



Juin 2024

Fiche d'information Facteurs d'émission des chauffages

1 Facteurs d'émission moyens des chauffages (gaz naturel, huile extra-légère et bois)

1.1 Chauffages au gaz naturel ou à l'huile

À partir d'une vaste base de données comprenant plus de 200 000 mesures effectuées en 2010 et 2011 lors du contrôle officiel des chauffages dans six cantons (BE, BS, LU, SZ, UR et ZG) ainsi que dans la ville de Zurich, les facteurs d'émission moyens des chauffages fonctionnant au gaz naturel ou à l'huile extra-légère (HEL) en Suisse ont été déterminés pour l'année 2010 concernant les oxydes d'azote (NO_x , indiqués en équivalents NO_2) et le monoxyde de carbone (CO). En tenant compte des années de construction et des durées de vie moyennes des chauffages, des facteurs d'émission pour l'année 2020, indiqués dans le tableau 1, ont aussi été calculés. Les facteurs d'émission exprimés en [mg/MJ] ont été calculés à partir des concentrations de polluants mesurées dans les effluents gazeux en [mg/m³ de volume d'effluents], en prenant en considération le pouvoir calorifique inférieur (PCI) et le volume d'effluents gazeux secs V_{es} . Conformément à l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) [1], une teneur en oxygène de référence de 3 % vol de O_2 est utilisée pour le gaz naturel et l'HEL. Le facteur d'émission pour les oxydes de soufre (SO_x , indiqué en équivalents SO_2) du gaz naturel est basé sur l'indication de la composition du gaz mesurée pour 2020 par la Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux (SVGW). Pour l'HEL, le facteur d'émission se base sur la moyenne des analyses de la teneur en soufre des années 2019-2021, pondérées pour les deux qualités d'HEL, Euro et Eco pauvre en soufre. Les valeurs des facteurs d'émission de SO_x pour le gaz naturel ainsi que de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et de poussières proviennent du Manuel « Coefficients d'émission des sources stationnaires » (OFEFP, 2000) [2].

Les facteurs d'émission du méthane (CH_4) correspondent aux valeurs par défaut des Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre [3]. Les facteurs d'émission pour le dioxyde de carbone (CO_2) et les pouvoirs calorifiques s'appuient sur les valeurs de la fiche d'information « Facteurs d'émission de CO_2 selon l'inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse » (état en janvier 2023) [4]. À noter que les facteurs d'émission de CO_2 et les pouvoirs calorifiques du gaz naturel qui y figurent sont calculés chaque année à partir des analyses de la composition du gaz naturel (données de l'Association Suisse de l'Industrie Gazière et de la SVGW), raison pour laquelle les valeurs changent légèrement d'année en année. Le tableau 1 présente les valeurs moyennes des années 2013 à 2022.

1.2 Chauffages au bois

1.2.1 Détermination des facteurs d'émission

Dans le cadre d'une étude approfondie, les facteurs d'émission des chauffages au bois ont été révisés pour l'année 2020 ainsi que pour les années antérieures (1990, 2008, 2014) et postérieures (2035) sur la base de données de mesure, de données tirées de la littérature et de modélisations [5]. Les facteurs d'émission ont été actualisés en ce qui concerne les polluants suivants : NO_x , CO, COVNM, CH_4 , poussières fines, black carbon, SO_x , ammoniac, métaux lourds, polluants organiques persistants et benzène. La détermination des facteurs d'émission pour les polluants NO_x , CO, COVNM, CH_4 , poussières fines et SO_x figurant au tableau 1 est décrite ci-après. Les modifications des facteurs d'émission par rapport au dernier remaniement en 2014 s'expliquent par des durcissements des dispositions de l'OPair intervenus en 2012 et en 2018, par une plus grande part de chauffages modernes et installations équipées d'un système d'épuration des effluents gazeux, et enfin par une exploitation améliorée. Les données de plus de 60 publications et d'un grand nombre de mesures des émissions des chauffages automatiques des années 2015 à 2020 ont été évaluées, et des facteurs d'émission moyens représentatifs des conditions suisses ont été déterminés. Des données de la littérature existaient surtout pour le NO_x , le CO, les COV et les poussières fines émis par les chauffages individuels et les chauffages des bâtiments,

mais presque pas pour les autres polluants atmosphériques ni pour les chauffages automatiques. Les chauffages au bois ont été classés selon les catégories d'installations 1 à 19 répertoriées dans la publication Schweizerische Holzenergiestatistik (statistique suisse de l'énergie du bois) [6]. Pour les chauffages automatiques, on distingue les installations situées à l'intérieur de celles se trouvant à l'extérieur des entreprises de transformation du bois (ETB). Dans les catégories 1 à 18 (des cheminées à foyer ouvert aux installations de couplage chaleur-force alimentées au bois), on utilise du bois de chauffage (annexe 5, ch. 31, al. 1, OPair) et dans la catégorie 19 (installations à déchets renouvelables), en priorité du bois usagé (annexe 5, ch. 31, al. 2, let. a, OPair). Les pouvoirs calorifiques spécifiques et volumes d'effluents secs servant à convertir les concentrations de polluants mesurées de [mg/m³ volume d'effluents] en facteurs d'émission en [mg/MJ] se rapportent au bois d'humidité u utilisé dans la catégorie d'installations concernée.

Les facteurs d'émission de NO_x, de CO, de COV et de poussières fines émis par les chauffages de locaux individuels (cat. 1 à 6) et les chauffages des bâtiments (cat. 7 à 11b) se fondent exclusivement sur les données de la littérature. Ont été prises en considération seules les données reflétant le mieux possible l'exploitation réelle, c'est-à-dire l'ensemble de la combustion à différentes phases de l'exploitation et les différents facteurs d'influence liés à cette dernière. Les données étaient disponibles majoritairement pour les catégories d'installation « cheminées à foyer fermé », « poèles-cheminées » et « poèles en métal et en faïence » (cat. 2 à 4a, 5). Les facteurs d'émission pour ces catégories ont été déterminés sur la base d'un modèle qui tient compte de différentes technologies (combustion à une ou plusieurs étapes) et d'influences négatives (allumage par le bas, utilisation de papier journal, de bois humide, surcharge de la chambre de combustion, réduction de l'entrée d'air) par rapport à une exploitation optimale. Il existe peu de données en ce qui concerne les cheminées à foyer ouvert, les cuisinières à bois, les fourneaux de chauffage central et les chaudières à double combustion / à combustion alternée. C'est pourquoi les facteurs d'émission de la dernière mise à jour (2014) ont été employés pour le NO_x, le CO et les poussières fines. Pour les COV, la valeur des catégories d'installation 2 à 4a, 5 a été reprise.

Afin de déterminer les facteurs d'émission des chauffages automatiques d'un pouvoir calorifique supérieur à 50 kW (bois déchiqueté, granulés), y compris les installations à déchets renouvelables (chaudières à bois usagé), un grand nombre de données de mesure (env. 2 500 mesures réalisées auprès de 1 300 installations) ont été exploitées. Ces données provenaient essentiellement des mesures du contrôle de réception et des mesures périodiques, mais aussi des mesures de longue durée et des mesures relatives à des polluants supplémentaires. Les mesures du contrôle de réception et les mesures périodiques incluaient des mesures du CO et des poussières fines, généralement du NO_x et parfois des COV, et provenaient de neuf cantons (AG, AR, BE, FR, JU, NW, OW, ZG et ZH). D'après la statistique suisse de l'énergie du bois (tableau P) [6], les installations dans ces neuf cantons correspondaient à la moitié (du point de vue du nombre comme de la puissance) des chauffages automatiques installés en Suisse en 2020. Les rapports de mesure de ces cantons couvrent aussi les installations de différentes régions du pays (sauf le Tessin) et de villes, d'agglomérations et de régions de montagne, c'est pourquoi les données sont jugées représentatives. Ces nombreuses mesures ont permis de déterminer des facteurs d'émission moyens pour toutes les catégories de chauffage automatique, à pleine charge et à charge partielle, en exploitation stationnaire. En complément, les données de 36 mesures de longue durée ont été évaluées et prises en considération ; en plus de l'exploitation stationnaire, elles incluaient les émissions des phases de démarrage et finale de la combustion et de l'exploitation en mode veille ou « maintien du lit de braises ». Ces mesures ont fourni des informations sur la durée et les parts (en %) de la puissance effective aux différentes phases d'exploitation. À partir de toutes ces indications, des facteurs d'émission moyens ont été modélisés pour le NO_x, le CO, les COV et les poussières fines dans le cadre d'une exploitation typique.

Les facteurs d'émission des installations de couplage chaleur-force alimentées au bois pour le NO_x, le CO, les COV, les poussières fines et le SO_x ont été déterminés à partir des données tirées des mesures réalisées en application de l'OPair (mesures du contrôle de réception et mesures périodiques) auprès de 12 installations sur un total de 14 installations exploitées en 2018. Ces douze installations incluent les quatre plus grandes de Suisse, lesquelles totalisent 80 % de la puissance de cette catégorie et engendrent la plus grande part d'émissions.

La répartition des COV entre COVNM (70 %) et CH₄ (30 %) a été effectuée d'après les données de la littérature concernant les chauffages de locaux individuels (cat. 2 à 5) et les chauffages des bâtiments (cat. 8, 9, 11a et 11b) de différentes technologies et phases d'exploitation ; comme précédemment, cette répartition a été considérée comme constante pour toutes les catégories de chauffage au bois.

Tableau 1 : Facteurs d'émission moyens des installations de combustion alimentées au gaz naturel, à l'HEL ou au bois pour l'année 2020, et indications sur le pouvoir calorifique inférieur PCI, le volume d'effluents gazeux V_{es} et l'humidité du bois u.

		Pouvoir calorifique inférieur PCI	Volume d'effluents gazeux V_{es}	Humidité du bois u	Facteurs d'émission par rapport à la quantité de combustible utilisée						
					NO _x	CO	COVNM	CH ₄	Poussières	SO _x	CO ₂
Gaz naturel	Chauffage	[MJ/m ³]	[m ³ /m ³]		[mg/MJ]						[g/MJ]
	<50 kW	36,9 ¹⁾	10,2			15	12	2	5	0,1	0,2
	50-350 kW					16	9	2	5		
HEL	>350 kW					19	7	2	1		56,3 ¹⁾
	Brûleur à air pulsé	[MJ/kg]	[m ³ /kg]								
	<50 kW	42,9	12,4		33	11	6	10	0,2	7 ²⁾	73,7
	50-350 kW				32	6	6	10			
	>350 kW				31	6	2	3			
Bois	Catégories d'installation selon la statistique de l'énergie du bois	[MJ/kg] ³⁾	[m ³ /kg] ⁴⁾	[%]	[mg/MJ] ⁵⁾						[g/MJ]
	Cheminées à foyer ouvert (1)	14,6	9,6	25	80	3000	270	120	200	10	99,9
	Cheminées à foyer fermé et poêles-cheminée (2, 3)	14,6	9,6	25	85	2800	250	110	180		
	Poêles en métal et en faïence (4a, 5)	13,7	9,0	33	85	2800	250	110	180		
	Poêles à granulés (4b)	13,8	9,0	33	85	390	14	6	80		
	Cuisinières à bois et fourneaux de chauffage central (6, 7)	13,7	9,0	33	70	4000	350	150	400		
	Chaudières à bûches (8, 9)	13,7	9,0	33	100	1700	70	30	120		
	Chaudières à combustion double / alternée (10)	13,7	9,0	33	70	4000	350	150	400		
	Chaussages autom. <50 kW (11a)	11,7	7,8	54	120	900	40	20	180		
	Chaudières à granulés <50 kW (11b)	13,8	9,0	33	70	330	14	6	33		
	Chaussages autom. 50-500 W ext. ETB (12a, 14a)	11,6	7,8	54	130	450	20	10	66		
	Chaussages à granulés 50-500 kW	14,1	9,0	33	75	170	7	3	33	3	
	Chaussages autom. 50-500 kW int. ETB (13, 15)	13,9	9,0	33	140	460	20	10	66		
	Chaussages autom. >500 kW ext. ETB (16a)	11,0	7,8/6,2	54	120	140	7	3	11		
	Chaussages à granulés >500 kW (16b)	14,1	9,0/7,2	33	75	50	2	1	5,5		
	Chaussages autom. >500 kW int. ETB (17)	12,6	9,0/7,2	33	120	150	7	3	23		
	Installations de couplage chaleur-force alimentées au bois (18)	10,5	7,8/6,2	54	40	10	0,3	0,2	0,3	1	
	Installations à déchets renouvelables (19)	13,0	10,8/8,6	11	130	60	1,4	0,6	1,5	20	

¹⁾ Valeur moyenne basée sur l'analyse de la composition du gaz naturel réalisée chaque année entre 2013 et 2022, d'après la fiche d'information « Facteurs d'émission de CO₂ selon l'inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse » (état en janvier 2023) [4]

²⁾ Valeur moyenne des analyses de la teneur en soufre des années 2019 à 2021

³⁾ Pouvoir calorifique spécifique PCI par rapport au bois d'humidité u utilisé, d'après la statistique suisse de l'énergie du bois, relevé pour l'année 2022, Office fédéral de l'énergie 2023 (tableaux I.3, I.5, D et E) [6]. Il convient de noter que pour les granulés de bois, ce sont le pouvoir calorifique et la densité de la matière première granulés qui sont utilisés et non pas les caractéristiques des pellets de bois comprimés.

⁴⁾ Volume spécifique des effluents gazeux secs V_{es} pour la teneur de référence en oxygène en vertu de l'OPair (puissance calorifique de combustion ≤1 MW : 13 % vol O₂, >1 MW : 11 % vol O₂) par rapport au bois d'humidité u utilisé

⁵⁾ Part de PM10 dans PM: 95%, part de PM2.5 dans PM: 90% pour toutes les catégories d'installations de chauffage au bois selon l'étude « Aktualisierung Emissionsmodell Holzfeuerungen 2020 » [5]

Désormais, les facteurs d'émission pour les poussières incluent non seulement les particules extraites par filtration dans les effluents gazeux chauds (mesurage gravimétrique), mais aussi les composés organiques qui condensent immédiatement à la sortie de la cheminée, lorsque les effluents gazeux refroidissent au contact de l'air ambiant. Les parts de ces émissions de poussières condensables ont été estimées sur la base de plusieurs données de la littérature (notamment EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2019 [7]) en faisant la distinction entre chauffages de locaux individuels / chauffages centraux (cat. 1-11a ; PM(condensable)/PM(gravimétrique) = 1,0) et les chauffages automatiques de plus grande taille (cat. 11b-19 ; PM(condensable)/PM(gravimétrique) = 0,1).

Les facteurs d'émission de SO_x pour les chauffages de locaux individuels, pour les chauffages des bâtiments et pour les chauffages automatiques d'une puissance calorifique de plus de 50 kW (bois déchiqueté, granulés) se fondent sur les valeurs moyennes de toutes les données de la littérature disponibles. Le facteur d'émission pour le SO_x des installations à déchets renouvelables s'appuie sur les mesures réalisées en vertu de l'OPair. La valeur du facteur d'émission pour le CO₂ se base sur une étude correspondante de l'industrie du ciment réalisée en 2010.

1.2.2 Comportement des émissions

Les oxydes d'azote émis par les chauffages au bois proviennent principalement du combustible. Une teneur élevée en oxygène dans le foyer et la zone de fin de combustion favorise l'oxydation et donc la formation d'oxydes d'azote. En conséquence, pour les chauffages ne disposant pas de la technologie Low-NO_x ou de dénitrification (SNCR, SCR), les émissions de NO_x et de CO présentent des comportements opposés. Le monoxyde de carbone et les composés organiques tels que les COVNM et le CH₄ sont les produits d'une combustion incomplète, qui peuvent être évités par des températures de combustion élevées, un bon mélange des gaz inflammables et de l'air et un temps de séjour suffisant dans la zone chaude. C'est notamment le cas avec l'augmentation de taille de l'installation. Une exploitation automatisée permet une combustion avec un excédent d'air constant, ce qui garantit généralement une qualité de combustion très élevée. Pour les chauffages de faible puissance, les granulés de bois offrent des conditions favorables du fait de leur combustion constante et de leur faible teneur en eau. En revanche, pour les chauffages au bois chargés manuellement, les phases de démarrage et finale de la combustion contribuent de manière décisive à l'ensemble des émissions, c'est pourquoi ceux-ci affichent des facteurs d'émission nettement plus élevés pour le CO, les COVNM, le CH₄ et les poussières. En conséquence, les effluents gazeux de ces chauffages contiennent aussi d'importantes quantités de composés organiques, lesquels condensent immédiatement à la sortie de la cheminée lorsqu'ils refroidissent à la température ambiante et contribuent aux émissions de poussières fines primaires.

Du fait de leur mauvaise qualité lors de la phase finale de la combustion, les petits chauffages présentent des taux élevés de particules organiques (d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm) et de suie. Les poussières fines issues des chauffages automatiques, en revanche, contiennent essentiellement des composés inorganiques, dont les quantités ne sont pas réduites lors d'une combustion complète. Aussi, les émissions qui en résultent dépendent surtout de l'épuration des effluents gazeux. S'agissant des grands chauffages automatiques, l'utilisation de capteurs de poussières fines s'est imposée, depuis le renforcement des valeurs limites d'émission dans l'OPair en 2007, comme standard pour les nouvelles installations et aussi dans le cas des assainissements de vieilles installations. Dans ce contexte, la disponibilité de ces capteurs en service est décisive. Pour les applications de chauffage, compte tenu du faible nombre d'heures de fonctionnement à plein régime, il faut supposer une disponibilité moindre que pour les grands chauffages, les installations de couplage chaleur-force alimentées au bois ou les installations à déchets renouvelables.

Les émissions de SO_x dépendent avant tout de la teneur en soufre du combustible. Les valeurs plus basses pour les chauffages automatiques d'une puissance calorifique supérieure à 50 kW sont dues essentiellement à un meilleur rendement, de sorte que pour la même puissance thermique, il faut brûler moins de bois que dans de petits chauffages.

2 Inventaires des émissions

Les facteurs d'émission moyens décrits ci-dessus sont également utilisés pour calculer les émissions provenant des chauffages au gaz naturel, à l'HEL ou au bois dans l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques [8] et l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre [9]. Les inventaires sont présentés tous les ans dans le cadre de la Convention CEE-ONU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et des huit protocoles complémentaires ainsi que dans le cadre de la Convention de l'ONU sur les changements climatiques et de l'Accord de Paris (accord sur le climat) (dès 2021 ; de 2008 à 2020 : Protocole de Kyoto). Ces deux relevés

contiennent des séries d'émissions chronologiques. L'inventaire des émissions de polluants atmosphériques s'étend sur la période allant de 1980 à 2050 et celui concernant les gaz à effet de serre, de 1990 à l'année en cours. Ainsi, pour le calcul des émissions, des séries chronologiques de facteurs d'émission sont également nécessaires. Contrairement à la consommation de combustible par exemple, pour laquelle il existe des statistiques annuelles, les valeurs des facteurs d'émission ne sont généralement disponibles que pour des années spécifiques. Pour réaliser une série chronologique, des valeurs interpolées de manière linéaire sont utilisées pour les années intermédiaires.

À l'exception du facteur d'émission de CO₂ du gaz naturel, les facteurs d'émission indiqués dans le tableau 1 correspondent aux valeurs de l'année 2020 utilisées dans les inventaires pour le calcul des émissions. Le facteur d'émission pour le CO₂ concernant le gaz naturel indiqué dans le tableau est la valeur moyenne tirée de l'analyse de la composition du gaz effectuée chaque année entre 2013 et 2022 (voir fiche d'information « Facteurs d'émission de CO₂ selon l'inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse » [4]).

Sources

- [1] Ordonnance sur la protection de l'air, <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19850321/index.html>.
- [2] Handbuch „Emissionsfaktoren für stationäre Quellen“, Vollzug Umwelt, BUWAL, 2000, disponible uniquement en allemand (SAEFL 2000) sous [References \(admin.ch\)](#).
- [3] Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (vol. 2 Energie, chap. 2 Combustion stationnaire, <https://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol2.html>).
- [4] Fiche d'information « Facteurs d'émission de CO₂ selon l'inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse », OFEV, janvier 2023, disponible sous « Informations complémentaires (Documents) » sur <https://www.bafu.admin.ch/statistique-co2>.
- [5] Aktualisierung Emissionsmodel Holzfeuerungen 2020, P. Zotter und T. Nussbaumer, Verenum, sur mandat de l'OFEV, 2022, disponible uniquement en allemand sur <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/publications-etudes/etudes.html>.
- [6] Schweizerische Holzenergiestatistik 2022, OFEN, 2023, disponible uniquement en allemand sur <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/statistiques-et-geodonnees/statistiques-de-lenergie/statistiques-sectorielles.html>.
- [7] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2019, <http://www.eea.europa.eu/publications/emeep-eea-guidebook-2019>.
- [8] Inventaire suisse des émissions de polluants atmosphériques (NFR), Informative Inventory Report (IIR), OFEV, 2024, disponible uniquement en anglais sur <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results>.
- [9] Inventaire suisse des émissions des gaz à effet de serre, National Inventory Report, OFEV, 2024 disponible uniquement en anglais sur www.climatereporting.ch.