



FLUIDES FRIGORIGENES ET HEXAFLUORURE DE SOUFRE GAZ A EFFET DE SERRE DES CENTRALES NUCLEAIRES

Bernard Laponche, Global Chance, 20 octobre 2020

*

Table des matières

PRESENTATION	1
1. LA REGLEMENTATION	2
2. LA COMPTABILITE DES EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE	2
3. LES EMISSIONS DES GAZ FRIGORIGENES.....	3
3.1 LES FLUIDES CONCERNES.....	3
3.2 LEURS CARACTERISTIQUES EN TANT QUE GAZ A EFFET DE SERRE.....	3
4. LE POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL DE R134A.....	4
4.1 COURBES DE DECROISSANCE DE CO ₂ , CH ₄ ET R134-A.....	4
4.2 LE PRG DE R134-A.....	4
4.3 CONSEQUENCES SUR LES VALEURS EN TEQCO ₂	4
4.4 IMPORTANCE RELATIVE DE CES EMISSIONS	5
5. LE CAS DE L'HEXAFLUORURE DE SOUFRE.....	5
5.1 LE GES LE PLUS PUISSANT, A VIE TRES LONGUE	5
5.2 UN EXEMPLE DANS LE PASSE, ENCORE A BELLEVILLE	6
5.3 UN AVIS DE L'IRSN.....	7
5.4 LA QUESTION DE LA REGLEMENTATION	7

*

PRESENTATION

Le point de départ de la rédaction de cette note est la déclaration par EDF à l'ASN de deux événements significatifs pour l'environnement (ESE) survenus en 2019 à la centrale de Belleville¹, relatifs à des pertes de fluides frigorigènes. Ces fluides sont en effet des gaz à effet de serre dont les émissions ont des effets très différents sur le réchauffement de l'atmosphère selon le gaz considéré.

Cette note a pour objectif d'expliquer et de commenter les conséquences sur ce réchauffement de ces ESE. On examine également le cas du gaz SF₆, hexafluorure de soufre, gaz à effet de serre particulièrement puissant.

¹ Deux tranches nucléaires de 1310 MW de puissance électrique nette.

1. LA REGLEMENTATION

La déclaration des ESE relatifs aux émissions de fluides frigorigènes répond aux exigences de l'article R543-87 du code de l'environnement² :

« Toute opération de dégazage dans l'atmosphère d'un fluide frigorigène est interdite, sauf si elle est nécessaire pour assurer la sécurité des personnes. Le détenteur de l'équipement prend toute disposition de nature à éviter le renouvellement de cette opération. Le détenteur de l'équipement porte à la connaissance du représentant de l'Etat dans le département, ou à l'Autorité de sûreté nucléaire si l'équipement est situé dans le périmètre d'une installation nucléaire de base telle que définie à l'article L-593-2 les opérations de dégazage ayant entraîné ponctuellement une émission de plus de 20 kilogrammes de fluides frigorigènes ou ayant entraîné au cours de l'année civile des émissions cumulées supérieures à 100 kilogrammes ».

Nous n'avons pas trouvé l'origine de ces valeurs (la façon de les calculer). On peut supposer qu'elles ont été établies sur la base des propriétés radiatives et de la durée de vie du fluide frigorigène le plus fréquent dans les installations concernées et notamment les centrales nucléaires.

2. LA COMPTABILITE DES EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE

Il existe de très nombreux gaz dont les émissions sont responsables du renforcement de l'effet de serre. Chacun de ces « gaz à effet de serre » (GES) présente des caractéristiques propres d'absorption du rayonnement (efficacité radiative) et de durée de vie dans l'atmosphère après son émission. Chaque émission est exprimée en kg ou en tonne (t) du GES concerné.

Mais, afin de permettre une simplification de l'appréciation globale de l'incidence des émissions des différents GES, il a été décidé (sommet de Kyoto en 1997) de définir une règle d'équivalence entre les émissions des différents gaz et celles du plus important, le gaz carbonique CO₂. Les émissions seraient alors exprimées en « tonne équivalent CO₂ » et l'on raisonnerait alors sur un seul gaz, « équivalent CO₂ », cela permettant, outre la simplification, le traitement de ce gaz unique en termes économiques³.

Sur proposition du GIEC, le choix de la règle d'équivalence s'est porté sur l'utilisation du « potentiel de réchauffement global », le PRG, qui indique la contribution au réchauffement de l'atmosphère à un horizon donné d'une émission ponctuelle en début de période d'un kg d'un GES particulier par comparaison avec la contribution sur la même période d'une émission ponctuelle d'un kg de CO₂⁴.

La valeur du PRG d'un gaz particulier va dépendre d'une part du rapport de son efficacité radiative à celle du CO₂ et, d'autre part, de sa courbe de décroissance dans l'atmosphère de l'année 0 à l'année horizon TH considérée. Le GIEC fournit les valeurs du PRG pour différentes valeurs de TH et on peut les calculer soi-même à partir des courbes de décroissance du CO₂ et de chaque autre GES et de leurs efficacités radiatives respectives.

Afin de permettre la simplification recherchée, il a été choisi de prendre comme coefficient d'équivalence le PRG à 100 ans : la valeur en teqCO₂ d'une émission ponctuelle de 1 kg une année n est donnée par la valeur du PRG de ce GES à l'horizon n+100. Pour l'émission d'un GES de chaque année, son effet pris en compte est celui ressenti 100 ans plus tard. Ainsi, une

²<https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220&idArticle=LEGIA RTI000031790598&dateTexte=&categorieLien=id>

³ Ne considérer qu'un seul gaz, eqCO₂, permet entre autres de mettre en place des mesures de type « taxe » sur les émissions, ou de donner une valeur à la teqCO₂ économisée.

⁴ La « tonne équivalent CO₂ », teqCO₂ qui en résulte dépend par conséquent de l'horizon choisi TH et n'est donc pas comparable dans son concept même, à la tep (tonne équivalent pétrole), confusion que l'on rencontre souvent.

émission en 2020 est comptabilisée par son effet en 2120, une émission en 2030 en 2130, etc. Par cette méthode, l'équivalence réelle avec une émission de CO₂ n'est jamais correcte que dans le cas d'une émission ponctuelle se produisant précisément 100 ans avant l'année horizon considérée comme intéressante.

3. LES EMISSIONS DES GAZ FRIGORIGENES

3.1 Les fluides concernés

Les informations précises sur les émissions de fluides frigorigènes de la centrale nucléaire de Belleville en 2019 sont les suivantes :

- Une perte de 194 kg de fluide frigorigène de type R134A (ou HFC 134a) émis en une seule fois par un seul groupe frigorifique du réacteur 1 en mars 2019⁵.
- Des émissions étalées sur l'année pour un cumul de 201,5 kg de fluide frigorigène dont 186 kg de fluide de type R134A pour le réacteur 1 et 15,5 kg de fluide R407C, celui-ci étant lui-même un mélange de R134A (52%), R125 ou HFC 125 (25%) et R32 ou HFC 32 (23%), concernant un groupe froid commun aux deux réacteurs.

3.2 Leurs caractéristiques en tant que gaz à effet de serre

Chaque GES est caractérisé par son efficacité radiative et sa décroissance dans l'atmosphère qui est de type exponentiel. A partir de ces deux données, le GIEC calcule le PRG de chacun de ces gaz et en publie les valeurs aux horizons de 20 ans et de 100 ans⁶.

La valeur en tonne équivalent CO₂ (teqCO₂) de l'émission l'année 0 d'un GES autre que le CO₂ à un horizon donné est le produit de sa valeur en kg multipliée par la valeur du PRG à cet horizon.

Le tableau 1 présente les demi-vies⁷ et les valeurs du PRG à ces deux horizons pour les trois gaz frigorigènes identifiés ci-dessus (HFC 134a, HFC 125 et HFC 32), ainsi que pour le gaz carbonique (CO₂) et le méthane (CH₄) qui sont les deux GES les plus importants, le CO₂ étant la référence pour la comptabilité en teqCO₂ et le CH₄ un bon exemple de l'utilisation du PRG.

Tableau 1 – Décroissance et PRG (GIEC)

	Demi-vie	PRG		
	Année	Horizon 20 ans	Horizon 100 ans	Facteur (20/100)
CO₂	*	1	1	1
CH₄	12,4	84	28	3
HFC-134a (R134A)	13,4	3710	1300	2,85
HFC-125 (R125)	28,2	6090	3170	1,92
HFC-32 (R32)	5,2	2430	677	3,6

* La courbe de décroissance du CO₂, pour une émission de 1 l'année 0 : 0,217+ exponentielles de demi-vies : 173 ans (26%), 18,5 ans (34%), 1,2 ans (2%). Voir Figure 1.

A l'horizon de 20 ans, 1 kg de R134A « vaut » 3710 kgeqCO₂ ; à l'horizon de 100 ans, il vaut 1300 kg.

On constate que, aussi bien pour le méthane que pour les trois gaz frigorigènes, la valeur du PRG à l'horizon de 20 ans est nettement supérieure à sa valeur à horizon 100 ans.

R134A étant de loin le GES le plus important dans ces émissions, nous allons l'étudier de plus près.

⁵ Ce groupe sera remplacé pendant la visite décennale de 2020.

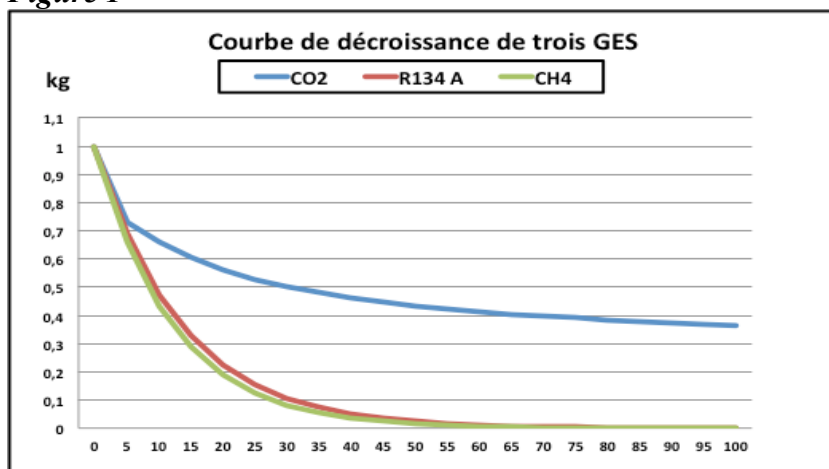
⁶ Référence : WGIAR5_Chapter08_FINAL.pdf (page 731).

⁷ Demi-vie : nombre d'années après émission où il ne reste dans l'atmosphère que la moitié de la valeur initiale.

4. LE POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL DE R134A

4.1 Courbes de décroissance de CO₂, CH₄ et R134-A

Figure 1



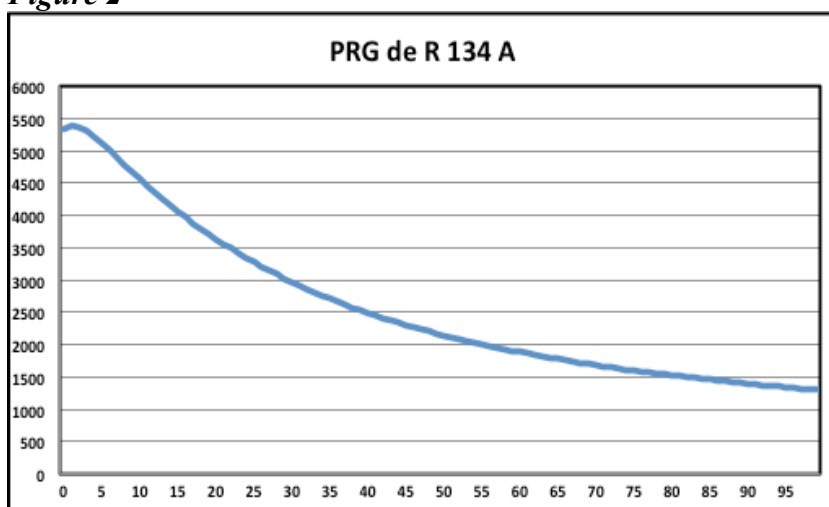
En abscisse : années après l'émission ponctuelle de 1 kg l'année 0.

Les courbes de décroissance de CH₄ et de R134A sont très proches.

4.2 Le PRG de R134-A

Cela nous permet, en ajustant sur les valeurs respectives à 20 ans et à 100 ans, de déduire le PRG de R134A de celui du CH₄ que nous avons précédemment calculé dans le cadre de nos travaux sur le méthane⁸.

Figure 2



On retrouve bien sur cette courbe les valeurs de 1300 à 100 ans et de 3710 à 20 ans

4.3 Conséquences sur les valeurs en teqCO₂

Si nous considérons une émission ponctuelle en 2020 par exemple de 1 kg de R134A, cette émission va être comptabilisée selon la pratique officielle, comme équivalant à une émission de CO₂ de 1300 kg, soit 1300 teqCO₂. Et si une telle émission se poursuivait les années suivantes, elle serait comptabilisée chaque année à la même valeur.

⁸ <http://www.global-chance.org/IMG/pdf/CH4mars2008.pdf>, dans La Recherche, n°417, mars 2009.

Mais, dans la réalité, ce qui est important est de savoir quel est l'impact sur le réchauffement climatique, non pas 100 ans après l'émission, mais à un horizon donné, 2050 par exemple, date à laquelle il faudrait atteindre la « neutralité carbone ».

Alors la valeur à attribuer à cette émission ponctuelle en 2020 n'est pas la valeur du PRG à 100 ans mais celle du PRG à 30 ans, soit 3020.

Et si on s'intéresse à une émission annuelle de 1 kg de R134A sur la période 2020-2050 et que l'on veuille comptabiliser sa valeur en teqCO_2 sur la base du PRG annuel à l'horizon 2050, il faut faire la somme des PRG de 2021 à 2050 divisée par 30 kg de CO_2 : on trouve 4178.

Une comptabilité plus réaliste des émissions des fluides frigorigènes concernés, consisterait donc à choisir un horizon sensible, probablement 2050, et d'attribuer chaque année à la valeur en kg des émissions, le PRG correspondant à la distance temporelle entre l'année d'émission et 2050.

La limite maximale autorisée d'émission de 100 kg par an fixée par la réglementation, considérée comme équivalente à une émission de 130 tonnes de CO_2 est, en prenant 2050 comme année horizon, équivalente à 302 tonnes de CO_2 pour une émission en 2020 et croît jusqu'à 534 tonnes pour une émission en 2049.

Les mêmes facteurs s'appliquent aux fuites détectées en 2019 pour la centrale de Belleville qui ont été, rappelons-le, d'environ 400 kg pour deux réacteurs, soit 200 kg par réacteur (la limite réglementaire étant de 100 kg par réacteur).

4.4 Importance relative de ces émissions

Que représente une émission sur une année de 200 kg de R134-A par un des réacteurs de la centrale de Belleville au regard de la production d'électricité de la tranche nucléaire correspondante ?

La production électronucléaire a été de 380 TWh en 2019 pour un parc de 63000 MW, soit 7,8 TWh pour une unité de 1300 MW. Nous prenons cette valeur moyenne pour une unité de Belleville.

Nous avons vu en 3.1 que l'émission de 380 kg de R 134A s'est produite pour le réacteur 1 en 2019.

L'émission en gramme par kWh produit est donc égale au produit de la valeur de l'émission par le PRG, divisé par la production annuelle d'électricité :

- En comptabilité officielle avec PRG à 100 ans :

$$380 \times 10^3 \times 1300 / 7,8 \times 10^9 \text{ kWh} = 0,063 \text{ g/kWh}$$

- En comptabilité avec PRG à horizon 2050 :

$$380 \times 10^3 \times 3020 / 7,8 \times 10^9 \text{ kWh} = 0,147 \text{ g/kWh}$$

Ces valeurs ne sont pas tout à fait négligeables si l'on se réfère aux 12 g/kWh indiqués par le GIEC pour les émissions de GES dues à la production d'électricité d'origine nucléaire, ou aux 6 g/kWh avancés par EDF.

5. LE CAS DE L'HEXAFLUORURE DE SOUFRE

5.1 Le GES le plus puissant, à vie très longue

L'hexafluorure de soufre, SF_6 , est un très bon isolant électrique. D'après Wikipedia, 80% du SF_6 produit dans le monde est utilisé dans les disjoncteurs à haute tension et dans les postes électriques sous enveloppe mécanique.

Après une émission, il décroît très lentement dans l'atmosphère (demi-vie de 3200 ans).

La figure 3 compare sa décroissance à celles du gaz carbonique et du méthane.

On peut considérer que toutes les quantités de SF6 libérées dans l'atmosphère se cumulent.⁹

Figure 3

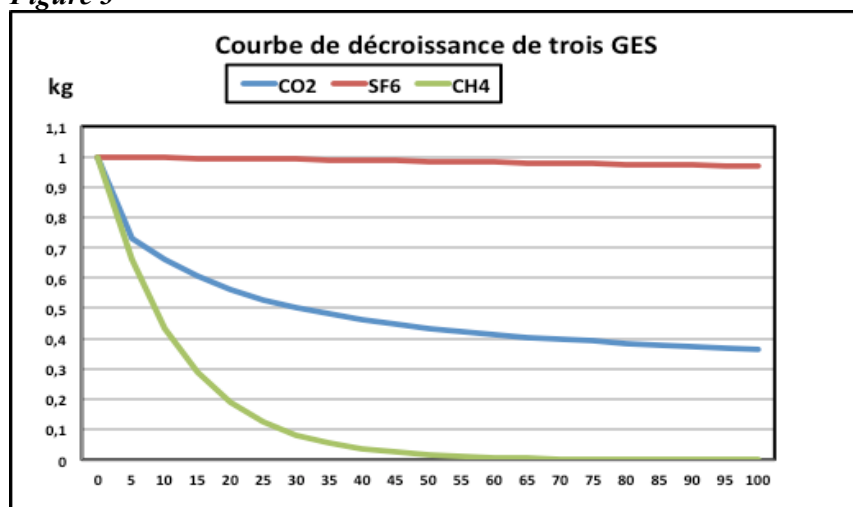


Tableau 3 – Décroissance et PRG de SF6

	Demi-vie*	PRG		
		Horizon 20 ans	Horizon 100 ans	Facteur (20/100)
CO2	*	1	1	1
CH4	12,4	84	28	3
SF6	3200	17500	23500	0,74

* Voir tableau 1.

Le PRG du SF6 est très élevé, ce qui en fait le plus puissant de tous les GES.

Contrairement au méthane qui décroît rapidement après son émission, la quantité de SF6 émise l'année 0 reste pratiquement dans l'atmosphère tandis que celle du CO2 diminue pour se stabiliser ensuite au-delà de 100 années, ce qui explique que le PRG à 100 ans soit supérieur au PRG à 20 ans, contrairement à ce que nous avons vu pour les fluides frigorigènes précédemment étudiés.

5.2 Un exemple dans le passé, encore à Belleville

Dans une note publiée le 6 janvier 2005¹⁰, on lit :

« Par ailleurs, un rejet de 590 kg de SF6 (hexafluorure de soufre, gaz à effet de serre) entre 2003 et 2004 a également été détecté par le site ».

Avec la valeur du PRG à 100 ans (23500) de la comptabilité officielle, cela correspond à une émission de 13 865 teqCO2.

La valeur de cette émission rapportée à la production annuelle d'électricité d'un réacteur était par conséquent (même calcul qu'en 4.4) :

$$590 \times 10^3 \times 23\,500 \text{ g} / 7,8 \times 10^9 \text{ kWh} = 1,78 \text{ g/kWh}$$

Cette valeur très importante justifie une surveillance particulière des émissions de ce gaz.

⁹ A cet égard, il serait intéressant d'ajouter toutes les émissions du parc nucléaire depuis le début de son fonctionnement, si on possède suffisamment de données.

¹⁰ <https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controler/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Rejet-de-freon-fluide-frigorifique-CFC>

La même note signale également un cumul d'émission du fluide frigorigère R12 (ou CFC12) de demi-vie de 100 ans et d'un PRG de 10800 à 20 ans et 10200 à 100 ans.

On trouve des valeurs du même ordre si on prend la méthode « à horizon 2050 » car la valeur du PRG varie très peu en fonction de l'année horizon.

5.3 Un avis de l'IRSN

Cette valeur très élevée du PRG, qui reste de l'ordre de 20000 tout au long d'une période très longue, justifie la demande formulée par l'IRSN en annexe de son Avis du 2 mars 2018¹¹ :

« L'IRSN recommande que les émissions significatives d'hexafluorure de soufre (SF6) fassent l'objet de déclarations d'événements significatifs pour l'environnement (ESE) de la part des exploitants des centrales nucléaires », sans préciser le niveau d'une « émission significative ».

5.4 La question de la réglementation

En dehors du texte « Que dit la loi ? » présenté en note de bas de page¹², nous n'avons pas trouvé de réglementation particulière sur les émissions de SF6.

Le SF6 n'est pas un fluide frigorigène et, par conséquent, l'article R543-87 **n'a pas à être appliqué à ses émissions.**

Cette remarque est importante car, le 6 août 2020, EDF a publié la déclaration d'un événement significatif en environnement (ESE) qui s'est produit sur la centrale de Flamanville (sans précision sur le réacteur concerné)¹³ :

« Au sein de nos installations (de la centrale de Flamanville), le gaz Hexafluorure de soufre (SF6) est utilisé comme isolant pour les postes d'évacuation d'énergie et les postes d'alimentation des transformateurs auxiliaires

Jeudi 30 juillet, la quantité annuelle cumulée d'émissions de gaz SF6 a atteint 102 kg, dépassant le seuil déclaratif réglementaire de 100 kg. La direction de la centrale de Flamanville a déclaré le 03 août 2020 auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire un événement significatif environnement ».

On ne voit pas en quoi les 100 kg relatifs aux fluides frigorigènes s'appliqueraient au SF6.

Mais, supposons que l'on cherche à définir une réglementation se rapprochant de celle des gaz frigorigènes. On peut considérer que la limite de 100 kg par an a été adoptée pour le gaz frigorigène de loin le plus fréquent, le R 134A, soit une déclaration pour une émission ponctuelle de 20kg et une émission cumulée au cours de l'année civile de 100kg.

En restant dans l'utilisation habituelle du PRG à 100 ans, celui du R134A étant de 1300, les limites pour SF6, dont le PRG à 100 ans est 23500 devraient être alors¹⁴ :

- Limite pour une émission ponctuelle : $20 \cdot 1300 / 23500 = 1,1$ kg
- Limite pour un cumul d'émission sur une année civile : $100 \cdot 1300 / 23500 = 5,5$ kg

Toute émission de SF6, soit ponctuelle, soit en cumul annuel, supérieure à 1,1 kg ou 5,5 kg selon le cas, devrait être déclarée comme ESE à l'ASN.

Ces déclarations sont d'autant plus importantes que comme on l'a vu, les quantités émises restent dans l'atmosphère et c'est leur cumul qu'il est également important de connaître.

Enfin, il serait nécessaire de connaître les hypothèses et la méthode de calcul qui ont abouti aux valeurs de l'arrêté R543-87 du code de l'environnement

¹¹ Avis IRSN/2018-00055 - <https://www.irsn.fr/fr/expertise/avis/2018/documents/mars/avis-irsn-2018-00055.pdf>

¹² <https://www.certification-sf6.com/la-loi>

¹³ <https://www.edf.fr/groupe-edf/nos-energies/carte-de-nos-implantations-industrielles-en-france/centrale-nucleaire-de-flamanville/actualites/declaration-d-un-evenement-significatif-environnement>

¹⁴ Comme on l'a vu, le résultat serait très proche si l'on prenait le PRG à 20 ans.