

Avis sur la réglementation des systèmes mobiles à sorption solide-gaz à l'ammoniac

Par David Tadiotto avec Éric Devin, Denis Le Quesne, Jérôme Madonado, André Stumpf, Mohammed Youbi Idrissi, membres de la sous-commission Fluides de l'AFF.

L'Association française du froid établit cet avis d'expert concernant l'analyse des cas d'usages et les précautions relatives à la sécurité compte tenu de l'absence de réglementation applicable aux systèmes mobiles à sorption solide-gaz à l'ammoniac. Cet avis a pour objectif de synthétiser les positions de la commission Fluides de l'AFF, sur le procédé de froid durable qui s'inscrit pleinement dans l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050.

Préambule

Créée en 1908 et reconnue d'utilité publique en droit français, l'Association française du froid (AFF), rassemble et représente les acteurs de la filière du froid industriel et commercial (fabricants, installateurs, utilisateurs, industriels, organismes de recherche, établissements d'enseignement spécialisé...), depuis plus d'un siècle, autour de travaux communs en faveur de l'innovation, du partage des savoirs et du développement d'un froid durable, indispensable à nos sociétés. Elle intervient auprès des pouvoirs publics et accompagne les professionnels dans les évolutions réglementaires, scientifiques et technologiques de la filière, aux échelles nationale et internationale. L'AFF est membre de l'IIF (Institut international du froid).

Le procédé à sorption solide-gaz à l'ammoniac

Si la conquête du froid a démarré dès l'Antiquité, les travaux sur le froid artificiel ne se concrétisent qu'au début du XIX^e siècle. La première machine à absorption où le fluide n'était pas comprimé mais absorbé fut inventée par le français Ferdinand Carré en 1859.

La sorption solide-gaz comme générateur de puissance frigorifique est cependant restée dans le domaine de la recherche fondamentale jusqu'au transfert technologique réalisé dans les années 2000 par deux ingénieurs du CNRS qui l'amènent jusqu'au processus industriel mature. Le groupe de réfrigération issu de cette innovation fonctionne en mettant en relation un mélange de poudres de sels et un vecteur énergétique naturel, l'ammoniac.

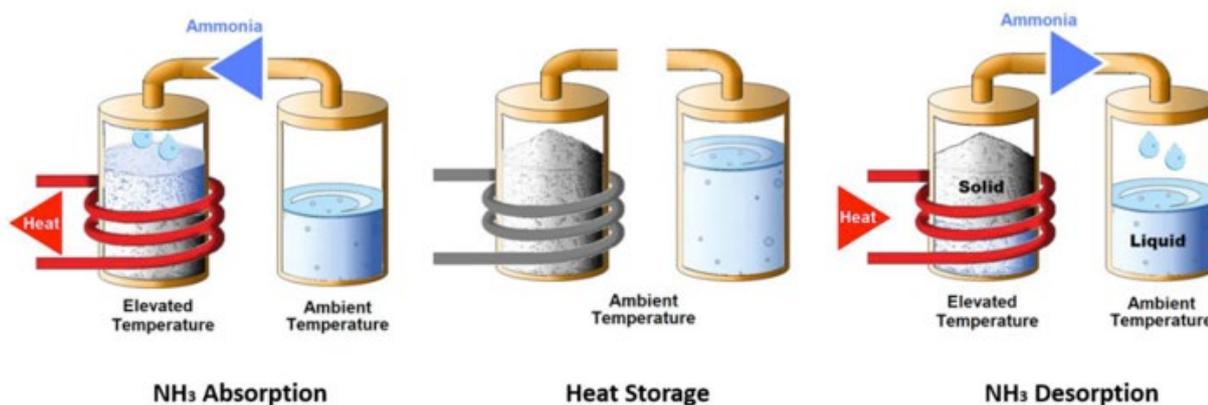


Figure 1 : système thermochimique fonctionnant selon trois modes différents : absorption (phase de décharge et de refroidissement), stockage et désorption (phase de charge). Source Karabanova et al. (2019).



Figure 2 : éventails des applications potentielles ou encore des véhicules équipés de systèmes fixes.

C'est aujourd'hui le seul système de réfrigération fonctionnant de manière parfaitement autonome sans aide externe de batterie électrique ni compresseur.

La figure 1 représente un système thermochimique fonctionnant selon trois modes différents : absorption (phase de décharge et de refroidissement), stockage et désorption (phase de charge).

Le système à sorption solide-gaz est composé de trois éléments : une pile thermique qui contient le matériau réactif (sels et graphite) ; un évaporateur qui contient de l'ammoniac liquide et une vanne de communication entre les deux réservoirs. À l'ouverture de la vanne, l'ammoniac se vaporise à l'intérieur de l'évaporateur et produit du froid tandis que le gaz est absorbé par les sels dans le réacteur en dégageant de la chaleur. Cette production se fait sans aucun bruit et sans aucune vibration. Les éléments réactifs : ammoniac, sels et graphite sont parfaitement confinés dans un circuit hermétique scellé en usine, ne nécessitant aucun remplissage.

Le système peut être rechargé par simple branchement sur une prise électrique. Une fois régénéré, le système est à nouveau prêt à être utilisé.

En effet, une fois l'ammoniac entièrement évaporé, la production de chaleur et de froid s'arrête et le système peut être rechargé avec un apport de chaleur extérieur (par énergie électrique, solaire, récupération de chaleur industrielle...) qui provoque la condensation de l'ammoniac. Régénéré, le système stocke l'énergie et est à nouveau prêt à être utilisé.

Les technologies douces pour la livraison urbaine du dernier kilomètre

Selon les défis de la chaîne du froid après la pandémie [1] édité par l'IFF, les systèmes de froid artificiel doivent nécessairement être efficaces et respectueux de l'environnement. Par ailleurs, les besoins en livraison en zone dense urbaine s'accroissent avec une exigence de livraison douce, impliquant moins d'externalités négatives pour les populations concernées (bruit, pollutions locales, émissions de GES, congestion...). Cette double

nécessité amène naturellement à repenser les systèmes utilisés pour la livraison du dernier kilomètre.

Le système à sorption solide-gaz à l'ammoniac apporte une solution concrète et indépendante de l'évolution des gabarits et des énergies de traction des véhicules légers, ce qui apporte une flexibilité dans le cadre des politiques de logistique urbaine du dernier kilomètre sous température dirigée.

Description des dispositifs

Les systèmes à sorption solide-gaz présents aujourd'hui sur le marché contiennent un maximum de 12 kg d'ammoniac sous forme liquide ou gazeuse. Les produits sur lesquels les groupes de réfrigération sont embarqués sont des containers mobiles, placés dans des véhicules de livraison, ou stockés dans des entrepôts (figure 2).

Ces dispositifs comportent des éléments parfaitement confinés dans un circuit hermétique scellé en usine et ne nécessitent aucun remplissage. Les systèmes développés intègrent une boucle redondante de sécurité pour éviter le risque de surpression.

La technologie fonctionne en deux phases, une phase de production de froid et une phase de régénération et stockage de l'énergie.

Durant le roulage et l'exploitation, le dispositif est en production de froid,

Cas d'usages et risques associés

Les risques associés à l'utilisation de l'ammoniac comme frigorigène sont connus et largement documentés [3]. Ils concernent sa toxicité et son inflammabilité. Dans les deux cas, ces risques sont consécutifs à une fuite accidentelle de frigorigène, notamment en milieu confiné et avec présence de personnels. Il ressort de ce rapport et également des essais de dispersion atmosphérique réalisés par l'Ineris (l'Institut national de l'environnement industriel et des risques), que ce fluide est difficilement inflammable. Ainsi, le risque principal reste la toxicité.





	Agence externe APAVE (Fr) [2]	CEMAFROID (Fr) [3]	SCM Société de Calculs Mathématiques (Fr) [4]	Star Technical Solutions (Royaume-Uni) [5]
Étude de fiabilité			Calcul MTBF * et niveau SIL ** Niveau SIL 2	
Audit réglementation et normes		Audit sur les textes réglementaires applicables		Analyse des textes réglementaires applicables UK, US
Analyse des risques	Chaîne de sécurité et risque de suppression (2015, 2018)			Évaluation des risques suivant la EN378

Tableau 1.

Domaine d'application réglementaire	Est-il applicable au dispositif ?	A-t-il été pris en compte durant les différents travaux ?
Personnel (code du travail, compétences)	Non	N'a pas été considéré
Sécurité des personnes et des biens (EN 378, ISO 5149, ATEX)	Oui	Pris en compte
Règlement ERP	Non	Pris en compte
Conception machine (Directive Machine 2006/42/CE)	Oui	Pris en compte
Équipements sous pression (ESP) Directive 2014/68/UE Arrêté 20/11/2017 CTP du 23/07/2020	Oui	Pris en compte
Électricité et compatibilité électromagnétique Directive 2006/95/CE basse tension Directive 2004/108/CE compatibilité électromagnétique	Oui	Pris en compte
Code de l'environnement : ICPE Installations classées pour l'environnement	Non	Pris en compte
ADR (transport de matières dangereuses)	Non dans certaines limites	Pris en compte
ATP (accord international sur le transport des denrées périssables)	Oui	Pris en compte
Paquet hygiène	Non	N'a pas été considéré

* Le MTBF « Mean Time Between Failure » est un indicateur de fiabilité : c'est la moyenne arithmétique du temps de fonctionnement entre deux pannes d'un produit.

** Le SIL « Safety Integrity Level » représente un niveau de sécurité et est sans dimension ; il correspond à la probabilité que le système tombe en panne lorsqu'il est sollicité.

Tableau 2.

Les véhicules utilisant de tels dispositifs peuvent se retrouver soit en roulage pour la livraison ou soit en mode statique, lorsqu'ils sont garés dans des entrepôts, sur des parkings extérieurs ou souterrains.

Dans le premier cas de roulage, le risque associé est plus faible car le dispositif est en production de froid et en basse pression (entre 1 et 4 bar). Il n'y a pas de facteur aggravant par l'utilisation du système de réfrigération à l'ammoniac. Les organismes de secours sont habitués et rompus aux accidents avec présence d'hydrocarbures.

En ce qui concerne la phase statique, les systèmes peuvent être éteints, en production de froid ou en recharge. C'est dans ce dernier cas où il y a élévation de pression (pour une pression maximum de service de 26 bar), mais où les systèmes sont protégés par une boucle redondante de sécurité.

Toutefois, il est recommandé, pour les utilisateurs qui stockent plusieurs véhicules en milieux fermés, que ceux-ci soient équipés de détecteurs qualifiés de fuite d'ammoniac en complément de la conformité aux règlements applicables en local (établissement recevant du public : ERP...).

Travaux réalisés, études et analyses de démonstration de sûreté

Plusieurs travaux ont été menés par des organismes indépendants, tant sur la sécurité des personnes et des biens lors des différentes phases de fonctionnement des systèmes à adsorption, que sur les aspects réglementaires et normatifs. Les deux tableaux 1 et 2 récapitulent lesdits travaux et leur portée.

Avis concernant la démonstration de sûreté et la réglementation applicable

L'analyse de risque du dispositif est requise par les normes. Elle a été réalisée par plusieurs entités et constamment mise à jour. Une boucle de sécurité a été définie et mise en place pour protéger le système et ses récipients sous pression contre la surpression et les défaillances possibles.

Par ailleurs, le retour d'expérience par rapport aux exigences de conception, d'utilisation et d'exploitation, démontre une bonne maîtrise de la sûreté du système, en effet, aucun cas d'accident grave n'a été constaté.

Il ressort que toute la réglementation existante s'intéresse à l'usage de l'ammoniac :

- dans les systèmes frigorifiques fixes en couvrant leurs phases de conception et d'exploitation ;

- dans les phases de stockage et de transport routier.

Le cas particulier des produits mobiles à sorption solide-gaz à l'ammoniac, intégrés dans des caisses destinées à la chaîne du froid n'est pas évoqué spécifiquement.

Il existe alors un vide réglementaire ou/et normatif pour ce type d'application qu'il conviendrait de combler par la création d'une norme spécifique sur la sécurité et la sûreté des dispositifs et l'aménagement d'un CTP adapté à la technologie (circuit hermétique).

Conclusions

L'analyse des différents éléments disponibles à la date de rédaction de cette note (septembre 2022), conduit la commission à constater que les risques associés à ces dispositifs semblent mesurés, notamment lors de l'utilisation dans les modes de transport du dernier kilomètre. Néanmoins, un vide réglementaire ou/et normatif existe, c'est la raison pour laquelle l'AFF soutient la mise en place de cette action afin d'identifier les risques et les voies de leur atténuation pour une exploitation sûre des systèmes à sorption à l'ammoniac pendant toutes leurs phases de fonctionnement ■

Références

- [1] Les défis de la chaîne du froid alimentaire après la pandémie <https://iifir.org/fr/actualites/les-defis-de-la-chaine-du-froid-alimentaire-apres-la-pandemie>
- [2] Apave <https://www.apave.fr/>
- [3] Ineris <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/dra-14-141532-08504b-benchmark-refri-nh3-vf-web-1432904448.pdf>
- [3] Cemafroid <https://www.cemafroid.fr/index-en.htm>
- [4] Société des calculs mathématiques http://www.scmsa.com/accueil_e.htm
- [5] <https://www.star-ts.co.uk/> Star Technical Solutions (STS) is the technical consultancy service of the Star Refrigeration Group, the UK's leading refrigeration engineering company.