



AirPlus™

Une alternative au SF₆ pour l'isolement et la coupure dans les appareillages électriques

THOMAS DIGGELMANN, DENIS TEHLAR, JOCELYN CHANG, SEBASTIAN ZACHE –

Les propriétés exceptionnelles de l'hexafluorure de soufre (SF₆) en ont fait depuis des décennies le fluide privilégié des applications diélectriques et de coupure. Toutefois, le SF₆ est un gaz à effet de serre qui induit des coûts sur le cycle de vie de l'appareillage. Les chercheurs d'ABB explorent depuis des années les solutions susceptibles d'afficher un meilleur écobilan avec des propriétés d'isolement et de coupure d'arc similaires. Leurs efforts ont débouché sur la mise en service, en Suisse, de la première installation pilote d'appareillages à isolation gazeuse (GIS) utilisant un nouveau mélange gazeux.



Il faut un gaz de remplacement du SF₆ utilisable en toutes circonstances.

Devant l'évidence du réchauffement climatique, les industriels et les énergéticiens se mobilisent pour remplacer de nombreux produits par des équivalents écocompatibles. Le gaz SF₆, inventé par l'homme au début du XX^e siècle et utilisé universellement pour l'isolement et la coupure d'arc, est lui aussi dans le viseur.

Ses remarquables performances garantissent la sécurité et la fiabilité des postes électriques tout en diminuant notablement leur encombrement. Pour autant, il s'agit d'un gaz à effet de serre dont la

manipulation induit des coûts de gestion du cycle de vie croissants, notamment lors du démantèlement des équipements en fin de vie. Ces coûts sont voués à augmenter parallèlement à la consommation d'électricité qui alimente la demande en appareillages à isolation gazeuse haute tension (HT) et moyenne tension (MT). Il y a donc urgence à trouver un remplaçant écocompatibles au SF₆.

ABB fabrique et installe déjà des disjoncteurs HT isolés dans l'air, qui utilisent le dioxyde de carbone (CO₂) comme milieu d'isolement et de coupure, ainsi que des tableaux monoblocs RMU (*ring main units*) MT également isolés dans l'air mais intégrés dans une architecture GIS. Toutefois, ces dispositifs sont cantonnés à des applications isolées; il manquait une solution capable d'embrasser un plus vaste champ fonctionnel.

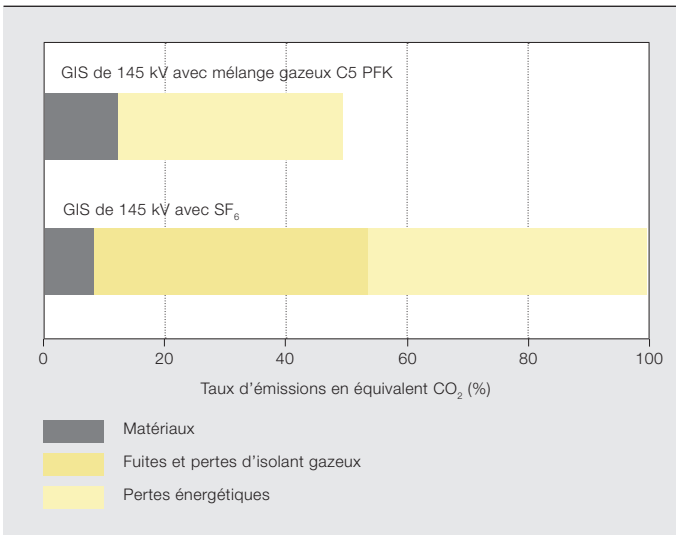
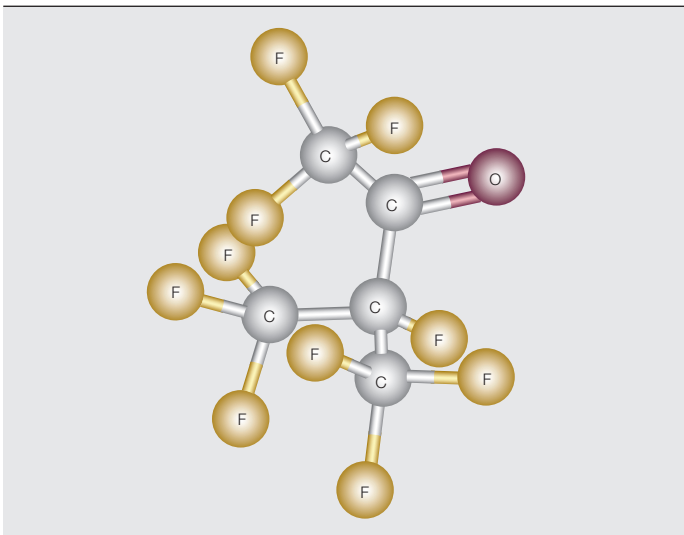
Cherche remplaçant désespérément

Les deux paramètres essentiels d'un gaz isolant pour appareillages électriques sont sa tenue diélectrique et son pouvoir de coupure, auxquels viennent s'ajouter d'autres caractéristiques propres aux GIS, moins évidentes mais tout aussi importantes: point d'ébullition bas, faible toxicité, stabilité chimique, faible inflammabilité, potentiel de destruction d'ozone (PDO) nul et faible potentiel de réchauffement global (PRG) [1]. Le PRG représente le rapport entre la quantité de chaleur latente stockée par une certaine masse de gaz et celle stockée par la même masse de CO₂ pendant la période considérée (généralement 20, 50 ou 100 ans).

Jusqu'à présent, la recherche mondiale s'était avérée impuissante à proposer un matériau de remplacement offrant les mêmes propriétés d'isolement et de coupure d'arc que le SF₆, tout en étant plus écologique.

Photo

Si le SF₆ est l'isolant de prédilection des appareillages de coupure, son impact sur le réchauffement climatique n'est pas anodin. ABB a mis au point un gaz de remplacement capable, comme ici dans un poste GIS haute tension, d'égaliser les performances du SF₆.



Après bien des années de recherche, ABB a identifié un gaz possédant toutes les qualités requises pour remplacer le SF₆.

Mélange gazeux à base de fluorocétone

ABB a demandé à des entreprises tierces de mettre au point des méthodes de calcul efficaces pour passer au crible les molécules candidates au remplacement du SF₆ dans l'isolation HT. Il s'agissait de simuler leur PRG, leur toxicité et leur inflammabilité, entre autres paramètres, puis de déterminer leur champ de claquage et leur point d'ébullition. Dès le début, une famille de molécules à base de fluoroalcènes, de sulfures de fluoroalkyles, de fluoroalcools et de fluoroalkylamines s'est montrée très prometteuse [5].

Au terme de nombreuses années de recherche, ABB a identifié un remplaçant éco-compatible au SF₆ possédant toutes les qualités requises. Basé sur un diélectrique de la société 3M, le Novec 5110, il repose sur une fluorocétone à 5 atomes de carbone (C5 PFK) [1, 6] → 1. Baptisé AirPlus™, ce fluide développé en partenariat avec 3M est vaporisé et mélangé durant le remplissage de l'appareil.

Sa composition varie selon le niveau de tension du GIS :

- HT : fluorocétone, dioxyde de carbone et oxygène ;
- MT : fluorocétone, azote et oxygène.

Sous l'effet des ultraviolets, la molécule fluorée se décompose dans la basse atmosphère en une quinzaine de jours, alors que la durée de vie du SF₆ est de 3200 ans. La décomposition produit du CO₂ atmosphérique et d'autres molécules à faible durée de vie, en quantités

si infimes que leur contribution au réchauffement de la planète est négligeable. Le nouveau gaz affiche ainsi un PRG inférieur à 1, soit mieux que le CO₂ (PRG = 1). En outre, sa toxicité et son inflammabilité sont pour ainsi dire nulles ; ni le gaz ni ses sous-produits de décomposition ne détruisent la couche d'ozone.

Les essais effectués dans les laboratoires ABB ont démontré le fort potentiel des mélanges à base de fluorocétone pour la coupure d'arc et la commutation aux niveaux de puissance des réseaux de transport et de distribution. Le nouveau mélange gazeux ne dégrade en rien la qualité et la fiabilité de l'appareillage, pour un PRG inférieur. Il s'agit pour le moment du seul isolant au PRG inférieur ou égal à 1 ayant montré des performances similaires au SF₆ lors des essais de type normalisés CEI.

Analyse du cycle de vie (ACV)

L'ACV, telle que définie par la norme ISO 14040 relative au management environnemental, prend en compte trois grands facteurs pour les émissions en équivalent CO₂ :

- Matériaux ;
- Fuites et pertes d'isolant gazeux ;
- Pertes énergétiques.

On suppose les conditions aux limites suivantes pour les appareils HT :

- Durée de service : 30 ans ;
- Pertes de gaz dues aux fuites : 0,1 % par an ; pertes lors de la manipulation du gaz et du démantèlement de l'appareil : 1 % ;

3 GIS remplis du nouveau mélange gazeux, dans l'installation pilote de Zurich

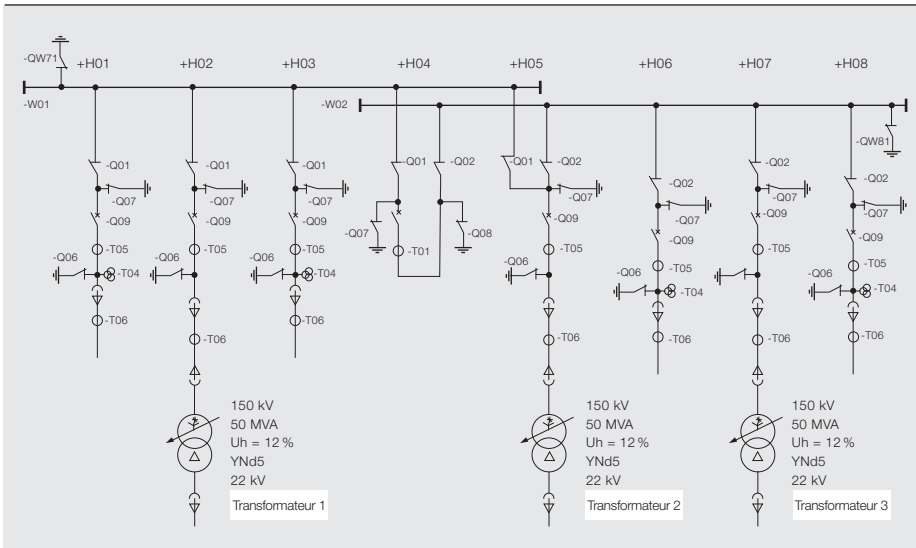


3a GIS haute tension de 170 kV



3b GIS moyenne tension de 24 kV

4 Schéma unifilaire des appareillages HT installés dans le poste d'ewz à Zurich



Développé en collaboration avec 3M, AirPlus™ repose sur une fluorocétone à 5 atomes de carbone.

– Fonctionnement à 50 % du courant assigné pendant les 30 ans de service.

Selon l'ACV, le déploiement de GIS HT remplis du mélange AirPlus permet de réduire jusqu'à 50 % les émissions en équivalent CO₂, les 50 % restants étant imputables aux matériaux, aux procédés de fabrication et aux pertes thermiques.

Même si la contribution des matériaux est légèrement plus élevée pour les GIS à base de fluorocétone, les pertes énergétiques sont moindres et celles dues aux fuites et à la manipulation du gaz presque complètement éliminées → 2.

Dans les appareillages MT, où la pression et la quantité de gaz sont plus faibles, AirPlus réduit également les émissions en équivalent CO₂ sur le cycle de vie.

A fortiori, lorsque ce n'est pas le fabricant lui-même qui assure ou contrôle la manipulation du gaz, l'impact environnemental d'une fuite est quasiment inexistant.

Autres avantages de cette nouvelle technologie :

- Elle rend caduques les procédures réglementaires associées au SF₆ (tenue d'un état des stocks, prescriptions d'usage, mesures de sécurité lors du remplissage et du démantèlement de l'appareil) ;
- Elle permet d'échapper aux taxes sur le SF₆ en vigueur dans certains pays.

Première installation mondiale d'un GIS rempli du nouveau mélange

Le développement d'AirPlus a coïncidé avec le projet de l'énergéticien suisse ewz de remplacer un appareillage isolé



5a Bâtiment abritant le poste électrique d'Oerlikon



5b Usine d'appareillages GIS d'ABB, en arrière plan

dans l'air datant des années 1940, à Zurich. Fidèle à son engagement de fournir une énergie autant que possible durable, ewz s'était fixé comme objectif de mettre en œuvre des solutions novatrices à faible intensité carbonique, sans exclure de recourir à des technologies qui n'étaient pas encore commercialisées.

L'offre ABB avait tout pour lui plaire : un GIS fiable, compact et respectueux de l'environnement, côté HT comme MT. Les deux sociétés ont uni leurs efforts pour intégrer cette innovation à une installation pilote raccordée au réseau. Le nouveau poste déployé à Zurich, qui reprend l'architecture type d'un GIS, composants et bornes inclus, comporte huit cellules HT et 50 cellules MT → 3-4.

Les tableaux MT proviennent de l'usine ABB de Ratingen (Allemagne), tandis que l'appareillage HT fut fabriqué dans son usine ultramoderne de Zurich, attenante au nouveau poste d'ewz → 5. Les cellules GIS, mises sous tension à l'été 2015, ont commencé à alimenter la ville de Zurich quelques mois plus tard.

Cette installation pilote marque une avancée majeure dans la recherche d'un gaz de remplacement du SF₆. Sur le long terme, elle offrira de précieux retours d'expérience, qu'ewz et ABB mettront à profit pour améliorer encore le bilan carbone des appareillages de coupure et de commutation.

Vers un réseau décarboné

L'appareillage isolé au SF₆, utilisé depuis des décennies, répond bien aux attentes de l'industrie électrique en termes de compacité, d'écocompatibilité et de longévité. La manipulation du SF₆ en cycle fermé et les faibles taux de fuite se traduisent par une moindre empreinte carbone sur le cycle de vie. C'est pourquoi ce gaz demeurera l'isolant privilégié des postes GIS dans les années à venir. Toutefois, une solution comme AirPlus pourrait bien encore réduire l'empreinte carbonée du réseau électrique.

Thomas Diggelmann

Denis Tehlar

Jocelyn Chang

ABB Power Grids, High Voltage Products
Zurich (Suisse)

thomas.diggelmann@ch.abb.com

denis.tehlar@ch.abb.com

jocelyn.chang@ch.abb.com

Sebastian Zache

ABB Electrification Products,
Medium Voltage Products

Ratingen (Allemagne)

sebastian.zache@de.abb.com

Bibliographie

- [1] Simka, P., Ranjan, N., « Dielectric Strength of C5 Perfluoroketone », *19th International Symposium on High Voltage Engineering*, Pilsen (République tchèque), 2015.
- [2] Devins, J. C., « Replacement gases for SF₆ », *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 15, p. 81-86, 1980.
- [3] Christophorou, L. G., *et al.*, *Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF₆*, National Institute of Standards and Technology (NIST), note technique 1425, Washington D.C., 1997.
- [4] Niemeyer, L., « A Systematic Search for Insulation Gases and their Environmental Evaluation », *Gaseous Dielectrics VIII*, Christophorou, L. G., Olthoff, J. K., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, p. 459-464, 1998.
- [5] Rabie, M., Franck, C. M., « Computational screening of new high voltage insulation gases with low global warming potential », *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 11, n° 1, p. 296-302, 2015.
- [6] Mantilla, J. D., *et al.*, « Investigation of the insulation performance of a new gas mixture with extremely low GWP », *IEEE 2014 Electrical Insulation Conference*, Philadelphie (États-Unis), p. 469-473.