



Méthode ECOSPEED Immo

Calcul des émissions cantonales de CO₂ des bâtiments
sur la base du statistique des bâtiments et logements (StatBL)
et le modèle de parc des bâtiments (MPB)

Zurich, 17.05.2018

Sommaire

1. MÉTHODE.....	3
1.1 LIMITES DU SYSTÈME ET PÉRIMÈTRE DE RÉFLEXION	3
1.2 FORMULES GÉNÉRALES	4
1.3 APERÇU DES DONNÉES DISPONIBLES	4
2. SURFACE DE RÉFÉRENCE ÉNERGÉTIQUE (EBF).....	5
2.1 BÂTIMENTS D'HABITATION / USAGE RÉSIDENTIEL	5
2.2 BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS	5
3. INDICATEUR ÉNERGÉTIQUE (EKZ).....	6
4. MIX ÉNERGÉTIQUES (ET-MIX)	8
5. COEFFICIENTS D'ÉMISSION DE CO₂ (FCO₂)	10
6. NOTE DE LA LITTÉRATURE	11

Auteurs

ECOSPEED AG
Christoph Hartmann
Drahtzugstrasse 18
8008 Zürich
hartmann@ecospeed.ch

TEP Energy
Martin Jakob
Rotbuchstrasse 68
8037 Zürich
martin.jakob@tep-energy.ch

1. Méthode

La méthodologie listée ici est basée sur le rapport « Méthode pour calculer les émissions cantonales de CO₂ des bâtiments sur la base du statistique des bâtiments et logements (StatBL) » du 19.12.2016, qui a été commandée par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Ce rapport décrit plusieurs variantes. Ce rapport montre laquelle de ces variantes a été utilisée dans le calcul des résultats 2016.

1.1 Limites du système et périmètre de réflexion

Le tableau suivant donne un aperçu sur les catégories de bâtiment (GKAT) respectivement sur les classes de bâtiment (GKLAS). Par conséquent, GKAT est utilisé pour les bâtiments résidentiel et GKLAS pour les bâtiments non-résidentiel. ECOSPEED Immo couvre tous les types de bâtiments, tandis que le rapport sur le CO₂ à l'OFEV ne tient pas compte quelques types de bâtiments (voir tableau).

GKAT	GKLAS	Description	ECOSPEED Immo	Rapport CO ₂ à l'OFEV
1010		Habitation provisoires		
1021		Maisons individuelles	✓	✓
1025		Maisons à plusieurs logements	✓	✓
1030		Bâtiments d'habitation avec usage annexe	✓	✓
1040		Bâtiments partiellement à usage d'habitation	✓	✓
1060		Bâtiments sans usage d'habitation		
	1211	Hôtels	✓	✓
	1212	Autres bâtiments d'hebergement	✓	✓
	1220	Immeubles de bureaux	✓	✓
	1230	Bâtiments commerciaux	✓	✓
	1241	Bâtiments transports et communications	✓	✓
	1242	Garages	✓	✓
	1251	Bâtiments industriels	✓	
	1252	Réservoirs, silos et entrepôts	✓	✓
	1261	Bâtiments à usage récréatif ou culturel	✓	✓
	1262	Musées et bibliothèques	✓	✓
	1263	Bâtiments l'enseignement et la recherche	✓	✓
	1264	Hôpitaux et établissements de santé	✓	✓
	1265	Salles de sport	✓	✓
	1271	Bâtiments d'exploitation agricole	✓	
	1272	Édifices cultuels et religieux	✓	✓
	1273	Monuments historiques ou classés	✓	✓
	1274	Autres bâtiments non classés ailleurs	✓	✓
1080		Constructions particulières		

1.2 Formules générales

Les formules suivantes sont utilisées pour le calcul des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ au niveau groupe de bâtiment :

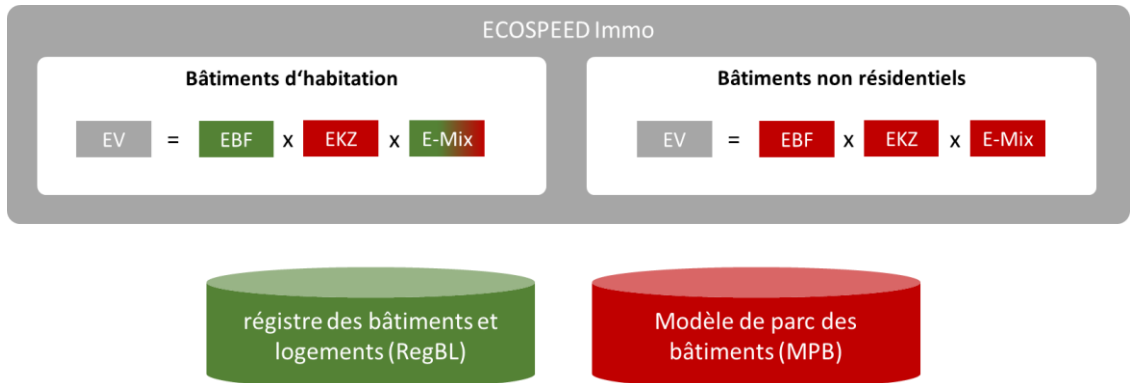
- Consommation d'énergie $EV(ET) = EBF \cdot EKZ \cdot E_Mix$
- Émissions de CO₂ $CO2 = EV(ET) \cdot fCO2$

Légende

<i>EV</i>	= Consommation d'énergie	
<i>EBF</i>	= Surface de référence énergétique	voir le chap. 2
<i>EKZ</i>	= Indicateur énergétique par source d'énergie	voir le chap. 3
<i>E-Mix</i>	= pourcentage de la EBF par système de chauffage, pourcentage par source d'énergie pour chaque système de chauffage	voir le chap. 4
<i>ET</i>	= Source d'énergie	
<i>fCO2</i>	= Coefficient d'émission de CO ₂ (équivalents CO ₂)	voir le chap. 5

1.3 Aperçu des données disponibles

La figure ci-dessous illustre la source des données intervenant dans le calcul de la consommation d'énergie.



Bâtiments résidentiels

- Surface de référence énergétique (EBF)
La surface de référence énergétique est calculer par la surface habitable (StatBL) pour les bâtiments résidentiels et les autres bâtiments avec usage habitation.
- Indicateur énergétique (EKZ)
L'indicateur énergétique (kWh/m²) pour chaleur et eau chaude proviennent du modèle du parc de bâtiments (MPB) de l'entreprise TEP-Energy.
- Mix énergétiques (ET-Mix)
L'information du système énergétique d'un bâtiment est enregistré dans la première inscription dans StatBL, mais la mise à jour à un changement de la source énergétique souvent n'est pas fait. C'est pourquoi un certain changement du vecteur énergétique dans StatBL et modélisé. Ceci est fait dans le modèle de parc de bâtiment de TEP-Energy.

Bâtiments non-résidentiels

Puisque les bâtiments non-résidentiels ne sont que partiellement enregistrés dans StatBL, toutes les informations (EBF, EKZ, ET-Mix) doivent être modélisés. Ceci est fait dans le modèle de parc de bâtiment de TEP-Energy au niveau du canton (pas au niveau du bâtiments). Il est différencié entre différentes caractéristiques du bâtiment (Jakob et al 2016).

Sur le base de ces données, la méthode appropriée du rapport méthodologique (Hartmann et Jakob, 2017) a été sélectionnée et a été spécifiquement adaptés dans certains endroits (voir le chap. 2 à 5).

2. Surface de référence énergétique (EBF)

2.1 Bâtiments d'habitation / usage résidentiel

Pour les bâtiments à usage d'habitation (GKAT: 1021, 1025) et pour les bâtiments à usage mixte (GKAT : 1030, 1040) la surface énergétique est calculée a base du surface habitable comme suit:

$$EBF_{résidentiel} = WAREA \cdot f_{WAREA-EBF}$$

EBF = Surface de référence énergétique

WAREA = Surface habitable

f_{WAREA-EBF} = Facteur de conversion de la surface habitable en surface de référence énergétique

- Maisons individuelles (GKAT: 1021) 1.3
- Maisons à plusieurs logements (GKAT: 1025) 1.25
- Bâtiments d'habitation avec usage annexe (GKAT: 1030) 1.25
- Bâtiments partiellement à usage d'habitation (GKAT: 1040) 1.25

2.2 Bâtiments non résidentiels

Comme il faudra un certain temps avant que le RegBL contienne suffisamment de données pour permettre une modélisation au niveau des bâtiments non résidentiels, la surface énergétique des bâtiments non-résidentiel devient du modèle de parc de bâtiments de TEP-Energy (MPB).

Dans le modèle de parc de bâtiment (MPB) de TEP Energy, les surfaces de référence énergétiques ont été calculées sur la base d'une procédure d'échantillonnage et d'extrapolation adaptée. Dans ce cas, un échantillon de communes avec suffisamment de données disponibles est obtenu à l'intersection du registre des entreprises et des établissements (REE) de l'OFS et des données correspondantes du RegBL. Un modèle de régression a ensuite été adapté aux données de surface et d'employés obtenues puis appliqué à l'ensemble de la Suisse pour l'extrapolation. La procédure entière et les données sous-jacentes sont décrites en détail dans le rapport « *Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäß SIA-Effizienzpfad* » (Jakob et al, 2016) [Élargissement du modèle de parc immobilier suivant la voie SIA vers l'efficacité énergétique].

La procédure d'extrapolation peut être appliquée au niveau du canton dans le cadre de l'ordonnance sur le CO₂. Ses résultats sont mis à disposition.

3. Indicateur énergétique (EKZ)

Comme la plupart des cantons n'ont pas leurs propres indicateurs énergétiques (échantillon), des indicateurs standards sont utilisées comme solution temporaire jusqu'à ces données soient disponibles.

La consommation d'énergie finale par m² de surface de référence énergétique (EBF) et par source d'énergie est calculée fondamentalement sur la base du besoin d'énergie utile (spécifique) et des facteurs d'utilisation par source d'énergie (en fonction de la répartition par âge des chaudières). Le transfert des résultats spécifiques par surface s'effectue au niveau des familles de bâtiments (par analogie avec les spécifications correspondantes concernant le besoin d'énergie utile et les facteurs d'utilisation). Pour le calcul du besoin spécifique d'énergie finale, il convient aussi de faire la différence entre la chaleur de chauffage, l'eau chaude et l'énergie de processus :

- **Chaleur de chauffage**

Pour déterminer la chaleur de chauffage, les valeurs spécifiques de consommation d'énergie de chauffage dans le modèle de parc immobilier sont calculées¹ en trois étapes : pour commencer, on calcule le besoin calorifique, ce qui permet de différencier les familles de bâtiments. Dans la deuxième étape, on calcule la consommation spécifique d'énergie finale (kWh/m²) en divisant le besoin calorifique par le facteur d'utilisation. Dans la troisième étape les indicateurs énergétiques sont corrigés climatiques.

- Le calcul du besoin spécifique de chaleur de chauffage est calculé à la manière du bilan énergétique et du Certificat énergétique cantonal des bâtiments CECB (procédure simplifiée selon SIA 380/1), selon les données d'entrée requises sont partiellement dérivées indirectement d'informations relative à l'énergie. Considéré sont la forme géométrique des groupes de bâtiments, l'état énergétique de l'enveloppe du bâtiment (coefficients de transfert thermique variant suivant l'époque de construction et l'époque de rénovation) et le rapport entre les surfaces rénovées et non rénovées. Les taux de rénovation énergétique et l'efficacité énergétique moyenne des rénovations énergétiques sont calculés sur la base du MPB, comme décrit dans le rapport de L'OFEN « *Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich – Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen* » (Jakob et al. 2014)².
- La consommation spécifique est dérivée du besoin spécifique de chaleur de chauffage Q_h (voir *supra*) et du facteur d'utilisation de l'installation de chauffage utilisée. Dans le MPI, les facteurs d'utilisation dépendent de l'âge et donc indirectement de l'époque de construction des bâtiments (surtout les constructions récentes).
- Correction climatique des indicateurs énergétiques, pour ajuster les valeurs du modèle à la température actuelle en 2016. Ceci a été fait comme dans les analyses ex post de l'OFEN.

¹ En guise d'alternative, les valeurs spécifiques de consommation d'énergie de chauffage peuvent être déterminées par échantillonnage représentatif ou stratifié.

² Au besoin, l'état énergétique peut être évalué sur la base des études sur l'énergie des années précédentes (cf. Ott, Jakob et al. 2014 et Jakob et al. 2014) au moyen d'un échantillonnage représentatif ou stratifié ayant lieu périodiquement toutes les deux à cinq années.

Les différences spécifiques au niveau des cantons concernant les deux variables proviennent d'une part de la structure du parc de bâtiments (époques de construction, classes de bâtiments), d'autre part des activités de remplacement et de substitution. Les différences spécifiques au niveau des cantons découlent également de la structure des données utilisées et du mix énergétiques calculés (voir ci-dessous). Ce dernier en particulier en raison de degré d'utilisation et de l'âge du bâtiment.

En conséquence, d'autres différences spécifiques aux cantons pourraient être cartographiées pour chaque canton avec une estimation d'expert, à travers des ateliers avec des représentants cantonaux, avec des données cantonales sur les politiques d'énergie et de subvention ou des échantillons spécifiques (similaire à dans Banfi, Jakob et al. 2012³ et dans Ott, Jakob et al. 2014).

- **Eau chaude**

Pour l'eau chaude, le besoin spécifique d'énergie finale est fonction de la catégorie du bâtiment et varie suivant le nombre d'usagers ou la surface. Dans le MPB, la consommation spécifique par usager est convertie sur la base des données spécifiques d'utilisation des locaux. Les données d'utilisation des locaux s'appuient d'une part sur le cahier technique SIA 2024, d'autre part sur l'échantillon indiqué précédemment (ayant servi à calculer la surface par employé) et des données nationales suisses (nombre d'habitants et employés par branche d'activité). Comme pour la chaleur de chauffage, la consommation d'énergie finale est obtenue en divisant le besoin de chaleur de chauffage par le facteur d'utilisation de l'installation de préparation et distribution d'eau chaude. De même que la chaleur de chauffage, le facteur d'utilisation dépend également de la technologie, de l'âge des installations et des habitudes de consommation (préparation d'eau chaude saisonnière ou toute l'année).

³ Banfi S, Farsi M, Jakob M. (2012). An Analysis of Investment Decisions for Energy-Efficient Renovation of Multi-Family Buildings. CEPE, ETH Zürich et TEP Energy pour le compte du CCEM, de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), des cantons suisses BL, TG et ZH, de la ville de Zurich. Zurich, avril.

4. Mix énergétiques (ET-Mix)

Les sources d'énergie sont d'abord attribuées au niveau des bâtiments distincts ou au niveau des familles de bâtiments, puis au niveau des bâtiments résidentiels, des bâtiments à usage mixte et des bâtiments non résidentiels. Comme les données du RegBL sont partiellement périmées (à partir de 2000), le mix énergétique est ajusté. Parce que, pour cette raison, les données StatBL de 2016 d'OFS n'étaient pas disponibles, une extrapolation du mix énergétiques de 2015 à 2016 était également nécessaire.

Secteur résidentiel

Le mix énergétique lié à la surface référence énergétique a été déterminé par groupe de construction (composé de bâtiments ayant la même période de construction et la même catégorie ou classe de bâtiments). À cette fin, tous les bâtiments considérés pour le logement ont été considérés (sources d'énergie du StatBL, surface référence énergétique résidentiel du StatBL). En référence à la partie introductive, la détermination du mix énergétiques est basée sur les étapes suivantes :

1. Application de la source d'énergie dans le RegBL.
2. Extrapolation du mix énergétiques de 2015 à 2016, en utilisant les données StatBL disponibles de 2009 à 2015.
3. Déplacement du mix énergétique (spécifique à chaque groupe de bâtiments) pour rencontrer (avec le MPB) la statistique globale de l'énergie, ceci en tenant compte des données structurelles cantonales (mix énergétiques StatBL, zones d'approvisionnement existantes (par exemple réseau gazier existant ou inexistant)).

Selon les besoins, une distinction a été faite entre les domaines suivants (types de bâtiments) :

- **Bâtiments résidentiels anciens** (incl. bâtiments non résidentiels avec usage résidentiels), ça veut dire des bâtiments de la période de construction 2010 à 2015 ainsi que des bâtiments construits en 2016 :
 - Application de de la source d'énergie du StatBL au niveau du bâtiment unique.
 - Extrapolation de 2015 à 2016.
 - Ajustements mineurs à l'aide des enquêtes de Wüest et Partner (voir, par exemple, Wüest and Partner 2016) et en tenant compte de la recommandation de l'OFEV (OFEV 2015).
- **Inventaire des bâtiments résidentiels :**
 - Reprise de l'information sur la source d'énergie de StatBL⁴ à MPB.
 - Calcul du mix énergétique, ça veut dire les proportions des différentes sources d'énergie, agrégées pour les différents groupes de bâtiments. A cet effet, un système de chauffage ou des parties de plusieurs systèmes de chauffage ont été affectés à chaque source d'énergie par groupe de bâtiments (pour l'électricité, par exemple, a les radiateurs électriques et les pompes à chaleur ont été attribuées) et un mix énergétique a été attribué à chaque système de chauffage pétrôle et soleil ou électricité et chaleur environnementale). Cela prend en compte

⁴ Actuellement, le RegBL et le StatBL n'ont pas le type de système de chauffage (par exemple, pompe à chaleur), mais la principale source d'énergie (par exemple, l'électricité) et le type de chauffage. Les informations sur les sources d'énergie secondaires dans les systèmes bivalents et dans la préparation d'eau chaude ne sont pas disponibles.

la propagation des systèmes de chauffage avec plusieurs sources énergétiques (à savoir dans le domaine de l'eau chaude).

- Déplacement du mix énergétique (spécifique à chaque group de bâtiments) pour que la statistique globale de l'énergie est respectée. Ceci en tenant compte des données structurelles cantonales (mix énergétiques du StatBL, zones d'approvisionnement existantes (par exemple réseau gazier existant ou inexistant)). Pour ce faire, le MPB a effectué plusieurs exécutions et effectué les ajustements de manière itérative, en comparant les résultats du modèle avec la statistique globale de l'énergie et d'autres informations statistiques.

Le tableau suivant montre dans quelle mesure les données du StatBL peuvent dévier de l'état réel dans le parc de bâtiments. Par rapport au statistique global de l'énergie, l'huile a donné un écart de +19% (surestimation) au niveau de la consommation d'énergie finale. Ceci entre le calcul MPB comparativement effectuée avec les informations d'origine et la statistique global de l'énergie. Pour le gaz, l'écart est encore plus élevé en termes de montant, ce qui est une sous-estimation de -23%. Dans l'ensemble des cantons, le partage énergétique du pétrole a été ajustée d'un facteur de 0,88 et le partage du gaz d'un facteur de 1,33.

	Mazout [GWh]	Gaz [GWh]
a) MPB avec source d'énergie originale (StatBL)	26'890	10'419
b) MPB mix énergétique adapté	23'750	14'127
c) Statistique globale de l'énergie (GEST)	22'619	13'608

Facteur d'échelle

MPB/StatBL	88%	136%
GEST/StatBL	84%	131%

Déviation

(MPB avec original StatBL - GEST) / GEST	+19%	-23%
--	------	------

Consommation d'énergie du mazout et du gaz pour 3 cas :

- a) Calculé avec le MPB en utilisant les informations d'origine de l'énergie selon GWS.
- b) Calculé avec le MPB après ajustement du mix énergétique par canton comme décrit dans le texte.
- c) Selon la statistique globale d'énergie (GEST).

Secteur des services

Le mix énergétique pour les bâtiments non-résidentiels a également été déterminée avec le modèle de parc de bâtiment (MPB) :

- **Bâtiments non résidentiels neufs**

Calcul de la probabilité d’une source d’énergie par bâtiment, ou de leur répartition par groupe de bâtiments dans le MPB. Ceci est fait sur la base d’informations à l’échelle nationale (cf. l’étude de Wüest & Partner pour l’OFEV/l’OFEN sur les parts de marché dans les constructions neuves⁵ et les recommandations de l’OFEV⁶), résultats des analyses ex post de l’OFEN (OFEN 2017b) et des variables structurelles cantonales (parts de source d’énergie par canton dans le domaine des bâtiments avec usage mixte, ça veut dire chez les bâtiments d’habitation avec usage annexe [GKAT 1030] et chez les bâtiments partiellement à usage d’habitation [GKAT 1040]).

- **Bâtiments non résidentiels anciens**

Calcul de la probabilité d’une source énergétique par bâtiment, ou de leur répartition par groupe de bâtiments dans le MPI sur la base des données nationales suisses (statistique de l’énergie, enquête sur la consommation d’énergie dans le secondaire et le tertiaire) et des variables structurelles cantonales dans le MPB ou dans TEP Tertiary.

5. Coefficients d’émission de CO₂ (fCO₂)

Les émissions de CO₂ sont calculées sur la base de l’énergie finale. Les coefficients d’émission de CO₂ applicables sont publiés par l’Office fédéral de l’environnement et identiques aux coefficients utilisés pour l’inventaire national des émissions de gaz à effet de serre.

Les coefficients s’appuient sur les listes de la source d’énergie du StatBL (GENHZ & GENWW) ou les valeurs d’énergie finale calculées (comme décrit ci-dessus) et sont définies comme suit :

Sources d’énergie	t CO ₂ / TJ
Mazout	73.7
Gaz naturel	56.4
Autres sources énergétiques	0

⁵ Wüest & Partner (2016) : « Heizsysteme: Entwicklung der Marktanteile 2002-2015 – Aktualisierung 2015 » [Systèmes de chauffage: évolution des parts de marché de 2002 à 2015 - Mise à jour 2015], Berne/Zurich, mai, pour le compte de l’OFEN.

⁶ OFEV (2015): « Empfehlungen für Projekte und Programme in den Bereichen Komfort und Prozesswärme – Anhang F zur Mitteilung Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland » [Recommandations aux projets et programmes en matière de confort et d’énergie de processus - Annexe F pour la communication des projets et programmes de réduction des émissions en Suisse], OFEV, secrétariat Compensation, Berne, mars (Version 2).

6. Note de la littérature

- BAFU (2015): Empfehlungen für Projekte und Programme in den Bereichen Komfort und Prozesswärme – Anhang F zur Mitteilung Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland. BAFU Geschäftsstelle Kompensation, Bern, März (Version 2).
- Banfi S., Farsi M., Jakob M. (2012). An Analysis of Investment Decisions for Energy-Efficient Renovation of Multi-Family Buildings. CEPE, ETH Zürich und TEP Energy on behalf of CCEM, Swiss Federal Office of Energy (SFOE), the Swiss cantons of BL, TG and ZH, the City of Zurich, Zurich, April.
- BFE (2017a): Ex-Post-Analyse des Energieverbrauchs der schweizerischen Haushalte 2000 bis 2016 nach Bestimmungsfaktoren und Verwendungszwecken. Prognos i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- BFE (2017b): Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2015 nach Bestimmungsfaktoren. Prognos, TEP Energy, Infrac i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- Jakob et al. (2016). Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad“. TEP Energy und Lemon Consult i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- Jakob et al. (2014). Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich – Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen. TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- Ott W., Jakob M., Berleth H., Bolliger R., Bade S., Karlegger A., Jaberg A. (2013). „Erneuerungstätigkeit und Erneuerungsmotive bei Wohn- und Bürobauten.“ Im Auftrag Energieforschung Stadt Zürich, Zürich.
- Wüest & Partner (2016): Heizsysteme: Entwicklung der Marktanteile 2002-2015 – Aktualisierung 2015, im Auftrag des BFE, Bern/Zürich, Mai.