



Modélisation des paramètres pertinents pour le calcul des émissions cantonales de CO₂ générées par les bâtiments

Description succincte de la méthode de TEP Energy

1 Introduction

En vertu de la loi et de l'ordonnance sur le CO₂, les cantons sont tenus, de faire rapport à la Confédération sur les émissions de CO₂ générées par les bâtiments. Peu de cantons disposant de données de base suffisantes, une méthode uniforme, fondée sur le Registre fédéral des bâtiments et des logements (RegBL) ainsi que sur des modélisations supplémentaires, et susceptible d'être mise en œuvre par tous les cantons moyennant un effort raisonnable, a donc été élaborée par ECOSPEED et TEP Energy [1]. Une méthodologie plus détaillée, qui est décrite ci-après (cf. 2.1), a été développée à partir de cette dernière. Les paramètres déterminants pour le calcul des émissions de CO₂ sont la surface de référence énergétique, l'indice énergétique, la part de l'agent énergétique et le facteur d'émission.

Les données relatives aux surfaces et aux agents énergétiques actuellement disponibles dans le RegBL ne sont pas suffisamment à jour ou incomplètes. C'est pourquoi l'ensemble des données du RegBL est complété par des données de la Statistique des bâtiments et logements (StatBL) et par des modélisations du modèle de parc des bâtiments (MPB) effectuées par TEP Energy. L'indice énergétique ne figure pas dans le RegBL mais est basé sur des résultats issus de la modélisation. Une enquête portant sur les travaux de rénovation et les agents énergétiques (ci-après « enquête par sondage ») ainsi que le développement ultérieur du MPB ont permis de mettre en évidence des différences statistiquement pertinentes entre les cantons concernant les indices énergétiques et les parts des agents énergétiques. L'OFEV présente, dans ce rapport, une synthèse de l'approche adoptée pour la modélisation de la surface de référence énergétique (cf. 2.2), de l'indice énergétique (cf. 2.3) et de la part de l'agent énergétique (cf. 2.4) basée sur le rapport détaillé de TEP Energy [2] (ci-après « rapport [2] »). En 2020, 21 cantons ont estimé leurs émissions de CO₂ à l'aide de cette méthode.

2 Description de la modélisation (MPB)

2.1 Vue d'ensemble du schéma de base

Les explications ci-après sont basées sur le point 4.2 du rapport [2]. Dans le modèle cantonal de parc des bâtiments élaboré par TEP Energy, les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie des bâtiments résidentiels et non résidentiels sont calculées en excluant les bâtiments industriels et d'exploitation agricole, dont les surfaces d'habitation sont néanmoins prises en compte.

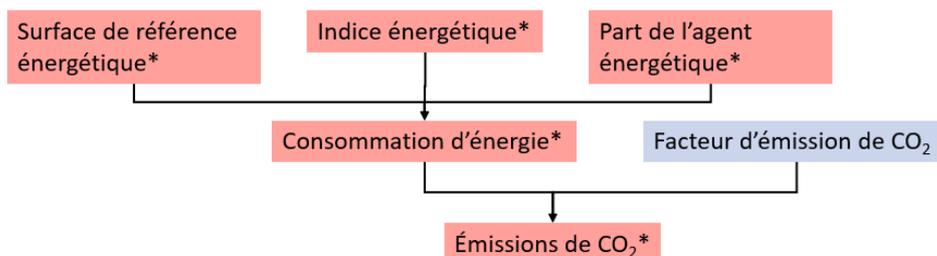


Figure 1 : Vue d'ensemble des paramètres pertinents et de leurs liens pour le calcul des émissions de CO₂. En rouge : valeurs calculées dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en bleu : données techniques et normatives. L'astérisque désigne les paramètres dont l'évolution temporelle fait l'objet d'un suivi.

La figure 1 présente un schéma partiel de la procédure de calcul, qui est représentée dans son ensemble dans la figure 5 (cf. annexe 1).

Grandeur	Abréviation	Degré de différenciation	Sources des données
Émissions de CO ₂		<ul style="list-style-type: none"> • Classe de bâtiment • Période de construction • Agent énergétique • Canton 	Calcul
Facteur d'émission de CO ₂	FE	<ul style="list-style-type: none"> • Agent énergétique 	OFEV [3]
Consommation d'énergie		<ul style="list-style-type: none"> • Classe de bâtiment • Période de construction • Agent énergétique • Canton 	Calcul dans le MPB
Surface de référence énergétique	SRE	<ul style="list-style-type: none"> • Classe de bâtiment • Période de construction • Canton 	Calcul dans le MPB
Indice énergétique (définition différente de celle de la SIA)	IE	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation • Classe de bâtiment élargie • Période de construction élargie • Agent énergétique • Canton (analogie pour certains) 	Calcul dans le MPB
Part de l'agent énergétique (rapportée à la surface)		<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation • Secteur de bâtiment • Période de construction élargie • Canton (analogie pour certains) 	Calcul dans le MPB

Tableau 1 : Vue d'ensemble des paramètres pertinents pour le calcul des émissions de CO₂, y compris leur degré de différenciation (cf. annexe 2 pour les types de bâtiments¹ et les périodes de construction) et les sources de données. S'agissant de l'utilisation, on distingue entre le chauffage et l'eau chaude. En rouge : valeur calculée dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en bleu : données techniques et normatives

¹ Le type de bâtiment est un terme général s'appliquant aux différents degrés de différenciation : secteur de bâtiment, classe de bâtiment élargie et classe de bâtiment.

Le calcul des émissions de CO₂ est basé sur la somme des produits de la consommation d'énergie fossile, différenciée selon l'agent énergétique, et du facteur d'émission de CO₂ correspondant obtenus pour les différents agents énergétiques. La consommation d'énergie différenciée selon l'agent énergétique équivaut au produit de l'indice énergétique, de la surface de référence énergétique et de la part de l'agent énergétique correspondant rapportée à surface. L'équation simplifiée ci-après permet de calculer les émissions cantonales de CO₂ en effectuant la somme pour tous les bâtiments d'un canton :

$$CO_2 = \sum_{\text{Bâtiments}} \sum_{AE} \underbrace{SRE * IE * Part\ de\ l'agent\ énergétique_{AE}}_{\text{Consommation d'énergie}_{AE}} * FE_{AE} \quad (1)$$

où les abréviations utilisées sont : CO₂ pour émissions de CO₂ ; AE pour agent énergétique ; IE pour indice énergétique ; SRE pour surface de référence énergétique ; FE pour facteur d'émission de CO₂. La différenciation en fonction des différents caractères des bâtiments selon le tableau 1 n'est pas prise en compte.

Toutes les grandeurs listées dans le tableau 1 figurent dans le MPB spécifique au canton. En l'absence de données cantonales, les valeurs sont dérivées par analogie à partir des valeurs d'autres cantons. Les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie, de même que les surfaces de référence énergétique, sont différenciées selon 19 classes de bâtiment et 13 périodes de construction (cf. annexe 2), alors que les indices énergétiques ou les parts des agents énergétiques sont différenciés selon cinq périodes de construction et sept classes de bâtiment ou trois secteurs de bâtiment. Autrement dit, bien que les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie soient indiquées avec un degré de différenciation élevé, tous les paramètres utilisés pour leur calcul ne sont pas forcément disponibles avec un degré de différenciation équivalent. Pour la consommation d'énergie et les émissions de CO₂, aucune différenciation en fonction des deux utilisations que sont le chauffage et l'eau chaude n'est faite, bien que cela soit possible, puisque les indices énergétiques et les parts des agents énergétiques sont connus dans cette différenciation.

Toutes les valeurs calculées pour les années 2016 à 2018, avec les différenciations indiquées, ont été transmises à l'OFEV et à l'EnDK dans des documents Excel confidentiels. Des données grossièrement différenciées relatives aux émissions de CO₂, aux consommations d'énergie, aux surfaces de référence énergétique et aux indices énergétiques figurent dans la publication regroupant les données des rapports cantonaux sur les émissions de CO₂ des bâtiments [4].

Les **facteurs d'émission de CO₂** [3] sont prescrits par l'OFEV et correspondent dans une large mesure à ceux de l'inventaire national des gaz à effet de serre. La surface de référence énergétique, l'indice énergétique et la part de l'agent énergétique, qui sont des paramètres devant être calculés, sont examinés de manière plus détaillée ci-après.

2.2 Surface de référence énergétique

Les explications qui suivent sont basées sur les points 3.2 et 4.3 du rapport [2]. Le calcul de la surface de référence énergétique n'est pas le même pour les bâtiments résidentiels et non résidentiels, une méthode différente étant utilisée pour ces derniers en fonction des données disponibles.

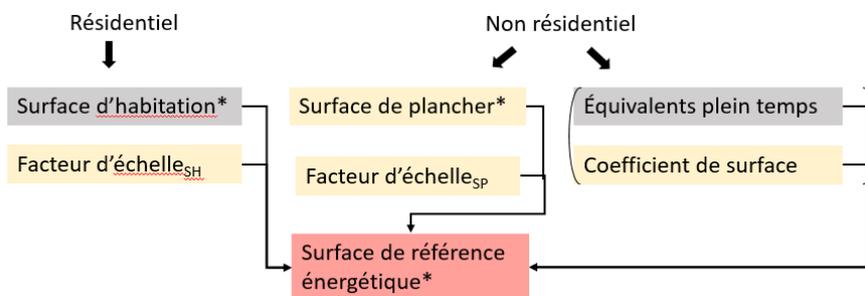


Figure 2 : Vue d'ensemble des paramètres pertinents et de leurs liens pour le calcul de la surface de référence énergétique. La procédure qui n'est utilisée qu'en l'absence de données suffisantes est indiquée entre parenthèses. En rouge : grandeur calculée dans le modèle cantonal de parc de bâtiments ; en gris : traitement de données statistiques ; en orange : analyse statistique. L'astérisque désigne les paramètres dont l'évolution temporelle fait l'objet d'un suivi.

Le traitement des données statistiques (fond gris) consiste à importer des ensembles de données qui sont ensuite agrégées et complétées. On entend généralement par analyse statistique (fond orange) une analyse de régression mais aussi, dans certains cas, des procédures spécifiques permettant de combiner plusieurs ensembles de données (surface de plancher dans le tableau 2).

Grandeur	Abréviation	Degré de différenciation	Sources des données
Surface de référence énergétique	SRE	<ul style="list-style-type: none"> Classe de bâtiment Période de construction Canton 	Calcul dans le MPB
Facteur d'échelle _{SH}		<ul style="list-style-type: none"> Secteur de bâtiment² Période de construction 	Analyse
Facteur d'échelle _{SP}		Aucune différenciation	Analyse
Surface d'habitation	SH	<ul style="list-style-type: none"> Classe de bâtiment Période de construction Canton 	StatBL
Surface de plancher	SP	<ul style="list-style-type: none"> Classe de bâtiment Période de construction Canton 	RegBL, modèle 3D de swisstopo
Indices de surface		<ul style="list-style-type: none"> Branche³ 	Analyse
Équivalents plein temps		<ul style="list-style-type: none"> Branche³ 	STATENT

Tableau 2 : Vue d'ensemble des principaux paramètres entrant dans le calcul de la surface de référence énergétique, y compris leur degré de différenciation (cf. annexe 2 pour les types de bâtiments et les périodes de construction) et les sources de données. En rouge : grandeur calculée dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en gris : traitement de données statistiques ; en orange : analyse statistique

² Le facteur d'échelle est différencié en fonction de deux secteurs de bâtiment « maisons individuelles » et « bâtiments à plusieurs logements et autres bâtiments d'habitation ». Cette répartition ne correspond pas à la définition des secteurs de bâtiment, où les bâtiments non résidentiels constituent en outre une catégorie à part.

³ Il existe au total 28 groupes de branches, dont certaines (le rapport [12] n'indique pas clairement lesquelles) sont regroupées dans le cadre de la méthode : commerce de gros de produits alimentaires, commerce de gros de produits non alimentaires, bureaux de poste, centres de distribution postale, transports et communications (autres), TIC, hôtels, hébergements de vacances, restaurants et bars, traiteurs, secteur financier, administration publique, enseignement obligatoire, gymnase/collège, enseignement supérieur, autre enseignement, hôpitaux/établissements de soins, cabinets médicaux, travail social, établissements de soins, autres soins de santé, foyers et aide sociale, services aux entreprises, culture, services à la personne, autres prestations.

Les surfaces d'habitation et les surfaces de plancher sont disponibles pour chaque bâtiment. Ces valeurs sont agrégées, pour les calculs dans le MPB, selon le degré de différenciation défini dans le tableau 2.

2.2.1 Surface de référence énergétique des bâtiments résidentiels

Pour les bâtiments résidentiels, la surface de référence énergétique est calculée à partir de la surface d'habitation et d'un facteur d'échelle :

$$SRE_{rés} = \sum_{\text{Bâtiments}} \text{Surface d'habitation} * \text{Facteur d'échelle}_{SH} \quad (2)$$

où $SRE_{rés}$ correspond à la surface de référence énergétique pour les bâtiments résidentiels et le facteur d'échelle_{SH} au facteur entre la surface d'habitation et la surface de référence énergétique. La différenciation en fonction des différents caractères des bâtiments selon le tableau 2 n'est pas représentée dans l'équation (2).

Les données relatives à la surface d'habitation sont complètes car elles proviennent de la StatBL. Le facteur d'échelle_{SH} correspondant est déterminé en plusieurs étapes en fonction du secteur de bâtiment¹ et de la période de construction :

- facteur d'échelle initial : 1,3 pour les maisons individuelles, 1,25 pour les autres bâtiments d'habitation (données tirées de [1]). Ces valeurs sont utilisées pour estimer la surface de référence énergétique totale des bâtiments résidentiels à l'échelle nationale (SRE résidentielle de référence) ;
- la surface de plancher est estimée à partir du modèle 3D, qui donne une valeur auxiliaire. La StatBL et le modèle 3D sont ensuite croisés ;
- une analyse de régression multiple permet ensuite de déterminer une corrélation entre la surface de plancher, la surface d'habitation et les caractères des bâtiments « secteur de bâtiment » et « période de construction ». On obtient ainsi un facteur d'échelle entre la surface d'habitation et la surface de plancher, qui dépend des deux caractères des bâtiments ;
- la surface de plancher est mise à l'échelle de la SRE résidentielle de référence et, partant, le facteur d'échelle également. Ce nouveau facteur est un facteur d'échelle entre la surface d'habitation et la surface de référence énergétique, qui est fonction du secteur de bâtiment et de la période de construction.

Le facteur d'échelle calculé de cette manière présente une plus grande variabilité selon le secteur de bâtiment et la période de construction que le facteur d'échelle initial. En principe, le facteur d'échelle calculé pour les maisons individuelles se situe entre 1,3 et 1,4 pour les périodes de construction antérieures à 1990 et est d'environ 1,2 pour les périodes de construction postérieures à 1990. Le facteur d'échelle pour les bâtiments à plusieurs logements et les autres bâtiments d'habitation est d'environ 1,2. Le facteur d'échelle n'est pas différencié par canton, l'appartenance cantonale ne constituant pas une variable explicative dans le modèle de régression.

La valeur de la surface de référence énergétique change au cours du temps et reflète l'évolution de la surface d'habitation. Étant donné que le RegBL et la StatBL des différentes années servent de structure quantitative de base et que le statut du bâtiment (« en construction » ou « démolé ») et l'année de construction indiqués dans le RegBL sont pris en compte, il est possible que cette valeur change au fil des ans.

2.2.2 Surface de référence énergétique des bâtiments non résidentiels

La surface de référence énergétique des bâtiments non résidentiels (à l'exclusion des bâtiments industriels et d'exploitation agricole) se compose de deux parties (somme des équations (3) et (4)), qui sont calculées selon des approches différentes.

Les données disponibles dans le RegBL et le modèle 3D sont suffisantes pour calculer la surface de référence énergétique de 80 % des bâtiments non résidentiels. Des hypothèses doivent être posées pour les surfaces des sous-sols et greniers chauffés, le modèle 3D ne fournissant aucune information à ce sujet. La surface de référence énergétique sans usage d'habitation⁴ peut être calculée de la même manière que pour les bâtiments résidentiels :

$$SRE_{non\ rés,1} = \underbrace{\sum_{\text{Bâtiments}} \text{Surface de plancher} * \text{Facteur d'échelle}_{SP}}_{SRE\ totale} - SRE_{rés} \quad (3)$$

où $SRE_{non\ rés,1}$ et $SRE_{rés}$ correspondent respectivement à la surface de référence énergétique des bâtiments non résidentiels et résidentiels, et le facteur d'échelle_{SP} au facteur entre la surface de plancher et la surface de référence énergétique. La différenciation en fonction des différents caractères des bâtiments selon le tableau 2 n'est pas représentée dans l'équation (3).

Pour estimer la surface de référence énergétique des bâtiments à usage non résidentiel⁵, on calcule d'abord la surface de référence énergétique de l'ensemble des bâtiments, de laquelle on soustrait la surface de référence énergétique des bâtiments résidentiels obtenue selon l'équation (2). La surface de référence énergétique totale est déterminée par le biais de la surface de plancher calculée à partir du RegBL et du modèle 3D. Le facteur d'échelle_{SP} correspondant est déterminé en utilisant le facteur obtenu pour les bâtiments exclusivement résidentiels dans l'analyse de régression précédemment décrite. Il n'est pas différencié en fonction des caractères des bâtiments et s'élève à 0,83.

La deuxième partie, qui comprend environ 20 % des bâtiments sans usage d'habitation, concerne les bâtiments pour lesquels le modèle 3D ne contient pas de données relatives aux surfaces. Pour ces bâtiments, la surface de référence énergétique est déterminée différemment :

$$SRE_{non\ rés,2} = \sum_{\text{Emplacement}} \text{Équivalents plein temps} * \text{Indice de surface} \quad (4)$$

où $SRE_{non\ rés,2}$ correspond à la surface de référence énergétique des bâtiments sans usage d'habitation. La différenciation en fonction des différents caractères des bâtiments selon le tableau 2 n'est pas représentée dans l'équation (4).

La surface de référence énergétique encore manquante pour les bâtiments non résidentiels est obtenue en multipliant le nombre d'emplois (en équivalents plein temps) du secteur des services par l'indice de surface (surface par emploi). Ces deux valeurs sont disponibles par groupe de branches³. À cet effet, les trois sources de données que sont la statistique structurelle des entreprises (STATENT), le RegBL et le modèle 3D doivent être croisées entre elles afin de pouvoir effectuer la somme des emplacements.

Les données relatives aux équivalents plein temps par emplacement sont tirées de la STATENT⁶. Les indices de surface par groupe de branche sont dérivés des emplacements sans usage d'habitation dont les surfaces de plancher peuvent être obtenues à partir du modèle 3D. Pour ces emplacements, la surface de référence énergétique peut être calculée à l'aide du facteur d'échelle_{SP} de l'équation (3).

⁴ La surface de référence énergétique des bâtiments sans usage d'habitation comprend toutes les surfaces de référence énergétique des bâtiments non résidentiels du secteur des services, à l'exception toutefois des surfaces des bâtiments industriels et d'exploitation agricole, qui sont exclues des calculs conformément aux limites du système.

⁵ Ces surfaces existent aussi bien dans les bâtiments non résidentiels (à usage ou sans usage d'habitation annexe) que dans les bâtiments d'habitation à usage annexe.

⁶ Toutes les branches (y c. l'agriculture et l'industrie) sont prises en compte afin de pouvoir déterminer la part du secteur des services dans les bâtiments à usage mixte.

Une analyse de régression permet d'établir, pour chaque groupe de branches, une corrélation entre la surface de référence énergétique par emplacement et les équivalents plein temps par emplacement, ce qui permet de déterminer l'indice de surface.

Lorsque plusieurs bâtiments sont regroupés en un seul emplacement (lieu de travail) dans la STATENT, la méthode décrite ici donne lieu à une sous-estimation de la surface de référence énergétique du fait que seule la surface de plancher du bâtiment principal peut être prise en compte pour calculer les indices de surface.

Selon TEP Energy, l'évolution temporelle des surfaces de référence énergétique des bâtiments non résidentiels recensés dans le RegBL est déterminée de manière analogue à la procédure applicable aux bâtiments à usage d'habitation (statut « en construction » ou « démoli » dans le RegBL). Aucune variation annuelle n'est prise en compte pour les bâtiments non recensés dans le RegBL.

2.3 Indice énergétique

Les explications ci-après sont basées sur les points 3.3 et 4.4 du rapport [2].

2.3.1 Indice énergétique pour le chauffage et l'eau chaude

L'indice énergétique décrit les besoins spécifiques en énergie par surface de référence énergétique, élément déterminant pour calculer ensuite les émissions de CO₂. Les besoins spécifiques en énergie dépendent de nombreux facteurs et paramètres d'influence. Lorsque certaines données de base font défaut, on a recours à la littérature et à des estimations d'experts.

Tout d'abord, l'indice énergétique est réparti en fonction des deux utilisations, à savoir en un indice énergétique pour le chauffage et un indice énergétique pour l'eau chaude. Ceux-ci dépendent des besoins de chaleur pondérés⁷ et du taux d'utilisation annuel du système de chauffage considéré. L'indice énergétique pour le chauffage est en outre pondéré en fonction des conditions météorologiques annuelles afin de refléter les besoins effectifs en énergie.

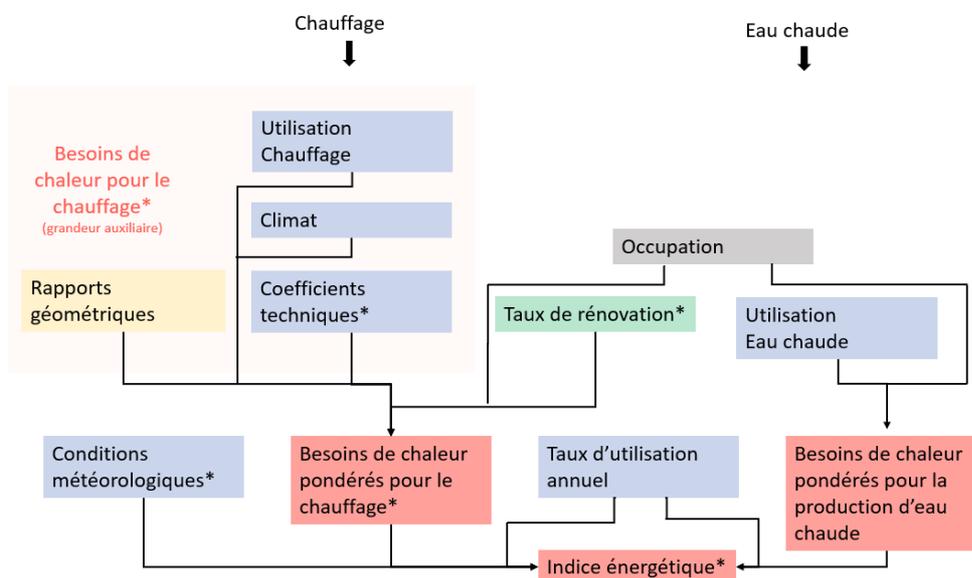


Figure 3 : Vue d'ensemble des paramètres pertinents et de leur lien pour le calcul de l'indice énergétique. Les quatre grandeurs en haut à gauche (sur fond rose pâle) sont calculées sur la base de la norme SIA 380/1:2016 relative aux besoins de chaleur pour le chauffage. En rouge : valeur calculée figurant dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en orange : analyse statistique ; en gris : traitement de données statistiques ; en vert : enquête par sondage et analyse subséquente ; en bleu : données techniques et normatives. L'astérisque désigne les paramètres dont l'évolution temporelle fait l'objet d'un suivi.

Les paramètres estimés selon cette méthode (indice énergétique, besoins de chaleur pour le chauffage et besoins de chaleur pour l'eau chaude) ne correspondent pas exactement aux définitions selon les normes SIA 380:2015 et SIA 380/1:2016. Bien qu'ils se fondent en principe sur les modes de calcul de la SIA, ils diffèrent de ceux-ci en ce qui concerne certaines étapes et les paramètres pris en compte.

Grandeur	Abréviation	Degré de différenciation	Sources des données
Indice énergétique (définition différente de celle de la SIA)	IE	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation Classe de bâtiment élargie Période de construction élargie Agent énergétique Canton (analogie pour certains) 	Calcul

⁷ La pondération tient compte de la proportion de bâtiments ayant fait l'objet de travaux de rénovation et de l'occupation.

Taux d'utilisation annuel (ou coefficient de performance annuelle)	TUA	<ul style="list-style-type: none"> Secteur de bâtiment élargi Période de construction élargie Système de chauffage 	SIA 380/1, MPB (input de projets antérieurs)
Conditions météorologiques (correction climatique)	DJU	Pas de différenciation	Analyses ex-post de l'OFEN (MétéoSuisse)
Besoins de chaleur pondérés pour le chauffage	Q _H *	<ul style="list-style-type: none"> Classe de bâtiment élargie Période de construction élargie Canton (analogie pour certains) 	Calcul
Besoins de chaleur pondérés pour l'eau chaude	Q _W *	<ul style="list-style-type: none"> Classe de bâtiment élargie Canton 	Calcul
Occupation		<ul style="list-style-type: none"> Secteur de bâtiment Canton 	StatBL, SIA 380/1
Part de rénovation	PR	<ul style="list-style-type: none"> Secteur de bâtiment Période de construction élargie Élément de construction CH / Canton (analogie pour certains) Période de rénovation 	Enquête par sondage, enquête dans plusieurs cantons (AG, BE, BL, TG et ZH) en 2001/2002 et 2009/2010
Rapports géométriques	RG	<ul style="list-style-type: none"> Classe de bâtiment élargie Période de construction élargie Élément de construction 	Modèle 3D de swiss-topo, données de Google Street View
Coefficients techniques (valeurs U et g)		<ul style="list-style-type: none"> Période de construction élargie Élément de construction Canton Période de rénovation 	Différentes éditions des MoPEC et de la norme SIA 380/1, Jakob [5], OFEN [6], Jakob [7] et [8], données tirées du MPB, estimations faites par des experts cantonaux en matière d'énergie
Utilisation Chauffage (température ambiante, surface par personne, besoins annuels en électricité, facteur de réduction pour les besoins en électricité, taux de renouvellement d'air)		<ul style="list-style-type: none"> (Classe de bâtiment élargie) (Canton) (Période de construction élargie) 	SIA 380/1, hypothèses de TEP
Utilisation Eau chaude (besoins de chaleur pour la production d'eau chaude)		<ul style="list-style-type: none"> Classe de bâtiment élargie 	SIA 380/1
Climat		<ul style="list-style-type: none"> Canton et région météorologique 	SIA 2028

Tableau 3 : Vue d'ensemble des principaux paramètres entrant dans le calcul de l'indice énergétique, y compris leur degré de différenciation (cf. annexe 2 pour les types de bâtiments et les périodes de construction) et les sources de données. L'astérisque après l'abréviation des deux besoins de chaleur indique la pondération supplémentaire effectuée et les divergences par rapport à la définition courante selon la SIA. « Utilisation Chauffage » est le terme général pour différents paramètres qui ne sont pas tous différenciés en fonction de tous les caractères mentionnés, raison pour laquelle ces derniers sont indiqués entre parenthèses. « Utilisation Eau chaude » correspond aux besoins de chaleur pour l'eau chaude. En rouge : valeur calculée dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en orange : analyse statistique ; en gris : traitement de données statistiques ; en vert : enquête par sondage et analyse subséquente ; en bleu : données techniques et normatives.

L'indice énergétique est calculé à partir des besoins de chaleur et du taux d'utilisation annuel avec, pour le chauffage, une correction en fonction des degrés-jours (conditions météorologiques) :

$$IE_{\text{Chauffage}} = \frac{Q_H^* * DJU}{TUA_H} \quad (5)$$

$$IE_{\text{Eau chaude}} = \frac{Q_W^*}{TUA_W} \quad (6)$$

où $IE_{\text{Chauffage}}$ et $IE_{\text{Eau chaude}}$ correspondent aux indices énergétiques pour les utilisations respectives ; DJU à la correction en fonction des degrés-jour ; Q_H^* et Q_W^* aux besoins de chaleur respectivement pour le chauffage (H) et pour l'eau chaude (W) pondérés (par la part de rénovation et l'occupation) ; TUA_H et TUA_W aux taux d'utilisation annuels respectivement du système de chauffage (H) et du système de production d'eau chaude (W). La différenciation en fonction des différents caractères du bâtiment selon le tableau 3 n'est pas prise en compte dans les équations ci-dessus.

L'indice énergétique total, en d'autres termes les besoins spécifiques en énergie finale par surface de référence énergétique, est obtenu en additionnant les deux indices énergétiques calculés selon les équations (5) et (6).

L'influence des **conditions météorologiques** est prise en compte sous la forme d'une correction en fonction des degrés-jours de chauffage. Cette correction est simplement multipliée par les besoins de chaleur pour le chauffage, car seuls ces derniers dépendent des températures en hiver. Le même facteur de correction est utilisé dans toute la Suisse. Il s'agit du quotient entre le nombre moyen de degrés-jours de chauffage en Suisse pour l'année donnée et le nombre de degrés-jours de chauffage unifiés en Suisse pour la période allant de 1984 à 2002 (par analogie à SIA 2028). Les données proviennent de MétéoSuisse et sont notamment aussi utilisées dans les analyses ex post de l'OFEN. Les facteurs de correction en fonction des degrés-jours de chauffage figurent dans le tableau 22 du rapport [2]. Ils varient de 15 % pour la période de 2016 à 2018 et ont donc une influence considérable sur l'indice énergétique et, par conséquent, sur la consommation d'énergie et les émissions de CO₂.

Le **taux d'utilisation annuel** décrit le rapport entre l'énergie fournie (par le combustible) et la chaleur utile pour le bâtiment. Il dépend du type de système de chauffage et d'eau chaude et peut donc différer selon le système de chauffage et de production d'eau chaude. Dans le cas d'une pompe à chaleur, on emploie le coefficient de performance annuelle à la place du taux d'utilisation. Les valeurs appliquées ont été transmises à l'OFEV et à l'EnDK dans des documents Excel confidentiels.

2.3.2 Besoins de chaleur pondérés pour le chauffage

Les besoins de chaleur pondérés pour le chauffage résultent d'un couplage en deux étapes, où les **besoins de chaleur pour le chauffage non pondérés** sont pondérés à l'aide de l'occupation et de la part de rénovation. Les besoins de chaleur non pondérés servent de grandeur auxiliaire dans le modèle et correspondent, à quelques différences près, aux besoins de chaleur pour le chauffage (non pondérés) selon la norme SIA. Ils sont estimés à l'aide des rapports géométriques, du climat, de coefficients techniques et des données d'utilisation relatives au chauffage. Ils sont représentés sur fond rose dans la figure 3 et calculés comme suit sur la base de la norme SIA 380/1:2016 :

$$Q_H = \sum_{\text{Mois}} \Delta T * \underbrace{\left(\sum_{\text{Ec}} \frac{A_{\text{Ec}}}{\text{SRE}_{\text{RG}}} * U_{\text{Ec}} \right)}_{Q_T} + Q_V - \eta_g(Q_i + Q_s) \quad (7)$$

où Q_H correspond aux besoins de chaleur pour le chauffage (non pondérés) ; ΔT à la différence entre la température ambiante et la température extérieure (climat) ; Ec à l'élément de construction ; A_{Ec} à la surface de l'élément de construction ; SRE à la surface de référence énergétique ; U_{Ec} à la valeur U de l'élément de construction correspondant (coefficient technique) ; Q_T aux déperditions par transmission (transfert de chaleur) ; Q_V aux déperditions par renouvellement d'air ; Q_i aux apports de chaleur internes (dus aux personnes, à l'éclairage et aux installations) ; Q_s aux apports de chaleur solaires et η_g au taux d'utilisation des apports de chaleur Le rapport entre la surface de l'élément de

construction et la surface de référence énergétique correspond au rapport géométrique (RG). La différenciation en fonction des différents caractères du bâtiment selon le tableau 3 n'est pas prise en compte dans l'équation ci-dessus.

Le lien entre les quatre paramètres pour le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage de la figure 3 et de l'équation (7) est le suivant : les coefficients techniques entrent dans le calcul des déperditions par transmission (valeur U) et des apports de chaleur solaires (valeur g) ; les données relatives au climat sont prises en compte dans les déperditions par transmission, les déperditions par renouvellement d'air et les apports de chaleur solaires (rayonnement solaire) ; les données relatives à l'utilisation du bâtiment sont utilisées pour le calcul des déperditions par transmission (température ambiante), des déperditions par renouvellement d'air (température ambiante et taux de renouvellement d'air) et des apports de chaleur internes (surface d'habitation, besoins en électricité et facteur de réduction pour les besoins en électricité).

Le taux d'utilisation tient compte du fait que la totalité des apports de chaleur ne peut pas être utilisée ; ces derniers sont donc ramenés à la part utilisable. La différence de température diffère selon le mois et l'emplacement. Elle comprend des données relatives au climat (température de l'air extérieur), mais aussi à l'utilisation (température ambiante). Comme indiqué plus haut, les besoins de chaleur pour le chauffage ne correspondent pas exactement à la grandeur définie dans la norme SIA 380/1:2016. Les différences sont dues au fait que, contrairement à celui de la SIA, le calcul ne s'effectue pas spécifiquement pour le bâtiment mais s'applique aux caractères du bâtiment. Ainsi, par exemple, pour les apports de chaleur solaires, l'ombrage est pris en compte de manière simplifiée en appliquant une valeur forfaitaire. De même, des ajustements sont apportés à la température ambiante pour tenir compte de l'écart de performance énergétique (Energy Performance Gap).

Les **rapports géométriques** décrivent la relation entre la surface des différents éléments de construction de l'enveloppe du bâtiment et la surface de référence énergétique ; ce sont des valeurs d'entrée nécessaires pour le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage. Ils diffèrent selon la classe de bâtiment élargie, la période de construction élargie et l'élément de construction.

Pour les éléments de construction que sont les murs, les sols et la toiture (une différenciation est faite entre une toiture plate et une toiture en pente), la surface de l'enveloppe extérieure par bâtiment est déterminée à partir du modèle 3D de swisstopo. Ce modèle présente, pour des raisons de visualisation, des écarts systématiques qui doivent être corrigés dans le MPB à l'aide de facteurs. Les sous-sols chauffés ne sont pas pris en compte. La surface de référence énergétique est également calculée à partir du modèle 3D (pour plus de détails cf. 2.2.2). Le rapport géométrique est déterminé par analyse de régression pour chaque élément de construction, en fonction de la classe de bâtiment élargie et de la période de construction élargie. Aucune différenciation n'a été faite en fonction des cantons, pratiquement aucune influence statistiquement significative n'ayant été mise en évidence dans les analyses de régression préliminaires. Toutefois, il ressort clairement de ces analyses que les cantons très urbanisés doivent être considérés séparément. Les résultats figurent dans le tableau 15 du rapport [2].

Les surfaces des fenêtres ont été déterminées à partir d'une analyse de régression des bâtiments visibles sur Google Street View effectuée dans le cadre d'un autre projet (Building Market Briefs [9]). Les rapports géométriques des fenêtres ne sont pas indiqués dans le rapport [2].

Pour les nouvelles constructions et les rénovations⁸, les **coefficients techniques** (valeurs U et g) sont adaptés par les planificateurs de manière à ce que les exigences posées au système ou les vérifications relatives aux différents éléments de construction spécifiées dans les lois sur l'énergie et les normes SIA soient respectées⁹. Diverses sources de données sont utilisées pour estimer les

⁸ Les rénovations comprennent aussi bien des assainissements complets que des assainissements partiels, par exemple le remplacement des fenêtres.

⁹ La norme SIA 380/1 définit depuis 1988, pour les nouvelles constructions et les transformations, des exigences relatives au système qui comprennent notamment des valeurs limites pour les besoins de chaleur pour le chauffage. Les valeurs limites dépendent de la catégorie de bâtiment (selon la SIA), du facteur d'enveloppe (rapport entre la surface de l'enveloppe thermique du bâtiment et la surface de

valeurs U (cf. tableau 3) conformément aux exigences applicables à ces coefficients, qui sont différenciés selon l'élément de construction (fenêtre, façade, dalle sur sous-sol, toiture), selon qu'il s'agit d'une nouvelle construction ou d'une transformation, selon la période de construction ou de rénovation et selon le canton. La différenciation cantonale est réalisée en tenant compte de la date de mise en œuvre des différentes éditions du MoPEC en ce qui concerne les exigences relatives à la protection thermique en hiver et à la part maximale d'énergies non renouvelables¹⁰. Les experts du groupe de travail sur les données énergétiques de l'EnDK ont pu vérifier les valeurs U en 2020. Ces valeurs ont été transmises à l'OFEV et à l'EnDK dans des documents Excel confidentiels et sont documentées, pour la façade des nouvelles constructions, dans le tableau 28 et, pour la façade des nouvelles constructions et des bâtiments rénovés du canton de Berne, dans tableau 16 du rapport [2].

Selon la norme SIA 380/1:2016, la valeur g entre dans le calcul des apports de chaleur solaires et se fonde, pour les valeurs jusqu'en 2005, sur des données tirées de [8] et de [9]. On ne sait pas quelles sont les valeurs numériques utilisées dans les différentes différenciations. De plus, l'estimation des déperditions et des apports de chaleur dans l'équation (7) étant relativement complexe, on peut supposer qu'outre les valeurs U et g, d'autres coefficients techniques sont utilisés pour le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage.

Selon la norme SIA 380/1:2016, différentes données relatives à l'**utilisation** dans le domaine du **chauffage** sont nécessaires pour estimer les besoins de chaleur pour le chauffage (équation 7). Les valeurs indiquées dans le tableau ci-après, différenciées par classe de bâtiment élargie, sont tirées du tableau 17 du rapport [2] et sont utilisées dans le cadre de cette méthode.

	MI	BPL	BUR	COM	HOP	ENS	AUT
Température ambiante [en °C]	20,0	20,0	19,7	18,6	20,1	19,2	19,9
Surface par personne [en m²/P]	50,0	31,2	9,0	10,6	9,4	4,8	5,4
Besoins annuels en électricité [en MJ/m²]	79	101	71	107	91	36	71
Facteur de réduction pour les besoins en électricité	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9
Taux de renouvellement d'air	1,3	1,3	2,8	2,9	4,5	5,5	7,7

Tableau 4 : Données relatives à l'utilisation entrant dans le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage pour les différentes classes de bâtiment élargies : MI : maison individuelle ; BPL : bâtiment à plusieurs logements ; BUR : immeuble de bureaux ; COM : commerce ; HOP : hôpitaux et homes ; ENS : bâtiments pour l'enseignement ; AUT : autres bâtiments. Ces classes de bâtiments sont définies de manière précise à l'annexe 2.

Les valeurs s'appliquant aux conditions d'utilisation standard sont données dans la norme SIA 380/1:2016, qui liste, par ailleurs, un plus grand nombre de grandeurs que le tableau 4. Certaines valeurs numériques indiquées dans ce tableau diffèrent des valeurs standard de la SIA car elles ont été complétées par des hypothèses posées par TEP Energy.

L'écart de performance énergétique décrit la différence entre la consommation d'énergie théorique (selon la SIA, p. ex.) et la consommation réelle. Cette différence peut s'expliquer par le comportement des utilisateurs, notamment une température plus élevée dans les logements. Cet aspect est pris en compte dans le MPB : la température ambiante définie dans le tableau 4 est adaptée en fonction de la période de construction élargie et du secteur de bâtiment. Les valeurs indiquées dans le rapport [2] (tableau 18) sont des hypothèses qui se fondent sur la littérature relative à l'écart de performance énergétique.

référence énergétique), du climat et du fait qu'il s'agit d'une nouvelle construction ou d'une transformation. Les valeurs limites ayant été renforcées lors des révisions de la norme, la période de construction et la période de rénovation du bâtiment doivent également être prises en compte lors de la détermination de ces valeurs. Les tableaux 4, 26 et 27 du rapport [2] donnent un aperçu des exigences qui s'appliquent depuis 1970.

¹⁰ La part maximale d'énergies non renouvelables exigée peut être respectée grâce un système de chauffage renouvelable, mais aussi par des mesures prises au niveau de l'enveloppe du bâtiment, raison pour laquelle elle a également une influence sur les valeurs U.

	MI et BPL	Bâtiments non résidentiels
avant 1945 et de 1946 à 1980	-0,5	-0,4
de 1981 à 2000	+0,0	-0,2
de 2001 à 2015	+1,2	+0,4
à partir de 2016	+1,8	+1,0

Tableau 5 : Ajustement de la température ambiante en °C pour tenir compte de l'écart de performance énergétique. Abréviations utilisées : MI pour maison individuelle ; BPL pour bâtiment à plusieurs logements

Les besoins de chaleur pour le chauffage sont également calculés pour les logements vacants et les appartements et maisons de vacances. À la différence des bâtiments entièrement occupés, une température ambiante inférieure de 5 °C leur est appliquée dans le modèle. Cette hypothèse uniforme ne tient pas compte du fait que l'effet de la sous-utilisation est probablement plus important dans les maisons de vacances non contiguës que dans les appartements de vacances qui sont indirectement chauffés par les appartements adjacents.

Dans le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage (équation 7), le **climat**, en d'autres termes la température de l'air extérieur et le rayonnement solaire, sont également pris en compte. Ce dernier est utilisé pour estimer les apports de chaleur solaires. La première est soustraite de la température ambiante ajustée afin d'obtenir la différence de température. Les données climatiques correspondent aux valeurs moyennes pour la période de 1984 à 2002 mesurées par 40 stations météorologiques recommandées par la SIA et réparties dans les sous-régions ou les cantons en fonction du nombre d'habitants par commune et de l'altitude.

Dans le MPB, les besoins de chaleur pour le chauffage sont pondérés avec la part de rénovation et l'occupation selon l'équation (7). On obtient ainsi les **besoins de chaleur pondérés pour le chauffage**, qui sont différenciés en fonction de la classe de bâtiment élargie, de la période de construction élargie et du canton.

Dans le modèle, les logements vacants et les maisons et appartements de vacances sont pris en compte en fonction de l'**occupation**. Ces trois situations sont regroupées ci-après sous le terme de logements vacants. La part de ces logements, différenciée par secteur de bâtiment et par canton, est intégrée comme suit dans les calculs :

$$Q_H^{*,o} = Q_H^T * (1 - Part\ Lvacants) + Q_H^{T-5} * Part\ Lvacants \quad (8)$$

où $Q_H^{*,o}$ correspond aux besoins de chaleur pondérés pour le chauffage ne tenant pas compte de la part de rénovation ; Q_H^T aux besoins de chaleur (non pondérés) pour le chauffage des logements entièrement occupés ; Q_H^{T-5} aux besoins de chaleur (non pondérés) pour le chauffage des logements vacants (température inférieure de 5 °C) et Part Lvacants à la part de logements vacants de l'ensemble du parc immobilier. La différenciation en fonction des différents caractères des bâtiments selon le tableau 3 n'est pas prise en compte dans l'équation ci-dessus.

Les données de la StatBL sont utilisées pour estimer la part de logements vacants. Le caractère « nombre de personnes en ménage privé dans le logement » permet d'identifier les logements vacants (soit nombre = 0). La part correspond au nombre de logements, mais est appliquée directement en tant que proportion de la surface faute de données supplémentaires. Les valeurs employées ont été transmises à l'OFEV et à l'EnDK dans des documents Excel confidentiels.

La pondération des besoins de chaleur pour le chauffage avec la **part de rénovation** s'effectue, sous forme simplifiée, comme suit :

$$Q_H^* = Q_H^{initial} * (1 - \sum_{Ec,Pr} PR_{Ec,Pr}) + \sum_{Ec,Pr} Q_H^{rénovation} * PR_{Ec,Pr} \quad (9)$$

où Q_H^* correspond aux besoins de chaleur pondérés pour le chauffage ; PR à la part de rénovation ; Ec à l'élément de construction ; Pr à la période de rénovation ; $Q_H^{initial}$ aux besoins de chaleur pour le chauffage à l'état initial (y c. la pondération pour l'occupation) ; $Q_H^{rénovation}$ aux besoins de chaleur pour le chauffage après rénovation (y c. la pondération pour l'occupation). La différenciation en fonction des différents caractères des bâtiments selon le tableau 3 n'est pas prise en compte dans l'équation ci-dessus.

L'équation (9) prend en compte la rénovation des bâtiments anciens en distinguant les besoins de chaleur pour le chauffage à l'état initial et après rénovation. Ces deux valeurs doivent être déterminées selon les équations (7) et (8), en utilisant une valeur U inférieure pour l'état après rénovation. L'effet de la rénovation est obtenu en additionnant les besoins de chaleur pour le chauffage des bâtiments à l'état initial multipliés par la part des bâtiments non rénovés et les besoins de chaleur pour le chauffage après rénovation multipliés par les parts de rénovation respectives. La part de rénovation de même que les besoins de chaleur pour le chauffage après rénovation dépendent de la période de rénovation (1991-2000, 2001-2010, 2011-2019) et des éléments de construction (fenêtres, façade, dalle sur sous-sol, toiture en pente) ayant été rénovés. Dans le modèle, les rénovations ne sont pas prises en compte dans le calcul de manière spécifique pour un bâtiment faute de données de base, mais en fonction des caractères du bâtiment (secteur de bâtiment, période de construction élargie et canton).

La part de rénovation est différenciée en fonction du secteur de bâtiment, de la période de construction élargie, de l'élément de construction, du canton et de la période de rénovation, et se fonde de manière empirique sur les données de l'enquête par sondage effectuée en 2020 ainsi que sur d'autres enquêtes réalisées en 2001/2002 et 2009/2010 dans plusieurs cantons (AG, BE, BL, TG et ZH). Les différences entre les cantons sont faibles (cf. explications ci-après). Dans les cantons pour lesquels des données d'enquêtes antérieures sont disponibles, ces données ont été utilisées pour valider l'enquête par sondage réalisée en 2020.

Enquête par sondage réalisée en 2020

En vue de l'élaboration de la méthode de calcul des émissions de CO₂ décrite dans le présent rapport, TEP Energy a mené une enquête en ligne en 2019 et 2020. Un échantillon de propriétaires de bâtiments a été contacté dans 18 cantons (AG, AI, AR, BE, BL, GL, GR, LU, NE, NW, OW, SG, SO, SZ, TI, UR, VD, ZG)¹¹. Les travaux d'entretien et de rénovation énergétique de l'enveloppe du bâtiment et du système de chauffage réalisés au cours des 30 dernières années ont été recensés. La date à laquelle ces travaux ont été effectués a également été demandée. Des informations sur la taille de l'échantillon et le taux de réponse figurent dans le rapport [2]. La taille de l'échantillon requise pour obtenir l'erreur d'échantillonnage souhaitée a été atteinte dans les différents cantons. L'erreur type et la valeur p des analyses de régression subséquentes sont indiquées, pour les variables individuelles, dans les tableaux 7, 29 et 30 du rapport [2]. La réalisation de l'enquête par sondage a nécessité un effort relativement important tant pour TEP Energy que de la part des cantons. Si l'on veut assurer le suivi selon cette méthode, cette enquête par sondage devra être répétée à intervalles réguliers afin de refléter l'évolution des travaux de rénovation énergétique.

La part de rénovation par élément de construction et par période de rénovation fournit des informations sur l'état énergétique du parc immobilier pour une année donnée. Elle résulte des taux de rénovation cumulés. Les taux annuels de rénovation permettent de représenter l'évolution temporelle de la part de

¹¹ Une enquête en ligne a également été menée en 2021 dans le canton de Zurich. Ces données seront prises en compte à l'avenir dans l'estimation de la part de rénovation.

rénovation dans le MPB. Les valeurs numériques ont été transmises à l'OFEV et à l'EnDK dans des documents Excel confidentiels.

Une analyse de régression (approche logit) permet d'estimer le taux de rénovation en fonction de différents caractères (secteur de bâtiment, période de construction élargie, canton, période de rénovation et élément de construction). Elle met en évidence les caractères ayant une influence statistiquement pertinente. Les résultats montrent que quatre cantons (AI, AR, LU et NE) ont un taux de rénovation significativement plus élevé que les quatorze autres. Un taux de rénovation identique est appliqué pour ces derniers, de même que pour les huit cantons pour lesquels il n'y a pas eu d'enquête par sondage. Les taux de rénovation sont nettement plus faibles pour la façade, la dalle sur sous-sol et la toiture en pente que pour les fenêtres. S'agissant de la façade et de la toiture en pente, aucune différence ne peut être mise en évidence entre les bâtiments résidentiels et non résidentiels ; toutefois les bâtiments résidentiels présentent un taux de rénovation supérieur pour la dalle sur sous-sol. Comme on pouvait le prévoir, les taux de rénovation sont plus élevés pour les bâtiments plus anciens et les périodes de rénovation plus récentes (2001-2010 et 2011-2019 en comparaison de 1991-2000). Les résultats du modèle de régression et les taux de rénovation des différents éléments de construction, des secteurs de bâtiment et des périodes de rénovation sont présentés dans le rapport [2] (tableau 7, figure 10 et annexe A.4).

2.3.3 Besoins de chaleur pondérés pour l'eau chaude

Les **besoins de chaleur pondérés pour l'eau chaude** sont différenciés selon la classe de bâtiment élargie et le canton. Ils résultent de la mise à l'échelle des valeurs pour l'utilisation de l'eau chaude en fonction de la densité d'**occupation** par canton et par secteur de bâtiment. Les valeurs numériques ont été transmises à l'OFEV et à l'EnDK dans des documents Excel confidentiels.

Les données relatives à l'**utilisation de l'eau chaude** correspondent aux besoins de chaleur (non pondérés) pour l'eau chaude, qui sont des hypothèses techniques se référant à la norme SIA 380/1. Les valeurs suivantes, différenciées par classe de bâtiment élargie, figurent dans le rapport [2] (tableau 17) :

	MI	BPL	BUR	COM	HOP	ENS	AUT
Besoins de chaleur pour l'eau chaude [en MJ/m²]	50,4	75,6	8,3	8,0	190,2	36,2	9,5

Tableau 6 : Besoins de chaleur pour l'eau chaude pour les différentes classes de bâtiment élargies. MI : maison individuelle ; BPL : bâtiment à plusieurs logements ; BUR : immeuble de bureaux ; COM : commerce ; HOP : hôpitaux et homes ; ENS : bâtiments pour l'enseignement ; AUT : autres bâtiments. Ces classes de bâtiment sont définies de manière précise à l'annexe 2.

2.4 Part de l'agent énergétique

Les explications ci-après se fondent sur les points 3.4 et 3.5 du rapport [2]. La part de l'agent énergétique est modélisée dans le MPB sur la base d'autres sources de données. La part de l'agent énergétique rapportée à la surface de référence énergétique est calculée séparément pour les deux utilisations (chauffage et eau chaude). Il y a lieu de tenir compte du fait que l'agent énergétique et le système de chauffage sont deux choses différentes (notamment dans le cas de pompes à chaleur) et que leurs parts peuvent par conséquent différer.

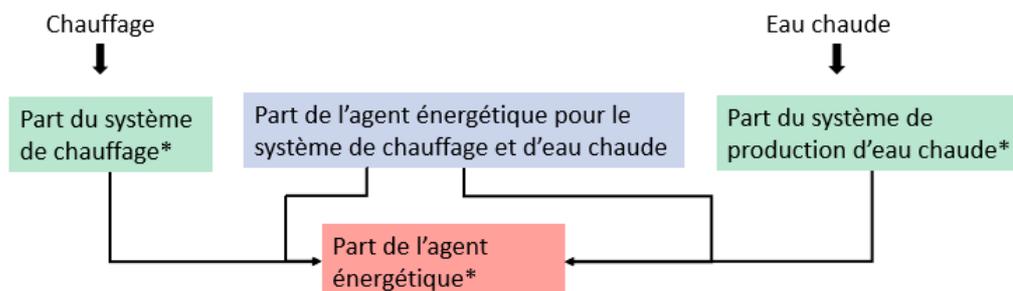


Figure 4 : Vue d'ensemble des paramètres pertinents et de leur lien pour le calcul de la part des agents énergétiques. En rouge : valeurs calculées dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en vert : enquête par sondage et analyse subséquente ; en bleu : données techniques et normatives. L'astérisque désigne les paramètres dont l'évolution temporelle fait l'objet d'un suivi.

On distingue huit agents énergétiques : le mazout, le gaz naturel, l'électricité, le chauffage à distance, le bois/la biomasse, l'énergie solaire, la chaleur environnementale et « autres », qui regroupe le biogaz, le charbon et le gaz liquide. On entend par énergie solaire uniquement l'énergie thermique, l'électricité produite par les systèmes photovoltaïques étant souvent injectée dans le réseau électrique et, par conséquent, attribuée à la production d'énergie. Le MPB n'inclut pas l'énergie solaire pour le chauffage ni l'agent énergétique « autres » pour l'eau chaude.

Grandeur	Abréviation	Degré de différenciation	Sources des données
Part de l'agent énergétique (rapportée à la surface)		<ul style="list-style-type: none"> Utilisation Système de chauffage Secteur de bâtiment Période de construction élargie Canton (analogie pour certains) 	Calcul
Part du système de chauffage (rapportée à la surface)	Part Ch	<ul style="list-style-type: none"> Secteur de bâtiment Période de construction élargie Canton (analogie pour certains) 	RegBL, enquête par sondage, Office cantonal de la statistique BS
Part du système de production d'eau chaude rapportée à la surface)	Part ECS	<ul style="list-style-type: none"> Secteur de bâtiment Période de construction élargie Canton (analogie pour certains) 	RegBL, enquête par sondage, Office cantonal de la statistique BS
Part de l'agent énergétique pour le système (de chauffage et d'eau chaude)	Part de l'AE pour le S	<ul style="list-style-type: none"> Secteur de bâtiment Période de construction élargie 	(Statistiques agrégées et coefficients)

Tableau 7 : Vue d'ensemble des principaux paramètres entrant dans le calcul de la part de l'agent énergétique, y compris leur degré de différenciation (cf. annexe 2 pour les types de bâtiments et les périodes de construction) et les sources de données utilisées. En rouge : grandeur calculée dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en vert : enquête par sondage et analyse subséquente ; en bleu : données techniques et normatives.

La part de l'agent énergétique rapportée à la surface de référence énergétique est obtenue par multiplication ; une distinction est faite en fonction de l'utilisation :

$$Part\ de\ l'agent\ énergétique_{chauffage} = Part\ Ch * Part\ de\ l'AE\ pour\ le\ S \quad (10)$$

$$Part\ de\ l'agent\ énergétique_{Eau\ chaude} = Part\ ECS * Part\ de\ l'AE\ pour\ le\ S \quad (11)$$

où Part Ch correspond à la part du système de chauffage rapportée à la surface ; Part de l'AE pour le S à la part de l'agent énergétique pour le système de chauffage et d'eau chaude et Part ECS à la part du système de production d'eau chaude. La différenciation en fonction des caractères présentés dans le tableau 7 n'est pas prise en compte.

Les **parts de l'agent énergétique pour le système de chauffage et d'eau chaude** sont des données techniques ou des hypothèses. Souvent, l'agent énergétique et le système de chauffage et d'eau chaude concordent ; ainsi, une chaudière à mazout fonctionne avec du mazout. C'est n'est toutefois pas toujours le cas, notamment pour les pompes à chaleur, qui utilisent deux agents énergétiques (électricité et chaleur environnementale).

Il arrive, en outre, que deux ou plusieurs systèmes de chauffage et d'eau chaude soient utilisés. Dans le MPB, seul le système primaire est pris en compte. Les capteurs solaires (pour l'eau chaude), notamment, qui servent de système secondaire, seraient ainsi ignorés. Aussi, par le biais des parts de l'agent énergétique pour le système de chauffage et d'eau chaude, les parts d'autres agents énergétiques (y c. l'énergie solaire thermique) peuvent également être imputées au système de production d'eau chaude correspondant. Si, en hiver, la production d'eau chaude est assurée par le système de chauffage, en été, l'électricité représente 60 %, l'énergie solaire thermique 20 % et le mazout, le gaz et les pompes à chaleur 20 %. Les systèmes complémentaires et les systèmes de production d'eau chaude séparés utilisent l'électricité et l'énergie solaire thermique à raison respectivement de 55 % et de 13 %, le mazout, le gaz et les pompes à chaleur représentant les 32 % restants. Le rapport [2] n'indique pas la proportion des systèmes de chauffage et d'eau chaude utilisant un seul système (en hiver), ou un système complémentaire ou séparé. TEP Energy mentionne des statistiques agrégées et des coefficients en tant que sources de données pour les parts de l'agent énergétique pour le système de chauffage et d'eau chaude.

2.4.1 Part des systèmes de chauffage

La part des systèmes de production de chaleur et des systèmes de production d'eau chaude rapportée à la surface de référence énergétique pourrait théoriquement être déterminée à partir du RegBL. Toutefois, les informations concernant l'agent énergétique utilisé dans les bâtiments résidentiels et non résidentiels recensés ne sont souvent pas à jour et, par ailleurs, incomplètes, notamment pour les derniers nommés¹². Les **parts des systèmes de chauffage** sont donc calculées à l'aide d'une analyse de régression statistique (régression fractionnée) à partir des données de l'enquête par sondage. La part des systèmes de chauffage est corrélée avec les caractères « secteur de bâtiment », « période de construction » et « canton ». L'enquête par sondage ne permet pas de connaître la part se rapportant à la surface mais reflète celle se rapportant au nombre de bâtiments. Faute d'autres données, cette part est assimilée à la part se rapportant à la surface. Les valeurs obtenues par le biais de l'analyse de régression figurent dans les tableaux 29 et 30 du rapport [2]. Les parts des systèmes de chauffage sont présentées dans les figures 12, 13 et 54 dudit rapport et ont été transmises à l'OFEV et à l'EnDK dans des documents Excel confidentiels. Comparés aux bâtiments résidentiels, les bâtiments non résidentiels présentent une part de chauffage à distance et au gaz plus importante et une part de pompes à chaleur nettement plus faible.

Les parts des systèmes de chauffage sont différenciées en fonction des trois secteurs de bâtiment, des cinq périodes de construction élargies et des cantons. Par conséquent, la part de l'agent énergétique

¹² Une grande partie des données correspondent à l'état en 2001. <https://www.housing-stat.ch/monitoringnrj/> fournit des informations spécifiques aux communes sur l'actualisation des données relatives au système de chauffage dans le RegBL.

ne diffère que selon les trois secteurs de bâtiment, bien qu'elle soit présentée en fonction de sept classes de bâtiment élargies.

Huit cantons (BS, FR, GE, JU, SH, TG, VS, ZH¹³) n'ont pas fait l'objet d'une enquête par sondage et l'estimation des parts du système de chauffage a donc été effectuée en tirant des conclusions par analogie et, pour des bâtiments plus récents, à l'aide des données du RegBL.

Canton	Bâtiments résidentiels construits avant 1980	Bâtiments résidentiels construits après 1980
BS	Office cantonal de la statistique BS	Office cantonal de la statistique BS
FR	Idem moyenne de BE, NE et VD	RegBL
GE	idem VD	RegBL
JU	idem BE	RegBL
SH, TG, ZH ¹³	idem SG	RegBL
VS	RegBL	RegBL

Tableau 8 : Procédure pour la détermination des parts du système de chauffage pour les bâtiments résidentiels dans les cantons dans lesquels l'enquête par sondage n'a pas été effectuée

S'agissant des bâtiments non résidentiels, on a eu recours, pour les huit cantons dans lesquels l'enquête par sondage n'a pas été effectuée, aux données du RegBL uniquement pour les bâtiments construits après 2016. Pour ceux construits avant cette date, on a procédé comme pour les bâtiments résidentiels, en tirant des conclusions par analogie.

Les systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sont remplacés tous les 20 à 25 ans environ. Le taux de remplacement est par conséquent de 4 à 5 % par an. Il arrive souvent que le même système soit à nouveau installé, mais ce n'est pas toujours le cas. On observe une évolution temporelle des parts des systèmes chauffage et de production d'eau chaude et, partant, des parts des agents énergétiques (taux de changement d'agent énergétique).

L'enquête par sondage portait sur le système de chauffage actuel et le système antérieur au dernier remplacement, ainsi que sur la période au cours de laquelle le système de chauffage a été remplacé. L'analyse de régression décrite ci-dessus pour déterminer la part du système de chauffage n'est pas seulement effectuée pour 2020 (année où l'enquête par sondage a été réalisée), mais aussi pour 2015 et 2010. À partir des parts du système de chauffage obtenues à trois périodes différentes, on peut estimer que le taux de changement d'agent énergétique par an est constant (cf. figure 15 du rapport [2]). À l'instar des parts du système de chauffage, les taux de changement d'agent énergétique se situent dans une fourchette de +/- 3 % et, sont également différenciés en fonction du secteur de bâtiment, de la période de construction élargie et du canton. En revanche, les taux ne diffèrent guère en fonction de la période de construction. Ces taux de changement d'agent énergétique permettent de calculer, en partant de 2020 (année de l'enquête par sondage), la part du système de chauffage pour les différentes années pour lesquelles un rapport doit être remis.

Les taux de changement d'agent énergétique obtenus à partir des données de l'enquête par sondage laissent apparaître le profil suivant pour le remplacement des systèmes de chauffage entre 2015 et 2020 :

- les parts de pompes à chaleur, de gaz et de chauffage à distance se sont accrues, l'augmentation concernant les pompes à chaleur étant plus importante pour les bâtiments résidentiels que pour les bâtiments non résidentiels ; la progression des chauffages au gaz est la plus importante dans les bâtiments à plusieurs logements et celle du chauffage à distance dans les bâtiments non résidentiels ;
- les parts du bois et du système de chauffage « autres » (électricité) ont légèrement diminué ;
- la part des chauffages au mazout est en forte diminution dans tous les secteurs de bâtiment.

¹³ Une enquête par sondage a été réalisée en 2021 dans le canton de Zurich. Ces données seront prises en compte à l'avenir dans l'estimation des parts du système de chauffage (en lieu et place des conclusions par analogie).

2.4.2 Part des systèmes de production d'eau chaude

Les données de base concernant la **part des systèmes de production d'eau chaude** sont tout aussi insatisfaisantes que celles disponibles pour les systèmes de chauffage, raison pour laquelle l'enquête par sondage comportait également des questions concernant la production d'eau chaude. Les parts des systèmes de production d'eau chaude ont été évaluées de manière descriptive à partir des données collectées et sont présentées dans la figure 17 du rapport [2]. Pour les cantons dans lesquels l'enquête par sondage n'a pas été effectuée, les parts des systèmes de production d'eau chaude sont déterminées à l'aide des mêmes conclusions par analogie que pour les systèmes de chauffage (cf. 2.4.1). Le taux de changement d'agent énergétique est utilisé lorsque la production d'eau chaude est assurée en hiver par le système de chauffage ; il n'est toutefois pas pris en compte pour les systèmes de production d'eau chaude complémentaires ou séparés du système de chauffage.

3 Validation

Les explications ci-après se fondent sur le point 4.7 du rapport [2].

Les consommations d'énergie selon les MPB des cantons sont comparées à celles tirées de la Statistique globale suisse de l'énergie et de l'analyse complémentaire ex-post par application. La première permet une vérification indépendante alors que ce n'est que partiellement le cas pour l'analyse ex-post, le MPB étant utilisé pour estimer la consommation d'énergie du secteur des services. Les éléments qui se dégagent de cette comparaison sont les suivants (cf. figure 24 du rapport [2]) :

- la consommation énergétique totale des bâtiments résidentiels et non résidentiels ne diffère que de 1 % ;
- s'agissant de la consommation d'énergie fossile, la différence est d'environ 10 % aussi bien pour l'huile de chauffage que pour le gaz naturel, la statistique globale de l'énergie présentant des valeurs plus élevées ;
- la différence est relativement faible pour le bois et l'électricité ;
- les écarts relatifs sont nettement plus importants pour la chaleur environnementale et le chauffage à distance¹⁴ (environ 30 %) ;
- la consommation énergétique totale des bâtiments résidentiels présente un écart de 3 %. Si l'on considère uniquement les agents énergétiques fossiles, la différence est d'environ -7 % ;
- la consommation énergétique totale des bâtiments non résidentiels présente un écart similaire ; la différence est toutefois plus importante pour les agents énergétiques fossiles (-15 % pour le gaz et -20 % pour le mazout).

Une vérification des indices énergétiques et des parts des agents énergétiques ainsi que de leur évolution relative peut être faite sur la base de graphiques. Les indices énergétiques sont cohérents dans la mesure où le nombre de bâtiments dans la catégorie correspondante et dans le canton est suffisant. L'évolution relative peut néanmoins parfois présenter des discontinuités. Les besoins de chaleur et les parts des agents énergétiques sont représentés graphiquement dans le rapport [2] (cf. 5.2 et 5.3).

Les parts des systèmes de chauffage obtenues dans le MPB (analyse de régression utilisant les données de l'enquête par sondage) peuvent être comparées avec le RegBL pour les bâtiments construits à partir de 2001. Dans la plupart des cas (par canton et par système de chauffage), les écarts sont inférieurs à 5 % (cf. figure 16 du rapport [2]).

Deux cantons disposent de calculs indépendants pour les indices énergétiques, dont les valeurs peuvent être comparées avec celles du MPB (cf. figures 25 et 26 du rapport [2]).

- Pour le canton X, qui ne peut être nommé pour des raisons de protection des données, les écarts relevés vont de 10 à 30 kWh/m² (soit jusqu'à 30 %). La concordance est relativement bonne pour les bâtiments à plusieurs logements et les immeubles de bureaux alors que les maisons individuelles présentent des divergences assez importantes en fonction de la période de construction.
- Pour le canton de Genève, les écarts relevés vont de 10 à 50 kWh/m² (soit jusqu'à 50 %), les divergences les plus importantes concernant les bâtiments à plusieurs logements.

¹⁴ On considère que le chauffage à distance est sous-estimé dans la Statistique suisse globale de l'énergie.

Annexe 1 Vue d'ensemble du modèle

Le schéma ci-après présente une vue d'ensemble du modèle conçu pour le calcul des émissions de CO₂. Il s'agit toutefois d'une représentation simplifiée.

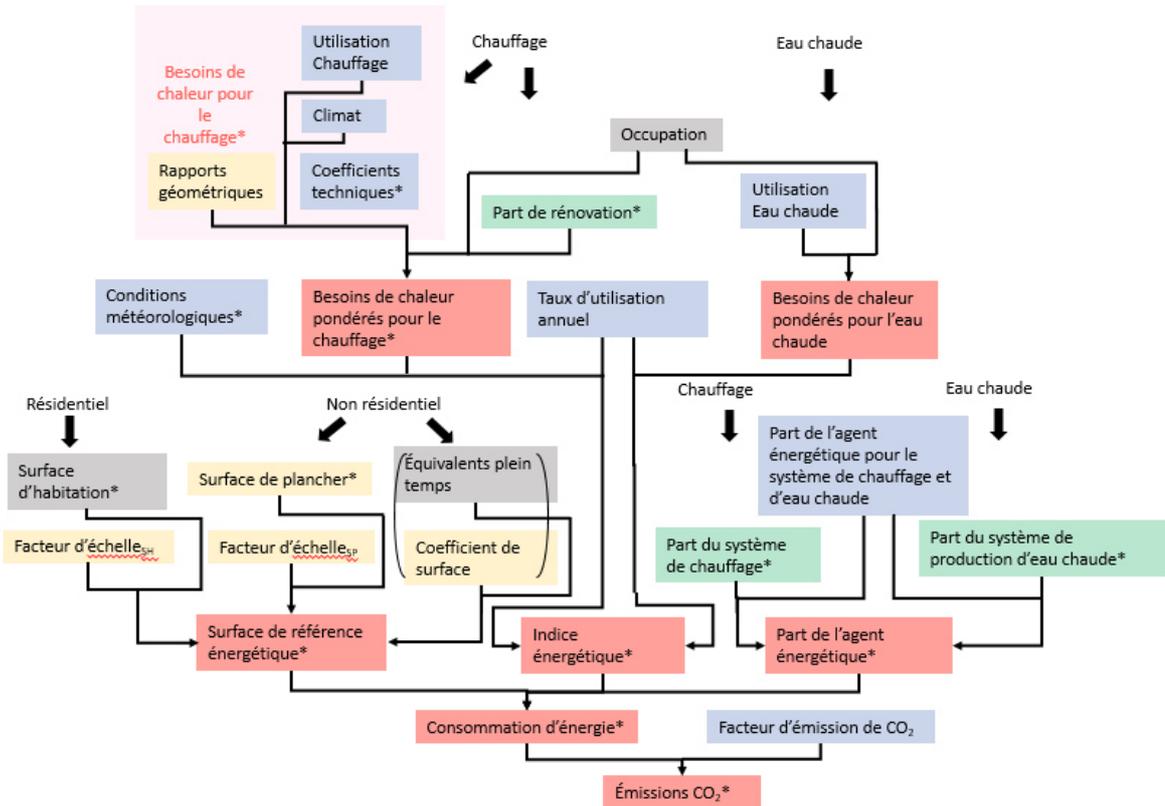


Figure 5 : Vue d'ensemble complète de tous les paramètres pertinents et de leurs liens pour le calcul des émissions de CO₂. Les quatre grandeurs en haut à gauche (sur fond rose pâle) sont utilisées pour le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage. La procédure entre parenthèses est appliquée en l'absence de données suffisantes. En rouge : valeur calculée dans le modèle cantonal de parc des bâtiments ; en gris : traitement de données statistiques ; en orange : analyse statistique ; en vert : enquête par sondage et analyse subséquente ; en bleu : données techniques et normatives. L'astérisque désigne les paramètres dont l'évolution temporelle fait l'objet d'un suivi.

Annexe 2 Différenciation des types de bâtiments et des périodes de construction

Classe de bâtiment	Classe de bâtiment élargie	Secteur de bâtiment
Maison individuelle	Maison individuelle (MI)	Maison individuelle (MI)
Bâtiment à plusieurs logements	Bâtiment à plusieurs logements (BPL)	Bâtiment à plusieurs logements (BPL)
Bâtiment d'habitation à usage annexe		
Bâtiment partiellement à usage d'habitation		
Immeubles de bureaux	Immeubles de bureaux (BUR)	Bâtiments non résidentiels (BNR)
Bâtiments commerciaux	Commerce (COM)	
Bâtiments pour l'enseignement et la recherche	Bâtiments pour l'enseignement (ENS)	
Hôpitaux et établissements de santé	Hôpitaux et homes (HOP)	
Hôtels et bâtiments d'hébergement	Autres (AUT)	
Autres bâtiments d'hébergement de tourisme		
Bâtiments pour les communications, gares, aéroports et bâtiments assimilés		
Bâtiments à usage récréatif ou culturel		
Musées et bibliothèques		
Salles de sport		
Édifices culturels et religieux		
Garages		
Réservoirs, silos et entrepôts		
Monuments historiques ou classés		
Autres bâtiments non classés ailleurs		

Tableau 9 : Relation entre les classes de bâtiment, les classes de bâtiment élargies et les secteurs de bâtiment. Sont prises en compte, dans l'ensemble, les surfaces de référence énergétique du secteur résidentiel (ménages) et du secteur des services (NOGA 45 à 96).

Période de construction	Période de construction élargie
avant 1919	avant 1945
de 1919 à 1945	
de 1946 à 1960	de 1946 à 1980
de 1961 à 1970	
de 1971 à 1980	
de 1981 à 1985	de 1981 à 2000
de 1986 à 1990	
de 1991 à 1995	
de 1996 à 2000	
de 2001 à 2005	de 2001 à 2015
de 2006 à 2010	
de 2011 à 2015	
à partir de 2016	à partir de 2016

Tableau 10 : Relation entre les périodes de construction et les périodes de construction élargies

Annexe 3 Bibliographie

- [1] ECOSPEED, TEP Energy 2016 : Méthode de calcul des émissions cantonales de CO₂ des bâtiments sur la base du registre des bâtiments et logements (RegBL), Zurich, 28 p.
- [2] TEP Energy 2021 : Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich, Zurich, 119 p.
- [3] OFEV 2018 : Facteurs d'émission de CO₂ pour l'établissement de rapports par les cantons, Berne, 3 p.
- [4] OFEV et OFEN 2020 : Effets de la politique climatique et énergétique dans les cantons 2018, Secteur du bâtiment, Berne, 32 p.
- [5] Jakob M. 2008 : Grundlagen zur Wirkungsabschätzung der Energiepolitik der Kantone im Gebäudebereich, Zurich, 34 p.
- [6] OFEV et OFEN 2020 : État de la politique énergétique et climatique dans les cantons 2020, Berne, 132 p.
- [7] Jakob M., Jochem E., Christen K. 2002 : Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmassnahmen bei Wohngebäuden, Berne, 400 p.
- [8] Jakob M., Jochem E., Honegger A., Baumgartner A., Menti U., Plüss I. 2006 : Grenzkosten bei forcierten Energieeffizienzmassnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Berne, 360 p.
- [9] TEP Energy 2017 : Building Market Briefs, Suisse, Zurich, 58 p.

Impressum

Office fédéral de l'environnement, août 2021

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)
Division Climat
CH-3003 Berne

Autrice

Carla Gross, OFEV, division Climat

Consultation

Regine Röthlisberger, OFEV, division Climat
Martin Jakob, TEP Energy

Contact

climate@bafu.admin.ch

Traduction

Service linguistique de l'OFEV