

Tendance des émissions anthropiques des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) et de leurs substituts au Togo de 1995-2018

[Trend of anthropic emissions of ozone depleting substances (ODS) and their substitutes in Togo from 1995-2018]

Ayassou Koffi, Sabi Kokou, and Koriko Moursalou

Laboratoire de Chimie Atmosphérique, Faculté Des Sciences, Université de Lomé, B.P. 1515, Lomé, Togo

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Being a Party to the Montreal Protocol and the Kigali Amendment, Togo has made a commitment to phase out its Ozone Depleting Substances (ODS) and their substitutes according to well-defined timetables. The country therefore needs to inventory its emissions in order to determine the progress made. To support Togo in this process and contribute to the preservation of the ozone layer, this thesis study aims to analyze the status and trends of Togo's emissions in ODS and ODS substitutes for the time series 1995-2018. The methodology used is that recommended in the Montreal Protocol guidelines on data collection and analysis as well as on ODS estimates. Based on the parameters and emission rates obtained after a field survey, the calculated emissions are closer to the actual emissions. Thus, emissions of ODS and their substitutes in 2018 in Togo are respectively estimated at 121.631 Gg CO₂-e and 641.409 Gg CO₂-e. From 1995 to 2018, trends in CFC-11 and CFC-115 emissions experienced annual growth rates of -4.17% while the decline in CFC-12 emissions was around -4.13% and that HCFC-22 emissions were growing annually at a rate of 4.16%. As for the HFCs which were only introduced in 2013 in Togo, the trends in their emissions are estimated at nearly 31.4% compared to 1995. From these results, it appears that CFCs are completely replaced by HCFCs and HFCs whose emissions are increasing sharply. Togo will have to further strengthen surveillance of illicit imports of ODS at its borders and strengthen the capacity of refrigeration technicians who release significant F-gases into the atmosphere.

KEYWORDS: Ozone layer, Emission, Elimination, Substitutes, Atmosphere, Gas-F.

RESUME: Etant Partie prenante au Protocole de Montréal et à l'Amendement de Kigali, le Togo a pris l'engagement d'éliminer progressivement ses Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone (SAO) ainsi que leurs substituts suivant des calendriers bien définis. Le Pays a, de ce fait, besoin d'inventorier ses émissions afin de déterminer les progrès réalisés. Pour accompagner le Togo dans ce processus et contribuer à la préservation de la couche d'ozone, la présente étude de thèse s'est fixée pour objectif d'analyser le statut et les tendances des émissions du Togo en SAO et en substituts de SAO pour la série temporelle 1995-2018. La méthodologie utilisée est celle recommandées dans les lignes directrices du Protocole de Montréal sur la collecte et l'analyse des données ainsi que sur les estimations de SAO. Sur la base des paramètres et taux d'émission obtenus après enquête sur le terrain, les émissions calculées sont plus rapprochées des émissions réelles. Ainsi, les émissions de SAO et de leurs substituts en 2018 au Togo sont respectivement estimées à 121,631 Gg CO₂-e et à 641,409 Gg CO₂-e. De 1995 à 2018, les tendances des émissions de CFC-11 et de CFC-115 ont connu des taux d'accroissement annuel de -4,17% alors que la décroissance des émissions de CFC-12 envoisnait -4,13% et que les émissions de HCFC-22 croissaient annuellement avec un taux de 4,16%. Quant aux HFCs qui ne sont introduits qu'en 2013 au Togo, les tendances de leurs émissions sont estimées à près de 31,4 % par rapport à 1995. De ces résultats, il ressort que, les CFCs sont complètement substitués par des HCFCs et HFCs dont les émissions sont en forte augmentation. Le Togo devra encore renforcer la surveillance des importations illicites des SAO au niveau de ses frontières et renforcer la capacité des techniciens du froid qui relâchent d'important gaz- F dans l'atmosphère.

MOTS-CLEFS: Couche d'ozone, Emission, Elimination, Substituts, Atmosphère, Gaz-F.

1 INTRODUCTION

L'ozone stratosphérique joue un rôle essentiel dans le maintien de la vie sur la terre en filtrant les rayons Ultra-violet les plus énergétiques. L'exposition prolongée à ces rayons Ultra-violet ont des risques graves sur la santé causant des érythèmes actiniques, la photo-toxicité, la diminution de la défense immunitaire, le vieillissement cutané, des cancers de la peau, la kératoconjonctivite, la cataracte et affectant également la biodiversité notamment les cultures et l'écosystème marin. Grâce à l'ozone règne un gradient positif de température dans la stratosphère permettant sa stratification. Cette propriété conduit à une stabilité de la stratosphère vis-à-vis des échanges verticaux. Ainsi l'ozone joue un rôle important sur l'équilibre de l'atmosphère et participe au processus d'équilibrage radiatif entre l'hémisphère Nord et Sud.

En 1985, des chercheurs britanniques ont détecté une diminution significative de la colonne intégrée d'ozone d'environ 50% à partir des mesures du spectromètre Dobson à la station anglaise de Halley Bay (79°S) en Antarctique par rapport aux valeurs observées dans les années 1960. Ce travail suggérait que les produits industriels, les chlorofluorocarbures (CFCs), étaient la cause principale de cette diminution. L'hypothèse d'une réduction de l'ozone par l'impact des CFCs a été émise pour la première fois en 1974 par Molina et Rowland qui recevront le prix Nobel de chimie en 1995. Les CFCs autrement appelés Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone (SAO) ont été utilisés dans beaucoup de secteur, notamment la réfrigération, la climatisation, le gonflement de mousse, le nettoyage de composants électroniques, et enfin comme solvants.

Pour lutter contre la destruction de la couche d'ozone, la communauté internationale a mis en place la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone adoptée le 22 mars 1985 sous l'égide des Nations Unies dont le Protocole de Montréal sur les SAO signé le 16 septembre 1987 et entré en vigueur en 1989. Ce Protocole vise la réduction progressive de la production et l'utilisation des SAO ainsi que leurs rejets dans l'atmosphère afin de ramener la couche d'ozone vers ses niveaux de référence de 1980. Pour ce faire, une première gamme de substituts a été proposée à savoir les HydroChloroFluoroCarbures (HCFCs) qui contiennent un atome d'hydrogène diminuant ainsi leur durée de vie dans l'atmosphère et une deuxième gamme de substituts à savoir les Hydrofluorocarbures (HFCs). En résolvant le problème de la destruction de la couche d'ozone, il s'avère que les HFCs sont de puissants Gaz à Effet de Serre (GES) conduisant en plus à l'amendement de Kigali en octobre 2016 afin d'éliminer progressivement leur production et consommation.

Le Togo en s'inscrivant dans cette lutte mondiale pour la préservation de la couche d'ozone et du climat a signé et ratifié le 25 février 1991 la Convention de Vienne et le Protocole de Montréal. Il est donc tenu, à l'instar des Parties, de réduire de plus de 80 % au cours des 30 prochaines années sa consommation en SAO. Pour ce faire, le Togo a mis en place des plans et des mécanismes pour contrôler l'importation et l'utilisation des SAO et leurs substituts. Mais il se pose aujourd'hui la grande question de comptabilisation des émissions de SAO et leurs substituts au Togo afin d'estimer une tendance réaliste d'émission de SAO. Pour répondre à cette question, la présente étude s'est fixée pour objectif l'évaluation du niveau d'engagement pris par le Togo pour l'élimination des SAO dans le cadre du Protocole de Montréal et l'évaluation de sa contribution au réchauffement global relativement à l'utilisation des substituts de SAO.

2 METHODOLOGIE

La revue documentaire et les enquêtes de terrain ont permis de collecter des données quantitatives et qualitatives (types d'équipement, contenances en gaz, pratiques) disponibles au Togo. Sur la base des recommandations fournies dans les documents PNUE sur la gestion des SAO, les calculs ont été effectués.

2.1 COLLECTE DES DONNEES D'ACTIVITE

Les enquêtes menées dans la ville de Lomé ont permis de repérer les sociétés importatrices des Gaz réfrigérants. Des fiches d'enquête confectionnées ont servi de collecte de données. Le choix de la ville de Lomé s'explique par sa représentativité du fait de son niveau de vie très élevé par rapport aux autres localités et du fait qu'elle cumule ces sociétés importatrices.

Les données d'activités collectées, suite à des séances d'entretien avec les techniciens de froid et le BNO sont recoupées et traitées et les données d'activités portant spécifiquement sur les CFC, HCFC et leurs substituts sont déduites de la relation:

$$\textbf{Consommation} = \textbf{Production} + \textbf{Importation} - \textbf{Exportation}$$

Du moment où le Togo ne produit ni n'exporte pas de gaz-F, la relation se résume à:

$$\textbf{Consommation} = \textbf{Importation}$$

Les substituts de SAO étant des mélanges azéotropiques de divers gaz à des proportions variables contrairement aux autres gaz-F, leurs données de consommation ont été désagrégées en suivant la formule:

$$Q_{HFC} = Q_{Gaz-F} \times P$$

Q_{HFC} = Quantité de HFC présente dans le gaz-F en tonne métrique

Q_{Gaz-F} = Quantité de gaz-F en tonne métrique

P=Proportion de HFC présent dans ce gaz-F

2.2 COLLECTE DES PARAMETRES ET FACTEURS D'EMISSION

Aux paramètres et facteurs d'émission par défaut disponibles sont appliqués des facteurs de correction afin de ramener les estimations plus proches de la réalité de terrain et donc fournir des émissions réelles et non potentielles. Ces facteurs de corrections sont issus des travaux de terrain basés sur un échantillon de taille de 15 patrons d'ateliers de réparation des équipements de froid choisis sur la base de l'expérience professionnelle et de l'ancienneté (au moins 5 ans) afin de garantir une fiabilité aux données. La taille de l'échantillon est obtenue par la formule:

$$\text{Taille échantillon} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)}$$

Les informations renseignées portent sur les taux de fuite annuelle de fonctionnement et de maintenance; la fréquence annuelle de Maintenance et la durée de vie moyenne des appareils; l'état des appareils en recharge; et les taux de gaz restant et récupérés à la fin du cycle de vie de chaque type d'équipement.

Avec une marge d'erreur $e = 25\%$, N estimée à 200 selon les responsables de l'Association des Frigoristes du Togo (AFRITO), le niveau de confiance p est de 95 % avec une cote z égale à 1,96. Les données recueillies sont celles du Tableau 1 et traitées sont fournies dans le Tableau 2.

Tableau 1. Paramètres et facteurs collectés

			T1	T2	F	D	N_{mn}	T3	T4	T5
Réfrigérateur	Résidentiel	IF	4,8	0	2	5	800	0,00025	75	0
Réfrigérateur	Commerce et service	IF	4,88	0	4	5	1200	0,0001	75	0
Climatiseur	Résidentiel	IF	1,8	4	2	5	1600	0,000125	25	35
Climatiseur	Commerce et service	IF	1,82	2	8	5	1200	0,00015	3	7
Climatiseur	Automobile	IM	4	8	2	5	0	0	0	0
Congélateur	Résidentiel	IF	4,79	0	2	5	1400	0,00015	75	0
Congélateur	Commerce et service	IF	4,82	0	3	5	1200	0,00015	75	0
Froid industriel			-	-	-	-	-	-	-	-

Avec:

IF=Installation fixe

IM=Installation Mobile

TF = Taux de fuite annuelle en fonctionnement (%)

T2 = Taux de fuite annuelle lors de la maintenance (%)

T3 = Taux de fuite lors de la charge de nouveaux appareils

T4 = Taux de gaz restant

T5 = Taux de gaz récupéré (%)

F = Fréquence annuelle de maintenance

D = Durée de vie (An)

N_{mn} = Nombre moyen d'appareils nouveaux chargés annuellement

Tableau 2. Paramètres de calcul de l'estimation des émissions

	Installation fixe (IF)	Installation mobile (IM)
Taux de fuite moyenne annuelle (%)	8	20
Taux moyen de récupération (%)	21	0
Taux moyen de gaz restant (%)	55	0
Durée de vie (ans)	5	5

Le taux moyen de fuite annuelle pour chaque catégorie d'installation est obtenu par la formule suivante:

$$TF = \frac{\sum_{i=1}^n t_{f_{fi}} + \sum_{i=1}^n t_{f_{mi}} \cdot F_i + \sum_{i=1}^n N \cdot t_{f_{ci}}}{\sum_{i=1}^n i}$$

TF = taux de fuite annuelle dans une catégorie d'installation

i = Type d'équipement

n = Nombre total de type d'équipements dans la catégorie d'installation

$t_{f_{fi}}$ = Taux de fuite annuelle de l'équipement i en fonctionnement

$t_{f_{mi}}$ = Taux de fuite annuelle de l'équipement i lors de la maintenance

$t_{f_{ci}}$ = Taux de fuite lors de la charge du nouvel équipement i

F_i = Fréquence de maintenance de l'équipement i

N = Nombre de nouvel équipement i chargé

Le taux de récupération est obtenu par la formule suivante:

$$t_r = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{\sum_{i=1}^n i}$$

t_r = Taux moyen de récupération à la fin du cycle de vie d'un équipement dans la catégorie d'installation

i = Type d'équipement

r_i = Taux de récupération du Gaz dans l'équipement de type i

2.3 METHODE D'ESTIMATION DES EMISSIONS DE SAO

Le principe de la méthode de calcul adopté est selon lequel les émissions des gaz-F sont des émissions retardées et se passent progressivement au fur des années lors du fonctionnement de l'équipement jusqu'en fin du cycle de vie de l'équipement contenant ce gaz-F. Les émissions proviennent de la quantité de Gaz-F en banque et ont lieu également à la fin du cycle de vie de l'équipement.

$$Q_{i_{gaz-F \text{ en banques}}} = (1 - t_f)^i \cdot Q_{0_{gaz-F}}$$

L'émission est donnée par

$$E_i = Q_{(i-1)_{gaz-F \text{ en banques}}} - Q_{i_{gaz-F \text{ en banques}}}$$

L'émission en fin du cycle de vie est donnée par

$$E_{i_f} = (1 - r) \cdot Q_{i_{gaz-F \text{ en banques}}}$$

$Q_{0_{gaz-F}}$ = Quantité de Gaz-F en banque initialement

$Q_{i_{gaz-F \text{ en banques}}}$ = Quantité de gaz-F en banque dans l'année

E_{i_f} = Emission en fin de cycle de vie correspondant à l'année i

t_f = Taux de fuite annuelle lors du fonctionnement de l'équipement y compris taux de fuite lors de la maintenance

r = Taux de gaz-F récupéré à la fin du cycle de vie de l'équipement

L'émission totale dans une année est égale à la somme des émissions provenant des gaz-F en banque et de l'émission à la fin du cycle de vie si elle correspond à cette année.

Les contributions des émissions ont été calculées:

- En termes de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone, par la formule pour les gaz-F qui sont des SAO:

$$A_i = E_i \times PAO$$

- En termes de potentiel de réchauffement de la planète, par la formule pour les substituts et des SAO qui ont un PRG:

$$R_i = E_i \times PRG$$

A_i = Appauvrissement de la couche d'ozone par l'émission dans l'année i

R_i = Réchauffement de la planète par l'émission dans l'année i

PAO = Potentiel d'Appauvrissement de la couche d'ozone qui est une valeur qui indique le degré de nocivité d'un composé chimique sur la couche d'ozone. Il est calculé par rapport à une molécule de référence à savoir le CFC-11 dont le PAO est égal à 1.

PRG = Potentiel de réchauffement Global qui est une valeur indiquant le degré de l'action d'un composé chimique sur l'effet de serre qui est un phénomène naturel. Il est calculé par rapport à la molécule de CO₂ dont le PRG égal à 1 pour 100 ans.

Les valeurs des PRG utilisées sont celles du Cinquième Rapport d'Evaluation (5AR) du GIEC 2013 tandis que pour les PAO sont celles contenues dans le Protocole de Montréal après les différents ajustements et amendements. Le tableau 3 montre les valeurs des PRG et PAO utilisées.

Tableau 3. Valeurs de PRG et de PAO

Gaz-F	PRG à 100 ans	PAO à 100 ans
CFC-11	4660	1
CFC-12	10200	1
CFC-115	7670	0,6
HCFC-12	1760	0,055
HFC-32	677	0
HFC-125	3500	0
HFC-134a	1300	0
HFC-143a	4800	0

3 RESULTATS

3.1 RESULTATS DE COLLECTE DES DONNEES

Les résultats de la collecte des données d'activité en tonne métrique portent sur les SAO (Tableau 4) et leurs leurs substituts (HFCs) (Tableau 5).

Tableau 4. Quantité annuelle de SAO consommé par le Togo de 1995-2018

SAO	R11 (CFC-11)	R12 (CFC-12) [29,26RSAC + 70,37MAC)		R115 (CFC-115)	R22 (HCFC-22)
	IF	IM	IF	IF	IF
1995	0,100	35,625	14,735	0,240	0,000
1996	0,090	24,052	9,948	0,250	0,000
1997	0,100	24,717	10,223	0,270	70,020
1998	0,060	25,976	10,744	0,010	69,750
1999	0,000	29,357	12,143	0,340	64,270
2000	0,050	26,457	10,943	0,110	58,500
2001	0,040	23,931	9,899	1,510	75,000
2002	0,030	24,893	10,297	0,150	73,150
2003	0,020	23,839	9,861	0,020	73,150
2004	0,010	18,499	7,651	0,340	67,220
2005	0,000	13,129	5,431	0,400	56,280
2006	0,000	7,046	2,914	0,200	47,960
2007	0,000	3,459	1,431	0,120	89,710
2008	0,000	2,235	0,925	0,450	112,250
2009	0,000	0,714	0,296	0,000	350,000
2010	0,000	0,990	0,410	0,000	375,170
2011	0,000	0,799	0,331	0,000	348,000
2012	0,000	0,644	0,266	0,000	360,000
2013	0,000	0,523	0,217	0,000	345,000
2014	0,000	0,424	0,176	0,000	325,000
2015	0,000	0,340	0,140	0,000	302,000
2016	0,000	0,276	0,114	0,000	280,000
2017	0,000	0,219	0,091	0,000	272,000
2018	0,000	0,177	0,073	0,000	258,000

Tableau 5. Quantité annuelle des substituts aux SAO consommés par le Togo de 1995-2018

HFC	HFC-134a [29,26RSAC + 70,37MAC)		R-410a (HFC-32/HFC-125) [50/50]		R-407c (HFC-32/HFC-125/HFC-134a) [23/25/52]			R-404a (HFC-125/HFC-143a/HFC-134a) [44/52/4]		
	HFC-134a	HFC-134a	HFC-32	HFC-125	HFC-32	HFC-125	HFC-134a	HFC-125	HFC-134a	HFC-143
Composition	IF	IM	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF
Applications	IF	IM	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF	IF
1995	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1997	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1998	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2013	87,112	206,888	137,000	137,000	53,820	58,500	121,680	103,840	94,400	122,720
2014	114,964	273,036	195,500	195,500	46,460	50,500	105,040	102,080	92,800	120,640
2015	79,705	189,295	135,000	135,000	35,880	39,000	81,120	75,240	68,400	88,920
2016	128,891	306,110	180,000	180,000	60,950	66,250	137,800	116,600	106,000	137,800
2017	28,149	66,852	40,000	40,000	16,100	17,500	36,400	26,400	24,000	31,200
2018	153,483	364,517	239,500	239,500	64,400	70,000	145,600	168,960	153,600	199,680

Ces données d'activités et paramètres d'émission ont permis d'estimer les émissions des SAO et de leurs substituts présentées dans les paragraphes suivants.

3.2 RESULTATS D'ESTIMATION DES EMISSIONS

L'année 2018, la plus récente de la série temporelle, a été choisie pour l'analyse des résultats d'estimation des émissions car elle est la plus fournie en données, par conséquent reflète au mieux la situation économique du Togo.

Les résultats d'émission des gaz-F pour l'année 2018 sont renseignés dans le Tableau 6.

Tableau 6. Emissions de chaque type de gaz pour l'année 2018 en termes de réchauffement de la planète

SAO & Substituts	Emissions (Gg CO ₂ -e)
CFC-12_IM	0,359
CFC-12_IF	0,312
HCFC-22_IF	124,397
CFC-11_IF	0,000
CFC-115_IF	0,000
HFC-32_410a_IF	25,466
HFC-32_407C_IF	7,943
HFC-125_410a_IF	131,654
HFC-125_404a_IF	91,542
HFC-125_407C_IF	44,634
HFC-134a_IF	26,766
HFC-134a_IM	80,194
HFC-134a_404a_IF	30,910
HFC-134a_407C_IF	31,632
HFC-143a_404a_IF	148,370

Le Tableau 7 montre les émissions des SAO et de leurs substituts en 2018.

Tableau 7. Emissions des SAO et des substituts en 2018 en termes de réchauffement de la planète

GAZ-F	SAO	SUBSTITUTS
Emission (Gg CO ₂ -e)	121,631	641,409

Les émissions en termes de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone sont résumées dans le tableau 8.

Tableau 8. Contribution des SAO en termes de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone en 2018

SAO	CFC-12_IM	CFC-12_IF	HCFC-22_IF	CFC-11_IF	CFC-115_IF
Emission (Gg CFC-11-e)	$3,518 \cdot 10^{-5}$	$3,054 \cdot 10^{-5}$	$3,780 \cdot 10^{-3}$	0,000000	0,000000

Les résultats de la tendance des émissions en terme de réchauffement global de la planète et en terme d'appauvrissement de la couche d'ozone sont présentés respectivement dans les tableau 9 et 10.

Tableau 9. Tendance des émissions de chaque gaz en Gg CO₂-e selon les applications de 1995-2018

ANNE E	HFC-134a_IF	HFC-134a_IM	HFC-134a_404a_IF	HFC-134a_407C_IF	HFC-125_410a_IF	HFC-125_404a_IF	HFC-125_407C_IF	HFC-143a_404a_IF	HFC-32_410a_IF	HFC-32_407C_IF	CFC-12_IF	CFC-12_IM	HCFC-22_IF	CFC-11_IF	CFC-115_IF
1995	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,176	72,294	0,000	0,037	0,147
1996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	14,917	48,809	0,000	0,054	0,234
1997	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	16,652	50,158	9,859	0,067	0,295
1998	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	20,811	83,951	15,243	0,074	0,220
1999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	22,795	84,565	17,433	0,069	0,354
2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	32,142	73,682	17,825	0,090	0,397
2001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	49,029	128,533	20,364	0,165	1,614
2002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25,247	50,517	29,199	0,062	0,795
2003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	25,105	48,378	29,521	0,045	0,379
2004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	22,749	37,540	26,876	0,032	0,564
2005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	18,931	26,644	24,344	0,021	0,506
2006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	14,966	14,298	24,493	0,015	1,093
2007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,858	7,020	21,496	0,002	0,253
2008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,242	4,536	35,541	0,007	0,424
2009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7,090	1,450	71,510	0,003	0,673
2010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,852	2,010	94,016	0,000	0,760
2011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,771	1,622	102,358	0,000	0,402

Tendance des émissions anthropiques des substances appauvrissant la couche d'ozone (SAO) et de leurs substituts au Togo de 1995-2018

2012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,566	1,306	113,762	0,000	0,223
2013	9,060	53,791	9,818	0,000	38,360	29,075	29,075	47,124	7,420	2,915	1,096	1,062	117,713	0,000	0,304
2014	16,939	70,989	15,051	0,000	75,838	44,574	44,574	72,244	14,669	4,119	0,589	0,861	141,764	0,000	0,262
2015	17,606	49,217	15,392	0,000	79,511	45,583	45,583	73,880	15,380	4,209	0,593	0,689	139,215	0,000	0,245
2016	23,088	79,588	19,489	0,000	94,131	57,719	57,719	93,549	18,208	5,616	0,479	0,560	130,107	0,000	0,000
2017	15,626	17,381	13,215	0,000	62,972	39,137	39,137	63,433	12,181	3,961	0,385	0,445	127,041	0,000	0,000
2018	31,632	94,774	30,910	0,000	131,654	91,542	91,542	148,370	25,466	7,943	0,312	0,359	120,961	0,000	0,000

Tableau 10. Tendance des émissions des SAO en Gg CFC-11-e selon les applications de 1995-2018

ANNEE	CFC-12_IF	CFC-12_IM	HCFC-22	CFC-11_IF	CFC-115_IF
1995	0,001194	0,007088	0,000000	0,000008	0,000012
1996	0,001462	0,004785	0,000000	0,000012	0,000018
1997	0,001633	0,004917	0,000308	0,000014	0,000023
1998	0,002040	0,008230	0,000476	0,000016	0,000017
1999	0,002235	0,008291	0,000545	0,000015	0,000028
2000	0,003151	0,007224	0,000557	0,000019	0,000031
2001	0,004807	0,012601	0,000636	0,000035	0,000126
2002	0,002475	0,004953	0,000912	0,000013	0,000062
2003	0,002461	0,004743	0,000923	0,000010	0,000030
2004	0,002230	0,003680	0,000840	0,000007	0,000044
2005	0,001856	0,002612	0,000761	0,000005	0,000040
2006	0,001467	0,001402	0,000765	0,000003	0,000085
2007	0,000574	0,000688	0,000672	0,000000	0,000020
2008	0,001004	0,000445	0,001111	0,000001	0,000033
2009	0,000695	0,000142	0,002235	0,000001	0,000053
2010	0,000476	0,000197	0,002938	0,000000	0,000059
2011	0,000272	0,000159	0,003199	0,000000	0,000031
2012	0,000154	0,000128	0,003555	0,000000	0,000017
2013	0,000107	0,000104	0,003679	0,000000	0,000024
2014	0,000058	0,000084	0,004430	0,000000	0,000020
2015	0,000058	0,000068	0,004350	0,000000	0,000019
2016	0,000047	0,000055	0,004066	0,000000	0,000000
2017	0,000038	0,000044	0,003970	0,000000	0,000000
2018	0,000031	0,000035	0,003780	0,000000	0,000000

4 ANALYSE

4.1 ANALYSE DES EMISSIONS DE 2018

L'analyse par type de gaz a permis de déterminer neuf (09) principaux gaz-F émis en 2018 sur la base de 95% des émissions cumulées (Tableau 9). Cette analyse montre que ces gaz-F clés proviennent des installations fixes. Le gaz dominant est le HFC-143a contenu dans R-404a utilisé pour le conditionnement d'air. Le seul SAO qui fait partie des gaz clés émis en 2018 est le HCFC-22 contenu dans R-22.

Tableau 11. Gaz clé émis en 2018

SAO & Substituts	Emissions (Gg CO ₂ -e)	Emission (%)	Emission cumulée (%)
HFC-143a_404a_IF	148,370	19,445	19,445
HFC-125_410a_IF	131,654	17,254	36,698
HCFC-22_IF	120,961	15,852	52,551
HFC-134a_IM	94,774	12,421	64,972
HFC-125_404a_IF	91,542	11,997	76,969
HFC-125_407C_IF	44,634	5,850	82,818
HFC-134a_407C_IF	34,483	4,519	87,337
HFC-134a_IF	31,632	4,146	91,483
HFC-134a_404a_IF	30,910	4,051	95,534

L'analyse par SAO et par substituts donne les proportions des émissions de SAO et substituts en 2018 au Togo (Figure 1). Les émissions de SAO sont estimées à 121,631Gg CO₂-e soit 16% des émissions totales des gaz-F. Les émissions des substituts sont estimées à 641,409Gg CO₂-e soit 84% des émissions (Figure 2).

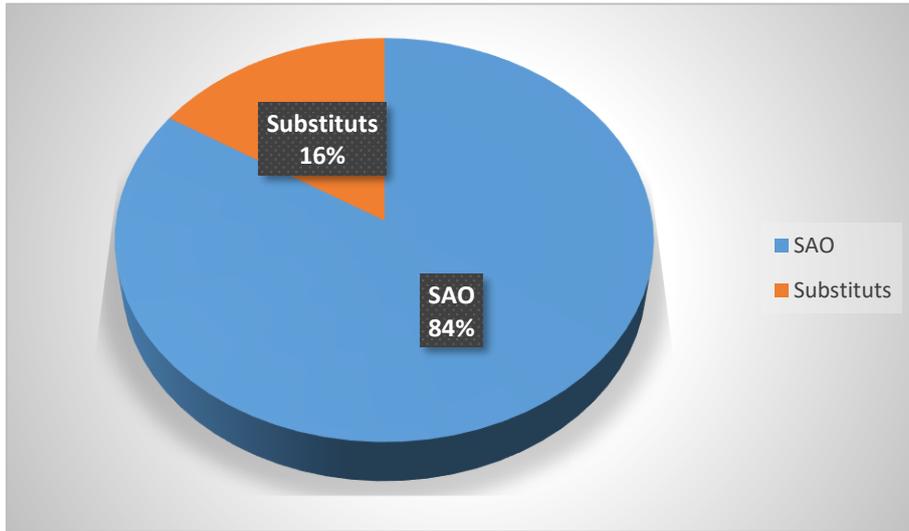


Fig. 1. Analyse par SAO et leurs substituts

Seuls les CFC et les HCFC ont le potentiel d'appauvrir la couche d'ozone ainsi l'analyse par PAO a été réalisée pour ressortir le SAO prédominant en terme de potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone au Togo en 2018. En terme de PAO, les gaz HCFC-22 et CFC-12 contribuent respectivement à 98% et 2% tandis que les CFC-115, CFC-11 ne sont pas émis (Figure 2).

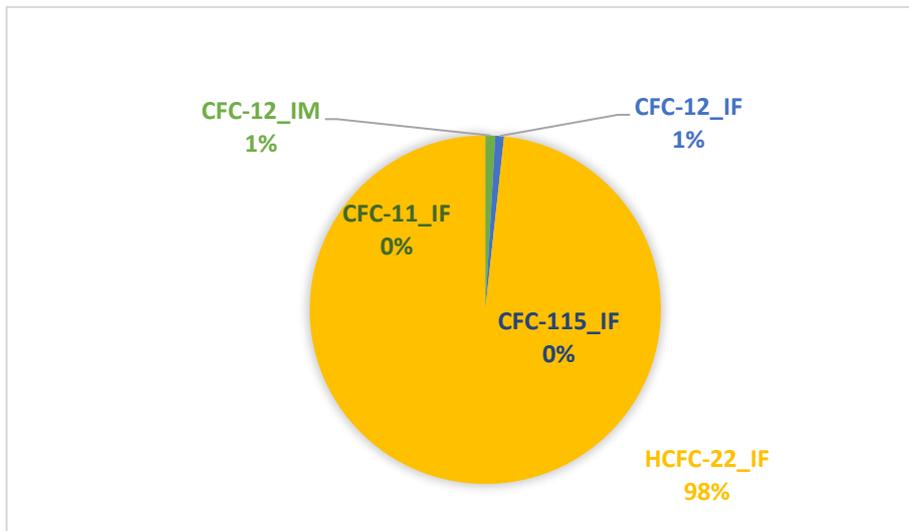


Fig. 2. Analyse des contributions de chaque SAO à l'appauvrissement en 2018

4.2 ANALYSE DES TENDANCES D'EMISSION

4.2.1 TENDANCE DES ÉMISSIONS DES CFC

Les émissions des CFC-11 ont connu une augmentation de 95% entre 1995 et 1998, de 52,9% entre 1998 à 1999 et de 16,09% entre 1999 et 2001 (Figure 3). A partir de 2001, elles ont commencé par diminuer de nouveau jusqu'à s'annuler en 2010 par substitution.

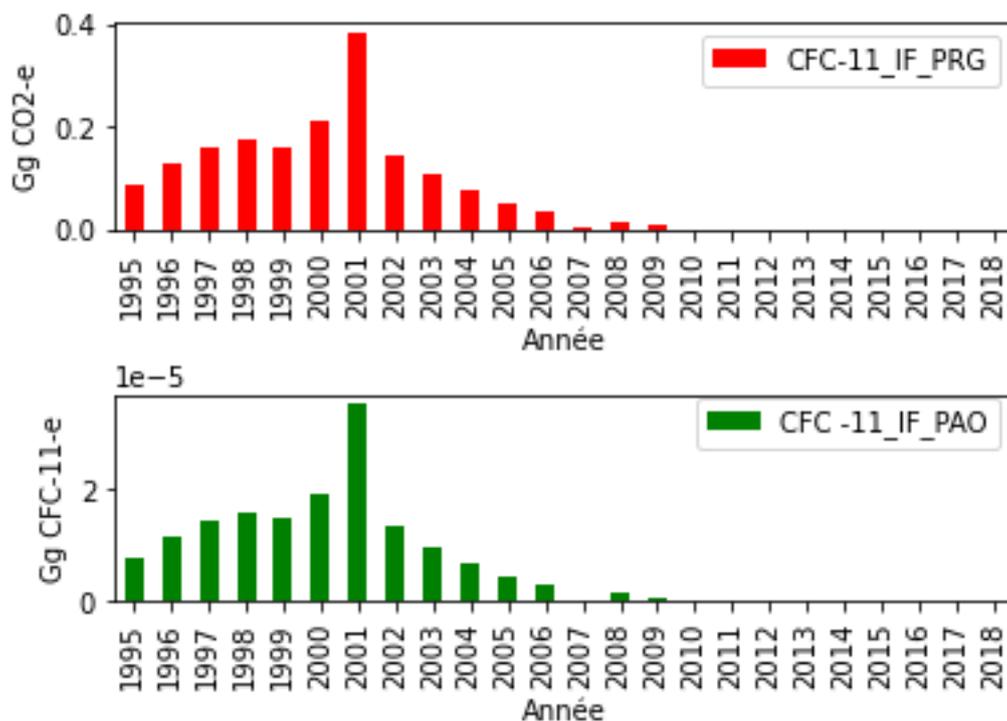


Fig. 3. Tendence des émissions des CFC-11 dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

Les émissions de CFC-12 ont connu une tendance à la baisse entre 1995 et 1997 (-32,5%) avant de s'augmenter de nouveau en 1998 (67,4%). De 1998 à 2000, les émissions ont diminué légèrement (-0,96%). Elles ont atteint un pic en 2001 avant de commencer par diminuer jusqu'en 2018. Sur la période de 2001 à 2018, les émissions ont diminué de 99%. Le taux d'évolution de CFC-12 sur toute la série temporelle est de -99% soit un taux de réduction annuel de 4,13% (Figure 4).

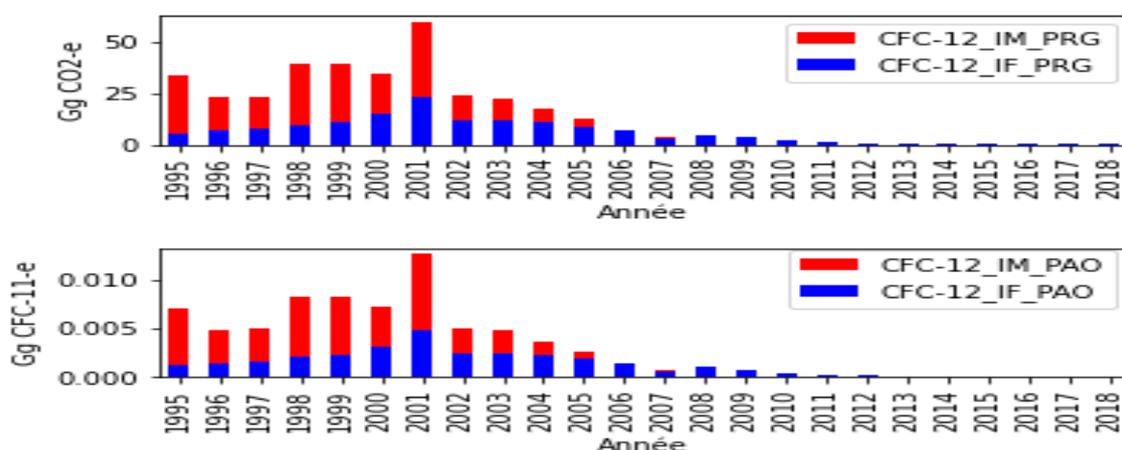


Fig. 4. Tendence des émissions des CFC au Togo de 1995-2018

Les émissions des CFC-115 ont connu une tendance à la hausse (96,97%) entre 1995 et 1997. De 1997 à 1998, elles ont connu une diminution de 25,34%. Entre 1998 et 2001, la tendance est à la hausse (97,23%). De 2001 à 2003, il y a diminution des émissions de 79,82% puis augmentation de 19,38% entre 2003 et 2006. La diminution entre 2006 et 2007 est de 76,48%. Entre 2007 et 2010, les émissions ont augmenté de 20,26%. A partir de 2010, elles ont commencé par diminuer de nouveau jusqu'à s'annuler en 2016. Globalement, de 1995 à 2018, les CFC-115 ont une tendance à la diminution avec un taux annuel estimé à -4,17% (Figure 5).

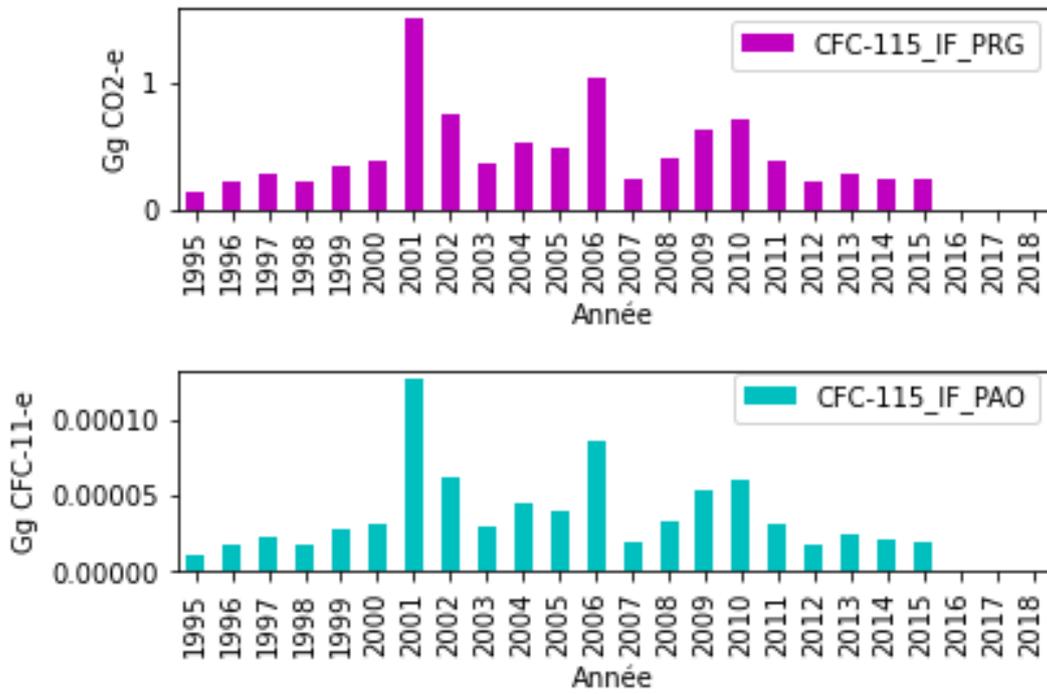


Fig. 5. Tendence des émissions des CFC-115 dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

4.2.2 TENDANCE DES ÉMISSIONS DE HCFC

Les émissions de HCFC-22, ont connu une augmentation (18,79%) entre 1997 et 2003 et une diminution de 17,55% entre 2003 et 2005 avant de remonter de 2005 à 2013 avec une augmentation de 123,20%. Ensuite, elles ont recommencé par diminuer (-0,4%) de nouveau entre 2013 et 2018. Sur toute la série temporelle, les émissions de HCFC-22 ont augmenté de 99,8% soit soit un accroissement de 4,16% /an (Figure 6).

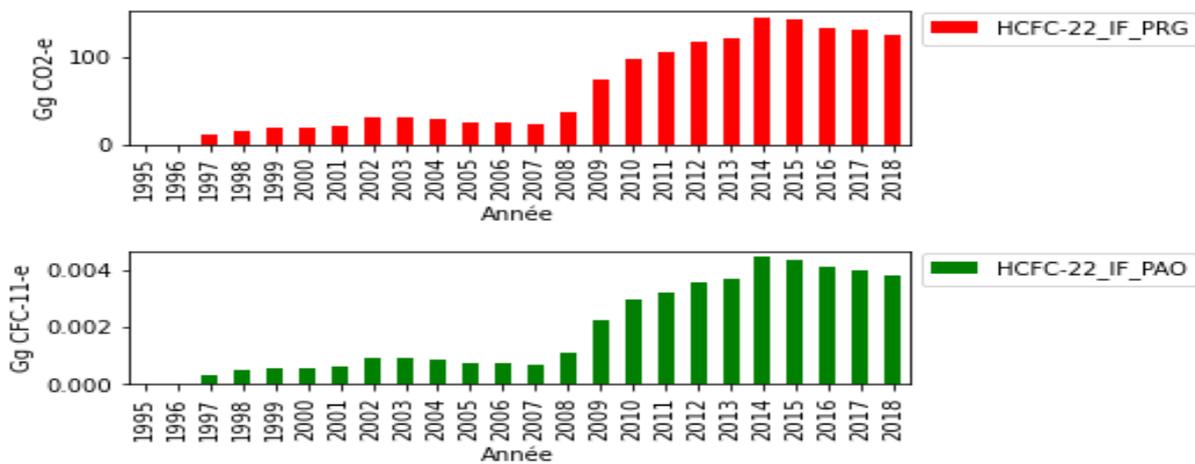


Fig. 6. Tendence des émissions des HCFC-22 dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

4.2.3 TENDANCE DES ÉMISSIONS DES HFC

Les HFC-125 sont émis avec taux d’augmentation de 96,71% entre 2013 et 2016 et un taux de diminution de -32,19% de 2016 à 2017 avant de remonter (115,35%) de nouveau jusqu’en 2018. De 2013 à 2018, les émissions des HFC-125 ont connu une évolution globale de 187,26% soit 37,45% /an (Figure 7).

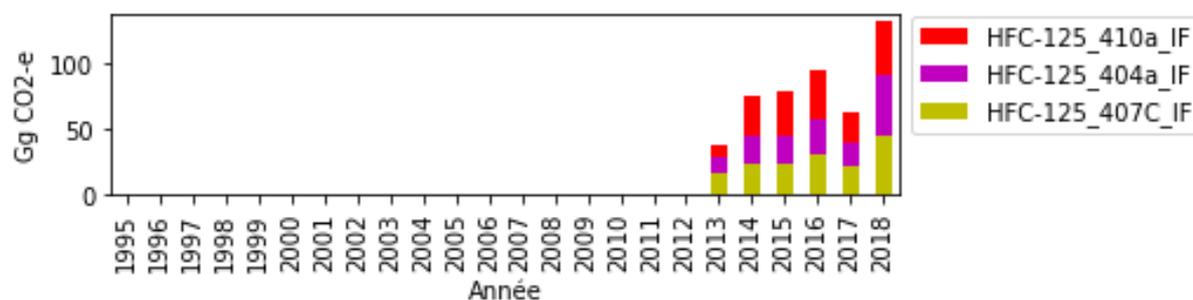


Fig. 7. Tendance des émissions des HFC-125 contenus dans les gaz R-410a; R-404a; R-407C utilisés dans le secteur résidentiel au Togo de 1995-2018

Les émissions des HFC-32 ont augmenté (103,64%) entre 2013 et 2016 puis elles ont diminué de 32,25% entre 2016 à 2017 avant de commencer par augmenter de 106,97% de nouveau jusqu'en 2018. De 2013 à 2018, elles ont connu une évolution globale de 185,58% soit une croissance annuelle de 37,12% (Figure 8).

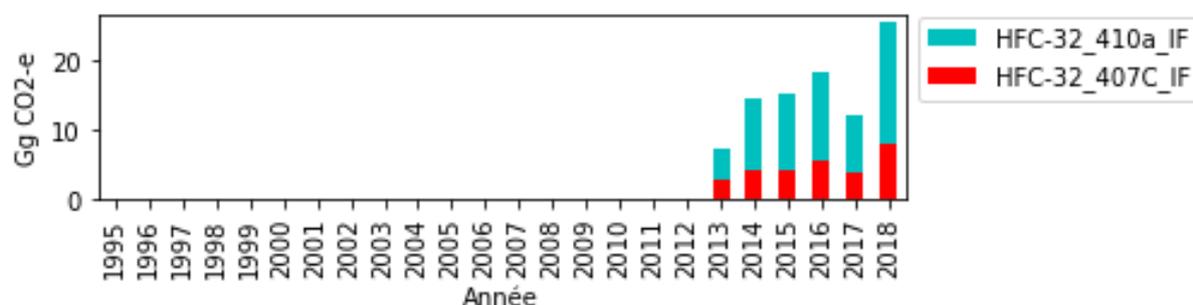


Fig. 8. Tendance des émissions des HFC-32 contenus dans R-410a; R-407C dans le secteur résidentiel

Les émissions de HFC-134a ont augmenté de 55,16% entre 2013 et 2016. Elles ont connu une diminution de 56,72% entre 2016 à 2017 avant de commencer par augmenter de 202,43% en 2018. De 2013 à 2018, elles ont augmenté de 103,08% soit une tendance à la hausse de 20,62% /an (Figure 9).

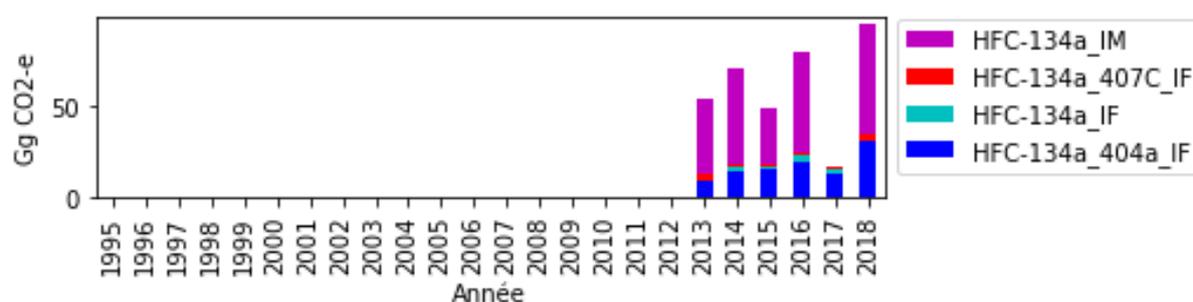


Fig. 9. Tendance des émissions des HFC-134a utilisé dans le secteur de l'automobile; des HFC-134a contenus dans R-404a; HFC-134a contenu dans R-404a; HFC-134a utilisé dans le secteur résidentiel

Les émissions de HFC-143a ont augmenté de 83,60% entre 2013 et 2016. Elles ont connu une diminution de 32,19% entre 2016 et 2017 avant de commencer par augmenter de 133,9% en 2018. De 2013 à 2018, elles ont connu une croissance de 191,12% soit 38,22%/an (Figure 10).

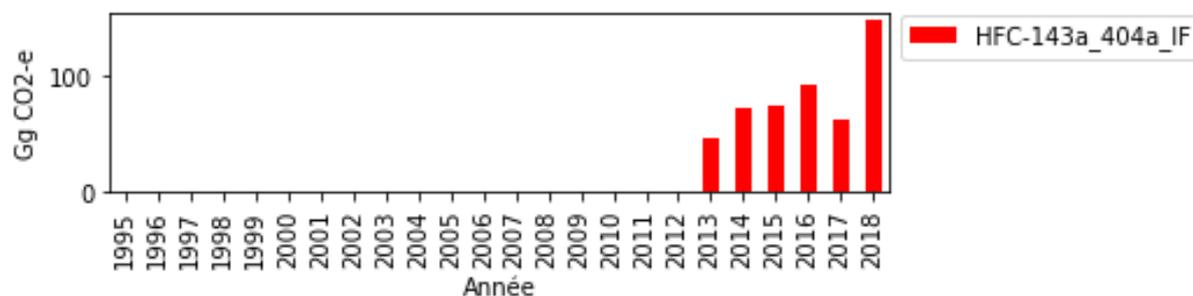


Fig. 10. Tendance des émissions des HFC-134a contenus dans R_404a dans le secteur résidentiel

La tendance des émissions totales de tous les HFC (Figure 12) indique une augmentation de 79,32% entre 2013 et 2016 et une diminution de -40,23% entre 2016 et 2017 avant d'augmenter de 139,90% en 2018. De 2013 à 2018, elles ont connu une croissance les HFC de 157% soit 31,4%/an (Figure 11).

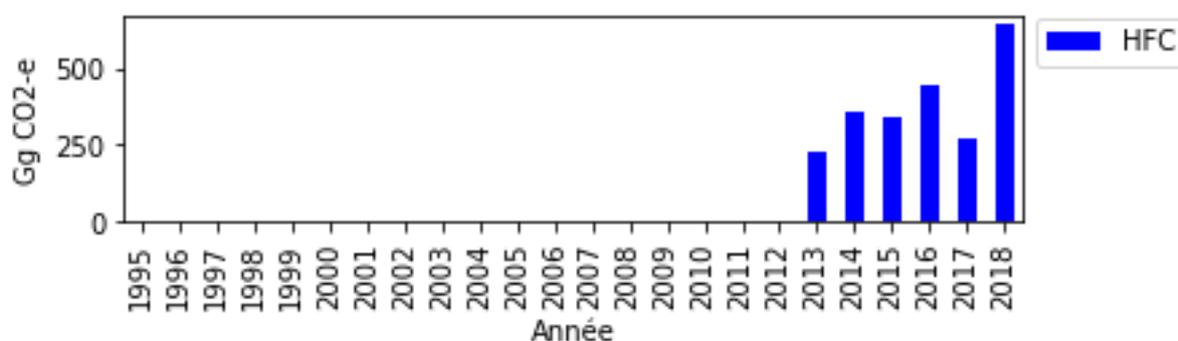


Fig. 11. Tendance des émissions de tous les HFC

5 DISCUSSION DES RESULTATS

L'analyse des résultats d'estimation des émissions montre que les CFC-11 sont éliminés depuis 2004 au Togo tandis que les CFC-115 sont éliminés depuis 2010. Cependant les CFC-12 ne sont pas complètement éliminés prouvant que des quantités faibles de CFC-12 persistent toujours sur le territoire. Quant aux HCFC-22, leurs émissions sont en faible diminution à partir de 2013 (-0,4% de 2013 à 2018). Ces résultats sont plus ou moins en accord avec la politique d'élimination mise en place par le BNO. En effet, le Togo a pris comme engagement d'éliminer, à travers le BNO, la totalité des CFC en 2010 et d'éliminer les HCFC aux échelles de 10% en 2015; 35% en 2020; 67,5% en 2025 par rapport aux estimations de 2013 prise comme année de base. Mais la faible diminution des HCFC-22 laisse critique le respect du calendrier prévu. Les émissions de CFC-12 obtenues au-delà de l'année d'échéance de leurs éliminations sont dues à la présence de quelques équipements de consommation de CFC non réadaptés à la consommation de substituts et surtout de la disponibilité de stock de CFC-12 qui transitent clandestinement par des frontières poreuses.

Egalement l'analyse a montré que le HCFC-22 est le seul SAO clé émis en 2018 dont la croissance des émissions a été rapide (4,16%/an). Ce résultat s'explique par le fait qu'il est le SAO le plus consommé au Togo.

La croissance forte (31,4% /an) des émissions des HFC serait liée au besoin croissant du froid lié à l'évolution croissante de la modernisation des centres urbains nécessitant des installations de froid pour besoin du confort. Cette croissance serait également due à l'augmentation de la chaleur dans les pays tropicaux liés au réchauffement climatique. En plus, elle pourrait être aussi expliquée par l'implantation des nouvelles usines agroalimentaires qui écoulent leurs produits sur le marché local dont leur conservation nécessite l'utilisation des gaz-F, notamment les HFCs.

6 CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les SAO disparaissent de plus en plus au Togo laissant place aux HFC qui sont en nette augmentation. Les CFC-11 et CFC-115 ont totalement disparu. Cependant les CFC-12, et HCFC-22 persistent toujours sur le terrain compte tenu de l'existence des appareils qui sont mieux adaptés à leurs applications et de la porosité des frontières. Les HCFC-22_IF est le seul SAO qui

fait partie des gaz clés émis en 2018 dans la sous catégorie des émissions des SAO.. L'émission totale des HFCs est estimées à 641,409 Gg CO₂-e en 2018 et constituent ainsi une catégorie d'émission de gaz à effet de serre au Togo.

Malgré les efforts du pays dans l'élimination des SAO, la présence de petites quantités de SAO (CFC-12, HCFC-22) et de l'augmentation des émissions des HFCs amène à faire des recommandations en vue de la préservation de la couche d'ozone et de la lutte contre les changement climatiques, notamment:

- Redoubler d'effort dans la surveillance des CFC-12 et HCFC-22;
- Equiper les techniciens du froid d'appareil de recyclage;
- Veiller à la déclassification des équipements utilisant les CFC-12 et HCFC-22;
- Promouvoir l'importation des fluides frigorigènes alternatifs comme le propane (R290), Isobutane (R-600a) utilisés dans les installations fixes, et les R-448A (HFC-HFO), R-455A (HFC-HFO) en remplacement de R-404A; et
- Proposer des mesures d'atténuation des gaz HFC émis à l'exemple de la promotion de l'utilisation de matériaux d'isolants thermiques dans les construction à travers le territoire national.

REFERENCE

- [1] Abdoulwahab, M. T. (2016). Dans Étude de la variabilité et la tendance de l'ozone stratosphérique au-dessus des tropiques et subtropiques sud.. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Université de la Réunion, 2016. Français. NNT: 2016LARE0012.
- [2] Barlier-Salsi et al. (2020). Exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels - Guide d'évaluation des risques sans mesure. 10.13140/RG.2.2.12092.26248.
- [3] Bencherif et al. (2020). Ozone Variability and Trend Estimates from 20-Years of Ground-Based and Satellite Observations at Irene Station, South Africa. MDPI.
- [4] CCNUCC. (2007). Manuel du logiciel pour les inventaires de gaz à effet de serre destiné aux pays à l'annexe I de la CCNUCC. Version: 1.3.2.
- [5] CITEPA. (2004). Calcul des émissions dans l'air, Méthodologie –Emissions.
- [6] Doorn et al. (2005). Gestion du processus des inventaires des gaz à effet de serre. Programme d'appui aux communications nationales. 1-63.
- [7] FEM. (2010). Investir dans l'élimination progressive des Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone; l'expérience du FEM.
- [8] Frihi, A. (2018). Évolution de la colonne totale d'ozone à deux stations tropicales: observations et modélisation. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Sorbonne Université, 2018. Français. NNT: 2018SORUS240. tel-02476395. Physique Atmosphérique et Océanique [physics.ao-ph]. Sorbonne Université, 2018. Français. NNT: 2018SORUS240. tel-02476395.
- [9] GIEC. (2005). Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire: Questions relatives aux hydrofluorocarbures et aux hydrocarbures perfluorés.
- [10] GIEC. (2006). Lignes directrices du GIEC: Emissions de substituts fluorés de substances appauvrissant l'ozone.
- [11] GIEC. (2018). Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz.
- [12] Jantzen, A. (2018). Connaissances des bienfaits et des méfaits du Soleil sur la peau et de la photoprotection. Enquête auprès des étudiants en médecine et en pharmacie de Rouen. Sciences pharmaceutiques. 2018. dumas-01930884.
- [13] Kakani et al. (2003). Field crop responses to ultraviolet-B radiation: a review. Agricultural and Forest Meteorology, 120 doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.015>.
- [14] Mecke et al. (1931).: The photochemical ozone equilibrium in the atmosphere, Physik. Chem., B.
- [15] PNUE. (2001). Dans Protection de la couche d'ozone: Elimination progressive des SAO dans les pays en développement; Manuel de formation des agents des douanes.
- [16] Sabi et al. (2008). Contribution à l'estimation des Substances Appauvrissant la couche d'ozone au Togo de 1995-2005. Déchets sciences et techniques, N°51.
- [17] Secrétariat de la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone, e. d. (2017). Manuel du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Nairobi: Secrétariat de l'ozone.
- [18] Vernet et al. (1993). The Response of Antarctic Phytoplankton to Ultraviolet Radiation: Absorption, Photosynthesis, and Taxonomic Composition. American Geophysical Union, doi: 10.1029/AR062p0143, URL <http://dx.doi.org/10.1029/AR062p0143>.
- [19] William T. Ball et al. (2018). Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery. Atmos. Chem. Phys., 18, 1379–1394, 2018 <https://doi.org/10.5194/acp-18-1379-2018>.