PREMIER SUPERMARCHÉ SE SITUE DANS UN RAYON DE | [km] 1 |
| QUALITÉ DE L'OFFRE EN TRANSPORT PUBLIC | |
| L'ARRÊT DE TRANSPORTS PUBLICS LE PLUS PROCHE SE SITUE À UNE DISTANCE DE | < 300 m |
| LA CADENCE DES TRANSPORTS PUBLICS (POUR UN JOUR ET UNE HEURE TOUS DEUX REPRÉSENTATIFS DE LA SEMAINE) EST DE | 6 - 9 min. |
| LES MOYENS DE TRANSPORT PUBLIC LES PLUS PERFORMANTS ET A DISPOSITION SUR LE SITE SONT | Tramway, bus, car pot |
| PLACES DE PARC | [places] 37 |

Figure 5 – Capture d'écran de la page Données Générales

La méthode de la SIA 2039 concerne les immeubles d'habitation, les établissements/bureaux ainsi que les bâtiments scolaires. Elle a été reprise et étendue à l'ensemble des autres affectations de la SIA 380/1 prises en charge par l'outil Sméo (hôpitaux, industries, installations sportives, restaurants, etc.). Par ailleurs, en plus du calcul de la NRE et le GWP, Sméo intègre le calcul de l'impact environnemental de la mobilité selon l'indicateur UBP. Le calcul de cet indicateur repose sur la base de « données des écobilans de la construction » de la KBOB.

4.2 Calcul de la valeur de projet

4.2.1 Démarche appliquée pour la génération des valeurs de référence

Les valeurs de référence établies par la SIA 2039 sont issues du besoin moyen en déplacement des utilisateurs des bâtiments ainsi que de leur comportement en termes de mode de transport. Pour les bâtiments de logement, il s'agit exclusivement de la mobilité des **habitants**, pour les bâtiments administratifs, il s'agit exclusivement des **employés**, alors que pour les autres affectations, nous avons généralement l'addition des consommations énergétiques induites par les déplacements des **employés** et des **clients/visiteurs**. Enfin, s'agissant des affectations industries et dépôts, la SIA 2039 ne considérant pas le transport des marchandises, seul l'impact des **employés** est pris en compte dans le module de calcul intégré à Sméo.

Partant de ce principe, des valeurs de référence pour l'ensemble des affectations ont été recomposées en prenant les hypothèses suivantes :

- Quelle que soit l'affectation, l'impact des employés est repris de la valeur de référence par employé de l'affectation établissements/bureaux. Pour transformer les valeurs de référence exprimées en MJ/pers, en valeurs finales exprimées en MJ/m², des densités d'emplois propres à chaque affectation ont été fixées.
- S'agissant de l'impact des clients/visiteurs, le nombre de kilomètres parcourus par personne a tout d'abord été estimé selon le motif de déplacement (distribution des km référencés dans le tableau 27 de la SIA 2039, sur l'ensemble des affectations de la SIA 380/1). La demande énergétique associée a été calculée en prenant des hypothèses de répartition modale (l'ensemble des hypothèses Sméo est résumé dans les tableaux 15, 16 et 17).

| SIA 2039, tableau 27 | | Attribution des distances annuelles moyennes en Suisse selon les affectations hors SIA 2039 | | | | | |
|---|--------------------|---|-------------|------------------------|-----------|-------------------------|--------------------|
| Motif de déplacement | Autres usages (km) | Commerces | Restaurants | Lieux de rassemblement | Hôpitaux | Installations sportives | Piscines couvertes |
| Travail | | | | | | | |
| Formation | | | | | | | |
| Achat | 916 | 916 | | | | | |
| Loisir | 2650 | | 353 | 1001 | | 1001 | 294 |
| Service et accompagnement | 58 | | | | 41 | 9 | 9 |
| Activité professionnelle, voyage de service | | | | | | | |
| Indéterminé | 594 | 150 | 58 | 164 | 7 | 166 | 50 |
| TOTAL | | 1066 | 411 | 1165 | 47 | 1176 | 353 |

Tableau 15 : Distribution des distances moyennes parcourues par visiteur/client, selon les affectations

Le taux d'occupation et la répartition modale, qui permettent d'établir la consommation énergétique moyenne par km parcouru, ont été repris des valeurs types définies selon le motif de déplacement et issues du recensement 2005 (cf. tableau 16).

| | Taux d'occupation VIM | Répartition modale type | | | |
|----------|-----------------------|-------------------------|------|-----|-----|
| | | VI | Moto | TP | MD |
| Achat | 1.60 | 86% | 1% | 3% | 11% |
| Loisir | 1.90 | 69% | 2% | 16% | 14% |
| Habitant | 1.56 | 68% | 2% | 18% | 12% |

Tableau 16 : Répartitions modales et taux d'occupation selon recensement 2005 (VIM : véhicule individuel motorisé)

Ces répartitions modales types ont été ensuite attribuées aux différentes affectations de la SIA 380/1 conformément au tableau 17.

| Affectation hors SIA 2039 | Modèle de répartition modale |
|---------------------------|------------------------------|
| Commerces | Achat |
| Restaurants | Loisir |
| Lieux de Rassemblement | Loisir |
| Hôpitaux | Habitant |
| Installations sportives | Loisir |
| Piscines | Loisir |

Tableau 17 : Attribution des types de répartition modale en fonction de l'affectation

4.2.2 Synthèse des valeurs de référence prises en compte dans Sméo

Les valeurs de référence 2010 définies pour chacune des 12 affectations prises en charge par Sméo sont présentées dans le tableau 18. S'agissant des affectations « Habitat » et « Administration », les valeurs retenues dans Sméo sont celles de la SIA 2039. Par contre, de manière à simplifier le cas des bâtiments scolaires, le parti a été pris de ne pas faire de distinction dans Sméo entre les établissements primaires et secondaires. Une valeur de référence couvrant les deux types de bâtiment scolaire a donc été recréée, en considérant que le nombre de classes primaires

(prise en charge des enfants de 6 à 12 ans) est deux fois supérieur à celui des classes secondaires (prise en charge des enfants de 13 à 15 ans).

| SméO | | | | SIA 2039 | | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | NRE | GWP | UBP | | NRE | GWP | UBP |
| Affectations SIA 380/1 | [MJ/m ²] | [kg/m ²] | [UBP/m ²] | Affectations SIA 2039 | [MJ/m ²] | [kg/m ²] | [UBP/m ²] |
| Habitat collectif | 253 | 15.0 | 15'531 | Habitat | 253 | 15.0 | |
| Habitat individuel | 253 | 15.0 | 15'531 | | | | |
| Administratif | 464 | 27.3 | 28'549 | Etablissements/bureaux | 464 | 27.3 | |
| Ecole - élèves | 30 | 1.8 | 2'020 | Ecole prim. - élèves | 25 | 1.5 | |
| | | | | Ecole sec. - élèves | 42 | 2.4 | |
| Industries | 515 | 30.3 | 31'689 | | | | |
| Commerces | 417 | 24.7 | 25'514 | | | | |
| Restauration | 372 | 21.9 | 22'882 | | | | |
| Lieux de rassemblement | 381 | 22.5 | 23'440 | | | | |
| Hôpitaux | 345 | 20.3 | 21'220 | | | | |
| Dépôts | 103 | 6.1 | 6'338 | | | | |
| Installations sportives | 170 | 10.0 | 10'448 | | | | |
| Piscines couvertes | 131 | 7.7 | 8'065 | | | | |

Tableau 18 : Valeurs de référence 2010, SméO et SIA 2039

Dans le tableau 19, sont présentées les valeurs de référence théoriques 2050, en intégrant tout particulièrement les gains d'efficacité des véhicules individuels motorisés (la SIA 2039 prend l'hypothèse qu'entre 2010 et 2050, la consommation moyenne d'une voiture passera de 8.9 à 3 l/100 km).

| SméO | | | | SIA 2039 | | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | NRE | GWP | UBP | | NRE | GWP | UBP |
| Affectations SIA 380/1 | [MJ/m ²] | [kg/m ²] | [UBP/m ²] | Affectations | [MJ/m ²] | [kg/m ²] | [UBP/m ²] |
| Habitat collectif | 139 | 7.2 | 8'125 | Habitat | 139 | 7.2 | |
| Habitat individuel | 139 | 7.2 | 8'125 | | | | |
| Administratif | 252 | 13.0 | 14'704 | Etablissements/bureaux | 252 | 12.9 | |
| Ecole - élèves | 24 | 1.3 | 1'398 | Ecole prim. - élèves | 17 | 0.9 | |
| | | | | Ecole sec. - élèves | 37 | 2.0 | |
| Industries | 279 | 14.4 | 16'322 | | | | |
| Commerces | 224 | 11.3 | 12'916 | | | | |
| Restauration | 202 | 10.2 | 11'823 | | | | |
| Lieux de rassemblement | 209 | 10.1 | 12'189 | | | | |
| Hôpitaux | 187 | 9.6 | 10'930 | | | | |
| Dépôts | 56 | 2.9 | 3'264 | | | | |
| Installations sportives | 92 | 4.6 | 5'405 | | | | |
| Piscines couvertes | 71 | 3.6 | 4'161 | | | | |

Tableau 19 : Valeurs de référence 2050, SméO et SIA 2039

4.2.3 Facteurs de correction

Dans la SIA 2039, un référentiel de questions a été établi de manière à identifier les mesures prises en faveur d'une réduction des besoins en énergie liés à la mobilité. A chacune des questions est associé un facteur de correction pouvant pondérer à la hausse ou à la baisse la consommation d'énergie non renouvelable ainsi que les émissions de CO₂. Finalement la multiplication de l'ensemble de ces facteurs permet d'aboutir à un facteur global de correction impactant les valeurs de référence en NRE et GWP évoquées au chapitre précédent. La combinaison de ces deux indicateurs - facteur de correction et valeur de référence - permet in fine d'estimer les besoins énergétiques théoriques de la mobilité en 2010 et 2050.

Dans le module mobilité de Sméo, les référentiels qualitatifs et leurs facteurs de correction associés ont, à quelques nuances près, été repris de la SIA 2039. Ceci est bien entendu le cas pour les affectations traitées par la SIA 2039 : « Habitat », « Etablissements/Bureaux » et « Ecoles ». Concernant les autres affectations de la SIA 380/1, l'outil Sméo considère deux familles d'affectation :

- 1) « Industries » et « Dépôts », dont les questions posées sont identiques à celles énoncées pour l'affectation « Etablissements/Bureaux » ;
- 2) Les affectations restantes suivent globalement le référentiel établi dans le cas de l'affectation « Etablissements/Bureaux », à l'exception de la question relative à l'emplacement du bâtiment.

Le tableau ci-dessous synthétise l'ensemble des hypothèses pour la constitution des référentiels qualitatifs qui permettront de définir le facteur global de correction.

| Questions impactant le facteur de correction selon la SIA 2039 | Affectations | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|---------------|--------|---------------|--------|-----------|--------------|------------------------|----------|-------------------------|--------------------|
| | SIA 2039 | | | | Hors SIA 2039 | | | | | | | |
| | Habitat collectif | Habitat individuel | Administratif | Ecoles | Industries | Dépôts | Commerces | Restauration | Lieux de rassemblement | Hôpitaux | Installations sportives | Piscines couvertes |
| Situation en centre-ville | x | | | | | | | | | | | x |
| Situation dans une zone d'activité économique | | | x | | x | | | | | | | |
| Qualité de la desserte par les transports publics | x | | x | | x | | | | | | | x |
| Distance au prochain super-marché | x | | | | | | | | | | | |
| Nombre de places de stationnement disponibles | x | | x | | x | | | | | | | x |
| Disponibilité d'une voiture particulière | x | | | | | | | | | | | |
| Disponibilité de places de stationnement pour vélo | | | x | | x | | | | | | | x |
| Détention d'un abonnement pour les transports publics | x | | x | | x | | | | | | | x |

Tableau 20 : Référentiel qualitatif impactant le facteur global de correction en fonction du type d'affectation

S'agissant des facteurs de correction, Sméo reprend les mêmes valeurs que la SIA 2039. Dans l'impossibilité de réalisation d'un sondage sur le comportement des habitants/usagers, les facteurs associés aux questions « possession d'un abonnement TP et d'un VIM » ont été déduits de la réponse aux autres questions du référentiel. , nous avons pris le parti de déduire Ils sont donc automatiquement calculés par Sméo. Le tableau suivant met en évidence les facteurs pour lesquels le calcul est automatiquement fait par Sméo.

| Questions impactant le facteur de correction selon la SIA 2039 | Variables de l'outil Sméo (questions posées à l'utilisateur) | Facteurs déduits à partir des variables de l'outil Sméo. |
|--|--|--|
| Situation en centre-ville | x | |
| Situation dans une zone d'activité économique | x | |
| Qualité de la desserte par les transports publics | x | |
| Distance au prochain supermarché | x | |
| Nombre de places de stationnement disponibles | x | |
| Disponibilité d'une voiture particulière | | x |
| Disponibilité de places de stationnement pour vélo | x | |
| Détention d'un abonnement pour les transports publics | | x |

Tableau 21 : Prise en compte des facteurs de correction de la SIA 2039 dans Sméo

Calcul des facteurs déduits à partir des variables de l'outil Sméo :

« Disponibilité d'une voiture particulière »

La valeur du facteur de correction est automatiquement déduite de la réponse à la question « Nombre de places de stationnement disponibles ». Ainsi, lorsque le nombre de places par logement est supérieur à 1, Sméo appliquera la valeur maximale du facteur de correction ; dès que le nombre de places est inférieur à 1, une régression linéaire permettra de définir la valeur de ce même facteur.

« Détention d'un abonnement pour les transports publics »

Pour définir la valeur du facteur associé à ce thème, Sméo effectue un « test abonnement » dont la réponse dépend du respect ou non des deux conditions suivantes : 1) La qualité des transports publics est inférieure à la classe B (selon la méthodologie de calcul ARE définissant les niveaux de qualité de desserte par les transports publics); 2) le nombre de places de parc par usager est inférieur à 0.5. Ainsi, lorsque le « test abonnement » est vrai, Sméo appliquera la valeur minimale du facteur de correction ; dans le cas contraire, une régression linéaire en fonction de la qualité des transports publics permettra de définir la valeur du facteur.

4.2.4 Surfaces moyennes par personne

Les valeurs de densité humaine (employés, visiteurs et clients) retenues dans Sméo sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

| Affectation hors SIA 2039 | m ² /(habitant ou employé) | m ² /(élève, visiteur ou client) |
|---------------------------|---------------------------------------|---|
| Commerces | 60 | 23 |
| Restaurants | 60 | 10 |
| Lieux de Rassemblement | 150 | 9 |
| Hôpitaux | 50 | 75 |
| Industries | 33 | |
| Dépôts | 167 | |
| Installations sportives | 150 | 43 |
| Piscines | 150 | 43 |

Tableau 22 : Densité humaine en fonction de l'affectation (en m²SRE/utilisateur)

Dans un premier temps, les taux d'occupation fournis dans la SIA 380/1 ont été considérés. Dans un deuxième temps et pour les affectations connues, les taux d'occupation des SIA 380/1 et 2039 ont été comparés. De cette comparaison, un facteur de correction permettant d'affiner les taux d'occupation pertinents en termes de mobilité a été établi, et ce pour l'ensemble des affectations non renseignées dans la SIA 2039. Enfin, le nombre total d'occupants a été réparti entre les employés et les visiteurs/clients, considérant les particularités de chaque affectation.

4.3 Evaluation

Les valeurs cibles définies dans la SIA 2040 pour les trois affectations « Habitat », « Etablissements/bureaux » et « Ecoles », sont reprises dans l'outil Sméo (limite Vert/Jaune). Par ailleurs, en appliquant le même taux d'effort sur la réduction des besoins en mobilité, de nouvelles valeurs cibles pour l'ensemble des affectations prises en charge par Sméo ont été générées (en attendant un enrichissement de la base de données par la SIA). Bien qu'une incertitude sur la valeur absolue des consommations énergétiques persiste, les valeurs sont cohérentes dans le cadre d'une évaluation. En effet, plus que la valeur absolue en MJ/m², ce qui définit l'évaluation de la mobilité dans Sméo est la comparaison relative entre deux valeurs : 1) la valeur du projet établie à partir d'une valeur de référence pondérée par la mise en place ou non de conditions cadres limitant notamment le recours aux VIM. 2) la valeur cible 2'000 watts établie selon les efficacités et types de report modal 2050. En d'autres termes, en procédant de la sorte, Sméo fait bien la promotion des mesures favorisant la réduction des dépenses énergétiques liées à la mobilité.

| SméO | | | | SIA 2040 | | | |
|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | NRE | GWP | UBP | | NRE | GWP | UBP |
| Affectations SIA 380/1 | [MJ/m ²] | [kg/m ²] | [UBP/m ²] | Affectations | [MJ/m ²] | [kg/m ²] | [UBP/m ²] |
| Habitat collectif | 130 | 5.5 | 7'000 | Habitat | 130 | 5.5 | |
| Habitat individuel | 130 | 5.5 | 7'000 | | | | |
| Administratif | 230 | 11.5 | 13'300 | Etablis- sements/bureaux | 230 | 11.5 | |
| Ecoles | 60 | 3.0 | 3'700 | Ecoles | 60 | 3.0 | |
| Industries | 250 | 13.0 | 14'700 | | | | |
| Commerces | 210 | 9.0 | 11'400 | | | | |
| Restauration | 190 | 8.0 | 10'400 | | | | |
| Lieux de rassembl. | 200 | 8.0 | 10'700 | | | | |
| Hôpitaux | 180 | 8.0 | 9'600 | | | | |
| Dépôts | 50 | 3 | 3'000 | | | | |
| Install. sportives | 90 | 4.0 | 4'800 | | | | |
| Piscines couvertes | 70 | 3.0 | 3'700 | | | | |

Tableau 23 : Valeurs cibles SméO et SIA 2040

Pour définir ces nouvelles valeurs cibles, un certain nombre de tests de sensibilité ont été effectués pour chacune des affectations. En se basant sur le « Best case » et le « Worst Case », nous avons pu définir l'amplitude des valeurs possibles, tant pour la NRE que pour le GWP et les UBPs, ce qui a ensuite permis de mieux cerner les valeurs cibles et limites à retenir pour SméO. De manière à consolider ces valeurs cibles, nous avons également vérifié qu'elles étaient atteignables, pour autant que nous prenions toutes les mesures en faveur de la réduction des consommations d'énergie (Best Case). La figure ci-dessous illustre ce point et montre que c'est bien le cas pour l'ensemble des affectations.

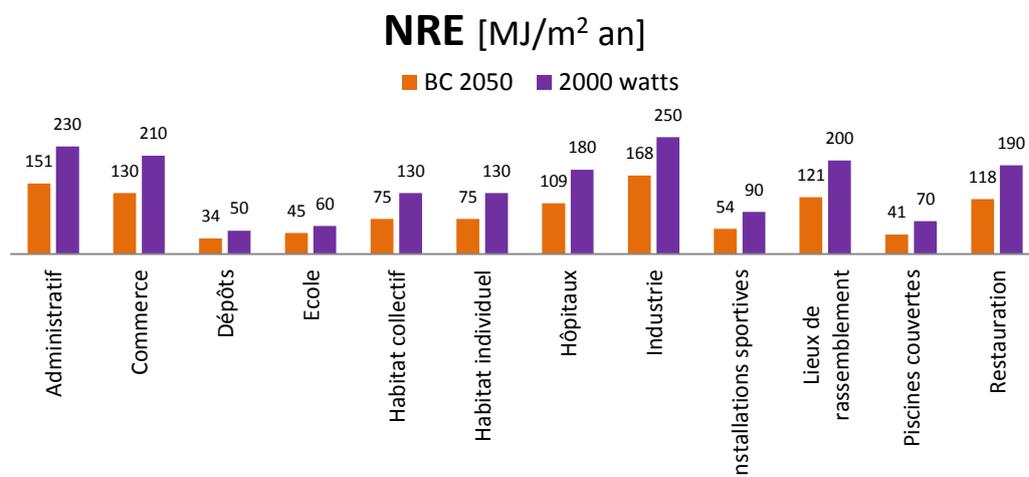


Figure 6 : Vérification des cibles atteignables en 2010 (BC : Best Case)

Enfin, dans l'outil SméO, nous avons pris le parti de mentionner l'impact environnemental (selon les indicateurs NRE, GWP et UBPs), en 2010 et 2050 (selon la flotte 2010 respectivement 2050).

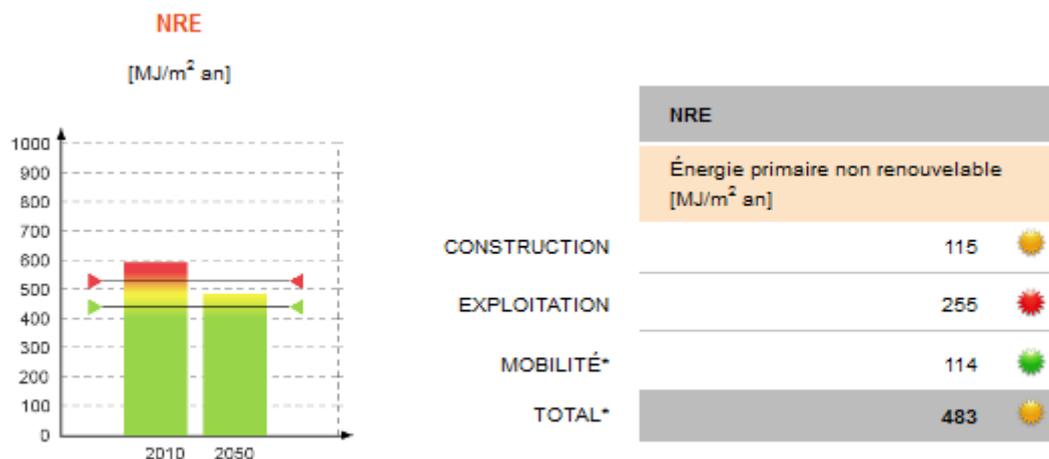


Figure 7 : Potentiel de réduction de l'impact grâce à l'évolution de la flotte de VIM entre 2010 et 2050

Ce choix délibéré a le double intérêt de confronter la performance actuelle du bâtiment/quartier aux cibles 2'000 watts, tout en mettant en évidence le potentiel d'amélioration inhérent aux gains d'efficacité qui sont attendus sur les véhicules d'ici 2050 (fig. 7). Nous pouvons donc statuer sur la conformité vis-à-vis de la SIA 2040 qui demande le calcul de la valeur de projet pour la mobilité selon les facteurs et les coefficients attendus en 2050 pour les voitures particulières, et le calcul avec les données de 2010. Ceci permet d'éviter de plébisciter des projets qui consommeraient trop d'énergie grise ou d'énergie d'exploitation en les autorisant à intégrer tout de suite les progrès attendus sur la mobilité.

5 Annexes

5.1 Emissions des gaz à effet de serre et ecopoints (UBP)

5.1.1 Façades

| GWP [kgCO ₂ /m ² .an] | Type d'isolation | |
|---|---|---|
| | U _{ii} (0.2 W/m ² .K) | U _{ta} (0.2 W/m ² .K) |
| FAÇADE | | |
| Préfabriquée (BA 18cm/PUR/BA 8cm) | 2.94 | 3.62 |
| Ventilée (BA 18cm/EPS/Eternit) | 2.18 | 2.77 |
| Isolation périphérique (BA 18cm/EPS/Crépi) | 1.76 | 2.21 |
| Ossature bois (BLC/laine de pierre/crépi) | 0.87 | 1.14 |

| UBP [UBP/m ² .an] | Type d'isolation | |
|--|---|---|
| | U _{ii} (0.2 W/m ² .K) | U _{ta} (0.2 W/m ² .K) |
| FAÇADE | | |
| Préfabriquée (BA 18cm/PUR/BA 8cm) | 3'850 | 4'460 |
| Ventilée (BA 18cm/EPS/Eternit) | 2'523 | 2'941 |
| Isolation périphérique (BA 18cm/EPS/Crépi) | 2'160 | 2'473 |
| Ossature bois (BLC/laine de pierre/crépi) | 1'298 | 1'809 |

5.1.2 Dalles inférieures

| GWP [kgCO ₂ /m ² .an] | Type d'isolation | | | |
|---|--|---|---|---|
| | U _{ii} contre extérieur (0.2 W/m ² .K) | U _{ii} contre non chauffé (0.28 W/m ² .K) | U _{ta} contre extérieur (0.11 W/m ² .K) | U _{ta} contre non chauffé (0.15 W/m ² .K) |
| DALLE INFÉRIEURE | | | | |
| XPS + BA 22cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 3.75 | 2.89 | 5.74 | 4.60 |
| XPS + BA 24cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 3.86 | 3.01 | 5.86 | 4.72 |
| XPS + BA 26cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 3.98 | 3.12 | 5.98 | 4.83 |
| XPS + BA 30cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 4.21 | 3.35 | 6.21 | 5.07 |
| XPS + BA 50cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 5.36 | 4.51 | 7.36 | 6.22 |

| UBP [UBP/m ² .an] | Type d'isolation | | | |
|-------------------------------------|--|---|---|---|
| | Uli contre extérieur (0.2 W/m ² .K) | Uli contre non chauffé (0.28 W/m ² .K) | Uta contre extérieur (0.11 W/m ² .K) | Uta contre non chauffé (0.15 W/m ² .K) |
| DALLE INFÉRIEURE | | | | |
| XPS + BA 22cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 3'499 | 2'990 | 4'688 | 4'009 |
| XPS + BA 24cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 3'664 | 3'154 | 4'852 | 4'173 |
| XPS + BA 26cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 3'828 | 3'318 | 5'016 | 4'337 |
| XPS + BA 30cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 4'156 | 3'647 | 5'345 | 4'655 |
| XPS + BA 50cm + EPS 3cm + Chape 7cm | 5'798 | 5'288 | 6'986 | 6'307 |

5.1.3 Dalles d'étage courant

| GWP [kgCO ₂ /m ² .an] | |
|---|------|
| DALLE D'ETAGE COURANT | |
| BA 22cm + EPS 3cm + chape 7cm | 1.85 |
| BA 24cm + EPS 3cm + chape 7cm | 1.97 |
| BA 26cm + EPS 3cm + chape 7cm | 2.84 |
| BA 30cm + EPS 3cm + chape 7cm | 2.32 |
| Bois-béton 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | 1.13 |
| Bois 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | 1.02 |

| UBP [UBP/m ² .an] | |
|---------------------------------------|-------|
| DALLE D'ETAGE COURANT | |
| BA 22cm + EPS 3cm + chape 7cm | 2'413 |
| BA 24cm + EPS 3cm + chape 7cm | 2'577 |
| BA 26cm + EPS 3cm + chape 7cm | 2'741 |
| BA 30cm + EPS 3cm + chape 7cm | 3'069 |
| Bois-béton 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | 2'042 |
| Bois 20cm + EPS 3cm + chape 7cm | 1'962 |

5.1.4 Toiture

| GWP [kgCO ₂ /m ² .an] | Type d'isolation | |
|---|---|---|
| | U _{li} (0.2 W/m ² .K) | U _{ta} (0.2 W/m ² .K) |
| TOITURE | | |
| BA 20cm + EPS + étanchéité | 3.67 | 4.89 |
| BA 22cm + EPS + étanchéité | 3.78 | 5.01 |
| BA 24cm + EPS + étanchéité | 3.90 | 5.12 |
| Bois 18cm + EPS + étanchéité | 2.60 | 3.82 |

| UBP [UBP/m ² .an] | Type d'isolation | |
|------------------------------|---|---|
| | U _{li} (0.2 W/m ² .K) | U _{ta} (0.2 W/m ² .K) |
| TOITURE | | |
| BA 20cm + EPS + étanchéité | 3'848 | 4'719 |
| BA 22cm + EPS + étanchéité | 4'013 | 4'883 |
| BA 24cm + EPS + étanchéité | 4'177 | 5'047 |
| Bois 18cm + EPS + étanchéité | 3'275 | 4'145 |

5.1.5 Murs intérieurs

| GWP [kgCO ₂ /m ² .an] | | Type de construction phonique | |
|---|--------|-------------------------------|---------|
| MURS INTERIEURES | | haute | moyenne |
| Type de construction | légère | 0.91 | 0.77 |
| | lourde | 1.69 | 1.48 |

| UBP [UBP/m ² .an] | | Type de construction phonique | |
|------------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| MURS INTERIEURES | | haute | moyenne |
| Type de construction | légère | 2'238 | 1'728 |
| | lourde | 2'410 | 1'829 |

5.1.6 Installations techniques

| Standard énergétique | Installations techniques | GWP [kgCO ₂ /m ² .an] |
|------------------------------|--------------------------|---|
| Bâtiment standard | Chauffage | 0.38 |
| | Autres | 1.13 |
| Bâtiment Minergie/Minergie-P | Chauffage | 0.26 |
| | Autres | 1.62 |

| Standard énergétique | Installations techniques | UBP [UBP/m ² .an] |
|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Bâtiment standard | Chauffage | 612 |
| | Autres | 4176 |
| Bâtiment Minergie/Minergie-P | Chauffage | 413 |
| | Autres | 5813 |

5.1.7 Valeurs cibles / Valeur limites GES et UBP énergie grise

| GWP [Kg CO ₂ /m ²] | Valeur cible | | Valeur limite | |
|---|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| | Construction | Rénovation Transformation | Construction | Rénovation Transformation |
| Affectations | | | | |
| Habitat collectif | 8.5 | 5 | 10.6 | 6.3 |
| Habitat individuel | 8.5 | 5 | 10.6 | 6.3 |
| Administratif | 10 | 6 | 12.5 | 7.5 |
| Ecole | 9 | 5.5 | 11.3 | 6.9 |
| Industrie | 9.5 | 6 | 11.9 | 7.5 |
| Commerce | 10 | 6 | 12.5 | 7.5 |
| Restauration | 10 | 6 | 12.5 | 7.5 |
| Lieux de rassemblement | 9 | 5.5 | 11.3 | 6.9 |
| Hôpitaux | 10 | 6 | 12.5 | 7.5 |
| Dépôts | 8.5 | 5.5 | 10.6 | 6.9 |
| Installations sportives | 9 | 5.5 | 11.3 | 6.9 |
| Piscines couvertes | 10 | 6 | 12.5 | 7.5 |

| [UBP/m ²] | Valeur cible | | Valeur limite | |
|-------------------------|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| | Construction | Rénovation Transformation | Construction | Rénovation Transformation |
| Affectations | | | | |
| Habitat collectif | 8500 | 5000 | 10'625 | 6'250 |
| Habitat individuel | 8500 | 5000 | 10'625 | 6'250 |
| Administratif | 10000 | 6000 | 12'500 | 7'500 |
| Ecole | 9000 | 5500 | 11'250 | 6'875 |
| Industrie | 9500 | 6000 | 11'875 | 7'500 |
| Commerce | 10000 | 6000 | 12'500 | 7'500 |
| Restauration | 10000 | 6000 | 12'500 | 7'500 |
| Lieux de rassemblement | 9000 | 5500 | 11'250 | 6'875 |
| Hôpitaux | 10000 | 6000 | 12'500 | 7'500 |
| Dépôts | 8500 | 5500 | 10'625 | 6'875 |
| Installations sportives | 9000 | 5500 | 11'250 | 6'875 |
| Piscines couvertes | 10000 | 6000 | 12'500 | 7'500 |

5.1.8 Valeurs cibles / Valeur limites GES et UBP énergie d'exploitation

| [Kg CO ₂ /m ²] | Valeur cible | | Valeur limite | |
|---------------------------------------|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| | Construction | Rénovation Transformation | Construction | Rénovation Transformation |
| Affectations | | | | |
| Habitat collectif | 2.5 | 5 | 3.5 | 6.0 |
| Habitat individuel | 2.5 | 5 | 3.5 | 6.0 |
| Administratif | 4 | 7 | 5.0 | 8.0 |
| Ecole | 2.5 | 5 | 3.5 | 6.0 |
| Industrie | 4.5 | 7 | 5.5 | 8.5 |
| Commerce | 7 | 10 | 9.0 | 12.0 |
| Restauration | 6 | 9 | 7.5 | 11.0 |
| Lieux de rassemblement | 3.5 | 6 | 4.5 | 7.5 |
| Hôpitaux | 4 | 7 | 5.0 | 8.5 |
| Dépôts | 2.5 | 4.5 | 3.5 | 5.5 |
| Installations sportives | 3.5 | 6 | 4.5 | 7.5 |
| Piscines couvertes | 5.5 | 8.5 | 6.0 | 10.5 |

| [UBP/m ²] | Valeur cible | | Valeur limite | |
|-------------------------|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| | Construction | Rénovation Transformation | Construction | Rénovation Transformation |
| Affectations | | | | |
| Habitat collectif | 9000 | 11500 | 12'500 | 15'000 |
| Habitat individuel | 9000 | 11500 | 12'500 | 15'000 |
| Administratif | 13200 | 15800 | 16'000 | 18'700 |
| Ecole | 8000 | 10500 | 10'500 | 13'700 |
| Industrie | 16000 | 19500 | 19'500 | 23'000 |
| Commerce | 24000 | 26800 | 30'000 | 33'500 |
| Restauration | 22000 | 24500 | 27'000 | 31'000 |
| Lieux de rassemblement | 12000 | 14500 | 16'000 | 18'500 |
| Hôpitaux | 13000 | 15800 | 17'000 | 20'500 |
| Dépôts | 7800 | 10500 | 10'500 | 13'600 |
| Installations sportives | 11000 | 12500 | 14'500 | 17'000 |
| Piscines couvertes | 16500 | 19000 | 21'000 | 25'000 |

6 Références

Novatlantis, Swissenergy, et Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes SIA. « Smarter Living, Moving Forward to a Sustainable Energy Future, with the 2'000 Watt Society », mars 2011.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. Flächen und Volumen von Gebäuden = Surfaces et volumes des bâtiments = Superfici e volumi di edifici. Norme SIA 416. Zürich: SIA, 2003.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. L'énergie électrique dans le bâtiment. Norme SIA 380/4. Zurich: SIA, 2006.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. L'énergie thermique dans le bâtiment. Norme SIA 380/1. Zürich: SIA, 2009.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. La voie SIA vers l'efficacité énergétique. Cahier technique SIA 2040. Zürich: SIA, 2011.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. La voie SIA vers l'efficacité énergétique - Compléments et exemples relatifs au cahier technique SIA 2040. Documentation SIA D 0236. Zürich: SIA, 2011.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. Modèle de prestations. Règlement SIA 112. Zurich: SIA, 2001.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. Aménagement du territoire - Mesures de l'utilisation du sol = Raumplanung - Nutzungsziffern. Norme SIA 421. Zurich: SIA, 2004.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. Indices de calcul pour les installations du bâtiment : dimensions des éléments de construction, grandeurs de référence, indices pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment. Norme SIA 416/1. Zurich: SIA, 2007.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. Certificat énergétique des bâtiments. Norme SIA 2031. Zurich: SIA, 2009.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. L'énergie grise des bâtiments. Cahier technique SIA 2032. Zurich: Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes SIA, 2010.

SIA, Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes. Mobilité : consommation énergétique des bâtiments en fonction de leur localisation. Cahier technique SIA 2039. Zurich: SIA, 2011.