

Problèmes techniques : l'inflammabilité

Contexte : La réduction progressive de la production et de la consommation de HFC au titre de l'Amendement de Kigali conduira au final à une réduction globale de 85% de la quantité de HFC qui pourra être vendue dans le monde. Pour parvenir à une telle réduction, les utilisateurs de HFC vont devoir se mettre à utiliser des fluides alternatifs dotés d'un potentiel de réchauffement global (PRG¹) bien plus faible que celui de HFC utilisés actuellement. Un grand nombre de ces fluides de substitution aux HFC sont inflammables – ce qui engendre potentiellement des problèmes de sécurité et peut restreindre leur usage. On peut parvenir à une application de ces fluides inflammables avec efficacité et sans danger à condition de s'attaquer aux questions de sécurité correctement. Cette fiche info a pour objectif d'apporter des éclaircissements sur l'incidence de l'utilisation de ces fluides alternatifs inflammables.

La plupart des HFC sont ininflammables et c'est cette caractéristique qui fait des HFC le choix privilégié de beaucoup d'utilisateurs de leurs applications. Leur ininflammabilité rend relativement faciles la fabrication, l'installation et la maintenance des équipements de réfrigération et de climatisation. S'il y a une fuite de fluide ininflammable, il n'y a pas de risque d'incendie. De même, une bombe aérosol avec un gaz propulseur HFC ininflammable posera moins de risques dans le cas où elle est utilisée à proximité d'une source d'ignition.

Une des raisons pour lesquelles la majorité des HFC sont ininflammables est que leur structure moléculaire est très stable. Malheureusement, cette propriété donne aussi aux HFC un PRG élevé. Les fluides alternatifs à PRG faible ont des molécules moins stables – ce qui fait que de nombreux gaz alternatifs sont inflammables.

L'échelle d'inflammabilité : Avant l'Amendement de Kigali on pouvait choisir parmi de nombreux fluides et une approche simpliste était adoptée vis-à-vis de l'inflammabilité. Si un fluide inflammable est indésirable, de nombreux codes et normes de sécurité ont adopté une attitude prudente et décrété que les fluides inflammables ne peuvent pas être utilisés.

Cette approche simpliste n'est pas idéale dans les cas où il n'y a que peu de fluides ininflammables à disposition. Pour pouvoir utiliser les fluides à faible PRG sur une plus grande échelle, il est important que soit reconnue la grande variété de « niveau d'inflammabilité » des différents fluides. Il existe un spectre continu d'inflammabilité que l'on peut découper comme suit :

- **Fluides Hautement inflammables** – très faciles à enflammer, peuvent brûler de façon explosive.
- **Fluides inflammables** – Plus difficiles à enflammer, mais une fois enflammés vont continuer de brûler et peuvent provoquer un incendie.
- **Fluides faiblement inflammables** – très difficiles à enflammer, brûleront doucement et sont susceptibles de s'éteindre une fois la source d'ignition supprimée. Les fluides faiblement inflammables causeront un risque d'incendie moins élevé qu'une quantité équivalente de fluide inflammable.
- **Fluides ininflammables** – ne peuvent pas être enflammés.

Certains des plus importants codes de sécurité internationaux de la réfrigération reconnaissent cette échelle d'inflammabilité. Par exemple, les normes ISO 817, ISO 5149 et EN 378 intègrent quatre classes d'inflammabilité. Malheureusement, toutes les normes n'adoptent pas cette approche et font seulement référence aux substances comme étant inflammables ou ininflammables. Cela signifie que les fluides faiblement inflammables sont traités de la même manière que les fluides hautement inflammables, restreignant sévèrement l'application sécurisée de certains fluides inflammables.

Paramètres d'inflammabilité :

Un des problèmes que rencontrent les auteurs des codes de sécurité et les utilisateurs de certains fluides inflammables est la complexité de la notion d'inflammabilité, et il n'est pas facile de définir un ensemble de paramètres d'exploitation assurant la sécurité pour chaque fluide. L'inflammabilité peut se mesurer de plusieurs manières différentes. Les paramètres les plus importants sont :

1. **La limite inférieure d'inflammabilité (LII)** (ou LFL en anglais) est la concentration minimum d'un gaz ou d'une vapeur capable de propager une flamme dans un mélange homogène de gaz ou de cette vapeur et d'air.
2. **La limite supérieure d'inflammabilité (LSI)** (ou UFL en anglais) est la concentration maximum d'un gaz ou d'une vapeur capable de propager une flamme dans un mélange homogène de gaz ou de cette vapeur et d'air.

¹ Voir la [Fiche info Kigali n°14](#) pour un glossaire de tous les sigles et acronymes utilisés

3. **La chaleur de combustion ou pouvoir calorifique inférieur (PCI)** est l'énergie dégagée sous forme de chaleur quand un mélange subit une combustion complète avec de l'oxygène dans des conditions normalisées.
4. **La vitesse de combustion (VC)** est la vitesse à laquelle une flamme se propage.
5. **L'énergie minimale d'inflammation ou d'ignition (EMI)** indique la quantité d'énergie nécessaire à une source d'ignition (ex : une étincelle ou une flamme nue) pour initier l'inflammation d'un gaz ou d'une vapeur.

Certains codes de sécurité utilisent les valeurs de LII, de PCI et de VC pour définir les classes d'inflammabilité présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Classes d'inflammabilité dans les normes ISO 817, ISO 5149 et EN 378

Classe d'inflammabilité		Limite inférieure d'inflammabilité LII (kg/m ³)	Chaleur de combustion PCI (MJ/kg)	Vitesse de combustion VC (cm/s)
3	Hautement inflammable	<0.1	ou >19	s.o.
2	Inflammable	>0.1	et <19	s.o.
2L	Faiblement inflammable	>0.1	et <19	<10
1	Ininflammable	Ne peut être enflammé		

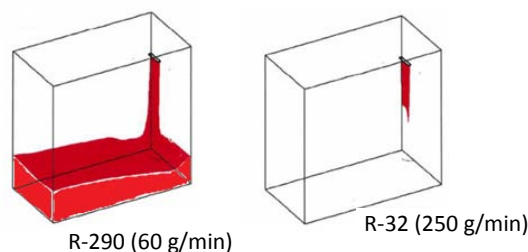
La question de l'inflammabilité est rendue encore plus complexe par d'autres paramètres qui influent sur la combustion. Parmi ceux-ci, trois sont particulièrement importants :

1. La géométrie exacte de la source d'ignition peut faire varier l'EMI.
2. Une humidité atmosphérique importante peut augmenter la vitesse de combustion de certains fluides.
3. Un effet de dilution se produit lorsqu'un gaz qui fuit entre en contact avec l'air ambiant.

La Figure 1 illustre la façon dont la dilution se produit. Pour un fluide de classe 3, une vapeur hautement inflammable, la LII est faible (c.-à-d. qu'il suffit d'une très petite quantité de gaz mélangé à l'air pour qu'une ignition soit possible) et une grande quantité de dilution doit se produire avant que la concentration de gaz ne descende en dessous de la LII. Pour un fluide de classe 2L, une vapeur faiblement inflammable, la LII est bien plus élevée et la dilution faisant redescendre la concentration en dessous de la LII pourra se produire beaucoup plus rapidement. Dans cet exemple, le taux de fuite du propane, hautement inflammable, n'est que d'un quart de celui du HFC-32, faiblement inflammable, mais il produit une zone de danger d'ignition (en rouge) bien plus grande.

Ces questions ont été traitées pour illustrer la grande complexité de la question de l'inflammabilité. Les codes de sécurité doivent se cantonner à une approche prudente en l'absence de données techniques suffisantes.

Figure 1 : Modélisation d'une fuite et des zones où la concentration du gaz est au-dessus de la LII²



Prédiction de l'étendue de la zone inflammable, quand du R-290 (propane, classe d'inflammabilité 3) ou du HFC-32 (classe d'inflammabilité 2L) fuit d'une unité de réfrigération fixée au mur. Les zones colorées en rouge sont les zones où la vapeur pourrait s'enflammer. A noter, le taux de fuite du R-290 est de 60g/mn, alors que le taux de fuite du HFC-32 est plus de quatre fois plus important avec 250g/mn.

² Osami Kataoka, JRAIA, Janvier 2013, "Flammability of 2L Class Refrigerants" (Inflammabilité des fluides frigorigènes de classe 2L)

Probabilité et gravité des risques :

Il est important de faire la distinction entre la **probabilité** d'une ignition et la **gravité des conséquences** d'une ignition. La probabilité d'une ignition dépend essentiellement de la limite inférieure d'inflammabilité et de l'énergie minimale d'inflammation :

- Un fluide hautement inflammable a une LII faible (c.-à-d. il suffit d'une petite quantité de gaz mélangé à l'air pour que l'inflammation soit possible) et une EMI faible (c.-à-d. une faible source d'énergie comme une petite étincelle suffit à causer l'ignition)
- Un fluide faiblement inflammable a une LII plus haute – ce qui signifie que la zone de risque d'ignition sera plus petite (dans la plupart des cas, comme illustré dans la Figure 1). Il a également besoin d'une EMI, ce qui signifie qu'il faudra une source d'ignition bien plus puissante placée à l'intérieur de la zone de risque d'ignition.

La gravité des conséquences d'une inflammation dépend essentiellement de la vitesse de combustion et de la chaleur de combustion :

- Un fluide hautement inflammable a une VC élevée – ce qui peut induire une ignition explosive à l'intérieur d'un nuage de gaz qui est au-dessus de la LII. Si le PCI est élevé aussi, des dégâts significatifs peuvent survenir.
- Un fluide faiblement inflammable a une VC faible – si une ignition se produit, l'inflammation se produit lentement. Souvent la combustion ne peut pas être maintenue si la source d'ignition est retirée.

Des gaz de classe 3 (hautement inflammable) comme le propane affichent à la fois une haute probabilité d'ignition et une gravité élevée des conséquences possibles d'une ignition.

Des gaz de classe 2L (faiblement inflammable) comme le HFO-1234yf ou le HFC-32 sont difficiles à enflammer (LII élevée et EMI élevée) et leur propre VC, faible, rend les conséquences d'une ignition beaucoup moins graves.

Le tableau 2 récapitule les diverses caractéristiques d'inflammabilité illustrées ci-dessus.

Tableau 2 : Exemples de paramètres clés

Fluide	Classe d'inflammabilité	LII (kg/m ³)	EMI ³ (mJ)	PCI (MJ/kg)	VC (cm/s)
Propane	3	0,038	0,3	46	43
HFC-152a	2	0,130	10	16	23
Ammoniac	2L	0,116	100	19	7
HFC-32	2L	0,307	1000	9	6
HFO-1234yf	2L	0,289	5000	9	1,5

Il est intéressant de noter que l'ammoniac est communément utilisé dans des installations de froid industriel de grande taille depuis des années. C'est un fluide faiblement inflammable de classe 2L. Il y a très peu de cas avérés d'incendie causé par une fuite d'ammoniac (en raison de la difficulté d'ignition).

Les fluides à PRG ultra faible, comme le HFO-1234yf, ou modéré, comme le HFC-32, sont des alternatives importantes qui pourraient contribuer à atteindre les objectifs fixés par l'Amendement de Kigali. Les données du tableau 2 indiquent que ces fluides sont beaucoup plus difficiles à enflammer que l'ammoniac (LII et EMI bien plus élevées) et que les conséquences s'une ignition sont plus limitées (faible VC et faible PCI). Ce sont des caractéristiques encourageantes, bien qu'il faille souligner que, jusqu'à ce qu'une expérience plus importante de ces nouveaux réfrigérant ait été acquise, il est difficile de définir un ensemble de paramètres d'exploitation assurant la sécurité pour les fluides de ce type.

Le HFC-152a possède une LII plus élevée et un PCI plus faible que l'ammoniac. Si on en croit les codes de sécurité antérieurs, cela indiquerait que le HFC-152a est moins inflammable que l'ammoniac. Mais l'expérience pratique montre que le HFC-152a est bien plus facilement inflammable que l'ammoniac. Cela s'explique par la faible EMI (qui rend l'ignition bien plus facile) et par VC élevée (qui rend les conséquences plus graves). Cela montre l'importance de s'attacher à éviter la façon simpliste de catégoriser l'inflammabilité.

³ Ces valeurs d'EMI sont seulement approximatives – elles peuvent varier considérablement en fonction des conditions de l'expérience

Usages courants des fluides inflammables : L'usage des fluides inflammables en tant que fluides de substitution pour les SAO ainsi que les HFC est déjà largement répandu. Voici quelques exemples d'usages bien établis :

Fluides hautement inflammables :

- a) l'isobutane dans les réfrigérateurs domestiques,
- b) le propane dans les réfrigérateurs commerciaux autonomes,
- c) le pentane pour la fabrication des mousses isolantes en PUR,
- d) les mélanges d'hydrocarbures comme gaz propulseurs dans les aérosols.

Fluides faiblement inflammables :

- a) l'ammoniac dans les groupes de froid industriel,
- b) le HFO-1234yf dans la climatisation automobile,
- c) le HFO-1234ze dans les refroidisseurs d'eau glacée,
- d) le HFC-32 dans les climatiseurs bi-bloc de petite taille.

Pour que l'Amendement de Kigali soit couronné de succès, il faudra qu'intervienne une croissance considérable de l'usage des fluides inflammables, ce qui nécessitera des efforts concertés, à la fois au niveau international et au niveau national.

Dangers relatifs à la conversion par rétrofit d'équipements existants :

Les équipements neufs peuvent être conçus de manière spécifiquement adaptée pour utiliser les fluides inflammables, en prenant complètement en compte les problèmes de sécurité. Utiliser un fluide frigorigène inflammable pour un rétrofit sur une installation existante qui avait été conçue pour fonctionner avec un fluide ininflammable n'est en général pas recommandé. Lors d'une réunion du Comité exécutif qui s'est tenue récemment, la décision 72/17 a été adoptée, selon laquelle : « [quiconque] s'engage à adapter des équipements de réfrigération et de climatisation à base de HCFC à des frigorigènes inflammables ou toxiques et aux activités d'entretien s'y rapportant, il le fait en étant entendu qu'il assume toutes les responsabilités et tous les risques qui s'y rapportent »⁵. Les organismes agissant dans le cadre du Protocole de Montréal n'endosseront aucune responsabilité en cas de conséquences préjudiciables qui pourraient advenir du choix d'utiliser un fluide frigorigène inflammable dans un équipement qui n'a pas été conçu pour cet usage.

Actions nécessaires au niveau international :

Différentes actions doivent être entreprises, parmi lesquelles :

- 1) Les organismes internationaux d'élaboration des normes doivent poursuivre leurs efforts pour actualiser les normes afin qu'elles représentent de manière adéquate les opportunités d'utilisation des fluides inflammables dans un éventail d'applications, et en particulier dans le marché de la réfrigération et de la climatisation. Les normes qui ne reconnaissent pas l'échelle d'inflammabilité devraient être révisées complètement.
- 2) Les organismes de recherche doivent mener des études plus poussées sur les façons efficaces et sûres d'utiliser les fluides inflammables, pour apporter les preuves sur lesquelles pourra s'appuyer l'actualisation des normes.
- 3) Les fabricants d'équipements doivent modifier la conception de certains de leurs produits pour rendre l'utilisation de fluides inflammables plus sûre.
- 4) Les informations relatives à l'utilisation concluante des fluides inflammables doivent être largement diffusées afin qu'augmente la confiance dans leurs futures applications.

Actions nécessaires dans les pays Article 5 :

De nombreux pays A5 countries vont devoir faire un effort supplémentaire en faveur de l'usage des fluides inflammables. En particulier :

- 1) Induire une prise de conscience et améliorer la compréhension, pour expliquer que les fluides inflammables peuvent être utilisés sans danger et ont déjà été introduits sur le marché pendant la phase d'élimination des CFC ;
- 2) Faire en sorte qu'une formation puisse être assurée pour les techniciens d'installation et de maintenance ;
- 3) Faire en sorte que les outils et équipements adéquats soient à disposition (ex : les outils destinés à être utilisés dans des zones où une vapeur inflammable peut être présente) ;
- 4) Réviser les réglementations et normes locales ou nationales qui peuvent nécessiter une mise à niveau et une harmonisation avec les normes internationales de sécurité.

⁵ Voir <http://www.multilateralfund.org/72/French/1/F7247.pdf>

ActionOzone

ONU Environnement (PNUE)
Division de l'Economie

1 rue Miollis, Bâtiment VII
Paris 75015, France

www.unep.org/ozonaction
ozonaction@unep.org