
GUIDE D'APPLICATION

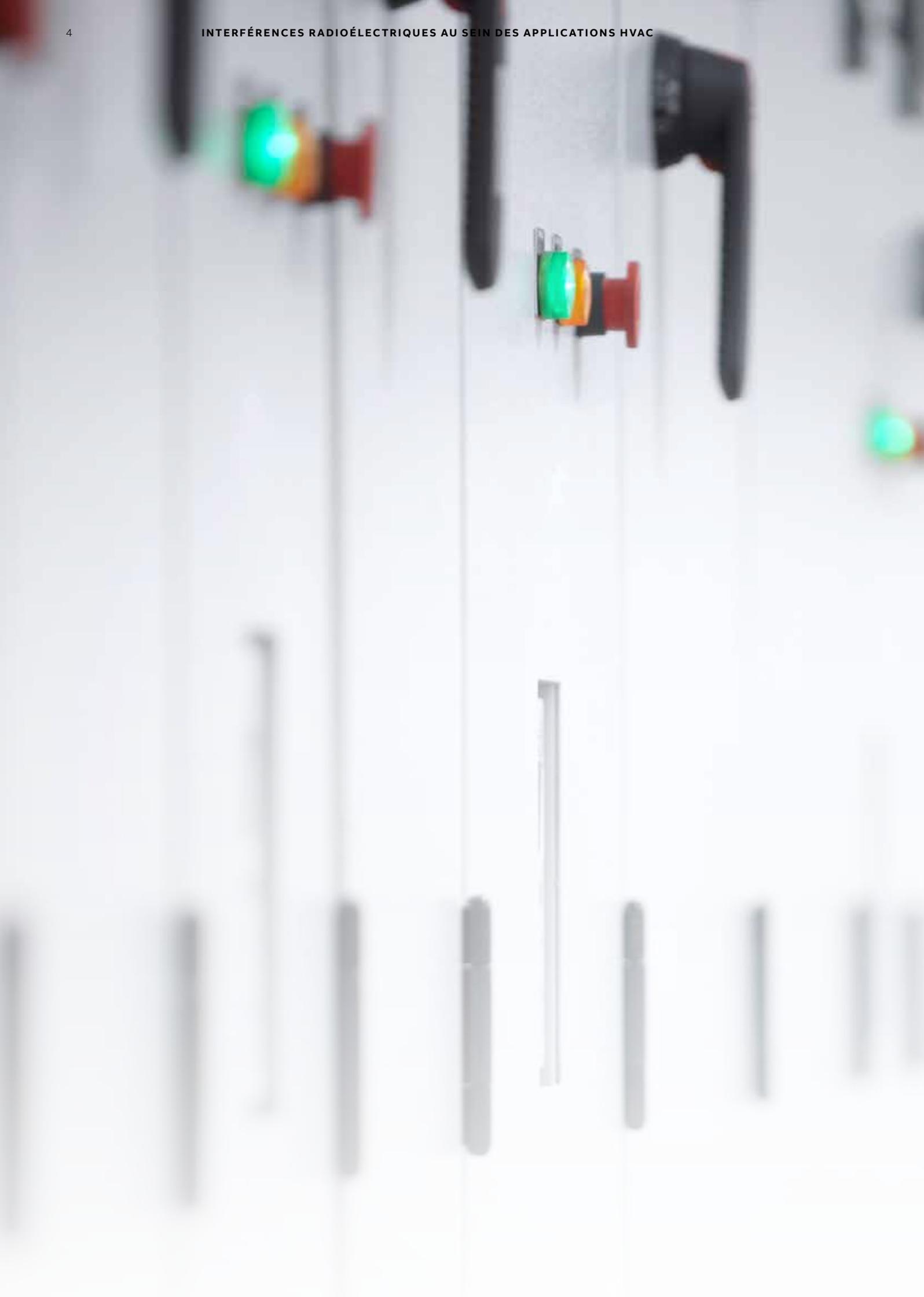
Interférences radioélectriques au sein des applications HVAC



Ce document aborde les meilleures pratiques de sélection et d'installation applicables aux variateurs de fréquence au sein de systèmes de chauffage, ventilation et climatisation dans le cadre de la conformité aux normes de compatibilité électromagnétique relatives aux perturbations électromagnétiques haute fréquence.

Table des matières

6	Introduction
8–10	Perturbations électromagnétiques haute fréquence
8	Types de perturbations haute fréquence
8	Source des perturbations haute fréquence
9	Interférences électromagnétiques
10	Conséquences pour les utilisateurs finaux et les propriétaires
11–13	Normes relatives à la CEM
14–15	Catégories CEM dans l'industrie HVAC
16–20	Pratiques de câblage et de mise à la terre
16	Pratiques de câblage
16	Types de câbles à utiliser avec des variateurs de fréquence (VFD)
19	Pratiques de mise à la terre
21	Cas pratiques
22	Pratiques recommandées
23–24	Annexes



Glossaire

BDM	Module variateur simple
CDM	Module variateur complet
CISPR	Comité international spécial des perturbations radioélectriques
EEE	Espace économique européen
CEM	Compatibilité électromagnétique
EMI	Interférence électromagnétique
FCC	Commission fédérale des communications (États-Unis)
HFI	Interférence haute fréquence
HVAC	Chauffage, ventilation et climatisation
IEC	Commission électronique internationale
IEEE	Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens
PDS	Entraînement de puissance
RFI	Interférences radioélectriques
VFD	Variateur de fréquence

Introduction

Fig. 01 Immunité et compatibilité aux émissions.

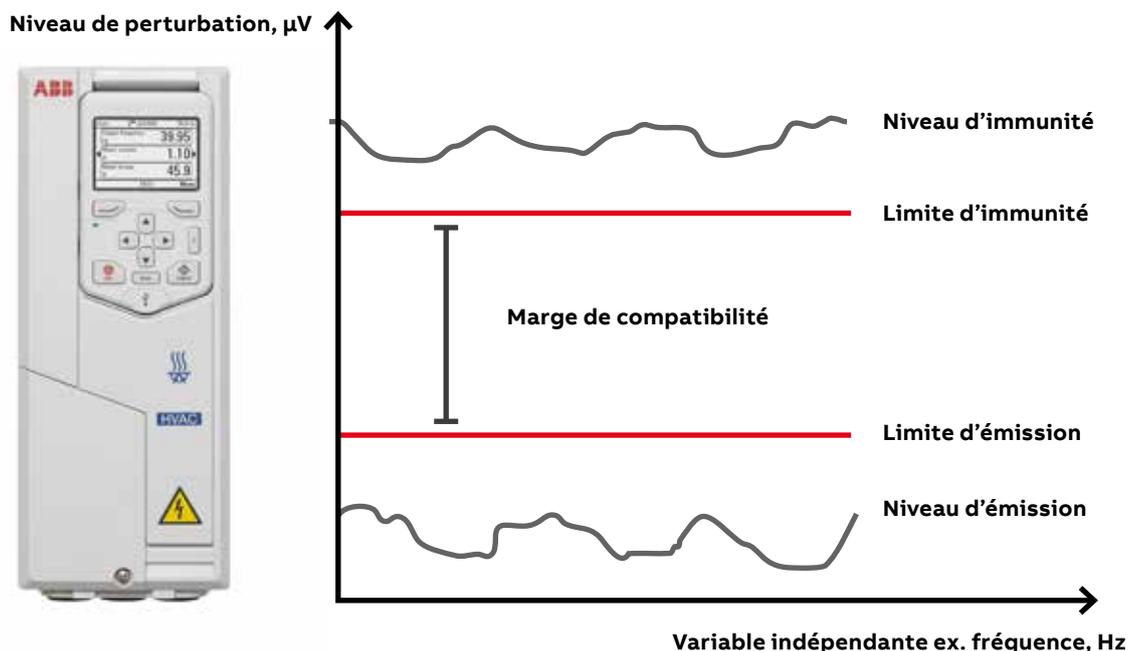
Un système de chauffage, ventilation et climatisation fait partie intégrante de tout bâtiment ou de toute installation, ou presque, indépendamment de la fonction qui lui est conférée. Les systèmes HVAC peuvent être tout à fait banals, ou, à l'inverse, extrêmement sophistiqués grâce à de nombreuses fonctions allant au-delà d'une simple alimentation en air et d'une simple évacuation. Plus les systèmes au sein des bâtiments sont évolués, plus ils sont dotés de composants électriques et électroniques. Plus il est par conséquent indispensable d'accorder de l'attention aux différents aspects de la compatibilité électromagnétique (EM).

Comme défini par les directives de la Commission électronique internationale, la compatibilité électromagnétique est la capacité d'un équipement électrique ou électronique à fonctionner sans problèmes au sein d'un environnement électromagnétique.

L'équipement ne doit ainsi pas perturber les autres produits ou systèmes à proximité ni interférer avec ces derniers. En parallèle, l'équipement électrique doit être insensible aux différents niveaux de perturbations électromagnétiques.

Il s'agit d'une exigence légale pour l'ensemble des équipements mis en service au sein de l'Espace économique européen. La finalité des normes relatives à la CEM est de garantir la fiabilité et la sécurité de tous les types de systèmes, quel que soit l'endroit où ils sont utilisés et exposés à des environnements électromagnétiques.

Les variateurs de fréquence étant de potentielles sources d'interférences électromagnétiques, il est tout naturel qu'ils soient intégrés aux initiatives de conformité à la CEM. Les termes utilisés pour définir la compatibilité électromagnétique sont indiqués dans la Fig. 01.





—
Fig. 02 Bandes typiques de fréquences pour les différents types de perturbations électromagnétiques.

—
Réf. 01 IEC/EN 61800-3:2004 « Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 3 : Exigences de CEM et méthodes d'essais spécifiques ».

—
Réf. 02 Remarque : Dans la norme IEC/EN 61800-3:2004, la limite entre basse fréquence et haute fréquence est de 9 kHz, conformément aux pratiques en vigueur au sein de l'IEC. Cette terminologie ne concerne pas les bandes de diffusion.

—
Réf. 03 « Fréquence radioélectrique » désigne toutes les fréquences d'ondes électromagnétiques comprises entre 20 kHz et 300 GHz.

Il est nécessaire de clarifier que les normes relatives à la CEM se rapportent à des perturbations électromagnétiques de différents types et de différentes natures. La Commission électrotechnique internationale les classe de la manière suivante :

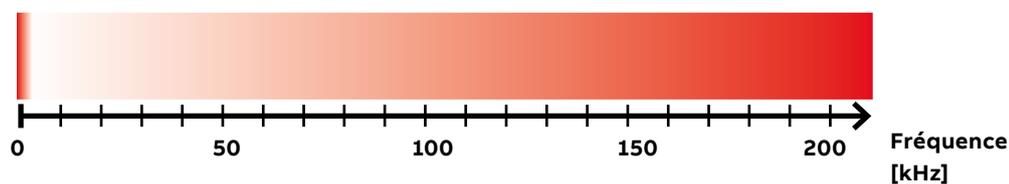
- Perturbations basse fréquence (BF) conduites incluant harmoniques, variations de tension, creux de tension et coupures, déséquilibre de tension, variations de la fréquence d'alimentation, tensions basse fréquence induites
- Perturbations basse fréquence rayonnées incluant les champs magnétiques continus et transitoires, et les champs électriques
- Perturbations haute fréquence (HF) conduites incluant les tensions ou les courants directement couplés ou induits, et les transitoires
- Perturbations haute fréquence rayonnées incluant les champs magnétiques, les champs électriques et les champs électromagnétiques

La fréquence est la principale caractéristique des perturbations électromagnétiques. Les normes produites relatives aux variateurs de fréquence (VFD) couvrent usuellement la bande de fréquences comprise entre 0 Hz et 1 GHz. La norme qu'a publiée la Commission électrotechnique internationale sur les entraînements de puissance (IEC 61800-3:2004 ^{Réf. 01}) définit la frontière entre les perturbations basse fréquence et haute fréquence à 9 kHz ^{Réf. 02}. La norme s'appliquant aux perturbations électromagnétiques haute fréquence comprises entre 150 kHz et 1 GHz, il est usuel d'étudier les interférences radioélectriques lorsque la question des perturbations électromagnétiques haute fréquence ^{Réf. 03} est abordée.

Ce document se consacre aux perturbations électromagnétiques haute fréquence pouvant être causées par des VFD au sein de systèmes HVAC. Pour obtenir des informations sur les perturbations basse fréquence, consultez le guide d'application d'ABB sur les harmoniques, numéro de document 3AUA0000224344.

Harmoniques

RFI



Perturbations électromagnétiques haute fréquence

— Fig. 03 Distorsion haute fréquence au sein de la forme d'onde de tension.

— Réf. 01 IEC/EN 61800-3:2004 « Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 3 : Exigences de CEM et méthodes d'essais spécifiques ».

La charge qui pèse sur les réseaux électriques a significativement augmenté depuis quelques années en raison de l'utilisation généralisée d'équipements électriques et électroniques, principalement au sein des bureaux (ordinateurs, écrans, imprimantes, appareils de communication, etc.). Ce constat se vérifie également pour les services au sein des bâtiments tels que les ascenseurs, l'éclairage, les lignes d'information et de communication, la protection contre les incendies, les systèmes de sécurité, l'approvisionnement en énergie et en eau, la plomberie et les systèmes HVAC. Les variateurs de fréquence sont par ailleurs de plus en plus utilisés au sein des systèmes HVAC. Résultat : la quantité d'émissions électromagnétiques, en particulier haute fréquence, ne cesse de croître.

Conception des VFD et pratiques d'installation sont ainsi les deux facteurs qui influencent majoritairement la performance des VFD en termes de CEM. Des VFD dont la conception ou l'installation n'est pas optimale peuvent générer des perturbations haute fréquence significatives qui sont susceptibles d'affecter le fonctionnement d'autres équipements électroniques. Les perturbations haute fréquence sont très néfastes au sein d'un système électrique et peuvent poser d'importants problèmes à la fois pour les utilisateurs finaux et pour les propriétaires.

Types de perturbations haute fréquence

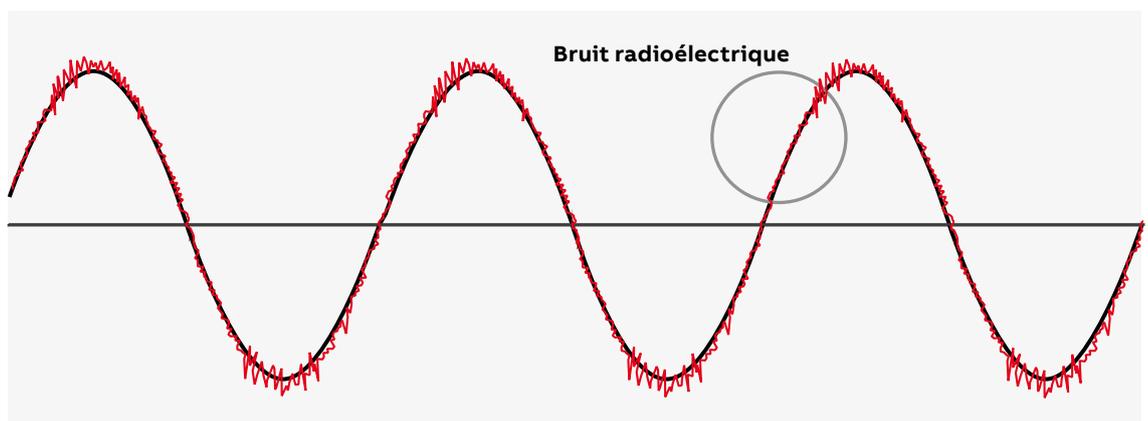
Les perturbations haute fréquence peuvent être différenciées au moyen de méthodes de transfert et de durée. Comme indiqué précédemment, les perturbations électromagnétiques haute

fréquence peuvent se manifester par conduction et par rayonnement. Plus la fréquence est basse, plus les perturbations sont susceptibles de se propager par conduction via des câbles, la terre et la structure en métal d'un boîtier. Une antenne doit ainsi être de grandes dimensions pour transmettre les perturbations basse fréquence par rayonnement, mais la taille physique de la plupart des appareils ne suffit tout simplement pas. La norme publiée par la Commission électrotechnique internationale relative aux entraînements de puissance (61800-3:2004 ^{Réf. 01}) concerne les perturbations haute fréquence conduites comprises entre 150 kHz et 30 MHz.

La page rayonnée est comprise entre 30 MHz et 1 GHz ^{Réf. 01}. Si l'énergie électrique conduite via le câble inclut des fréquences supérieures à 30 MHz, ces dernières peuvent rayonner vers l'extérieur et interférer avec le bon fonctionnement des équipements à proximité. Dans ce cas, les câbles fonctionnent comme des antennes : plus le câble (ou l'antenne) est long, plus le bruit HF est émis vers l'extérieur.

Source des perturbations haute fréquence

La principale source de perturbations électromagnétiques haute fréquence continues générées par des VFD est la commutation très rapide des composants électroniques tels que des transistors. Une petite onde d'énergie électromagnétique est émise dès qu'un courant électrique circule ou arrête de circuler au sein d'un transistor. L'énergie dégagée à la mise sous tension génère un bruit haute fréquence. À titre d'exemple, la distorsion haute fréquence d'une forme d'onde de tension provoquée par un



—
Fig. 04 Mécanismes
de transfert des
perturbations
électromagnétiques.

VFD connecté à la même source d'alimentation d'entrée est illustrée dans la Fig. 03.

Le bruit électromagnétique est usuellement plus fort lors des pics positifs et négatifs de l'onde sinusoïdale lorsque la tension sur la ligne atteint sa valeur maximale.

Interférence électromagnétique

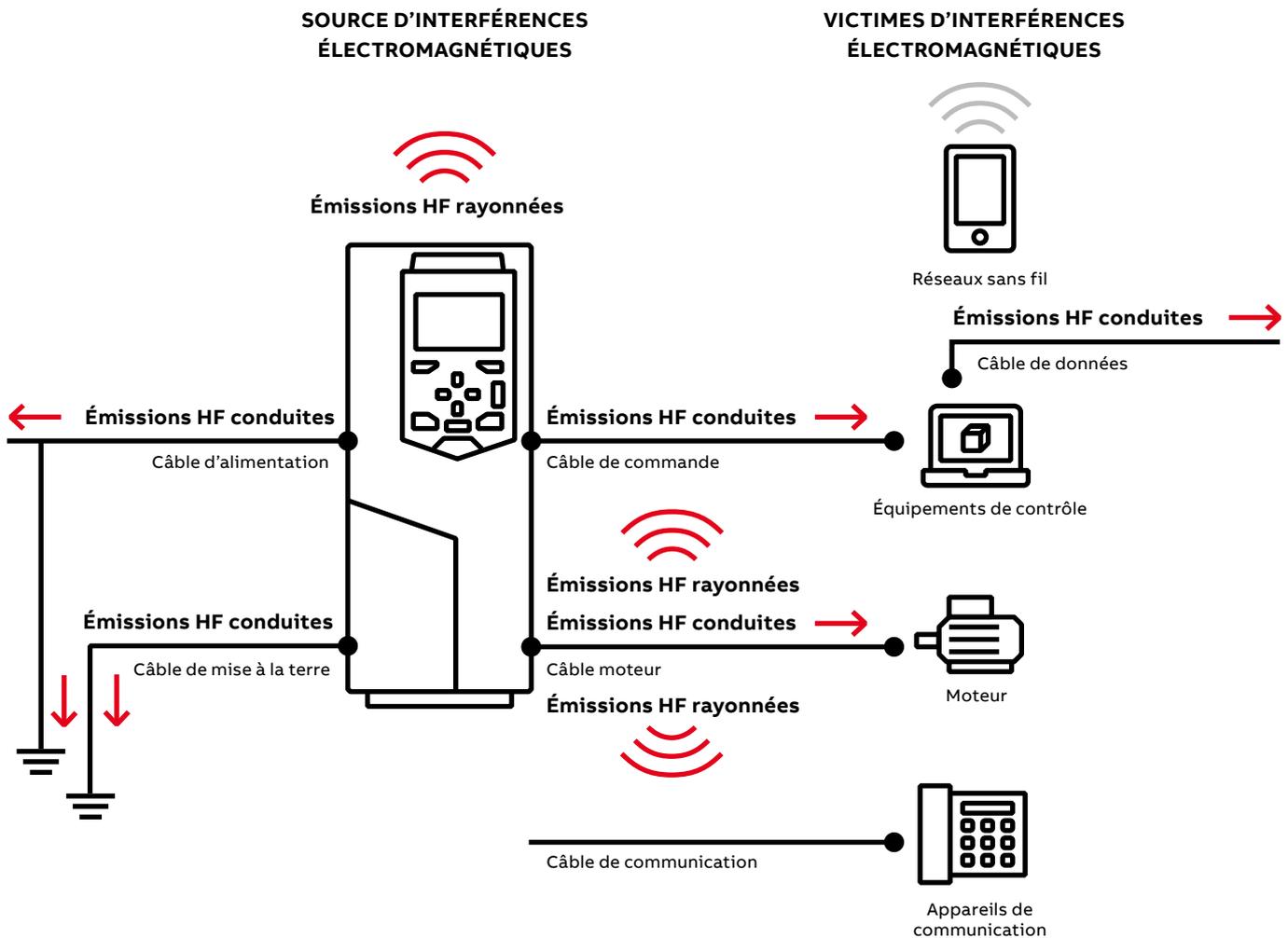
Une interférence électromagnétique est une interférence causée au niveau du fonctionnement normal d'un équipement par une énergie électromagnétique anormale pénétrant au sein de ce dernier par conduction via les câbles ou par réception d'ondes rayonnées. Les interférences électromagnétiques conduites sont également appelées « bruit de la ligne haute fréquence ». Les interférences électromagnétiques rayonnées sont également connues sous le nom d'interférences radioélectriques.

Les interférences électromagnétiques peuvent être générées par des sources naturelles et artificielles telles que le soleil, des événements météorologiques et d'autres facteurs magnétosphériques, ainsi que par des appareils électriques, magnétiques et sans fil, et des

systèmes de plus grandes dimensions tels que des dispositifs d'alimentation industrielle et des lignes de transmission de puissance. L'intégralité, ou presque, des équipements électriques et de communication génèrent des émissions électromagnétiques et peuvent être également sensibles à ces dernières. Les variateurs de fréquence sont des sources potentielles d'interférences électromagnétiques, mais en sont rarement victimes en raison des niveaux élevés d'immunité définis par les normes s'y rapportant.

Techniquement, les interférences électromagnétiques peuvent s'exprimer sous la forme d'une induction de courants non désirés au sein des circuits des équipements, ce qui entraîne un mauvais fonctionnement des équipements, voire leur endommagement.

De faibles ondes électromagnétiques fortuites peuvent provoquer une perte de réception, du bruit sonore ou des coupures vidéos lorsqu'elles sont émises, et peuvent interférer avec les ondes radio utilisées pour la diffusion ou la communication.



Conséquences pour les utilisateurs finaux et les propriétaires

En fonction du type de bâtiment, l'environnement électromagnétique peut être formé par différents types de charges et donc par des perturbations électromagnétiques de différents types et de différentes natures. Les charges typiques au sein des bâtiments résidentiels et commerciaux sont les systèmes d'éclairage, de chauffage, de ventilation et de climatisation, les ascenseurs, les systèmes de sécurité, les lignes d'information et de communication, réseau sans fil compris, ainsi que les appareils bureautiques et domestiques. Plus les charges sont diverses et nombreuses, plus les perturbations électriques, en particulier haute fréquence, sont importantes au sein du bâtiment. Les perturbations haute fréquence au sein d'un système d'alimentation et de son environnement interfèrent avec le fonctionnement des équipements et pose d'importants problèmes aux utilisateurs finaux et aux propriétaires.

Comme indiqué précédemment, et dans le cas d'une installation non conforme aux règles CEM, des perturbations électromagnétiques haute fréquence peuvent se propager par conduction dans le réseau via les câbles d'alimentation. Les appareils sensibles aux perturbations électromagnétiques raccordés à la même source d'alimentation peuvent subir de sérieuses interférences. En pratique, cela donne lieu par exemple, à un vacillement des éclairages et des écrans, un fonctionnement incorrect ou à une panne des équipements informatiques, avec, entre autres, des pertes de mémoire et des arrêts intempestifs.

Si l'énergie électrique conduite via le câble inclut des fréquences supérieures à 30 MHz, ces dernières peuvent rayonner vers l'extérieur et interférer avec le bon fonctionnement des équipements à proximité ou avec les données qui circulent au sein des câblages de communication et donner lieu à de fréquentes erreurs, à un trafic réseau élevé faisant suite aux retransmissions de données et, en définitive, à une surcharge du réseau. Bruit sur les lignes téléphoniques et coupure de la communication sont des conséquences que les utilisateurs finaux peuvent occasionnellement subir.

Ainsi, des perturbations électromagnétiques haute fréquence peuvent se révéler néfastes au sein d'un réseau électrique et peuvent poser d'importants problèmes aux propriétaires. Habituellement, il est difficilement possible de quantifier les conséquences et de les associer aux problèmes que représente un excès d'émissions HF. Elles engendrent des coûts car elles ont un impact sur la durée de vie des équipements, sur les prestations additionnelles de maintenance ainsi que sur les pertes de productivité.

Les propriétaires consacrent beaucoup d'énergie à l'efficacité énergétique de leur bâtiment. C'est pourquoi les variateurs de fréquence sont de plus en plus utilisés au sein des systèmes HVAC : les VFD commandent les systèmes HVAC et ajustent ainsi la consommation d'énergie aux besoins réels du bâtiment. Il existe toutefois un risque que les investissements que les propriétaires consacrent aux moteurs, aux variateurs et autres équipements électriques ne soient pas rentabilisés si les variateurs ne fonctionnent pas correctement et posent des problèmes significatifs au sein du réseau électrique et de l'environnement dans son ensemble.

De plus, le fonctionnement incorrect des ascenseurs, de l'éclairage, des systèmes de sécurité (sécurité, incendie, fumée, gaz, eau) et des équipements professionnels en raison de la présence de perturbations électromagnétiques peut mettre la sécurité des utilisateurs en péril, en particulier au sein d'installations critiques telles que des hôpitaux, des aéroports ou des immeubles.

Les VFD étant de potentielles sources d'émissions électromagnétiques haute fréquence, il est indispensable de choisir un variateur conforme aux valeurs limites d'émissions d'un environnement CEM spécifique et de les installer conformément aux recommandations du fabricant pour rendre l'ensemble de l'installation conforme. Si les différents aspects relatifs à la CEM ne sont pas pris en compte lors du choix et de l'installation de variateurs de fréquence, propriétaires et utilisateurs finaux sont plus susceptibles d'être confrontés aux problèmes mentionnés ci-dessus.



Normes relatives à la CEM

—
Fig. 05 Définition d'un entraînement de puissance (PDS) et de ces composants.

Directive du Conseil UE

Au sein de l'Espace économique européen, les directives du Conseil de l'UE définissent des normes relatives à différents produits. Nombre de ces normes dérivent de normes rédigées par la Commission électrotechnique internationale.

La norme européenne générique relative à la CEM en vigueur aujourd'hui est l'IEC/EN 55011:2016 « Appareils industriels, scientifiques et médicaux – Caractéristiques de perturbations radioélectriques – Limites et méthodes de mesure » (similaire à la norme internationale CISPR 11:2015). Elle s'applique aux appareils électriques industriels, scientifiques et médicaux fonctionnant dans la plage de fréquences de 0 Hz à 400 GHz, et définit les valeurs limites des perturbations électromagnétiques, les exigences de mesure et les dispositions spéciales pour les mesurages sur un site d'essai. Elle détaille par ailleurs les mesurages des rayonnements de la plage de fréquences comprise entre 1 GHz et 18 GHz, les précautions de sécurité à prendre et l'évaluation de la conformité des appareils.

La norme IEC/EN 55011:2016 divise des appareils en deux groupes – Groupe 1 et Groupe 2. Chaque groupe est sous-divisée en deux classes – Classe A et Classe B.

- Le **Groupe 1** couvre tous les appareils définis dans le domaine d'application de la norme, qui ne sont pas inclus dans le Groupe 2.
- Le **Groupe 2** concerne l'ensemble des appareils RF industriels, scientifiques et médicaux qui génèrent intentionnellement et utilisent ou utilisent uniquement de l'énergie radioélectrique sur une plage comprise entre 9 kHz et 400 GHz sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, d'un couplage inductif et/ou capacitif, pour le traitement du matériel, à des fins d'inspection/d'analyse ou pour le transfert de l'énergie électromagnétique.
- La **Classe A** s'applique aux appareils conçus pour être utilisés sur tous les sites à l'exception des environnements résidentiels, ainsi que ceux qui sont raccordés directement à un réseau électrique basse tension alimentant les

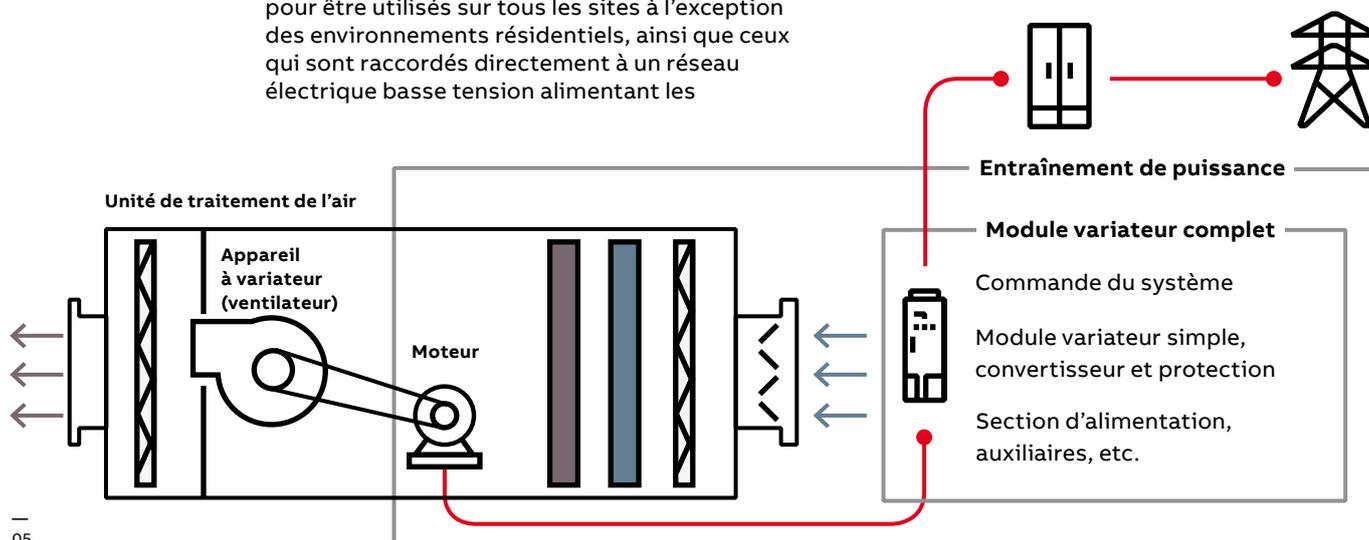
bâtiments utilisés à des fins domestiques.

- La **Classe B** couvre les appareils conçus pour être utilisés au sein d'environnements résidentiels, ainsi que dans des lieux qui sont raccordés directement à un réseau électrique basse tension alimentant les bâtiments utilisés à des fins domestiques.

La norme IEC/EN 55011:2016 doit être appliquée uniquement lorsqu'aucune autre norme produit spécifique n'est disponible. Une norme produit spécifique pour les variateurs, l'IEC/EN 61800-3:2004/A1:2011, intitulée « Entraînements électriques de puissance à vitesse variable - Partie 3 : Exigences de CEM et méthodes d'essais spécifiques » existant, l'IEC/EN 55011 ne doit jamais être appliquée aux variateurs de fréquence.

La norme IEC/EN 61800-3:2004/A1:2011 spécifie les exigences de compatibilité électromagnétique pour les entraînements de puissance dotés de convertisseurs ayant des tensions d'entrée et/ou sortie de valeur efficace allant jusqu'à 35 kV en alternatif sur les bandes de fréquences de 150 kHz à 30 MHz pour la tension perturbatrice aux bornes (port de puissance) et au sein de la bande de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz pour les perturbations électromagnétiques par rayonnement (port d'entrée de l'appareil). Aucune exigence CEM n'est spécifiée pour la plage de fréquences comprise entre 2 kHz et 150 kHz.

Pour les exigences CEM au sein de la plage de fréquences jusqu'à 2 kHz, une norme produit spécifique, l'IEC/EN 61800-3:2004/A1:2011, fait référence aux normes relatives aux familles de produits IEC/EN 61000-3-2:2014 et IEC/EN 61000-3-12:2011. Ces normes spécifient des valeurs limites pour les courants harmoniques produits par les appareils raccordés à des systèmes basse tension publics affichant un



—
Fig. 06 Environnements
d'installation selon
l'EN 61800-3.

courant d'entrée maximum de 75 A par phase pour les fréquences inférieures à la 40^e harmonique (2 000 Hz pour 50 Hz net ou 2 400 Hz pour 60 Hz net). Aucune valeur limite n'est spécifiée par ces normes pour les équipements dont le courant d'entrée est supérieur à 75 A par phase.

Il est à noter que ces normes s'appliquent à des entraînements de puissance complets. Les entraînements de puissance (PDS) comprennent un module variateur complet et un moteur. Un module variateur complet se compose d'un variateur de fréquence, de câbles moteur et d'une interface de commande système (voir Fig. 05, page 11), autrement dit d'un système complet, et pas uniquement d'un VFD comme c'est le cas dans les normes antérieures. Lorsque l'appareil est doté de plusieurs entraînements de puissance, les normes s'appliquent à l'intégralité de l'appareil, et non au seul PDS.

En Europe, la norme produit IEC/EN 61800-3:2004/A1:2011 ainsi que la nouvelle norme IEC/EN 61800-3:2017 prévaut sur toutes les normes CEM génériques ou relatives à une famille de produits précédemment applicables.

Selon la norme IEC/EN 61800-3:2004, deux environnements d'utilisation distincts existent :

- **Premier environnement** – environnement qui inclut les locaux et lieux résidentiels raccordés directement sans transformateur intermédiaire à un réseau public basse tension qui alimente des bâtiments résidentiels. Résidences individuelles, appartements, locaux commerciaux ou bureaux situés dans un bâtiment résidentiel en sont des exemples. Les appareils connectés à un réseau public basse tension, autrement dit utilisés par plusieurs bâtiments et utilisateurs, sont inclus dans cet environnement.
- **Second environnement** – environnement qui inclut tous les lieux autres que ceux raccordés directement à un réseau public basse tension alimentant des bâtiments à usage résidentiel. Les zones industrielles ou techniques de tout bâtiment alimenté par un transformateur dédié en sont des exemples. La différence

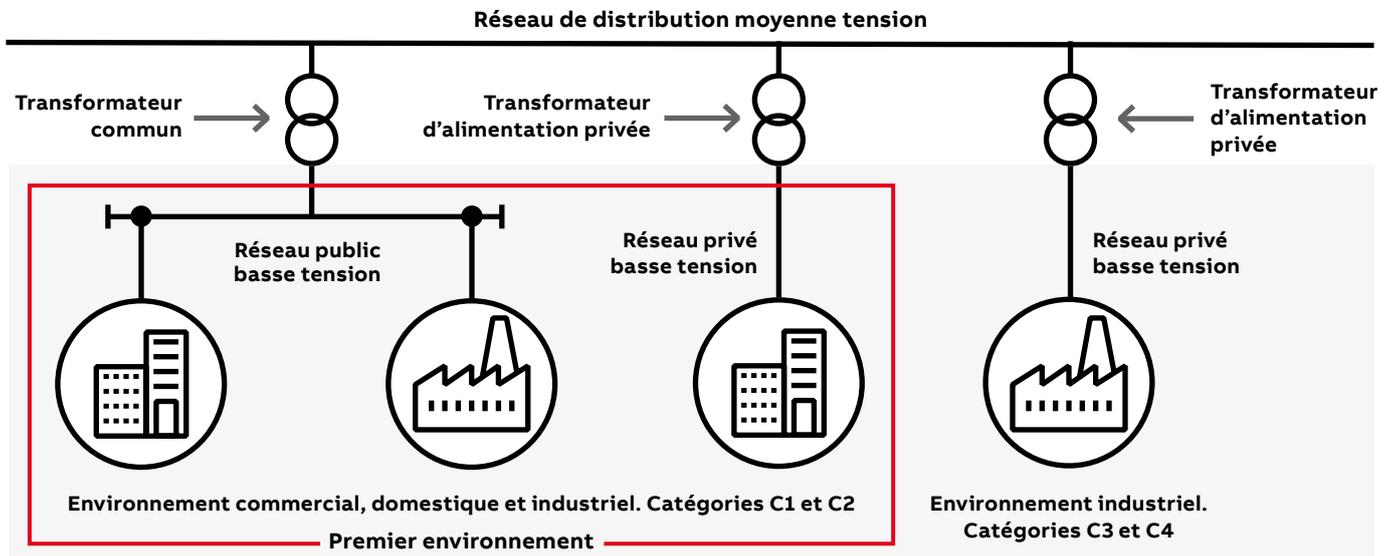
fondamentale par rapport au premier environnement est le caractère privé de l'ensemble du réseau basse tension, notamment du transformateur d'alimentation.

Un entraînement de puissance conçu pour le chauffage, la ventilation et la climatisation sera usuellement inclus dans le premier environnement, dans le cadre d'une application résidentielle ou commerciale (voir Fig. 06).

Dans la plupart des cas, les hôpitaux, les aéroports, les salles blanches et autres installations sensibles ainsi que nombre de lieux résidentiels et commerciaux associés à une forte demande en puissance disposent de leur propre transformateur d'alimentation basse tension et font, selon la classification, partie du second environnement. Il se peut toutefois qu'ils doivent respecter les valeurs limites d'émission du premier environnement.

La norme IEC/EN 61800-3:2004 classe les PDS et leurs composants en quatre catégories, en fonction de leur utilisation prévue :

- **Catégorie C1** : PDS d'une tension nominale inférieure à 1 000 V, prévus pour être utilisés dans le premier environnement.
- **Catégorie C2** : PDS d'une tension nominale inférieure à 1 000 V, qui ne sont ni des appareils raccordés au secteur ni des appareils portables et, lorsqu'ils sont utilisés au sein du premier environnement, qui sont conçus pour être installés et mis en service par un professionnel uniquement (personne ou organisme disposant des compétences nécessaires dans le domaine de l'installation et/ou de la mise en service des entraînements de puissance, notamment concernant les aspects relatifs à la CEM).
- **Catégorie C3** : PDS d'une tension nominale inférieure à 1 000 V, prévus pour être utilisés au sein du second environnement et non prévus pour être utilisés au sein du premier environnement.
- **Catégorie C4** : PDS d'une tension nominale égale ou supérieure à 1 000 V, ou d'une intensité nominale égale ou supérieure à 400 A, ou prévus pour être utilisés au sein de systèmes complexes au sein du second environnement.



—
Réf. 01 Voir FCC
02-157 pour plus
d'informations.

—
Réf. 02 Voir FCC DA
03-3848.

Les informations relatives aux valeurs limites d'émissions électromagnétiques pour chaque catégorie selon l'IEC/EN 61800-3:2004 sont données dans les Tab. 1 à 4 et la Fig. 12 (voir annexe).

Codes et normes aux États-Unis

Aux États-Unis, aucun code ni aucune norme couvant spécifiquement et complètement la compatibilité électromagnétique des VFD n'existe.

La Partie 15 des règles et réglementations de la Commission fédérale des communications traite des appareils qui émettent de l'énergie radioélectrique sans faire l'objet d'une licence. La Partie 15 s'applique à tout VFD « émetteur non intentionnel ». Le fonctionnement de tout appareil couvert par la Partie 15 est soumis aux conditions générales de fonctionnement mentionné à l'alinéa 15.5. L'alinéa 15.5 repose essentiellement sur les exigences essentielles suivantes : l'appareil ne doit pas interférer avec des services de diffusion, de navigation ou de sécurité faisant l'objet d'une licence et doit accepter toute interférence causée par un autre appareil. Dans le cadre de l'alinéa 15.13, le fabricant d'un émetteur non intentionnel « doit mettre en œuvre de bonnes pratiques d'ingénierie pour minimiser le risque d'interférences néfastes ».

Les VFD contrôlés par microprocesseur sont également couverts par la Partie 15 de la FCC sous le nom d'appareils numériques. À l'instar des appareils commerciaux ou industriels, les VFD « sont des appareils exemptés [...] uniquement soumis aux conditions générales de fonctionnement de l'alinéa 15.5 ». Toutefois, la FCC recommande fortement que le fabricant d'un appareil exempté prenne ses dispositions pour mettre son appareil en conformité avec les normes techniques spécifiques de la Partie 15. La Partie 15 énumère les valeurs limites relatives à la tension radioélectrique conduite au sein des lignes électriques des réseaux publics par les appareils numériques. La plage de fréquences couverte est comprise entre 150 kHz et 30 MHz. La Partie 15 mentionne également les valeurs limites de la force du champ d'émissions rayonnées par les appareils numériques. La plage de fréquences couverte est supérieure à 30 MHz. Pour les fréquences inférieures à celles des radiofréquences réglementées par la FCC, les tensions conduites sur les lignes électriques sont considérées comme étant des tensions de distorsion harmonique. Les problèmes de distorsion harmonique sont couverts par la norme 519 de l'IEEE.

Si on évalue un variateur comme étant un « appareil numérique » au sens de la Partie 15 de la FCC, le microprocesseur de ce dernier n'est pas susceptible d'être une source significative d'interférences électromagnétiques. La source potentielle d'interférence électromagnétique la plus significative au sein d'un variateur est représentée par les circuits de commutation de puissance, qui sont largement indépendants de la conception du microprocesseur ou d'autres types de circuits de commande. Les interférences électromagnétiques sont générées au sein d'un variateur par la commutation dans un sens et dans l'autre des terminaux de sortie entre les

pôles positif et négatif du bus DC, d'où découle la forme d'onde de sortie AC. Chaque fois qu'une commutation se produit au niveau du transistor de sortie, la tension aux bornes saute, par exemple au sein d'un variateur 480 V, de 650 volts d'un pôle à 650 volts sur l'autre pôle. Ce changement de tension quasiment instantané peut potentiellement générer une quantité significative d'énergie radioélectrique.

Par conséquent, l'évaluation du variateur en tant qu'« appareil numérique » commandé par microprocesseur ne permet pas de cibler correctement la source la plus importante d'interférences électromagnétiques.

Étant donné que les exigences applicables ne sont ni spécifiques ni restrictives, l'intégralité, ou presque, des variateurs peuvent être déclarés conformes aux exigences de la Partie 15 de la FCC sans qu'ils soient réellement dotés de moyens significatifs de filtration des émissions électromagnétiques.

Il peut être nécessaire d'assurer la conformité d'un variateur aux valeurs limites d'émissions conduites et rayonnées mentionnées dans la Partie 15 de la FCC pour les appareils numériques de Classe A ou de Classe B, mais la Partie 15 n'inclut ni ne spécifie de modes opératoires d'essai conçus pour les variateurs. Sans la spécification d'un mode opératoire d'essai approprié, toute déclaration de conformité d'un variateur aux valeurs limites spécifiées peut paraître suspecte.

Les valeurs limites d'émissions conduites mentionnées dans la Partie 15 de la FCC ont été révisées en 2002 pour « harmoniser les exigences nationales avec les normes internationales développées par la Commission électrotechnique internationale et le Comité international spécial des perturbations radioélectriques »^{Réf. 01}. La norme CISPR 11 fournit un mode opératoire d'essai approprié pour soumettre les variateurs à essai dans le but de vérifier leur conformité à ces valeurs limites.

Les valeurs limites d'émissions rayonnées spécifiées dans la norme CISPR 22 sont inférieures aux valeurs limites de la Partie 15. En conséquence, en 2003, la Partie 15 a été révisée pour inclure l'alinéa 15.109(g) : « En tant qu'alternative aux valeurs limites d'émissions rayonnées données dans les alinéas (a) et (b) de cette section, la conformité des appareils numériques peut être démontrée au regard de la... publication 22 (CISPR 1997) ». ^{Réf. 02}

La norme CISPR 22 concerne les appareils numériques tandis que la norme CISPR 11 couvre les appareils industriels, scientifiques et médicaux. La Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis encourage des fabricants d'appareils électromédicaux à utiliser la norme CISPR 11.

Catégories CEM dans l'industrie HVAC

Les entraînements de puissance conçus pour être utilisés au sein du premier environnement, qui est essentiellement pertinent pour les systèmes HVAC commerciaux et résidentiels, sont classés dans la Catégorie C1 s'ils respectent les valeurs limites d'émissions, à la fois conduites et rayonnées, correspondant à la Catégorie C1.

Les fabricants de variateurs positionnent souvent leurs produits comme étant compatibles avec les exigences C1 sans indiquer que leurs produits sont uniquement conformes aux valeurs limites d'émissions conduites de la Catégorie C1 ou en les considérant uniquement comme des modules variateurs simples et en y appliquant les normes relatives aux entraînements de puissance.

Dans le même temps, les exigences de la Catégorie C1, excessives, ne s'appliquent pas à la plupart des systèmes d'entraînement aujourd'hui présents sur le marché, qui ne sont ni raccordés au secteur ni portables.

Les entraînements de puissance conçus pour être utilisés au sein du premier environnement, qui est essentiellement pertinent pour les systèmes HVAC commerciaux et résidentiels, sont classés dans la Catégorie C2 s'ils respectent les valeurs limites d'émissions, à la fois conduites et rayonnées, correspondant à la Catégorie C2 et s'ils ne sont ni des appareils raccordés au secteur ni des appareils portables.

En réalité, cela signifie que l'IEC/EN 61800-3:2004 n'impose pas aux PDS aujourd'hui disponibles sur le marché d'être conformes aux niveaux d'émissions C1. La conformité aux valeurs C2 pour les variateurs installés au sein du premier environnement est ainsi complètement suffisante, sauf indication contraire dans le cahier des charges.

Des niveaux d'émissions C2 ont été définis pour éviter toute interférence avec d'autres appareils au sein du premier environnement. Par conséquent, l'offre d'appareils conformes au niveau d'émissions C1 n'a pas lieu d'être et n'est pas très utile, dans la plupart des cas, pour les clients.

La plupart des variateurs HVAC modernes sont conformes aux exigences C2 en ce qui concerne les niveaux d'émissions électromagnétiques grâce à l'utilisation de filtres internes ou de filtres externes.

Les entraînements de puissance conçus pour être utilisés au sein du second environnement, qui est typiquement pertinent pour les installations industrielles dotées de leur propre transformateur d'alimentation sur site, sont classés dans la Catégorie C3.



La majorité des variateurs HVAC modernes actuellement produits sont conformes aux exigences C2 en ce qui concerne les niveaux d'émissions électromagnétiques. Toutefois, pour les variateurs HVAC installés dans le second environnement, une conformité aux exigences C3 uniquement est suffisante.

Les entraînements de puissance conçus pour être utilisés dans le second environnement et classés en Catégorie C4 ne sont en pratique pas pertinents pour le segment HVAC et ne sont donc pas étudiés plus avant au sein de ce guide.

Les fabricants de VFD indiquent de manière générale que seuls des électriciens qualifiés sont en mesure d'installer leurs variateurs, car les pratiques d'installation influencent significativement la compatibilité finale des entraînements de puissance aux exigences relatives à la CEM.

Pour les fabricants de variateurs de fréquence destinés à l'industrie HVAC, il est complexe et d'autant plus inutile de revendiquer la conformité de leurs produits avec les exigences de la Catégorie C1 tant pour les émissions conduites



que les émissions rayonnées. Le respect des valeurs limites d'émissions conduites de la Catégorie C1 peut être mis en œuvre à l'aide de filtres et de l'installation correcte des entraînements de puissance. Cependant, pour se conformer aux valeurs limites d'émissions rayonnées C1, l'ensemble des pièces des entraînements de puissance doit former une cage de Faraday pour les protéger contre les émissions rayonnées. C'est pourquoi les fabricants de variateurs doivent déclarer avec prudence la conformité de leurs produits aux exigences C1, tandis qu'en réalité, la seule conformité aux valeurs limites d'émissions conduites C1 suffit.

Sur le marché, il est également chose courante de se référer à la norme EN 55011 générique relative à la CEM qui n'impose pas qu'un moteur soit raccordé à un variateur lors de la vérification de sa conformité en termes de CEM. Cette norme ne devrait pas être appliquée pour les variateurs, car la norme produit spécifique IEC/EN 61800 prévaut sur cette norme générique.

Il est en outre important de ne pas oublier que la performance CEM d'un variateur dépend de la longueur et du type de son câble moteur. Ainsi,

un variateur doté d'un filtre interne ou externe conforme aux exigences relatives à la CEM pour une certaine longueur de câble peut ne pas être conforme aux exigences correspondant à des longueurs supérieures. De la même façon, l'utilisation de types de câbles non recommandés pour leur installation peut entraîner une non-conformité.

Autre aspect important à prendre en compte : les normes relatives à la compatibilité électromagnétique mentionnées ci-dessus s'appliquent aux entraînements de puissance. En soi, un module variateur simple ou complet est un simple composant et, en tant que tel, n'a pas de valeur fonctionnelle pour l'utilisateur. Pour fonctionner, un variateur a besoin d'un moteur, mécaniquement couplé à la charge entraînée et électriquement raccordé (via un câble) au variateur. C'est à ce moment-là uniquement qu'il devient un PDS (également composé de dispositifs d'alimentation, de composants de protection et de communication, etc.) qui émettent bien évidemment plus d'émissions électromagnétiques qu'un CDM. Un BDM/CDM conforme aux exigences C1 peut par conséquent ne pas être conforme s'il s'agit en réalité d'un PDS.

Pratiques de câblage et de mise à la terre

—
Fig. 07 Exigences
générales de
cheminement
du câblage.

L'un des aspects les plus importants ayant une influence significative sur la performance CEM d'un système repose sur les pratiques d'installation et, en particulier, le câblage et la mise à la terre. Un filtre RFI ne suffit pas à lui seul pour résoudre le problème de conformité d'un système à la CEM. Si l'installation n'est pas réalisée correctement et que les instructions du fabricant ne sont pas respectées, le PDS peut ne pas être conforme à la CEM, même s'il est équipé d'un filtre RFI.

Pratiques de câblage

Le respect des exigences générales relatives au câblage fait partie intégrante de la conformité en matière de CEM, ce qui inclut, entre autres, l'acheminement du câble moteur indépendamment des autres câbles. Les câbles moteur de plusieurs variateurs installés les uns à côté des autres peuvent être posés en parallèle uniquement si le câble de chaque moteur est doté d'un blindage individuel. Aux États-Unis, il n'est pas autorisé d'installer les câbles moteur de plusieurs variateurs dans le même conduit.

Le croisement de différents types de câbles doit être par ailleurs évité. Lorsque cela n'est pas possible, différents types de câbles, par exemple des câbles de puissance et des câbles de commande, doivent se croiser selon un angle le plus proche possible de 90 degrés. L'installation d'autres câbles via le variateur n'est pas permise en raison du possible bruit d'induction générée par les câbles moteur, qui court-circuitent essentiellement les filtres RFI.

Le câble moteur, le câble d'alimentation d'entrée et les câbles de commande doivent être installés dans des chemins distincts (voir Fig. 08 sur la page suivante).

La conception et le matériau des chemins de câbles doivent également contribuer à la performance CEM de l'installation. Ainsi, les chemins de câbles non métalliques peuvent être utilisés majoritairement dans des environnements associés à de faibles niveaux d'émissions électromagnétiques et pour des câbles générant de faibles niveaux d'émissions électromagnétiques. Dans la plupart des autres cas, des chemins de câbles métalliques doivent être utilisés. Les chemins de câbles métalliques dotés d'un fond plein et d'un couvercle doivent être privilégiés aux chemins de câbles ouverts, car ils réduisent au minimum l'occurrence de problèmes relatifs à la CEM.

Types de câbles à utiliser avec des variateurs de fréquence (VFD)

La norme produit relative à la CEM, l'IEC/EN 61800-3, s'applique aux entraînements de puissance complets, les câbles étant ainsi considérés comme contribuant également à la performance CEM du système. Pour garantir la conformité aux exigences CEM, il est nécessaire d'utiliser l'un des types de câbles approuvés. Le Tableau 1 de la page suivante indique les types de câbles génériques approuvés.

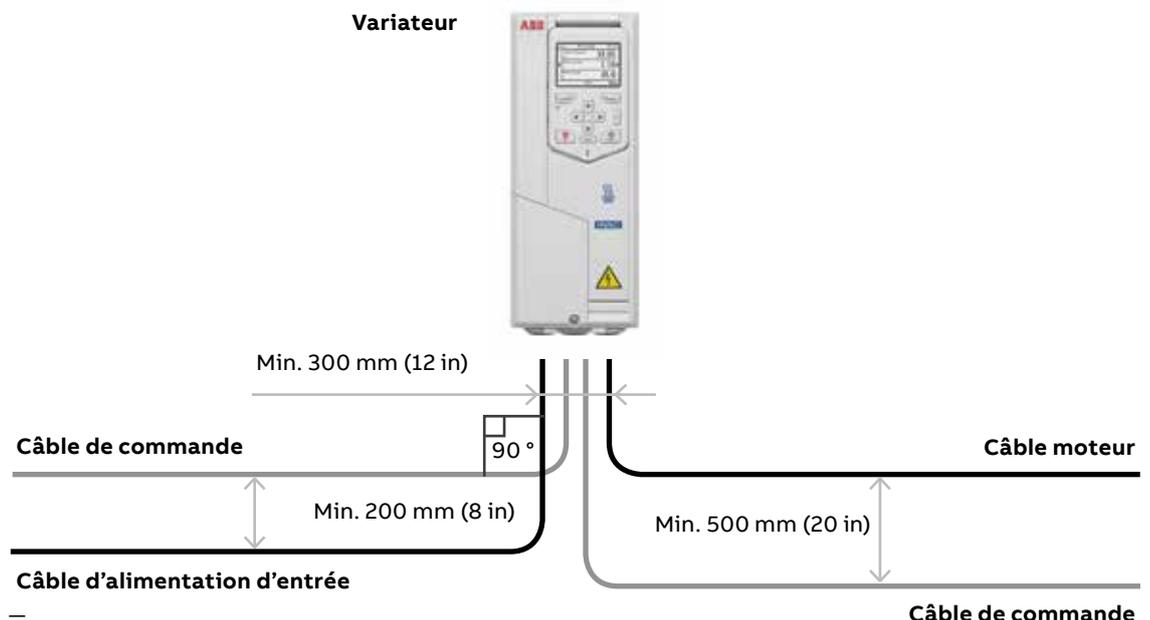
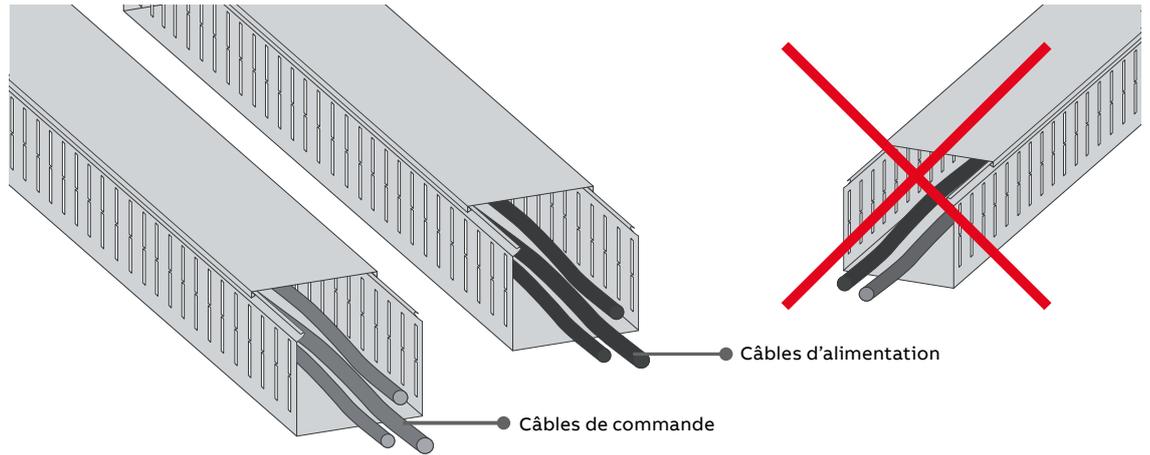


Fig. 08 Acheminement de différents types de câbles au sein de chemins de câbles.



Tab. 1. Vue d'ensemble des types de câbles

Types de câbles recommandés		
		Câble blindé symétrique doté de 3 conducteurs de phase et d'un conducteur de mise à la terre concentrique en aluminium ou en cuivre qui joue le rôle de blindage. Le blindage du câble doit être conforme aux exigences de l'IEC 61 439-1.
		Câble blindé symétrique doté de 3 conducteurs de phase et d'un conducteur de mise à la terre concentrique en acier ou en fer galvanisé qui joue le rôle de blindage. Un conducteur de mise à la terre distinct est requis si le blindage du câble n'est pas conforme aux exigences de l'IEC 61 439-1.
		Câble blindé symétrique doté de 3 conducteurs de phase et d'un ou de trois conducteurs de mise à la terre symétriques qui jouent le rôle de blindage. Le conducteur de mise à la terre doit être conforme aux exigences de l'IEC 61 439-1.
Types de câbles pour utilisation limitée		
		Un système composé de 4 conducteurs (3 conducteurs de phase et un conducteur de mise à la terre au sein d'un chemin de câble) est autorisé pour le câblage d'entrée uniquement et n'est pas autorisé pour le câblage moteur. Interdit au sein des réseaux informatiques (sans mise à la terre).
		Un système composé de 4 conducteurs (3 conducteurs de phase et un conducteur de mise à la terre au sein d'un conduit PVC) est autorisé pour le câblage d'entrée si la section transversale des conducteurs de phase est inférieure à 10 mm ² (8 AWG) ou pour les moteurs dont la puissance est inférieure à 30 kW (40 hp). Interdit aux États-Unis.
		Un câble annelé ou un tube électrique métallique composé de 3 conducteurs de phase et d'un conducteur de mise à la terre est autorisé pour le câblage moteur si la section transversale des conducteurs de phase est inférieure à 10 mm ² (8 AWG) ou pour les moteurs dont la puissance est inférieure à 30 kW (40 hp).
Types de câbles non autorisés		
		Un câble blindé symétrique avec blindage individuel de chacun de ses conducteurs de phase n'est pas autorisé pour le câblage d'entrée ou le câblage moteur, quelle que soit la taille du câble.

—
Fig. 09 Blindage des câbles moteur.

De manière générale, il est important d’obtenir la confirmation du fabricant qu’un câble spécifique est adapté à l’application visée, la construction et le matériau du blindage ayant des répercussions sur la protection contre le rayonnement électromagnétique.

Un blindage est une couche d’isolation contenant l’énergie électrique, qui entoure un câble électrique pour éviter que ce dernier émette ou absorbe des perturbations électromagnétiques. Il existe différents types de blindage, notamment, les feuillards, les spirales, les blindages tressés, ou une combinaison d’un ou plusieurs de ces derniers.

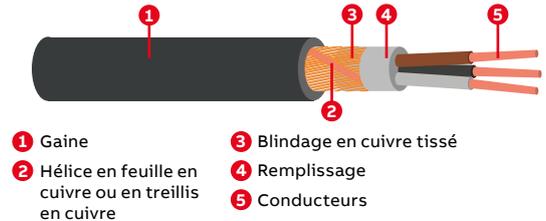
Le blindage tressé est la forme de blindage la plus utilisée. Sa résistance mécanique et sa souplesse le rendent plus polyvalent que le blindage par feuillard par exemple. Toutefois, le blindage tressé n’est pas compatible avec toutes les fréquences électromagnétiques en raison de la couverture limitée du blindage sur le câble (en général 70 à 95 %). Ses performances sont ainsi optimales à des fréquences faibles inférieures à 15 kHz et se détériorent à 100 MHz environ.

Le blindage par feuillard entoure le câble par le biais d’une fine couche de cuivre ou d’aluminium associée à une gaine en polyester qui accroît sa résistance mécanique. Il fonctionne en tandem avec un fil de continuité en cuivre qui permet de mettre le blindage à la terre. Le blindage par feuillard offre une couverture à 100 %, ce qui le rend plus performant à haute fréquence, de 10 MHz à 20 GHz pour certaines conceptions, mais manque de souplesse.

Le blindage en spirale est en général formé de brins en cuivre apposés tout autour du conducteur. Il est plus souple que le blindage

tressé et permet une mise à la terre facile. Même si le blindage en spirale permet d’obtenir une couverture de 95 % et plus, il est uniquement efficace à des fréquences audio inférieures à 20 kHz.

Pour obtenir une solution optimale, un blindage tressé est souvent complété par un blindage par feuillard qui permet de bénéficier d’une résistance mécanique et d’un blindage d’une efficacité maximale sur un spectre de fréquences plus large.



—
09

Si le blindage d’un câble moteur est utilisé en tant que seul et unique fil de mise à la terre du moteur, la conductivité du blindage doit être suffisante.

Pour supprimer efficacement les émissions radioélectriques rayonnées et conduites, la conductivité du blindage du câble doit être au moins égale à 1/10 de la conductivité du fil de phase. Le respect de ces exigences peut être facilement assuré à l’aide d’un blindage en cuivre ou en aluminium. Les exigences minimales relatives au blindage du câble moteur sont illustrées dans la Fig 09. Le blindage se compose ainsi d’une couche concentrique de fils en cuivre disposés en hélice ouverte recouverte d’une feuille ou d’un treillis en cuivre. Plus le blindage est performant et compact, plus le niveau d’émissions et les courants de palier sont faibles.

—
Tab. 2. Caractéristiques des systèmes de mise à la terre, performance CEM incluse

Type de système de distribution	Application principale	Sécurité des utilisateurs	Sécurité des bâtiments	Performance CEM
TT	Installations domestiques et similaires, petites industries avec alimentation basse tension	Correcte Disjoncteurs différentiels requis	Correcte Courant de défaut moyen 10 - 100 A	Correcte Risque de surtensions Problèmes d’équipotentialité Gestion impérative des appareils à courants de fuite élevés
TN-S	Industries et grandes installations avec alimentation moyenne tension	Correcte Continuité de la terre à garantir	Insuffisante Courant de défaut élevé similaire au courant de défaut monophasé	Très bonne Peu de problèmes d’équipotentialité Gestion impérative des appareils à courants de fuite élevés Courants de défaut élevés (transitoires)
TN-C				Insuffisante (ne jamais utiliser) Circulation de courants perturbés dans les parties conductives exposées (émissions rayonnées élevées) Courants de défaut élevés (transitoires)
IT	Industries chimiques et pétrochimiques, soit des usines pour lesquelles la continuité de service est fondamentale	Correcte Continuité de la terre à garantir	Correcte Faible courant pour le 1 ^{er} défaut (µA-2 A) et courant élevé (valeurs typiques pour les systèmes TN ou TT) pour le 2 ^e défaut	Insuffisante (à éviter) Risque de surtensions Les filtres en mode commun doivent gérer les tensions entre phases. Disjoncteurs différentiels soumis à déclenchement si des condensateurs en mode commun sont présents.

Fig. 10 Blindage des câbles de commande.

D'autres exigences en vigueur aux États-Unis recommandent d'utiliser un câble sous gaine d'aluminium annelée à soudure continue de Type MC (métallique) avec fils de mise à la terre symétriques ou un câble de puissance blindé pour les câbles moteur si un conduit métallique n'est pas utilisé.

Le type de câble de commande est un autre aspect important à prendre en compte. En général, le blindage de l'ensemble des câbles de commande est recommandé (voir Fig. 10). Les signaux analogiques et logiques doivent être acheminés via des câbles blindés séparés.



a
Câble de commande double blindage

b
Câble de commande simple blindage

10

Pour les signaux analogiques, un câble à paire torsadée à double blindage doit être utilisé, à raison d'une paire individuellement blindée pour chaque signal. Il n'est pas autorisé d'utiliser de retour commun pour différents signaux analogiques. Les signaux de tension analogiques, 0 - 10 V par exemple, doivent être blindés en raison de la forte impédance du circuit de commande. Les signaux de tension analogiques, 0/4 - 20 mA par exemple, ne nécessitent généralement pas de blindage en raison de la faible impédance du circuit de commande.

Les signaux logiques tels que les commandes transmises aux entrées logiques du variateur ne nécessitent pas de blindage dans la vaste majorité des cas. Les câbles de communication série doivent être blindés en raison de leurs hautes fréquences et de leurs faibles tensions. Les signaux commandés par relais affichant une tension ne dépassant pas 48 V peuvent être acheminés dans les mêmes câbles que les signaux d'entrée/de sortie logiques.

Pratiques de mise à la terre

Les perturbations conduites peuvent se propager du variateur à un autre appareil via l'ensemble des chemins de conduction, notamment la terre.

La mise à la terre du système doit garantir non seulement la sécurité des utilisateurs et des bâtiments, mais également la conformité en termes de CEM. Les normes européennes EN 50174-2:2009/A1:2011 « Technologies de l'information - Installation de câblages - Partie 2 : Planification et pratiques d'installation à l'intérieur des bâtiments » et EN 50310:2016 « Application de liaison équipotentielle et de la mise à la terre dans les locaux avec équipement de technologie de l'information » recommandent la mise en œuvre du système TN-S, qui pose le moins de problèmes CEM pour les équipements de télécommunication et les équipements informatiques.

Les systèmes de mise à la terre permettent d'assurer la conformité à la CEM en maintenant la même équipotentialité dans l'ensemble du bâtiment. Si un système de mise à la terre n'est pas équipotentiel, des courants vagabonds haute fréquence circulent entre les différentes parties du système électrique d'un bâtiment via la terre. Cela peut perturber des appareils sensibles raccordés au système. Dans de tels cas, il est très difficile de déterminer la cause première des perturbations électromagnétiques, car la source peut se situer dans une partie complètement différente du bâtiment.

C'est pourquoi il est essentiel d'interconnecter les systèmes de mise à la terre au sein d'un même bâtiment pour assurer une équipotentialité constante dans l'ensemble de ce dernier. Si l'ensemble du système de mise à la terre d'un bâtiment est équipotentiel, la différence de potentiel entre les appareils est faible et un grand nombre de problèmes relatifs à la CEM disparaissent.

—
Fig. 11 Pratiques de câblage et de mise à la terre des VFD.

La mise à la terre des appareils est un aspect important lorsqu'il s'agit d'étudier la performance CEM d'un système. La mise à la terre d'un VFD considéré comme une source potentielle d'interférences électromagnétiques nécessite une attention particulière.

Les câbles moteur et les câbles d'alimentation doivent être mis à la terre sur 360 degrés. Les presse-étoupes des câbles CEM représentent une solution optimale, mais les colliers de serrage métalliques en contact complet avec le blindage du câble suffisent également (Fig. 11, a). Les fils de blindage doivent être entortillés ensemble pour former un ensemble (tresse) dont la longueur n'excède pas cinq fois sa largeur et raccordés aux bornes de mise à la terre du variateur (Fig. 11, b). Le blindage du câble moteur doit être également mis à la terre au niveau de l'extrémité moteur. En règle générale, les parties non blindées du câble doivent être aussi courtes que possible.

Aux États-Unis, les différentes parties des conduites de câbles doivent être couplées, les jonctions doivent être pontées à l'aide d'un conducteur de mise à la terre relié à la conduite de chaque côté de la jonction. Les conduites doivent être également reliées au boîtier du variateur et au châssis du moteur. Pour l'alimentation d'entrée, le moteur, la résistance de freinage et les câbles de commande, des conduites séparées doivent être utilisées. Lorsqu'une conduite est utilisée, il n'est

pas nécessaire d'installer un câble sous gaine d'aluminium annelée à soudure continue de Type MC (métallique) ni un câble blindé. Un câble de mise à la terre dédié est toujours requis.

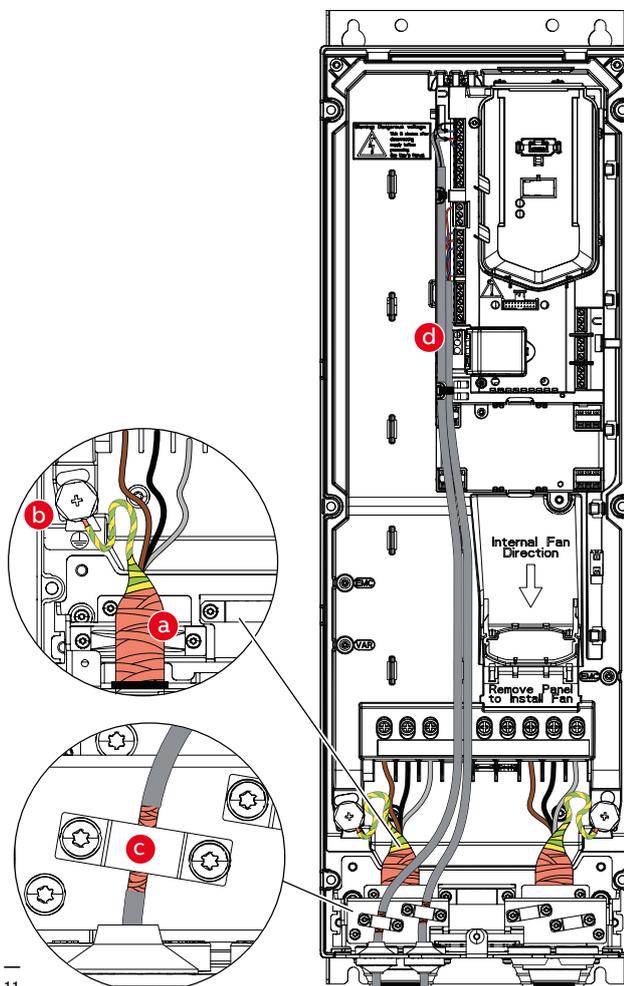
Pour réduire au minimum les niveaux d'émissions électromagnétiques lorsque des interrupteurs de sécurité, des contacteurs, des boîtes de dérivation ou des équipements similaires sont installés sur le câble moteur entre le variateur et le moteur, ces derniers doivent être installés au sein d'un boîtier métallique avec mise à la terre à 360 degrés pour les blindages des deux câbles entrant et sortant. Dans le cas contraire, les blindages des câbles doivent être raccordés ensemble. Aux États-Unis, l'équipement doit être installé au sein d'un boîtier métallique de sorte que le blindage de la conduite ou du câble moteur soit uniforme, sans interruption, du variateur au moteur.

Les chemins de câbles doivent être reliés électriquement entre eux et avec les électrodes de terre. Des chemins de câbles ou conduites métalliques peuvent être utilisés pour améliorer l'équilibrage du potentiel au niveau local.

La terminaison et la mise à la terre des câbles de commande du variateur doivent être correctes pour réduire le bruit sur le réseau de commande. Le blindage externe du câble de commande doit être mis à la terre sur 360 degrés via un collier de mise à la terre (Fig. 11, c). Les blindages et

les fils de mise à la terre des câbles de commande doivent en outre être raccordés à une borne de mise à la terre côté variateur. Les câbles ne doivent pas être dénudés jusqu'aux bornes de la carte électronique, dans la plus grande mesure du possible (Fig. 11, d). Toute paire de fils de signal doit être torsadée au plus près possible des bornes. Le fait de torsader le fil avec son fil retour réduit les perturbations causées par le couplage inductif.

Le blindage d'un câble de commande non raccordé (non mis à la terre) aux deux extrémités n'inhibe pas les perturbations. La mise à la terre du blindage d'un câble de commande à une seule extrémité n'inhibe pas suffisamment le champ électromagnétique ni les perturbations inductives dans la plupart des cas. La mise à la terre du blindage d'un câble de commande aux deux extrémités améliore la suppression des perturbations au-dessus d'une certaine fréquence, mais forme une boucle dans laquelle le courant basse fréquence circule si les extrémités du blindage du câble sont de potentiels différents. Par conséquent, si une mise à la terre haute fréquence est nécessaire, l'autre extrémité du blindage doit être mise à la terre via un condensateur. Certains appareils intègrent un condensateur.



Cas pratiques

Dans ce chapitre sont donnés des cas pratiques afin de mettre en avant certains des effets liés à une installation incorrecte sur la performance CEM d'un système.

Cas n°1

Des variateurs ACH580 ont été installés dans le sous-sol d'un immeuble résidentiel, la centrale de traitement de l'air se situant sur le toit, six étages plus haut. S'agissant d'une opération de réhabilitation, les câbles non blindés des anciens moteurs ont été utilisés pour les nouveaux moteurs. Dans le cadre de ce projet d'automatisation, de nouveaux capteurs (ex. capteur de température extérieure) ont été installés sur le toit et leurs câbles de commande analogiques ont été posés à côté des câbles moteur au sein du même chemin de câble. Ces câbles analogiques étaient également non blindés.

Les variateurs présentaient des dysfonctionnements. La cause première a été identifiée comme provenant des câbles moteur non blindés, des câbles perturbant les signaux d'entrée analogiques envoyés aux variateurs. La température extérieure a été utilisée pour déclencher différentes fonctions du variateur, telles que le fonctionnement du moteur à faible vitesse pour protéger le système du gel lorsque la température extérieure était faible et le fonctionnement du moteur à vitesse contrôlée lorsque la température extérieure était plus élevée. Étant donné qu'aucun autre problème n'avait été identifié au sein de cet immeuble résidentiel, la solution immédiate a consisté à ajouter un moyen de filtrage sous la forme d'un filtre d'entrée analogique et de ferrites pour nettoyer le bruit de mode commun du câble analogique.

La solution recommandée par ABB s'est appuyée sur le remplacement des câbles moteur et des câbles analogiques par des types de câbles blindés et le réacheminement du signal analogique via un chemin de câble distinct.

Cas n°2

Au sein d'un immeuble de bureaux récemment rénové, un problème concernant le vacillement de l'éclairage fluorescent a été identifié. Ce problème semblait principalement se produire lorsque les variateurs se rapprochaient de leur pleine vitesse et de leur pleine charge. Les recherches réalisées ont démontré que la cause première provenait du nouveau câblage reliant les variateurs. Les câbles utilisés pour les moteurs et pour l'alimentation d'entrée au niveau des variateurs ne comportaient pas de blindage et étaient installés dans le même chemin de câble, ce qui permettait aux filtres RFI des câbles moteur d'être couplés au réseau électrique du bâtiment. En outre, la section transversale des fils de mise à la terre des variateurs était trop petite pour garantir une mise à la terre correcte.

La solution a consisté à remplacer les câbles moteur existants par des câbles blindés et à installer un nouveau câble de mise à la terre pour obtenir une section transversale minimale appropriée pour la mise à la terre.

Les recommandations d'ABB s'appuient toujours sur le respect des exigences relatives à la section transversale minimale des fils de mise à la terre et à l'utilisation de types de câbles recommandés uniquement pour le raccordement des moteurs. De plus, les câbles moteur et les câbles d'alimentation ne devraient jamais être installés les uns à côté des autres au sein du même chemin de câble.

Cas n°3

Un problème concernant le déclenchement intempestif de la ventilation a été identifié sur un site industriel. Le problème se produisait occasionnellement lorsque le variateur recevait un signal de référence à très basse vitesse de la part du système d'automatisation. Après analyse du problème, il a été déterminé que la cause première provenait de la présence d'un courant de mise à la terre en boucle entre le variateur et le système d'automatisation qui le contrôlait.

Le système d'automatisation envoyait au variateur un signal logique pour qu'il fonctionne, ainsi qu'une référence analogique. Ces signaux étaient transmis via un seul et unique câble de commande non blindé. Le bruit de l'environnement et les différences de potentiel de mise à la terre entre le contrôleur du système d'automatisation et le variateur interféraient avec le signal analogique de référence de vitesse et empêchaient l'interprétation correcte des données.

Le problème a été résolu en remplaçant le câble de commande non blindé par un nouveau câble blindé. Ce câble blindé a été mis à la terre uniquement du côté contrôleur. Le blindage a été laissé ouvert du côté variateur et a été recouvert d'un ruban isolant de sorte qu'il n'entre en contact avec aucun autre élément. Le câble était en outre doté de conducteurs torsadés par paire pour la référence de vitesse analogique, une pratique courante. Ce type de connexion a permis de résoudre le problème en ouvrant la boucle de mise à la terre et en protégeant le câble d'entrée analogique du bruit généré par l'environnement.

Les recommandations d'ABB se sont appuyées sur l'utilisation de câbles blindés pour les signaux logiques et de câbles à double blindage pour les signaux analogiques. Il a également été recommandé de ne pas les installer au sein du même chemin de câble. Pour éviter tout problème de bruit, la mise à la terre de la référence analogique et l'entrée logique commune sur l'unité de commande doivent être raccordées séparément au variateur.

Pratiques recommandées

En pratique, lorsqu'il est fait référence aux normes UE relatives à la CEM, aucune différence n'existe entre les Catégories C1 et C2 pour les applications HVAC en termes d'environnement. La prépondérance des exigences de la Catégorie C1 sur celles de la Catégorie C2 ne doit pas être mise en avant par les fabricants de variateurs, car, dans la plupart des cas, les VFD respectent les valeurs limites d'émissions conduites C1 sur des distances relativement courtes uniquement et ne sont pas conformes aux valeurs limites d'émissions rayonnées C1 si l'ensemble ne forme pas de cage de Faraday.

En parallèle, les valeurs limites d'émissions C1 sont définies pour les appareils raccordés au secteur/portables et, par conséquent, sont excessives pour les entraînements de puissance à installation fixe. Les valeurs limites d'émissions C2 sont définies pour les entraînements de puissance conformément aux niveaux d'immunité des appareils à proximité qui pourraient potentiellement être installés au sein du premier environnement. Dans ces conditions, la conformité des PDS aux valeurs limites d'émissions C2 est absolument suffisante et le

dépassement des exigences C2 n'offre aux clients pas plus de valeur, mais uniquement des coûts d'installation supplémentaires.

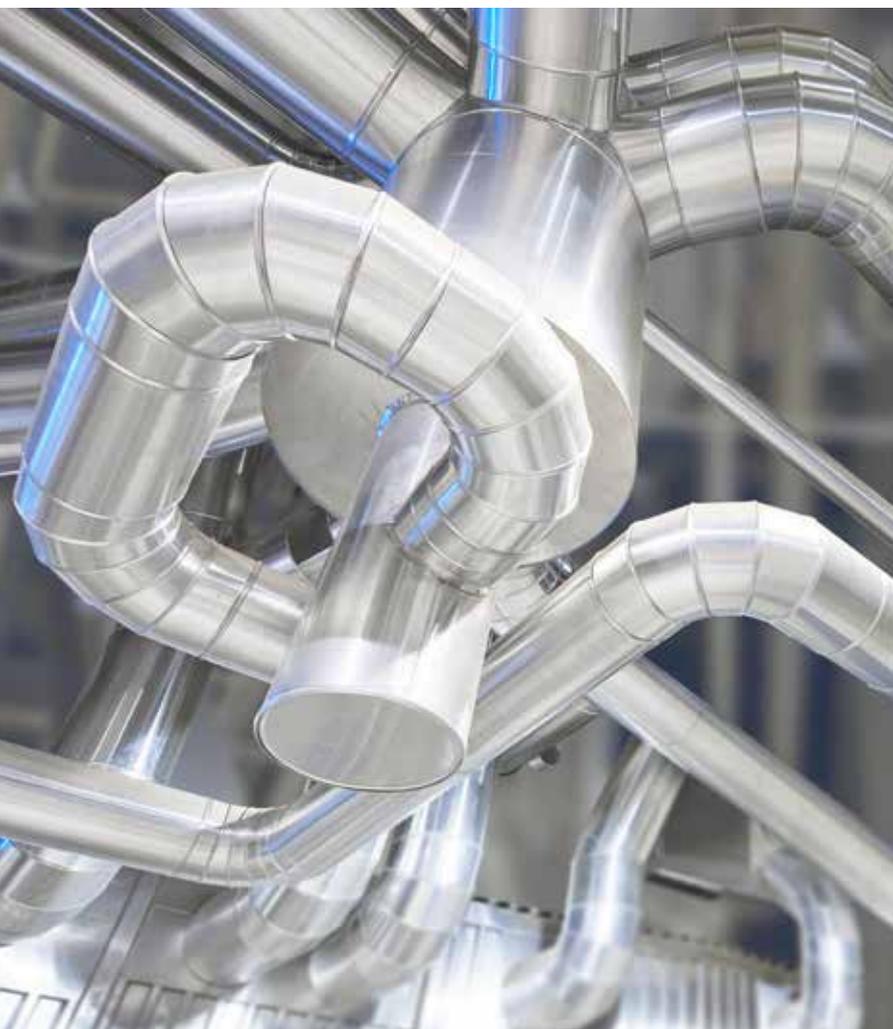
Dans certains cas, tels qu'au sein d'installations critiques, l'installation de filtres RFI pour respecter les valeurs limites d'émissions conduites C1 peut faire sens, mais il est nécessaire d'évaluer les niveaux d'immunité des appareils installés sur site avant de prendre les exigences C1 en référence.

Dans la plupart des cas, les niveaux C1 relatifs aux émissions conduites peuvent être atteints par les fabricants de VFD, tandis que les limites se rapportant aux émissions rayonnées sont très difficiles à respecter. Les variateurs ABB dédiés aux applications HVAC sont testés pour vérifier qu'ils respectent les valeurs limites d'émissions conduites de la Catégorie C1 par le biais de filtres en option. Néanmoins, cela n'étant pas l'unique exigence de la Catégorie C1, ABB ne déclare pas ses produits conformes à la Catégorie C1.

Autre aspect important à prendre en compte : les pratiques d'installation qui peuvent significativement avoir des répercussions sur la conformité de l'appareil aux exigences relatives à la CEM. Dans la plupart des cas, un VFD doté d'un filtre RFI C2 installé conformément aux exigences du fabricant affichera de meilleures performances d'un point de vue de la CEM qu'un VFD doté d'un filtre C1 dont l'installation n'est pas optimale.

Pour éviter tout éventuel problème de CEM, ainsi que les effets non désirés associés sur les appareils à proximité pour le client, la politique ABB Drives consiste à classer les variateurs qui répondent partiellement aux exigences de la Catégorie C1 dans la Catégorie C2 qui, outre la conformité totale aux niveaux d'émissions C2, impliquent une installation et une mise en service par un professionnel compétent.

ABB se donne pour priorité de créer de la valeur pour ses clients, sans se limiter à l'amélioration de l'efficacité et de l'efficacité des systèmes HVAC grâce à des variateurs HVAC ABB dédiés, mais en offrant plutôt un environnement sécurisé en termes de qualité électrique et de robustesse du réseau au sein des bâtiments.



Documents joints

Valeurs limites pour la tension perturbatrice aux bornes (port de puissance) sur la bande de fréquences 150 kHz à 30 MHz et valeurs limites pour les perturbations électromagnétiques par rayonnement (port d'entrée de l'appareil) sur la bande de fréquences 30 MHz à 1 000 MHz pour le premier et le second environnement, selon l'IEC/EN 61800-3:2004 suivie de l'IEC/EN 61800-3:2017.

Tab. 3. Valeurs limites pour la tension perturbatrice aux bornes (port de puissance) sur la bande de fréquences 150 kHz à 30 MHz. PDS dans le premier environnement – PDS de Catégorie C1 et C2

Bande de fréquences MHz	Catégorie C1		Catégorie C2	
	Quasi pic dB(μV)	Moyenne dB(μV)	Quasi pic dB(μV)	Moyenne dB(μV)
0.15 ≤ f < 0.50	66 Diminue avec les plages de fréquences à échelle logarithmique jusqu'à 56	56 Diminue avec les plages de fréquences à échelle logarithmique jusqu'à 46	79	66
0.5 ≤ f ≤ 5.0	56	46	73	60
5.0 < f < 30.0	60	50	73	60

Tab. 4. Valeurs limites pour les perturbations électromagnétiques par rayonnement sur la bande de fréquences 30 MHz à 1 000 MHz. PDS dans le premier environnement – PDS de Catégorie C1 et C2

Bande de fréquences MHz	Catégorie C1	Catégorie C2
	Force du champ électrique Quasi pic dB(μV/m)	Force du champ électrique Quasi pic dB(μV/m)
30 ≤ f ≤ 230	30	40
230 < f < 1 000	37	47

REMARQUE : Distance de mesure 10 m.

Tab. 5. Valeurs limites pour la tension perturbatrice aux bornes (port de puissance) sur la bande de fréquences 150 kHz à 30 MHz. PDS dans le second environnement – PDS de Catégorie C3

Taille du PDS	Bande de fréquences MHz	Quasi pic dB(μV)	Moyenne dB(μV)
I ≤ 100 A	0.15 ≤ f < 0.50	100	90
	0.5 ≤ f < 5.0	86	76
	5.0 ≤ f < 30.0	90	80
		Diminue avec les plages de fréquences à échelle logarithmique jusqu'à 70	Diminue avec les plages de fréquences à échelle logarithmique jusqu'à 60
100 A < I	0.15 ≤ f < 0.50	130	120
	0.5 ≤ f < 5.0	125	115
	5.0 ≤ f < 30.0	115	105

REMARQUE : Ces valeurs limites ne s'appliquent pas aux ports de puissance inférieurs à 1 000 V.

Tab. 6. Valeurs limites pour les perturbations électromagnétiques par rayonnement sur la bande de fréquences 30 MHz à 1 000 MHz. PDS dans le second environnement – PDS de Catégorie C3

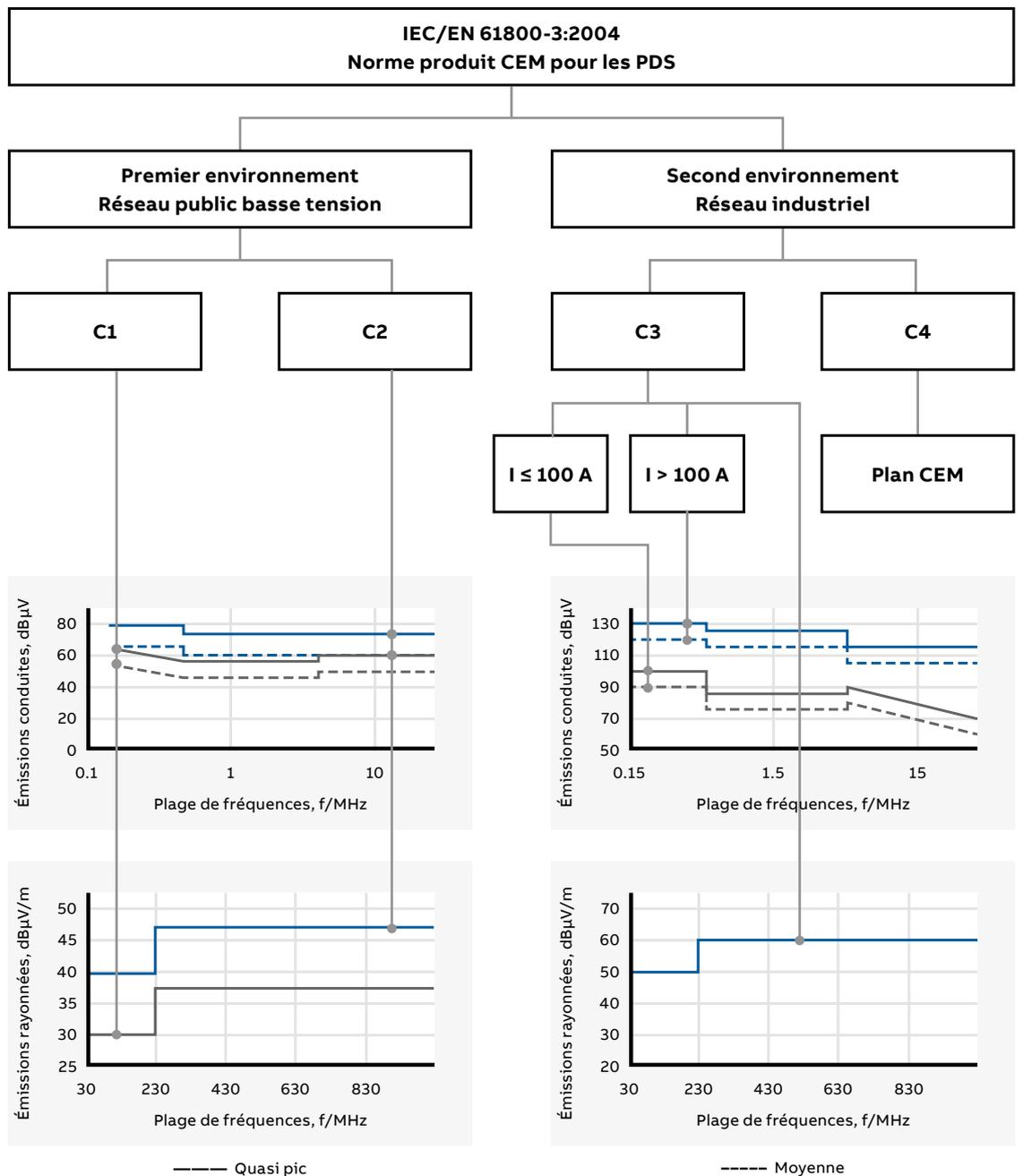
Bande de fréquences MHz	Quasi pic dB(μV)
30 ≤ f ≤ 230	50
230 < f ≤ 1 000	60

REMARQUE : Distance de mesure 10 m.

Tab. 7. Comparatif des normes EN 55011:2009 et EN 61800-3:2004

	EN 55011 : 2016	EN 61800-3 : 2004
Limites d'émission	Classe B (zone résidentielle) Groupe 1+2	Environnement 1 (zone résidentielle) Catégorie C1
	Classe A (zone industrielle) Groupe 1 (filtre interne)	Environnement 1 ou 2 (selon la décision de l'utilisateur) Catégorie C2
	Classe A Groupe 2 (filtre externe, non applicable aux variateurs)	Environnement 2 (zone industrielle) Catégorie C3
		Catégorie C4 (Dépasse les valeurs limites de la Classe A2 1 000 V ou 400 A)

Fig. 12 Valeurs limites d'émissions pour les PDS.



Pour plus d'informations
et les détails de contact :

abb.com/drives
abb.com/drivespartners

