

Calculs et hypothèses à l'origine de l'échelle de l'indice de l'impact carbone et explications quant à l'échelle de priorité de l'outil OCRE

Auteur : Karim Ismail (CELEN)

Date : 13/08/2021

1. Calculs et hypothèses à l'origine de l'échelle de l'indice de l'impact carbone

Les estimations se sont basées sur un bâtiment de référence d'une taille comparable à l'Athénée Royal Paul Delvaux à Ottignies, dont l'étude a débuté dans le cadre d'un TFE pour la formation 'Responsable Énergie'.

Pour chaque mesure, l'indice d'impact carbone évolue entre 1 et 7. L'indice est directement lié aux émissions évitées en carbone annuellement en cas d'application de la mesure.

Certaines mesures visent une diminution de la consommation énergétique. Dans ce cas de figure, il est considéré qu'1 *kWh* en énergie finale entraîne l'émission de 0,235 *kg_{CO2}* sur le cycle complet si le vecteur énergétique est du gaz naturel. Il est considéré dans ce qui suit que l'énergie pour le chauffage est par défaut du gaz naturel. (Pour information, le fioul domestique émet 0,327 *kg_{CO2}* par *kWh* d'énergie finale consommée.) Si le vecteur énergétique est de l'électricité, l'émission de *CO2* est égale à 0,247 *kg_{CO2}/kWh* pour le parc actuel de production belge. Ces données proviennent de Gemis 4.5 (Global Emission Model for Integrated Systems) et prennent en compte le cycle complet du vecteur énergétique, à savoir entre autres les émissions de *CO2* associées à l'énergie primaire. Des pellets correctement gérés ont un impact carbone de 0,047 *kg_{CO2}/kWh*, beaucoup plus faible que les énergies fossiles. Le tableau suivant fournit les gains énergétiques (en énergie finale) et les gains en *CO2* annuels pour les différentes valeurs possibles de l'indice d'impact carbone de l'outil OCRE.

Indice d'impact	Gains énergétiques annuels (kWh/an)	Gains en CO ₂ annuel – gaz naturel (kg _{CO2} /an)	Gains en CO ₂ annuel – électricité (kg _{CO2} /an)
1	< 5 000	< 1 175	< 1 235
2	Entre 5 000 et 20 000	Entre 1 175 et 4 700	Entre 1 235 et 4 940
3	Entre 20 000 et 60 000	Entre 4 700 et 14 100	Entre 4 940 et 14 820
4	Entre 60 000 et 100 000	Entre 14 100 et 23 500	Entre 14 820 et 24 700
5	Entre 100 000 et 200 000	Entre 23 500 et 47 000	Entre 24 700 et 49 400
6	Entre 200 000 et 300 000	Entre 47 000 et 70 500	Entre 49 400 et 74 100
7	> 300 000	> 70 500	> 74 100

Dans l'outil d'évaluation, une colonne fournit, de manière indicative, les économies d'énergie primaire pour chaque mesure sous la forme d'un pourcentage. Pour quantifier l'énergie primaire, un facteur multiplicatif de 1 a été utilisé pour le gaz naturel, et un facteur multiplicatif de 2,5 a été utilisé pour l'électricité (tel qu'utilisé dans la législation PEB en région wallonne). Il est important de noter que cette convention joue en défaveur de l'usage de l'électricité. Vu la proportion en augmentation d'énergies renouvelables, le facteur 2,5 surestime la véritable énergie primaire de l'électricité (et ne prend pas en compte l'impact carbone, faible par exemple lorsque la production d'électricité s'effectue

dans une centrale nucléaire). À l'inverse, le facteur 1 pour le gaz naturel sous-estime la véritable énergie primaire, le rendement étant physiquement inférieur à 1, et le cycle complet du gaz naturel étant négligé.

Certaines mesures ne visent pas une réduction des consommations énergétiques, mais leur impact carbone peut tout de même être chiffré. C'est le cas de l'utilisation des matériaux utilisés pour les travaux d'isolation par exemple. Pour ce faire, l'outil TOTEM a été utilisé pour quantifier l'impact d'une paroi avec un mauvais impact carbone (e.g. une toiture avec du PUR) et d'une paroi avec un meilleur impact carbone (e.g. une toiture avec de la cellulose), les deux parois ayant un coefficient de transmission thermique comparable pour que la comparaison ait un sens. La différence dans l'impact carbone est prise comme la quantité de CO_2 équivalent épargné. Ce travail a été effectué pour l'isolation des toitures, des murs, des sols et des fenêtres. Il a été fait comme hypothèse que la durée de vie des toitures, sols et murs était de 60 ans et que la durée de vie des fenêtres était de 40 ans. Aussi, il a été considéré que la part de l'impact monétarisé des matériaux par rapport à la part de l'impact total (matériaux et énergie) s'appliquait au critère du réchauffement climatique pris indépendamment. Les résultats sont les suivants.

Élément	Gains en CO_2 annuel ($kg_{\text{éq},CO_2}/\text{an}$)	Indice d'impact
Toitures	15 183	4
Murs	17 617	4
Sols	3 720	2
Fenêtres	3 392	2

Il s'agit d'estimations permettant, comme pour les gains énergétiques, une cotation semi-quantitative. L'objectif est de favoriser la prise en compte de l'analyse du cycle de vie des matériaux, et la volonté est que l'étude TOTEM ait effectivement lieu pour guider les choix de matériaux.

Pour chaque mesure, les gains énergétiques annuels estimés (quand c'est pertinent) sont donnés au tableau suivant, avec l'indicateur d'impact associé. Pour certaines mesures, un indicateur d'impact a été octroyé de manière intuitive (et donc de manière plus subjective), il s'agit des indicateurs apparaissant en vert.

Mesure	Gains énergétiques annuels	Indicateur d'impact	Commentaires
M0. Suivi chron. FdR	/	/	/
M1. Compta én.	(mesure d'appui)	3	/
M2. Inst. compteurs	(mesure d'appui)	3	/
M3. Isolation toits	± 350 000 kWh	7	Voir TFE
M3b. Impact env. toits	/	4	Voir tableau ci-dessus
M4. Châssis et fenêtres	± 110 000 kWh	4	Voir ci-dessous
M4b. Impact env. fenêtres	/	2	Voir tableau ci-dessus
M5. Isolation murs	± 280 000 kWh	6	Voir ci-dessous
M5b. Impact env. murs	/	4	Voir tableau ci-dessus
M6. Isolation sols	± 150 000 kWh	5	Voir TFE
M6b. Impact env. sols	/	2	Voir tableau ci-dessus
M7. Matériaux réemploi	/	3	/
M8. Étude ventilation	/	2	/
M9. Inst. ventilation	± 50 000 kWh	3	Voir TFE
M10. URE ventilation	± 10 000 kWh	2	Voir ci-dessous

M11.	Chauffage par SER	± 330 000 kWh	7	Voir ci-dessous
M12.	Réseau ch. durable		7	/
M12b.	Réseau ch. gaz		6	/
M13.	Nouvelle chaudière	± 250 000 kWh	6	Voir ci-dessous
M14.	Nvelle inst. chauff.	± 330 000 kWh	7	Voir ci-dessous
M15.	Isol. distr. chauff.	± 40 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M16.	Dégager émetteurs	± 3 000 kWh	1	Voir ci-dessous
M17.	Isoler arrière rad.	± 1 500 kWh	1	Voir ci-dessous
M18.	Maintenance (mesure d'appui)		/	/
M19.	Régl. en T glissante	± 50 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M20.	Vannes therm.	± 30 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M21.	Intermittence	± 50 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M22.	Circul. vit. variable	± 10 000 kWh	2	Voir ci-dessous
M23.	Réno. ECS avec SER	± 100 000 kWh	5	Voir ci-dessous
M23b.	Réno. ECS avec SER	± 30 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M24.	Amener eau où utile	± 30 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M25.	Limiter les débits	± 90 000 kWh	4	Voir ci-dessous
M26.	Limiter t de puisage	± 30 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M27.	Isoler distr.ECS	± 18 000 kWh	2	Voir ci-dessous
M28.	Relighting	± 150 000 kWh	5	Voir TFE
M28b.	Laas	± 150 000 kWh	5	Voir TFE
M29.	Électricité verte	/	5	/
M30.	Protections solaires	/	3	/
M31.	Refr. naturel	/	3	/
M32.	AC : Réguler débit	± 25 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M33.	AC : plage d'hum.	± 25 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M34.	AC : plage T	± 25 000 kWh	3	Voir ci-dessous
M35.	AC : augm. COP	± 25 000 kWh	3	Voir ci-dessous

Enveloppe

- **M4** Avec une durée de chauffage t prise à 1 400 h/an (voir TFE), une surface de fenêtres S de 2338 m², une différence de température ΔT de 9°C (voir TFE), un coefficient de transmission thermique U avant travaux de 4,8 W/(m².K) et un U après travaux de 1,1 W/(m².K), les gains énergétiques s'élèvent à environ 110 000 kWh/an.

$$\Delta E = t \cdot \Delta U \cdot S \cdot \Delta T = 1400h \cdot (4,8 - 1,1) \frac{W}{m^2K} \cdot 2338m^2 \cdot 9K = 109\,000 \text{ kWh/an}$$

- **M5** Avec une durée de chauffage t prise à 1 400 h/an (voir TFE), une surface de murs S de 10 000 m², une différence de température ΔT de 9°C (voir TFE), un coefficient de transmission thermique U avant travaux de 2,4 W/(m².K) et un U après travaux de 0,15 W/(m².K), les gains énergétiques s'élèvent à environ 280 000 kWh/an.

$$\Delta E = t \cdot \Delta U \cdot S \cdot \Delta T = 1400h \cdot (2,4 - 0,15) \frac{W}{m^2K} \cdot 10000m^2 \cdot 9K = 283\,500 \text{ kWh/an}$$

Ventilation

- **M10.** Pour une consommation annuelle de 200 000 kWh pour le chauffage de l'air de la ventilation, des actions d'amélioration de la performance énergétique de l'installation déjà présente, pourrait plausiblement mener à des gains de 5%, soit à des gains de 10 000 kWh/an.

Chauffage

La consommation annuelle d'un tel établissement en combustible est de l'ordre du million de kWh. Si nous supposons un rendement *global* de 0,6, cela correspond à une énergie utile de 600 000 kWh.

- **M13.** En remplaçant la chaudière, le rendement global (PCI) passe à 0,8.

$$\frac{600\,000 \frac{kWh}{an}}{0,8} = 750\,000 \frac{kWh}{an}$$

Le gain par rapport à la situation initiale de 1 000 000 kWh est donc de 250 000 kWh/an.

- **M14 (et M11).** En rénovant complètement l'installation de chauffage, le rendement passe à 0,9.

Suivant le même calcul, le gain par rapport à la situation initiale est de 333 000 kWh/an.

- **M15.** Les gains énergétiques suite à l'isolation de quelques vannes ont été estimés dans le TFE. Ce montant est de l'ordre de 4 000 kWh/an. Il a été multiplié par 10 pour considérer un cas de départ avec une isolation de pauvre qualité (contrairement au cas du TFE), pour atteindre 40 000 kWh/an.

- **M16.** Il a été considéré que les gains énergétiques en dégageant les radiateurs seraient légèrement supérieurs à apposer une plaque isolante à l'arrière des radiateurs (voir M14), de l'ordre de 3 000 kWh/an.

- **M17.** Avec une durée de chauffage t prise à 1 400 h/an (voir TFE), une surface de radiateurs S de 200 m² (100 radiateurs de 2m² chacun), une différence de température ΔT de 5°C (différence de température entre l'intérieur et le mur intérieur), et avec une couche isolante supplémentaire de coefficient de transmission thermique U égale à 1 W/(m².K) (en supposant une couche de 2 cm d'épaisseur de conductivité thermique 0,02 W/(m.K)), les gains énergétiques s'élèvent à 1 400 kWh/an.

$$E = t \cdot U \cdot S \cdot \Delta T = 1\,400 \text{ kWh/an}$$

- **M19.** En réglant la chaudière en température glissante, une hypothèse plausible est un gain énergétique de 5%. Sur une consommation totale de 1 000 000 kWh/an, cela correspond à 50 000 kWh/an.

- **M20.** En installant des vannes thermostatiques, les circuits ne fonctionneraient pas lorsque les apports solaires sont suffisants. Considérons qu'il y ait suffisamment d'apports solaires pendant ¼ de la journée environ en moyenne, soit 350 h/an (1 400 h/4). Considérons de plus un U moyen des parois de 3 W/(m².K), une surface de déperdition de 10 000 m² et des apports solaires correspondants à 3°C. Cela correspond à des gains énergétiques annuels de l'ordre de 30 000 kWh/an.

$$E = t \cdot U \cdot S \cdot \Delta T = 30\,000 \text{ kWh/an}$$

- **M21.** L'expérience montre qu'organiser une intermittence peut facilement mener à une réduction des consommations de l'ordre de 5%, soit 50 000 kWh/an.

- **M22.** Remplacer les anciens circulateurs par des circulateurs à vitesse variable permet des gains énergétiques supplémentaires. Si en plus, ceux-ci sont éteints en été, des gains envisageables sont de l'ordre de 10 000 kWh/an.

Eau chaude sanitaire

En présence de points de puisage d'eau chaude sanitaire, il n'est pas rare de considérer que 30% de la consommation du combustible (aussi utilisé pour le chauffage) soit consommé pour l'eau chaude sanitaire. Cela correspond dans le cas présent à une consommation annuelle de 300 000 kWh/an.

- **M23.** En rénovant complètement l'installation ECS, le rendement global passe de 0,6 à 0,9, ce qui mène à des gains énergétiques de 99 000 kWh/an avec les hypothèses données ci-dessus. Arrondissons cela à des gains de l'ordre de 100 000 kWh/an.

- **M23b.** Pour des consommations en ECS moins importantes (10% de la consommation totale, plutôt que 30% tel que pris pour la mesure M22), cela correspond à des gains de l'ordre de 30 000 kWh/an.

- **M24.** Amener l'eau chaude uniquement là où elle est utile pourrait plausiblement faire économiser 10% de la consommation totale de 300 000 kWh/an, soit 30 000 kWh/an.

- **M25.** Limiter les débits pourrait plausiblement faire économiser 30% de la consommation totale de 300 000 kWh/an (sans limite, des débits de 18l/min dans les douches ne sont pas rares, on peut passer à 8l/min en limitant le débit), soit 90 000 kWh/an.

- **M26.** Limiter les temps de puisage pourrait plausiblement faire économiser 10% de la consommation totale de 300 000 kWh/an, soit 30 000 kWh/an.

- **M27.** Pour le chauffage, cette action menait à 40 000 kWh/an (voir M12.). Étant donné que 30% est consommé pour l'eau chaude sanitaire, multiplions ceci par 0,3. Multiplions encore par 1,5, car la température de l'eau pour l'eau chaude sanitaire est souvent plus élevée que pour le chauffage. Cela mène à des gains énergétiques de 18 000 kWh/an.

Production de froid

- **M32 à M35.** Ces mesures ne concernent que les bâtiments dans lesquels un système de production de froid est présent. Il est important d'éviter le recours à la climatisation quand c'est possible. Certaines infrastructures ne peuvent y échapper, c'est le cas notamment des musées. Pour les mesures M32 à M35, il a été considéré que 50% de l'énergie électrique servait à la climatisation. Il a de plus été fait comme hypothèse que chacune de ces mesures menait à une réduction de 10% de la consommation énergétique liée à la climatisation, ce qui correspond à 25 000 kWh/an.

2. Explications quant à l'échelle de priorité

L'échelle de priorité est directement liée à l'échelle d'impact carbone. De manière générale, plus l'impact carbone est grand, plus la priorité est grande également. Ceci dit, il a plusieurs fois été dérogé à cette règle pour des raisons explicitées ci-après.

- Une priorité maximale a été donnée à la tenue d'une comptabilité énergétique, indispensable pour un contrôle correct des consommations.



- Les travaux sur enveloppe ont été volontairement considérés comme prioritaires (si ce n'est l'isolation des dalles de sol qui nécessite parfois de lourds travaux). En effet, la volonté est d'inciter en premier lieu à la réduction des besoins.
- Les travaux sur enveloppe nécessitent une grande quantité de matériaux, lesquels ont un impact non-négligeable sur l'environnement. Une volonté supplémentaire est de favoriser l'utilisation de matériaux plus écologiques, d'où la priorité accordée aux analyses de cycle de vie et aux matériaux de réemploi.
- Les travaux sur enveloppe ayant un impact certain sur la qualité de l'air intérieur, une bonne isolation implique de disposer d'un système de ventilation. C'est pourquoi la priorité accordée à la ventilation est relativement importante.
- Une priorité maximale a été attribuée à toutes les mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie. Il s'agit généralement de 'quick-wins', des mesures peu coûteuses, qui ensemble peuvent mener à des réductions très importantes des consommations énergétiques.
- Les travaux relatifs au chauffage et à l'ECS sont considérés moins prioritaires. Une plus grande priorité a tout de même été octroyée lorsque des énergies renouvelables sont impliquées. La priorité (et l'impact carbone) du système ECS peut varier grandement en fonction des établissements, c'est pourquoi deux lignes sont dédiées dans l'outil d'évaluation à la rénovation du système ECS, en fonction de l'importance des consommations relatives à l'ECS.
- L'éclairage fonctionne grâce à l'électricité, qui a un impact important en termes d'énergie primaire. C'est pourquoi il a été décidé d'attribuer un indice 3 de priorité aux travaux de relighting.