

Comment les alternatives au SF₆ et les technologies digitales se conjuguent pour favoriser la décarbonisation et l'efficacité énergétique

Par : Christophe Prévé
Renzo Coccioni

Résumé général

Face à la menace indéniable du changement climatique, la société dans son ensemble a mis l'accent sur le développement durable. De nombreux pays et gouvernements privilégient clairement des objectifs ambitieux de neutralité carbone. Certaines industries clés, telles que les infrastructures électriques et les grands consommateurs d'électricité, sont soumises à une pression externe et interne particulièrement forte en faveur de la décarbonisation. Elles sont souvent confrontées au paradoxe suivant : comment concilier simultanément la demande croissante d'électricité de manière durable et respectueuse du climat ?

Aujourd'hui, le réseau et ses principaux utilisateurs, y compris les nouvelles communautés énergétiques utilisant des micro-réseaux, se tournent de plus en plus vers un éventail croissant de technologies écologiques et digitales auxquelles ils peuvent recourir pour résoudre directement ce paradoxe. En combinant l'élimination des réseaux de l'hexafluorure de soufre, un gaz à effet de serre et le déploiement de technologies digitales connectées, on assiste à des progrès significatifs en matière de décarbonisation et d'efficacité énergétique.

Sommaire

Résumé général	2
Les systèmes électriques contribuent au réchauffement planétaire et doivent être décarbonisés	4
Les énergies non renouvelables demeurent nécessaires	5
L'inefficacité est monnaie courante	5
Le SF ₆ , un gaz à effet de serre couramment utilisé dans les installations électriques	5
Des mesures sont nécessaires pour rendre les réseaux plus écologiques	6
Les réseaux doivent intégrer davantage d'énergies renouvelables	6
Les réseaux doivent gagner en efficacité	7
Les installations MT doivent s'affranchir du SF ₆	8
Aujourd'hui, les alternatives au SF ₆ et les technologies digitales permettent de relever les 3 défis que sont les énergies non renouvelables, l'inefficacité énergétique et les gaz à effet de serre	12
Les équipements digitaux connectés permettent une meilleure intégration des énergies renouvelables ..	12
Les équipements digitaux connectés favorisent l'efficacité	13
Nous pouvons mettre fin à notre dépendance au gaz à effet de serre SF ₆	14
Conclusion	18
Le digital et l'abandon du SF ₆ sont deux facteurs puissants de décarbonisation et d'efficacité	18

Les systèmes électriques contribuent au réchauffement planétaire et doivent être décarbonisés

Les systèmes électriques doivent évoluer

Avec en toile de fond le changement climatique, la construction d'un avenir meilleur et la garantie de performances économiques solides, la recherche d'un développement durable est actuellement au premier plan des préoccupations des gouvernements, des industries, des entreprises et des consommateurs. Il est tout simplement inacceptable de ne pas agir en faveur du climat.

Même les arguments économiques en faveur d'une énergie plus durable sont adoptés par un nombre croissant d'organisations, y compris certaines des plus grandes entreprises mondiales. On peut citer l'exemple de l'initiative [EP100](#) du Climate Group, dont les entreprises membres se sont engagées à atteindre des objectifs ambitieux en matière d'efficacité énergétique. Autre exemple, l'initiative [RE100](#), dont les membres se sont engagés à utiliser 100 % d'énergies renouvelables dans les plus brefs délais. De plus en plus d'organisations fixent également publiquement leurs propres [objectifs](#) de réduction des émissions sur la base de données scientifiques.

Le développement durable doit également devenir une priorité absolue pour le secteur électrique, sans lequel le monde moderne serait paralysé. La nécessité de décarboniser le secteur électrique est accentuée par le fait qu'il existe un changement manifeste à l'échelle mondiale en faveur d'une plus grande électrification. Les véhicules électriques, par exemple, devraient représenter 50 % des ventes de nouveaux véhicules de tourisme d'ici 2040.¹ La demande en énergie pour la climatisation devrait tripler d'ici 2050, ce qui nécessitera autant d'électricité que la consommation de l'ensemble de la Chine et de l'Inde aujourd'hui.² On prévoit globalement une augmentation de 62 % de la demande totale d'électricité d'ici 2050.⁴

Les réseaux électriques et les grands utilisateurs de réseaux sont parmi les principaux responsables des émissions mondiales et ont le devoir de décarboniser. Selon l'AIE³, les émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie ont augmenté de 1,7 % pour atteindre un niveau historique de 33,1 Gt l'année dernière. Alors que les émissions issues de l'ensemble des combustibles fossiles ont augmenté, le secteur électrique est responsable de près des deux tiers de la croissance des émissions.

Mais la décarbonisation ne se limite pas à la réduction des émissions sur le réseau et dans la production électrique. Elle est aussi étroitement liée à l'efficacité en matière de fourniture et d'utilisation de l'électricité. Cela signifie que les grands utilisateurs du réseau, tels que les secteurs électro-intensifs (pétrole et gaz, agroalimentaire, cimenteries et centres de données), ont un rôle à jouer pour améliorer l'efficacité de leurs systèmes électriques et réduire leur empreinte carbone.

Pour continuer à progresser sur ce front, ces industries peuvent prendre des mesures immédiates pour s'attaquer à trois domaines nettement problématiques :

1. abandonner les sources non renouvelables de production électrique,
2. améliorer l'efficacité des réseaux existants et des grands utilisateurs de ces réseaux,
3. mettre fin à la dépendance au SF₆, un gaz à effet de serre couramment utilisé dans les installations électriques.

¹ Bloomberg New Energy Finance : Aperçu des véhicules électriques en 2020 : <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

² Agence Internationale de l'Énergie : L'avenir de la climatisation : <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>

³ Agence Internationale de l'Énergie : Rapport sur le bilan mondial 2019 de l'énergie et du CO₂ : <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions>

Les énergies non renouvelables demeurent nécessaires

Même si certaines zones géographiques préparent un avenir plus durable, comme l'Union européenne avec son objectif de neutralité carbone pour 2050, environ un quart de la production mondiale d'électricité en 2035 sera encore issue du charbon, selon BNEF. Ils prévoient que la production mondiale d'électricité passera de "deux tiers de combustibles fossiles en 2018 à deux tiers d'énergie zéro carbone d'ici 2050. En ce qui concerne l'éolien et le solaire, c'est "50/50", puisque ces technologies fourniront près de 50 % de l'électricité mondiale d'ici 2050, mettant ainsi fin à l'ère de la domination des combustibles fossiles dans le secteur électrique."⁴ Notez que "zéro carbone" et "renouvelable" sont deux notions différentes.

Mais dans l'intervalle (et au-delà), un monde alimenté à 100 % par des énergies renouvelables n'est pas envisageable à court terme pour la plupart des pays. Même si la filière charbon s'est effondrée dans l'UE et aux États-Unis l'année dernière, soit une réduction pour 2019 de 3 % ou 259 TWh⁵, ce déclin n'est pas la nouvelle norme. La production de charbon devrait diminuer de 11 % par an jusqu'en 2030 pour se conformer au scénario médian de 1,5 degré du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Cela souligne l'importance de faire tout notre possible pour réduire dès maintenant les émissions avec les moyens disponibles actuellement.

L'inefficacité est monnaie courante

Aucun système énergétique n'est exempt de pertes et les réseaux électriques existants sont sujets à l'inefficacité. Il existe une pression constante et intense en vue d'améliorer l'efficacité énergétique. C'est un fardeau particulièrement lourd pour les compagnies d'électricité, car les changements apportés à la production et à la distribution d'électricité peuvent provoquer un enchaînement qui a des répercussions sur les efforts d'efficacité énergétique des services publics et des consommateurs.

L'efficacité de la distribution électrique est rarement planifiée ou organisée, en particulier par les services publics. Il en résulte malheureusement un important gaspillage d'électricité. En réalité, les pertes annuelles en transport et en distribution d'électricité s'élèvent en moyenne à 5 % dans l'Union européenne. Cela correspond à 24 % pour le transport et 76 % pour la distribution, ce qui représente 5 milliards d'euros d'énergie gaspillée chaque année dans la distribution moyenne tension. Ce chiffre inclut les pertes des réseaux de moyenne et basse tension.

L'amélioration de l'efficacité de ces réseaux est évidemment une priorité absolue qui contribue à la décarbonisation. Plus le transport et l'utilisation de l'électricité sont efficaces, moins il est nécessaire d'en produire au départ.

Le SF₆, un gaz à effet de serre couramment utilisé dans les installations électriques

L'hexafluorure de soufre (SF₆) est un gaz fluoré synthétique (F-gas) utilisé depuis des décennies dans les appareillages électriques haute tension (HT) et moyenne tension (MT). Les propriétés du SF₆ en font un produit très adapté à la coupure et à l'isolation du courant électrique.

L'inconvénient majeur du SF₆ est son potentiel de réchauffement climatique. Il est 23500 fois plus puissant que le CO₂, ce qui en fait le gaz à effet de serre le plus nocif. On estime que ce gaz restera dans l'atmosphère pendant 3200 ans.

⁴ Bloomberg New Energy Finance : Aperçu des nouvelles énergies en 2019 : <https://bnef.turtl.co/story/neo2019?teaser=true>

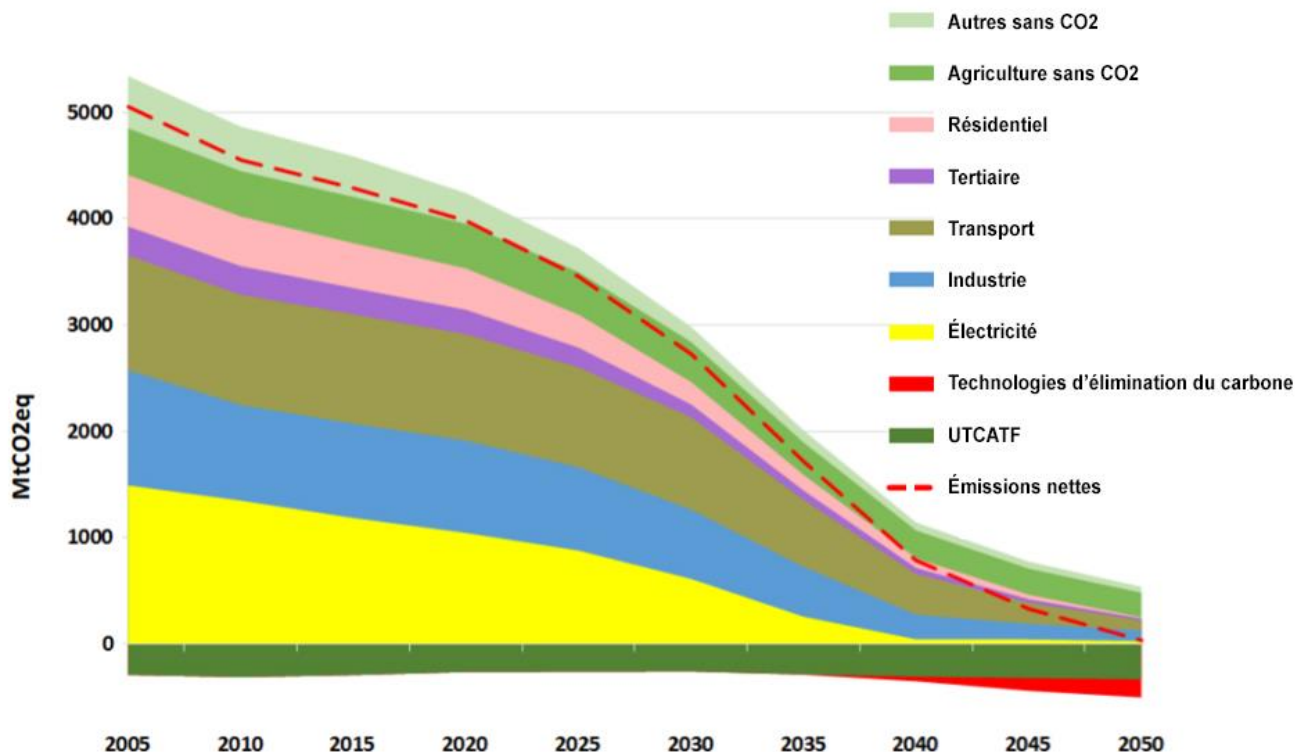
⁵ Ember : Bilan mondial de l'électricité, mars 2020 : <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020GlobalElectricityReview-PrintA4.pdf>

Des mesures sont nécessaires pour rendre les réseaux plus écologiques

Pour progresser vers la décarbonisation et la réduction des émissions, certaines transformations industrielles majeures doivent être engagées ou poursuivies. La décision d'agir aujourd'hui sur ces aspects affecte grandement les délais dans lesquels les objectifs climatiques liés à l'électricité seront atteints.

Les réseaux doivent intégrer davantage d'énergies renouvelables

De nombreux gouvernements encouragent la transition vers un avenir décarbonisé. L'Europe en est un bon exemple puisque l'un des objectifs majeurs de l'Union européenne est de devenir la première région du monde à adopter la neutralité carbone d'ici 2050. Pour y parvenir, la Commission européenne a proposé une législation qui imposerait à ses États membres un objectif zéro émission nette d'ici 2050. Dans le cadre du Pacte vert de l'Union européenne, présenté en décembre 2019, la Commission européenne a annoncé des réformes qui proposent de réduire les émissions dans tous les secteurs économiques.



Source : Commission européenne⁶

Le secteur énergétique est clairement visé et une part importante de cet effort de décarbonisation nécessitera l'intégration d'un plus grand nombre de sources renouvelables de production d'électricité.

⁶ Communication de la Commission européenne : Une planète propre pour tous. Une vision européenne stratégique à long terme pour une économie prospère, moderne, compétitive et neutre pour le climat (2018) : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>

La bonne nouvelle, c'est que la pénétration des sources d'électricité renouvelables est en augmentation à l'échelle mondiale. La production d'énergie éolienne et solaire a augmenté de 15 % en 2019, soit 270 TWh, ce qui représente 8 % de l'électricité mondiale⁵. Ce chiffre est en hausse par rapport aux 3 % de 2013. Il est important de poursuivre sur cette lancée, car un taux de croissance composé de 15 % d'éolien et de solaire sera nécessaire chaque année jusqu'en 2030 pour atteindre les objectifs de l'accord de Paris sur le climat et limiter le réchauffement planétaire à 1,5 degré.

L'intégration dans les réseaux électriques existants de sources d'énergie renouvelables respectueuses de l'environnement et d'autres types de ressources énergétiques distribuées, telles que les véhicules électriques et le stockage par batterie, présente également des défis techniques importants. Par exemple, l'intégration des ressources énergétiques distribuées complique considérablement l'exploitation des systèmes de distribution électrique. Les sources d'énergie renouvelables étant variables par nature, elles peuvent avoir un impact négatif sur la fiabilité et la qualité de l'énergie.

Pour gérer correctement la complexité⁷ accrue liée à une plus grande pénétration des sources d'énergie renouvelables, les systèmes électriques nécessitent des mécanismes de planification et d'exploitation beaucoup plus sophistiqués, que seules les technologies digitales connectées rendent possibles.

Par ailleurs, à mesure que les réseaux électriques publics et les réseaux privés intègrent ces technologies renouvelables, ils doivent également s'adapter à de nouveaux profils de consommateurs. En effet, ces derniers abandonnent la consommation passive pour consommer et produire leur propre électricité. Le profil dit du "prosommateur" se développe parallèlement à l'adoption croissante du stockage par batterie, des véhicules électriques et du photovoltaïque (PV). Grâce à la digitalisation, les réseaux plus actifs et automatisés disposeront de la flexibilité nécessaire pour accueillir ces nouveaux prosommateurs.

Les réseaux doivent gagner en efficacité

Souvent contraints par des réglementations, les opérateurs de réseaux et les grands utilisateurs de ces réseaux subissent des pressions pour atteindre des objectifs énergétiques ambitieux en réduisant les pertes du réseau électrique et en améliorant l'efficacité.

L'Union européenne s'est engagée à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe. Le Pacte vert se compose de plusieurs éléments, dont le package "Énergie propre". Celui-ci, adopté en 2019, ouvre la voie à la transition énergétique et comprend plusieurs textes législatifs, dont deux traitent de l'efficacité énergétique des réseaux électriques.

Citons par exemple la directive modifiée 2018/2002, relative à l'efficacité énergétique, qui met l'accent sur le potentiel d'économies d'énergie dans les réseaux de transport et de distribution. À l'article 15.2, le paragraphe suivant est inséré : "Pour le 31 décembre 2020 au plus tard, la Commission prépare, après avoir consulté les parties prenantes, une méthode commune afin d'encourager les gestionnaires de réseau à réduire les pertes, à mettre en œuvre un programme d'investissement dans les infrastructures qui soit efficace, au regard des coûts et sur le plan énergétique, ainsi qu'à rendre dûment compte de l'efficacité énergétique et de la flexibilité du réseau."

⁷ Power Grid International : Planification du service public - Une plus grande complexité exige une approche mieux coordonnée (mars 2020) : <https://www.power-grid.com/2020/03/25/utility-planning-more-complexity-requires-a-more-coordinated-approach/>

L'autre texte législatif est la directive 2019/944 sur l'électricité, qui introduit à l'article 59.1 (l) plusieurs mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique des réseaux électriques : "L'autorité de régulation est investie des missions suivantes : [...] (l) contrôler et évaluer la performance des gestionnaires de réseau de transport et des gestionnaires de réseau de distribution en ce qui concerne le développement d'un réseau intelligent qui promeut l'efficacité énergétique et l'intégration de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, sur la base d'un ensemble limité d'indicateurs, et publier un rapport national tous les deux ans, comprenant des recommandations." Les États membres mettront en œuvre cette directive au plus tard le 31 décembre 2020.

Ces deux articles demandent la création d'une procédure formelle pour permettre le développement d'un réseau plus efficace et intelligent sur le plan énergétique.

Les installations MT doivent s'affranchir du SF₆

Les appareillages électriques à base de SF₆ sont peu visibles, mais ils jouent un rôle clé dans les appareillages moyenne tension. On estime par exemple à 15 millions le nombre d'appareillages électrique MT actuellement en service dans l'UE-28, dont 10 millions utilisent du SF₆. Ensemble, ils sont directement responsables de la fiabilité de notre approvisionnement en électricité. Le présent document porte uniquement sur le SF₆ pour les applications MT, ce qui correspond généralement au niveau de tension des réseaux de distribution électrique en Europe.

Base installée modélisée 2020	Allemagne	France	Espagne	UE-28 (extrapolation)
Appareillages électriques MT Nombre total d'unités fonctionnelles (millions)	env. 3,1	env. 2,0	env. 1,7	env. 15
Appareillages électriques MT Nbre d'unités fonctionnelles avec SF₆ (millions)	env. 1,4	env. 2,0	env. 1,1	env. 10
Volume de SF₆ stocké dans les appareillages électriques MT (t)	1300	1100	1200	8600 (CO ₂ equiv. 196 million t)
Données générales				
Demande annuelle totale d'électricité (tWh)	514	436	240	2700
Émissions totales de GES (2017), équivalent CO₂ (Mt)	936	428	357	4483
Émissions de GES dans la production d'électricité (2018), équivalent CO₂ (Mt)				985 (196 → 20%)

Source : Institut Fraunhofer

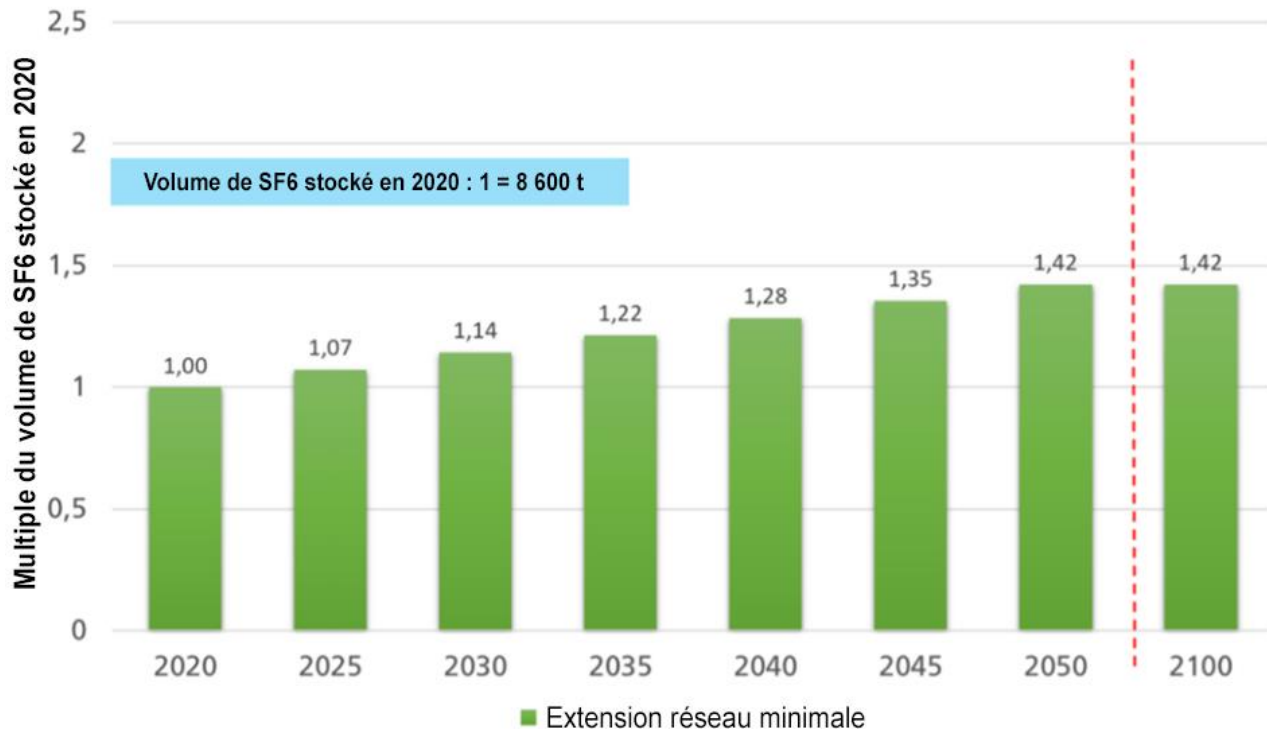
Ces millions d'appareillages électriques MT utilisant le SF₆ représentent un risque climatique. L'institut Fraunhofer pour les systèmes énergétiques estime⁸ qu'en Europe, la base installée d'environ 10 millions d'appareillages électrique MT contient un volume total de 8600 tonnes de gaz SF₆. Si ce SF₆ était rejeté dans l'atmosphère, il équivaldrait à 196 millions de tonnes de CO₂. À titre de référence, on estime que les voitures particulières en Europe émettent au total 900 millions de tonnes de CO₂ par an.

⁸ Evaluation de l'impact des appareillages électriques MT sans gaz fluorés : Modélisation de scénarios de développement des installations MT et leur impact sur les émissions de SF₆, Wolfram Heckmann et Thorsten Reimann, Institut Fraunhofer pour les systèmes énergétiques, IEE (avril 2020).

https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Projekte/f-gas-free/SF6_study-public_report-Fraunhofer_IEE-final2.pdf

En outre, quel que soit le scénario envisagé, il faudra installer davantage d'appareillages électrique MT sur le réseau. Le modèle de Fraunhofer, par exemple, propose un scénario conservateur d'extension du réseau européen d'ici 2050, impliquant une augmentation de 42 % des appareillages électriques. Cela s'explique principalement par l'augmentation attendue des installations d'énergie renouvelable. Chacune de ces technologies nécessite l'installation d'un appareillage électrique MT à son point de connexion au réseau. Si les technologies MT à base de SF₆, qui sont la norme, restent l'option choisie, la neutralité carbone du réseau MT demeurera hors d'atteinte.

Volume de SF₆ stocké dans les appareillages électriques MT - UE-28 Croissance attendue en raison de l'extension du réseau

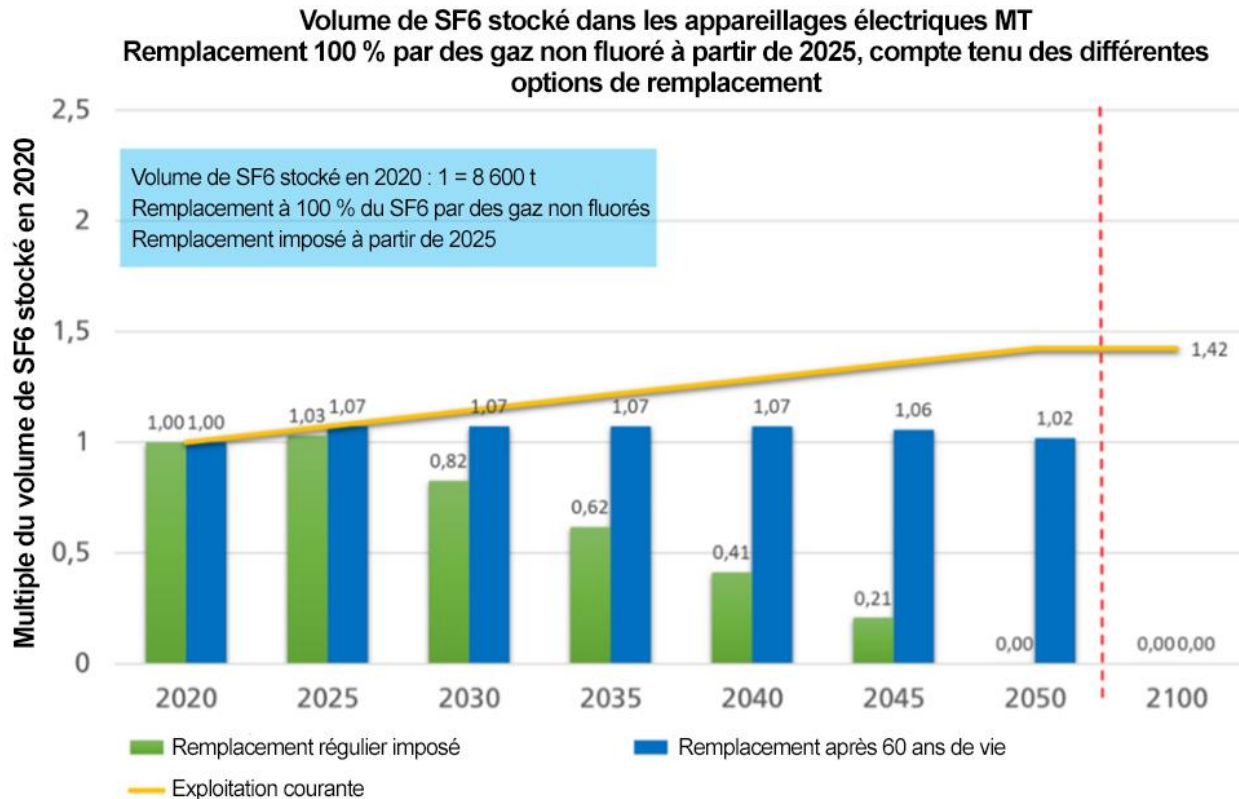


Source : Institut Fraunhofer

Selon l'institut Fraunhofer, la neutralité carbone du réseau MT restera inaccessible si les appareillages électriques au SF₆ ne sont pas remplacés. Il y a trois raisons à cela.

Avec la croissance des réseaux électriques, le SF₆ continuera à proliférer

Si aucune mesure n'est prise concernant le SF₆, son impact potentiel en termes d'équivalent CO₂ devrait augmenter du fait de l'expansion du réseau, y compris les nouvelles énergies renouvelables. D'ici 2050, cela représenterait 1,42 fois le volume de SF₆ actuellement stocké dans les appareillages électriques MT en Europe.



Source : Institut Fraunhofer

Il est à noter que la saturation est prévue d'ici 2050.

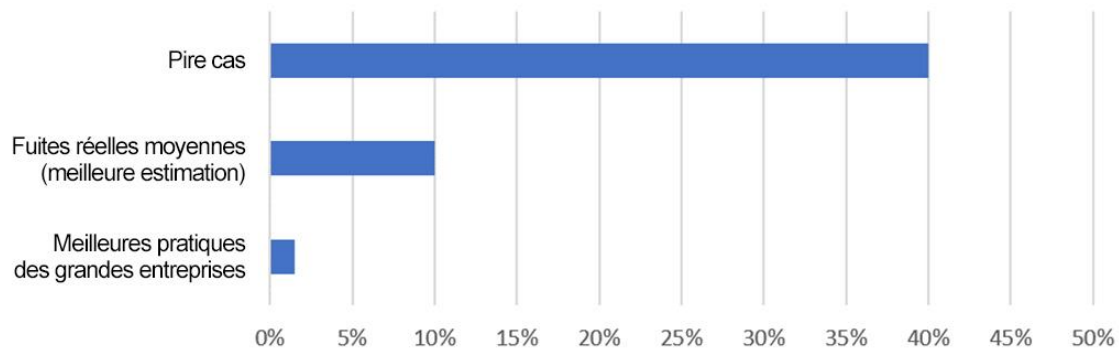
La base installée en cours d'exploitation crée des émissions de gaz à effet de serre

Il est important de noter qu'une fois installés, les appareillages MT restent habituellement en service pendant plusieurs décennies. Les appareils sont généralement exploités sur une période de 40 ans, voire plus. Pendant cette durée de vie normale, du SF₆ s'échappe dans l'environnement. Cela représente 0,1 % du volume de l'appareil par an selon les normes en vigueur. Dans le pire des cas, l'appareillage est utilisé jusqu'à ce qu'un défaut électrique majeur provoque la destruction de la cuve contenant le SF₆, auquel cas le gaz est entièrement rejeté dans l'atmosphère.

L'impact potentiel sur le climat est important lorsque les appareillages électriques arrivent en fin de vie

Le facteur d'impact du SF₆ le plus néfaste pour le climat provient des émissions potentielles des équipements en fin de vie. Le processus de fin de vie pour un appareillage électrique MT englobe le parcours du SF₆, depuis son extraction de l'appareillage jusqu'à son transport, son recyclage ou sa destruction. Des réglementations européennes relatives à la manipulation et à la récupération du SF₆ existent, mais leur mise en œuvre est incertaine.

L'institut Fraunhofer estime que le comportement des différents utilisateurs de SF₆ varie de la bonne manipulation à la négligence, selon que l'appareillage électrique est la propriété d'une grande compagnie d'électricité ou d'un acteur du marché privé plus fragmenté. Fraunhofer évalue les fuites de SF₆ en fin de vie comme suit :



Source des données : Institut Fraunhofer

Fuites de SF₆ estimées : meilleures pratiques des grandes entreprises : 1,5 % ; fuites réelles, meilleure estimation : 10 % ; pire cas : 40 %.

Aujourd'hui, les alternatives au SF₆ et les technologies digitales permettent de relever les 3 défis que sont les énergies non renouvelables, l'inefficacité énergétique et les gaz à effet de serre

Les technologies digitales, y compris les installations sans SF₆, sont le point de départ vers une meilleure efficacité et une décarbonisation de la production, de la distribution et de la consommation d'électricité. Ces dispositifs digitaux et les informations qu'ils recueillent et transmettent ouvrent la porte à de nombreux avantages techniques, opérationnels, environnementaux et économiques.

Les équipements digitaux connectés permettent une meilleure intégration des énergies renouvelables

En raison de l'introduction massive de RED renouvelables, souvent produites localement, les réseaux électriques deviennent plus difficiles à gérer. En effet, de nombreux réseaux de distribution sont mal ou partiellement équipés, en particulier en aval des postes MT/BT.

Exemple : un réglage plus précis de la tension grâce à une technologie intelligente

L'une des principales responsabilités des distributeurs électriques publics dans le monde est de respecter les limites de tension convenues par contrat avec leurs clients (soit +/- 10 % de l'objectif convenu). Le contrôle de la tension est traditionnellement assuré par des transformateurs, à l'aide de changeurs de prises en charge (OLTC) et de batteries de condensateurs qui injectent de la puissance réactive dans le réseau au niveau des postes HT/MT. L'exploitant du réseau fixe un point de consigne et détermine des scénarios et des plages en fonction des courbes de charge saisonnières, par exemple.

À mesure que de nouvelles ressources énergétiques distribuées (RED) sont ajoutées à un réseau donné, la gestion de la tension devient un enjeu majeur. Les opérateurs des réseaux doivent désormais gérer des situations où la tension peut augmenter sur une partie de leur réseau tout en diminuant sur une autre. C'est pourquoi ils installent des capteurs pour surveiller la tension tout au long des lignes d'alimentation, de nouveaux actionneurs qui peuvent réguler la tension à différents niveaux et une intelligence centralisée ou distribuée pour gérer le contrôle de la tension à grande échelle.

La surveillance des équipements MT dans les anciennes sous-stations est coûteuse car elle nécessite des méthodes complexes et intrusives. Ainsi, afin d'acquérir des mesures de tension précises et en temps réel, de nouvelles solutions et de nouveaux capteurs doivent être développés pour minimiser le coût global à long terme.

Un certain nombre de nouvelles solutions digitales peuvent être mises en œuvre pour relever ce défi. Par exemple :

- la nouvelle génération de RTU (Remote Terminal Unit) permet à l'utilisateur de contrôler à distance la sous-station MT/BT et de mesurer précisément la tension MT et BT pour l'optimisation du niveau de tension et pour la gestion du délestage et de l'écrêtement des pointes,
- de nouveaux capteurs intelligents peuvent désormais être facilement installés sur des appareils électriques nouveaux et existants et être connectés au Cloud. Ils permettent la maintenance prédictive et la gestion de fin de vie, qui sont essentielles pour réduire le coût global à long terme. Pour cela, il est possible de déterminer le vieillissement de l'isolation et la température aux points de connexion des câbles,
- les capteurs virtuels constituent une autre option pour mesurer la tension. Ils permettent d'estimer ou de modéliser la tension MT sur la base d'autres données, ce qui est plus facile et moins coûteux à mesurer. Par exemple, la tension MT peut être estimée à partir de la BT par les transformateurs de distribution ou à partir des courants de charge par la modélisation de l'impédance de ligne. Selon le niveau de précision requis, le coût des capteurs et de leur installation peut être considérablement réduit.

À mesure que l'équipement digital permet l'émergence de systèmes plus intelligents, le volume d'intégration des énergies renouvelables peut croître de manière contrôlée pour garantir des niveaux appropriés de fiabilité et de disponibilité de l'énergie.

Les équipements digitaux connectés favorisent l'efficacité

Les exploitants de réseaux de distribution électrique sont désormais en mesure d'améliorer leurs réseaux grâce aux technologies digitales qui renforcent l'efficacité énergétique. Les technologies connectées, telles que des capteurs, des actionneurs et des systèmes de gestion de la distribution plus précis et mieux interconnectés, par exemple, permettent d'exploiter toute la puissance des données pour des systèmes électriques plus écologiques.

Exemple : Réduire les pertes grâce aux ADMS (Advanced Distribution Management System)

Les systèmes conçus pour estimer les pertes, comme les systèmes avancés de gestion de la distribution (ADMS), nécessitent une topologie de réseau en temps réel, des mesures sur le réseau, des profils de charge aux postes MT/BT et des informations sur la consommation des clients pour déterminer l'emplacement optimal des points d'ouverture en fonctionnement normal. Dans cet environnement, lorsque l'opérateur du système prévoit d'ouvrir ou de fermer un interrupteur-sectionneur, l'ADMS simule l'impact sur la fiabilité de l'approvisionnement, les pertes et la gestion de la tension. Des algorithmes calculent les configurations optimales sur une base horaire, mensuelle, saisonnière ou annuelle en fonction des courbes de charge fournies, des prévisions météorologiques, des données en temps réel provenant des capteurs, des compteurs intelligents et du nombre d'opérations d'ouverture/fermeture des appareillages électriques.

Le déploiement d'un tel système permet de réduire les pertes, de minimiser le déséquilibre de charge dans les transformateurs et les alimentations des sous-stations HT/MT, de décharger les segments surchargés d'un réseau, d'améliorer la qualité de la tension et d'obtenir un profil de tension optimal.

Certains distributeurs électriques publics notamment, ont déjà mis en œuvre ce système avec succès. Une grande compagnie européenne a connu un gain d'efficacité énergétique constant d'environ 4 % tout au long de l'année, en reconfigurant son réseau sur une base saisonnière.

Nous pouvons mettre fin à notre dépendance au gaz à effet de serre SF₆

Pour les applications moyenne tension, il existe plusieurs raisons très encourageantes pour expliquer le succès de l'abandon du SF₆.

Les technologies sans SF₆ sont disponibles dès maintenant

Il existe déjà des alternatives aux appareillages électriques MT au SF₆ et elles seront bientôt largement disponibles.

"Au cours des dernières années, le développement technologique des appareillages électriques moyenne tension sans SF₆ a fait beaucoup de progrès", selon une note d'Öko-Recherche.⁹

L'association des fabricants d'appareillage électrique européens T&D Europe partage cet avis. Elle déclare que ses membres, composés principalement de fabricants européens reconnus d'équipements électriques, sont activement impliqués dans la "réduction des émissions de SF₆ pour toutes les applications de transport et de distribution de l'énergie électrique. Leurs efforts portent notamment sur la recherche, le développement et l'emploi de technologies alternatives pour toutes les installations électriques de plus de 1 kV. Ces dernières années, cette démarche a également conduit à l'émergence d'alternatives sans SF₆."¹⁰

En effet, les grands fabricants d'équipements électriques commencent à proposer toute une série de technologies alternatives au SF₆ respectueuses de l'environnement dont l'isolation et les moyens de coupure n'ont pas de potentiel de réchauffement climatique.^{11,12} Les grands fabricants européens, notamment, mènent aujourd'hui des projets pilotes d'appareillages électriques MT sans SF₆ dans de nombreux réseaux de distribution publique et installations privées en Europe et dans le monde.¹³

Les politiques existantes créent un précédent

En Europe et ailleurs dans le monde, certaines réglementations existantes traitent déjà de la surveillance, de la déclaration et de la récupération du SF₆. Le SF₆ est l'un des six gaz à effet de serre cités dans le protocole de Kyoto (1997), qui compte désormais 191 pays signataires. Leur ratification implique qu'ils doivent contrôler ou au moins évaluer leurs émissions de SF₆ dans l'atmosphère. La déclaration des émissions de SF₆ est fortement encouragée par les États ou les organisations supranationales comme l'UE. Actuellement, les grands distributeurs électriques publics et les fabricants d'appareillage engagés communiquent ces données à leurs agences environnementales nationales respectives.

⁹ Note d'information : Le SF₆ et ses alternatives dans l'appareillage électrique et les équipements connexes, Öko-Recherche & RE-expertise (mars 2020) :

https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/010e/2020_03_25_sf6_and_alternatives_en.pdf

¹⁰ Communiqué de T&D Europe sur le SF₆ et les technologies alternative au SF₆ :

<https://www.tdeurope.eu/component/attachments/attachments.html?id=1421>

¹¹ Siemens : Siemens assure la neutralité carbone et la sécurité de la distribution d'énergie grâce au nouvel appareillage électrique Clean Air :

<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-enables-climate-neutral-safe-energy-distribution-new-clean-air-switchgear>

¹² Schneider Electric : Un appareillage électrique MT à l'air pur, sans SF₆, nommé pour les Top Awards :

<https://www.se.com/ww/en/about-us/newsroom/news/press-releases/sf6-free-mv-switchgear-using-pure-air-nominated-for-top-awards-5efb270412574a776d5ed005>

¹³ EEC Engie déploie la nouvelle technologie de Schneider Electric en matière d'appareillage électrique MT sans SF₆ :

<https://www.se.com/ww/en/work/products/medium-voltage-switchgear-and-energy-automation/news/2019/sf6free-eeceengie-pilot.jsp>

Dans certains pays, plusieurs distributeurs électriques publics, fabricants d'appareillage électrique et producteurs de SF₆ ont signé des engagements volontaires avec les ministères ou agences pour l'environnement de leur état en vue de réduire les émissions de SF₆. C'est notamment le cas au Japon, aux États-Unis, en Allemagne, en Espagne, en Suisse, en Norvège et en France.

L'Union européenne a par ailleurs établi en 2006 une réglementation sur les gaz fluorés, dont l'objectif est de réduire les émissions accidentelles de SF₆. Selon la dernière version du règlement UE 517/2014, l'usage de SF₆ est interdit, sauf pour les appareillages électriques, les applications militaires, médicales et les accélérateurs de particules. La déclaration doit être effectuée conformément à la directive UE 1191/2014, qui exige de déclarer les émissions chaque fois qu'elles se produisent. Le règlement de l'UE sur les gaz fluorés a également introduit un étiquetage obligatoire des appareillages électriques, qui doit décrire la quantité de gaz à l'intérieur de l'équipement et il prévoit une formation certifiée pour les personnes impliquées dans le cycle de vie du SF₆ (UE 2066/2015).

En Europe, il est également obligatoire de récupérer tout le gaz SF₆ restant dans les équipements en fin de vie. Dans d'autres pays, dont la Corée, la Nouvelle-Zélande, l'État de Californie et les provinces canadiennes du Québec et de l'Ontario, les législateurs ne demandent la récupération du SF₆ en fin de vie que par le biais d'un système d'échange de quotas d'émission (SEQE). Dans d'autres pays, cependant, à l'exception de ceux qui ont signé un accord volontaire, il n'existe aucune obligation légale de récupérer le SF₆.

Les marchés et la réglementation évoluent

Certains marchés commencent déjà à s'affranchir du SF₆, motivés par les priorités économiques, la nouvelle législation et la révision des politiques existantes.

Aux États-Unis, la Californie fait figure de pionnier en matière d'action législative contre les émissions de gaz à effet de serre. En 2016, la Californie a adopté le « Clean Air ACT », [SB32](#), qui exige une réduction des émissions de GES de 40 % par rapport au niveau de 1990 d'ici 2030, et de 80 % d'ici 2050. L'Agence pour la qualité de l'air de l'État de Californie (California Air Resource Board ou CARB) est mandatée pour atteindre cet objectif. Entre autres programmes, une élimination progressive du SF₆ a été proposée et est à l'étude depuis 2017. Le règlement est actuellement en phase finale de rédaction.

L'Union européenne envisage des changements de politique, alors que la Commission européenne prévoit de réexaminer la question des gaz fluorés depuis 2014, comme indiqué dans le règlement n° 517/2014 de l'UE : "Le 1er juillet 2020 au plus tard, la Commission publie un rapport évaluant l'existence de solutions techniquement possibles et présentant un bon rapport coût-efficacité, économes en énergie et fiables, susceptibles de remplacer les gaz fluorés à effet de serre dans les nouveaux appareils électriques secondaires moyenne tension et dans les nouveaux systèmes de climatisation bi-blocs de petite taille et soumet, le cas échéant, une proposition législative au Parlement européen et au Conseil visant à modifier la liste figurant à l'annexe III."¹⁴

Quant à l'UBA, l'agence allemande pour l'environnement, elle a publié la déclaration suivante sur son site web en décembre 2019 : "L'Agence fédérale pour l'environnement est d'avis qu'il existe des alternatives appropriées au SF₆ dans les nouveaux appareillages électriques moyenne tension (≤ 24 kV). Nous préconisons donc une interdiction du SF₆ dans les nouveaux appareillages secondaires moyenne tension, pour ces niveaux de tension, avec une période de transition appropriée dans le cadre de la révision de l'annexe III du règlement 517/2014 de l'UE."¹⁵

¹⁴ RÈGLEMENT (UE) No 517/2014 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 avril 2014 : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517&from=EN>

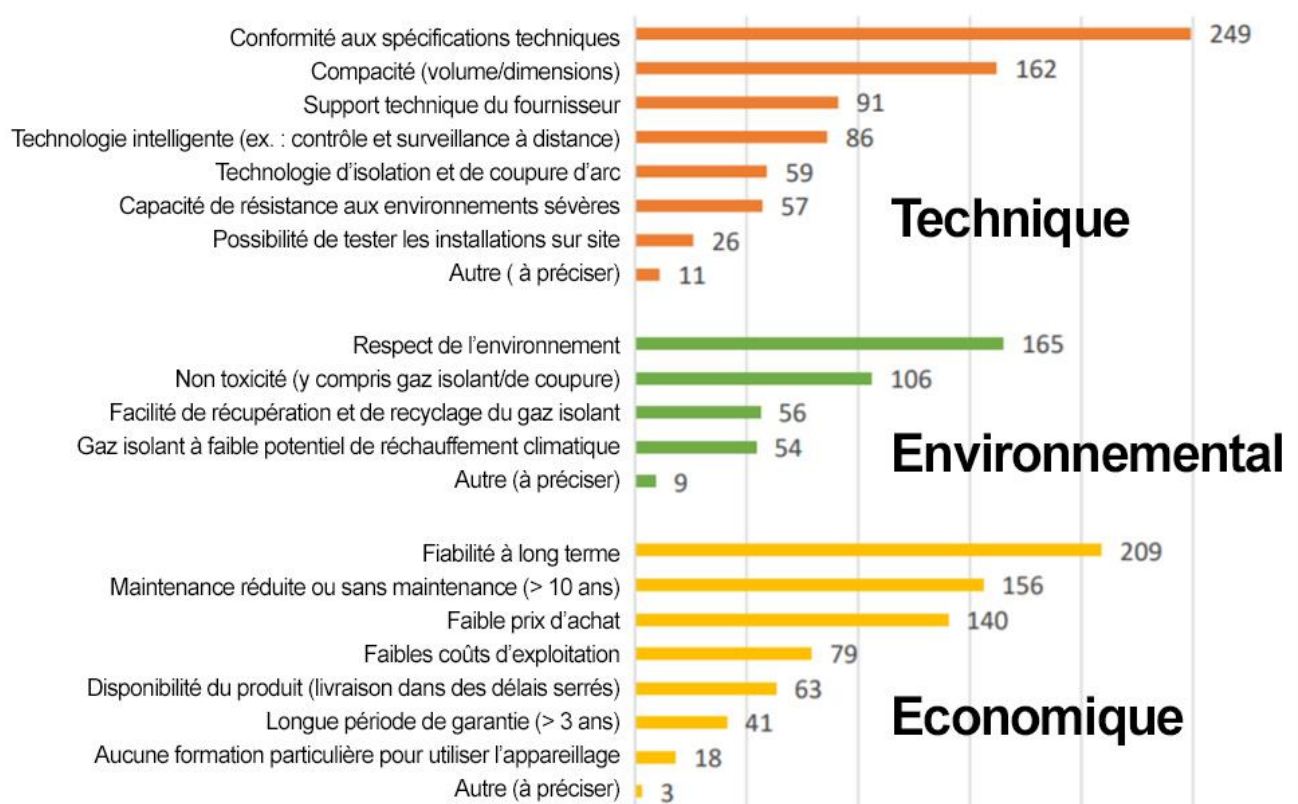
¹⁵ Umweltbundesamt, décembre 2019 : <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/fluorinated-greenhouse-gases-fully-halogenated-cfcs/application-domains-emission-reduction/switchgear>

Les utilisateurs d'appareillage électrique sont séduits par le développement durable et anticipent les changements de politique attendus pour s'affranchir du SF₆.

Il est important de comprendre la perception des utilisateurs et des acheteurs d'appareillages électriques MT à base de SF₆, une technologie reconnue qui a fait ses preuves depuis des décennies.

Selon une étude récente de Grenoble École de Management (GEM)¹⁶, les acteurs du marché sont d'accord pour atteindre la neutralité carbone du réseau MT d'ici 2050 et "semblent généralement anticiper une baisse de l'utilisation de la technologie SF₆".

Parallèlement, les personnes interrogées dans le cadre de l'étude ont exprimé leur intérêt pour les aspects environnementaux des différentes technologies d'appareillage électrique MT. Le respect de l'environnement a été identifié comme l'un des critères d'achat les plus importants pour les appareillages électriques MT.

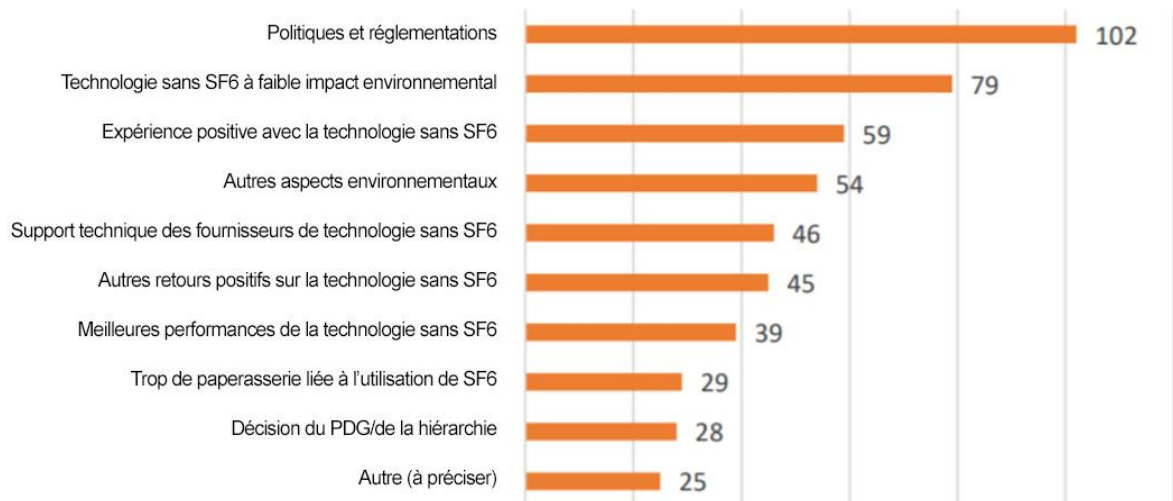


Résultats du sondage : Principaux critères d'achat

Source : Grenoble École de Management

¹⁶ Étude empirique sur l'impact environnemental et socio-économique du SF₆ et de ses alternatives dans les appareillages électriques moyenne tension, Marie-Charlotte Guetlein et Carine Sebi, Grenoble École de Management (mai 2020) : https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Projekte/f-gas-free/sf6_report_gem_final2.pdf

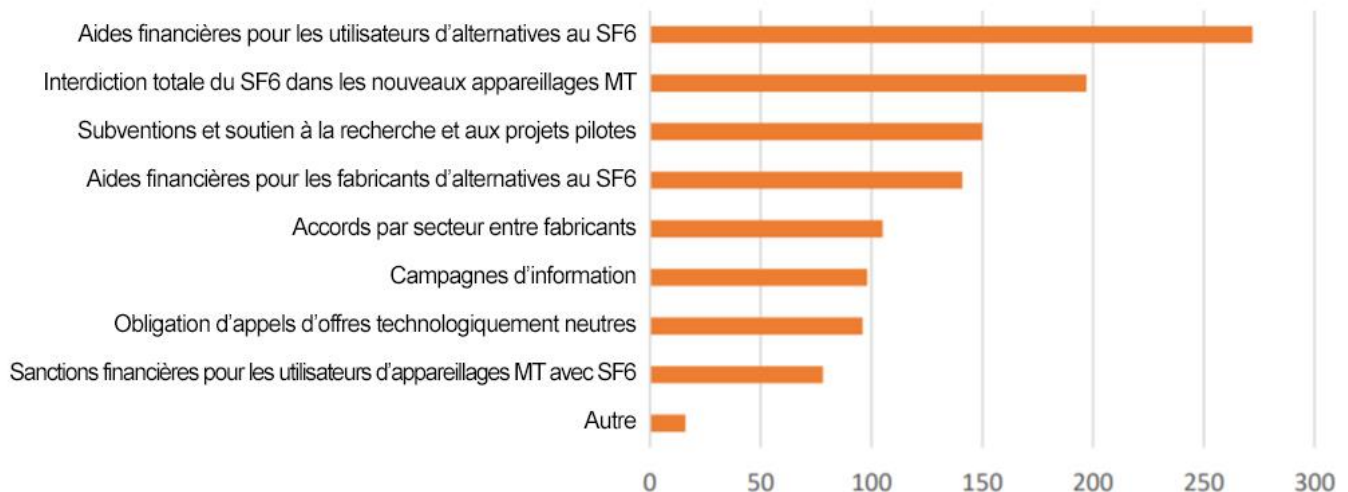
Les chercheurs de GEM concluent que "les clients européens des appareillages électriques MT s'attendent à une baisse de l'utilisation de la technologie SF₆ dans un avenir proche. Cependant, cette baisse devrait être liée principalement aux politiques et aux réglementations, plutôt qu'à l'évolution technologique ou aux prix."



Résultats du sondage : Les vecteurs des alternatives au SF₆

Source : Grenoble École de Management

Si les technologies sans SF₆ sont attrayantes, les participants à l'étude ont exprimé leur inquiétude quant à la majoration des coûts liée aux avantages environnementaux de ces technologies. Dans ce contexte, des aides financières telles que des subventions pour certains utilisateurs d'appareillages électriques MT et l'interdiction totale du SF₆ sont considérées par les sondés comme les deux mesures les plus utiles pour promouvoir les appareillages électriques MT sans SF₆.



Résultats du sondage : Mesures les plus utiles pour promouvoir les appareillages électriques MT sans SF₆

Source : Grenoble École de Management

Conclusion

Le digital et l'abandon du SF₆ sont deux facteurs puissants de décarbonisation et d'efficacité

Les technologies digitales, notamment les équipements connectés intelligents et les logiciels, sont un formidable tremplin vers une électricité plus propre à l'avenir. Seul le digital peut dompter la complexité des réseaux électriques modernes et les niveaux croissants d'énergies renouvelables et de ressources énergétiques distribuées qui entrent dans leurs périmètres.

En outre, la transition vers un avenir sans SF₆ est en train de prendre forme. Les technologies, les utilisateurs et les intervenants sont prêts. Il faudra sans doute une étincelle pour atteindre le point de bascule, mais celle-ci peut provenir de la mise en place de mesures politiques propices ou d'initiatives citoyennes lancées par les individus ou les communautés. Les nouveaux équipements sans SF₆ sont eux aussi digitaux, ce qui renforce le pouvoir des données à rendre les réseaux plus intelligents. En commençant à éliminer des réseaux existants un gaz à effet de serre délétère, nous pouvons faire en sorte que l'électricité, forme d'énergie la plus efficace, réduise au minimum son impact sur le changement climatique.

Déployées simultanément, les technologies digitales connectées et les alternatives au SF₆ respectueuses de l'environnement permettent de concrétiser la vision d'un développement durable du réseau en favorisant son efficacité et sa décarbonisation.

À propos des auteurs

Christophe Prévé est le directeur technologique de la division Appareillages moyenne tension chez Schneider Electric. Il a obtenu son diplôme de l'École supérieure d'électricité (SUPELEC) en 1988. Il a commencé sa carrière dans la distribution électrique publique à Grenoble (France) comme exploitant de réseau électrique, avant de devenir responsable des études électriques.

Il a rejoint Schneider Electric en 1994 en tant qu'expert en réseaux électriques au sein du service des relais de protection. Il a eu l'occasion d'écrire un ouvrage sur la « Protection des réseaux électriques » publié aux éditions Hermès. En 1998, il a intégré la division Appareillages moyenne tension où il a assumé différentes responsabilités dans le domaine de la R&D.

Aujourd'hui, il est responsable du développement de nouveaux produits et de l'intégration de nouvelles technologies. Il est également maître de conférences à l'ENSE3, école d'ingénieurs de Grenoble.

Renzo Coccioni est directeur des relations industrielles et gouvernementales au sein de la division Power System de Schneider Electric. Il fait partie de plusieurs groupes de travail qui se consacrent à la politique énergétique, aux réseaux intelligents, à l'infrastructure, au système REACH et au SF6 dans T&D Europe, Orgalim et ZVEI. Il est membre de l'EG3 depuis 2012, le groupe de travail chargé du déploiement de la flexibilité du côté de la demande du groupe de travail sur les réseaux intelligents de l'UE. Tout au long de sa carrière, Renzo a occupé différents postes depuis 1980 dans la R&D chez Sprecher & Schuh (Suisse), il a été directeur général d'Areva T&D à Linz (Autriche) avant de se tourner vers des fonctions commerciales centrales à Paris pour diriger la commercialisation des produits moyenne tension. Renzo a obtenu un diplôme en génie électrique à l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETH).