

---

GUIDE D'APPLICATION

# Les harmoniques dans les applications HVAC





---

# Table des matières

|           |   |
|-----------|---|
| <b>4</b>  | <b>Les harmoniques : généralités et importance</b>        |
| 4         | Introduction  |
| 4         | Les harmoniques : informations de base                    |
| 5         | Les causes de la distorsion harmonique                    |
| 5         | Problèmes causés par la distorsion harmonique             |
| 6         | Problèmes économiques causés par la distorsion harmonique |
| 6         | Les harmoniques dans les installations critiques          |
| 7         | Facteur de puissance                                      |
| <b>8</b>  | <b>Différents moyens d'atténuer les harmoniques</b>       |
| 8         | Variateur 6 pulses, sans bobine de réactance              |
| 8         | Variateur 6 pulses, avec bobine de réactance 3-5 %        |
| 9         | Filtres passifs   |
| 10        | Filtres actifs  |
| 11        | Solutions multi-pulses                                    |
| 12        | Active Front End  |
| 12        | Autres technologies de réduction                          |
| <b>14</b> | <b>Synthèse</b>   |

# Les harmoniques : généralités et importance

## Introduction

Les systèmes HVACR (chauffage, ventilation, air conditionné et réfrigération) assurent la climatisation de bâtiments tels que les immeubles de bureaux, les hôpitaux, les data centers, etc., dans le but de maintenir un environnement agréable. Ce faisant, ils englobent une énorme quantité d'énergie qui peut toutefois être réduite en utilisant correctement des variateurs de fréquence.

Mais ces variateurs, à l'instar d'autres composants électroniques, provoquent un phénomène appelé courants harmoniques. Or, si les bénéfices liés à l'utilisation d'un variateur de fréquence surpassent largement les effets négatifs de ces harmoniques, il est tout de même important de ne pas ignorer leur existence, les problèmes qu'ils peuvent causer et les solutions permettant de les atténuer.

Cet article se concentre sur les variateurs de fréquence, mais il convient de noter qu'ils sont loin d'être l'unique source d'harmoniques dans un système. Dans les applications HVACR, ils sont pourtant souvent au centre de tous les calculs et efforts de réduction des harmoniques, car ils constituent une part non négligeable de la consommation totale d'électricité des bâtiments. Ils sont notamment associés aux pompes (eau froide, eau de condensation, eau chaude), aux ventilateurs (admission, recirculation, extraction, tours de refroidissement) ou aux compresseurs. Mais il existe d'autres sources importantes d'harmoniques : ventilateurs entraînés par des moteurs à commutation électronique (moteur EC), systèmes d'éclairage, systèmes d'alimentation sans interruption (ASI) et alimentations électriques monophasées.

Les harmoniques apparaissent sur la forme d'onde de tension fondamentale en raison de la présence d'appareils électroniques appelant du courant de manière non linéaire. On les mesure généralement en pourcentage, sous la forme d'une valeur nommée taux de distorsion harmonique totale (THD), qui se définit comme le rapport entre la valeur efficace de l'ensemble des composantes harmoniques et la valeur efficace de la fréquence fondamentale, et représente l'écart observé par rapport à la forme d'onde sinusoïdale fondamentale. Le THD d'une tension ou d'un courant dépourvu d'harmoniques sera égal à 0 %, une valeur qui augmente parallèlement à la proportion d'harmoniques.

Il existe un grand nombre de normes industrielles utilisées pour identifier les niveaux acceptables

et problématiques de distorsion harmonique, comme la norme IEEE 519-2014 utilisée aux États-Unis et dans certains pays d'Asie. L'Europe et l'Asie ont également établi des normes de compatibilité électromagnétique (CEM) pour les harmoniques, qui sont rédigées du point de vue des fournisseurs d'électricité et se destinent donc à empêcher les clients de produire un taux de distorsion harmonique suffisamment important pour impacter la qualité de l'électricité consommée par les clients voisins sur le réseau électrique.

Très vaste, le terme « harmoniques » est employé dans de nombreux secteurs différents. Malheureusement, les harmoniques peuvent être accusés à tort de certains problèmes électriques, car ils sont confondus avec les interférences radio, qui se produisent pourtant à des fréquences bien plus élevées. Les harmoniques interviennent quant à eux à basse fréquence et ne perturbent donc ni les signaux des réseaux LAN sans fil, ni les téléphones cellulaires, ni les radios AM ou FM, ni les autres équipements particulièrement sensibles aux parasites haute fréquence. ABB a rédigé un article distinct sur les perturbations dues aux interférences radio (document n° 3AUA0000222151).

## Les harmoniques : informations de base

Les harmoniques de tension déforment la forme d'onde de la tension et les harmoniques de courant celle de la forme d'onde du courant. Ces formes d'onde déformées étant difficiles à quantifier par une simple équation, on utilise une méthode mathématique (appelée analyse de Fourier) pour parler des harmoniques. Cette méthode permet de déterminer l'amplitude et la fréquence des nombreuses formes d'onde sinusoïdales plus petites qui constituent la forme d'onde déformée observée. L'ingénieur peut ainsi identifier les harmoniques individuelles les plus problématiques et apporter des mesures correctives afin de les contrer.

Comme indiqué dans l'introduction, les harmoniques sont souvent identifiés sous forme de pourcentage THD. Cette valeur décrit dans quelle mesure la forme d'onde est déformée par rapport à une forme d'onde sinusoïdale pure, puisque le pourcentage THD d'une forme d'onde fortement déformée sera très élevé. On peut utiliser les deux formules suivantes pour quantifier le volume d'harmoniques d'un système :  $THD_v$  est le taux de distorsion harmonique totale d'une forme d'onde de tension,  $THD_i$  celui d'une forme d'onde de courant. Dans

les deux cas, le calcul est basé sur le rapport entre la valeur efficace de l'ensemble des composantes harmoniques et la valeur efficace de la fréquence fondamentale. En d'autres termes, le pourcentage THD augmente parallèlement au taux d'harmoniques.

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 \dots V_n^2}}{V_1} * 100\%$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 \dots I_n^2}}{I_1} * 100\%$$

Même si nous n'en parlerons pas dans cet article, il est particulièrement important de bien comprendre quels niveaux de  $THD_V$  et de  $THD_I$  sont acceptables dans un bâtiment. Chaque système est unique et doit prendre en compte le volume de charge du bâtiment par rapport à la capacité du fournisseur d'électricité, ce que l'on appelle le rapport de court-circuit. Il est tout aussi indispensable de savoir où mesurer les harmoniques, c'est-à-dire d'identifier le point de couplage commun (PCC). Pour faire simple, le PCC est généralement le point où le réseau du bâtiment est connecté au réseau électrique. Le taux de distorsion totale (TDD) est mesuré au PCC au lieu du  $THD_I$ . Le TDD est généralement utilisé dans le but de calculer les harmoniques pour l'ensemble d'un bâtiment, tandis que le  $THD_I$  permet de cibler un seul appareil du bâtiment.

#### Les causes de la distorsion harmonique

Les harmoniques sont causés par des charges non linéaires, c'est-à-dire n'appelant pas le courant du réseau de manière sinusoïdale. Quelques exemples de charges non linéaires : variateurs de fréquence, moteurs EC, éclairage LED, photocopieurs, ordinateurs, alimentations sans interruption, télévisions et la majorité des produits électroniques équipés d'une alimentation électrique. Dans un bâtiment, l'alimentation triphasée non linéaire est la source d'harmoniques la plus importante. Et plus la

puissance est élevée, plus les courants harmoniques dans le réseau sont importants.

Le chapitre suivant étudie les caractéristiques électriques d'un variateur de fréquence dans le but d'illustrer la notion de charge non linéaire. Le type de variateur de fréquence le plus populaire fonctionne en redressant une tension d'entrée AC triphasée à l'aide de diodes : la tension d'entrée est lissée en tension DC par l'intermédiaire d'une batterie de condensateurs, puis le variateur reconvertis cette tension DC en forme d'onde AC afin de réguler la vitesse, le couple et le flux du moteur. Le courant non linéaire est produit lors du redressement AC/DC triphasé.

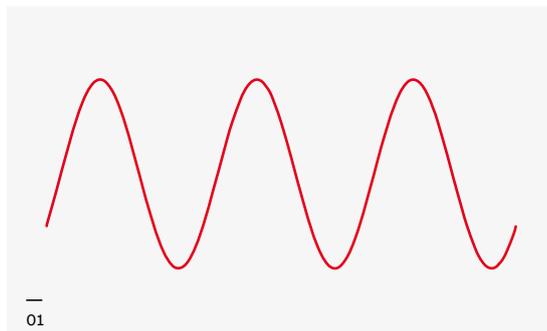
#### Problèmes causés par la distorsion harmonique

Un haut niveau de distorsion harmonique peut provoquer une multitude de problèmes, comme par exemple :

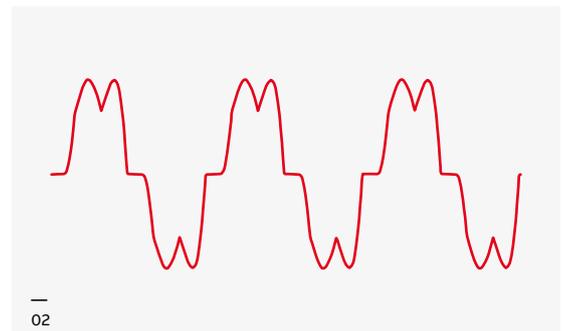
- Défaillance précoce et réduction de la durée de vie des appareils en cas de surchauffe :
  - Surchauffe des transformateurs, câbles, disjoncteurs et fusibles
  - Surchauffe des moteurs alimentés en direct sur le réseau
- Déclenchement intempestif des disjoncteurs et des fusibles en raison de la hausse de chaleur et de la charge harmonique
- Instabilité des générateurs de secours
- Instabilité des composants électroniques sensibles nécessitant une forme d'onde AC sinusoïdale pure
- Clignotement de la lumière

Il est souvent difficile d'établir un lien entre les harmoniques et les problèmes mentionnés ci-dessus. Par exemple, nous savons que les moteurs sont conçus pour fonctionner quasiment jusqu'au point d'échauffement nominal. En conditions de service normales, poser la main une ou deux secondes sur un moteur à pleine charge peut déjà être particulièrement désagréable.

01 Forme d'onde de courant sinusoïdale pure sans harmoniques



02 Forme d'onde de courant avec harmoniques



—  
03 Impact potentiel  
des harmoniques sur  
les transformateurs

Alors comment le propriétaire d'un bâtiment pourra-t-il savoir que la température de service de son moteur est 10 °C supérieure à la normale en raison des harmoniques ? Ce même propriétaire n'identifiera probablement pas les harmoniques comme étant la cause d'une défaillance définitive de son moteur au bout de six ans, alors que sa durée de vie prévue était de douze ans. Cet exemple touche à l'un des nombreux aspects économiques des harmoniques, qui seront abordés plus en détail au chapitre suivant. Il convient toutefois de noter qu'il se fonde sur un moteur alimenté en direct et donc exposé à une forme d'onde déformée. Or, les variateurs de fréquence protègent les moteurs contre les harmoniques. Ainsi, un moteur alimenté par l'intermédiaire d'un variateur ne sera pas soumis à ce phénomène susceptible de causer une défaillance prématurée.

#### Problèmes économiques causés par la distorsion harmonique

L'impact économique des harmoniques est visible à chaque stade du cycle de vie d'un bâtiment : coût initial lié au dimensionnement des équipements dans le but de maîtriser les harmoniques ou aux investissements dans des solutions de réduction, coûts quotidiens dus à l'inefficacité des systèmes, et coûts associés aux défaillances prématurées des équipements.

Pour éliminer les harmoniques, il est possible de surdimensionner certaines parties de l'infrastructure électrique d'un bâtiment, comme par exemple les transformateurs et les câbles, ce qui leur permet de supporter l'augmentation du taux d'harmoniques et de la chaleur, ou les générateurs de secours, si la charge harmonique du système est importante. Plusieurs critères doivent être pris en compte pour calculer les dimensions d'un générateur : il doit être capable de supporter les courants harmoniques additionnels et son régulateur de tension doit pouvoir supporter la distorsion de la tension sans que son fonctionnement devienne instable.

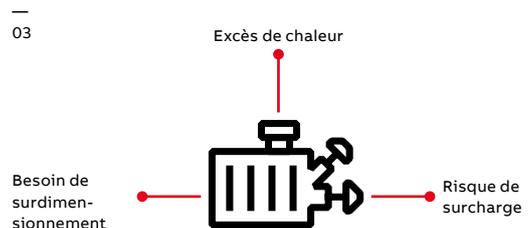
Mais plutôt que payer pour des équipements surdimensionnés, une alternative efficace consiste à investir dans des produits générant moins d'harmoniques. Pour reprendre l'exemple des variateurs de fréquence, un produit économique consomme (au moins) 67 % de courant en plus qu'un variateur de prix intermédiaire équipé d'une self DC ou d'une bobine de réactance AC. La meilleure solution consiste à faire appel à des technologies d'atténuation capables de faire baisser le taux

d'harmoniques en dessous de 5 %. Investir dans des solutions de réduction des harmoniques constitue donc un bon moyen de s'affranchir du surdimensionnement des infrastructures électriques.

Mais bien souvent, les coûts quotidiens dus à l'inefficacité des systèmes causée par les harmoniques sont masqués ou ignorés. Un transformateur ou un moteur dont la température de service est un peu trop élevée exploite son énergie de manière inefficace, en produisant de la chaleur au lieu d'alimenter d'autres charges dans le bâtiment. La charge du système HVAC du bâtiment est alors plus élevée et sa consommation électrique augmente en raison de la nécessité d'éliminer la chaleur résiduelle du bâtiment.

Les coûts dus aux défaillances des équipements sont quant à eux bien visibles, mais il reste difficile d'établir clairement un lien entre les harmoniques, ces défaillances et les coûts associés.

En corrigeant les harmoniques dès la phase de conception, il devient possible de réduire les coûts d'autres parties de l'infrastructure électrique (en évitant de les surdimensionner), mais aussi d'enregistrer des économies à long terme grâce à la hausse du rendement et de la durée de vie des équipements.



#### Les harmoniques dans les installations critiques

Les chapitres précédents de ce document décrivent des problèmes susceptibles d'impacter n'importe quel bâtiment. Néanmoins, dans certains milieux, la qualité de l'électricité, et par conséquent le niveau d'harmoniques, doit être surveillée très attentivement, car il est indispensable que les systèmes HVAC fonctionnent sans interruption. Parmi les secteurs les plus critiques de ce point de vue, citons les hôpitaux, les data centers et les aéroports. En effet, si le matériel des hôpitaux et des aéroports peut mettre des vies en danger en



cas de défaillance, les data centers contiennent des équipements sensibles qui stockent d'importants volumes d'informations et doivent donc fonctionner en continu. C'est pourquoi les concepteurs de systèmes doivent être familiarisés avec l'impact des harmoniques sur les installations critiques.

Le chapitre suivant aborde la question du facteur de puissance, une caractéristique électrique affectée par les harmoniques.

#### **Facteur de puissance**

Le facteur de puissance est une notion employée par l'industrie électrique. Ce terme peut toutefois entraîner une certaine confusion, car il existe trois types de facteurs de puissance : le facteur de puissance active, le facteur de puissance de déplacement et le facteur de puissance de distorsion. L'équation en fin de page présente la relation entre ces différents types de facteurs de puissance. Le facteur de puissance active prend en compte le facteur de puissance de déplacement ( $\cos\phi$ ) et le facteur de puissance de distorsion (qui est fonction du volume de courants harmoniques).

Pour un ingénieur ou le propriétaire d'un bâtiment, trois grands enseignements se dégagent au sujet du facteur de puissance :

- Certains producteurs d'électricité facturent des frais aux clients ayant un facteur de puissance faible et/ou proposent de réduire la facture des clients ayant un bon facteur de puissance.
- L'ajout à un moteur d'un variateur de fréquence permet d'améliorer le facteur de puissance active.
- Les variateurs générant moins d'harmoniques améliorent plus nettement le facteur de puissance active que ceux dont l'empreinte harmonique est élevée.

$$pf_{active} = \frac{P_{moy1}}{V_{1eff} I_{1eff}} * \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} = pf_{dép} * pf_{dist}$$

# Différents moyens d'atténuer les harmoniques

Si les méthodes de réduction des harmoniques sont nombreuses, il n'existe aucune solution miracle. Le tableau ci-dessous compare, entre autres, le THD de différentes technologies de réduction des harmoniques.

|                                | Variateur de fréquence 6 pulses sans bobine de réactance / self  | Variateur de fréquence 6 pulses<br>Faible capacité de bus DC   | Variateur de fréquence 6 pulses + bobine de réactance / self 5 %  | Variateur de fréquence triphasé<br>Variateur Active Front End*   |
|--------------------------------|--|--|---|--|
| <b>THD<sub>i</sub> typique</b> | 90-120%  | 35-40%   | 35-45 %   | 3-5 %  |
| <b>Prix du système**</b>       | \$   | \$   | \$\$  | \$\$\$   |
| <b>Encombrement</b>            | ◻  | ◻  | ◻◻  | ◻◻◻  |
| <b>Points forts</b>            | Solution simple et économique, acceptable pour les installations comptant un faible nombre de petits variateurs. | Solution simple et économique offrant une légère réduction des harmoniques de courant (THD <sub>i</sub> ).   | Solution standard pour les applications HVAC.   | Solution offrant les meilleures performances harmoniques.<br><br>Capacité à accroître la tension de sortie en conditions de réseau faible.<br><br>Facteur de puissance fondamental unitaire.<br><br>Capable d'assurer le freinage régénératif. |
| <b>Points faibles</b>          | Niveau d'harmoniques élevé, solution déconseillée pour les installations comptant de nombreux variateurs.        | Distorsion de tension (THD <sub>v</sub> ) élevée, supérieure à celle des variateurs 6 pulses avec bobine de réactance/self 5 %.<br><br>Plus vulnérable aux problèmes causés par une faible qualité du réseau.<br><br>Quasi-incapable de supporter les sous-tensions. | Les systèmes comptant un grand nombre de variateurs ou des variateurs de grande taille peuvent nécessiter une réduction complémentaire des harmoniques. | Le variateur lui-même génère un peu plus de chaleur qu'un variateur 6 pulses standard avec bobine de réactance.  |

\* Évaluations basées sur les variateurs ABB à faibles harmoniques.

\*\* Prix du système incluant les coûts d'installation du variateur.

—  
04 Variateur 6 pulses, sans réduction

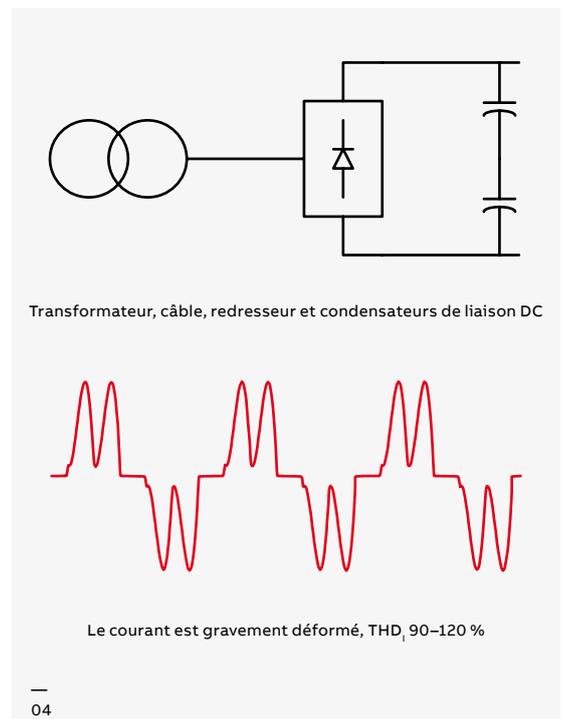
## Variateur 6 pulses, sans bobine de réactance

Il s'agit d'un variateur 6 pulses standard, dépourvu de dispositif d'atténuation des harmoniques. Employé pour son faible coût et sa compacité, ce type de variateur peut servir de point de référence, puis qu'il n'utilise aucune technique de réduction. La distorsion de courant exacte varie en fonction de la conception, mais on enregistre communément des valeurs comprises entre 90 et 120 %.

À noter qu'il existe sur le marché une version de ce variateur dotée d'un condensateur de bus DC sous-dimensionné, ce qui permet d'améliorer la valeur THD<sub>i</sub>, mais impacte très négativement le THD<sub>v</sub> du circuit électrique. Ce type de variateur est très vulnérable aux déclenchements de surtension et de sous-tension dus aux transitoires, aux baisses et aux sautes de tension.

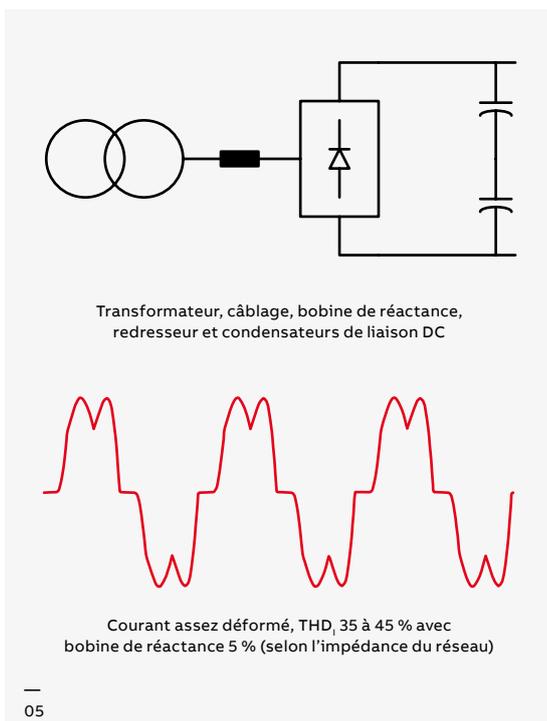
## Variateur 6 pulses, avec bobine de réactance 3-5 %

Un variateur 6 pulses standard équipé d'une self DC ou d'une bobine de réactance AC d'entrée accroît l'impédance et, par conséquent, réduit les



|                                | Variateur de fréquence 6 pulses + filtre passif   | Variateurs à technologie matricielle   | Variateur de fréquence multi-pulses  | Variateur de fréquence 6 pulses + filtre actif   |
|--------------------------------|---|--|--|--|
| <b>THD<sub>i</sub> typique</b> | 5-10%   | 5-13 %   | 12 pulses : 10-12%<br>18 pulses : 5-6 %  | 4-7%   |
| <b>Prix du système**</b>       | \$\$\$  | \$\$\$\$   | \$\$\$\$   | \$\$\$\$\$   |
| <b>Encombrement</b>            | ○○○○  | ○○○  | ○○○○○  | ○○○○   |
| <b>Points forts</b>            | Si le niveau d'harmoniques s'avère problématique et si l'espace disponible le permet, un filtre harmonique passif peut être ajouté après l'installation du variateur.                                     | Inclut le freinage régénératif.  | Méthode traditionnelle de réduction des harmoniques.   | Un seul filtre actif peut supprimer les harmoniques pour plusieurs variateurs/charges.   |
| <b>Points faibles</b>          | Facteur de puissance capacitif à faible charge, sauf si les condensateurs du filtre sont désactivés.<br><br>Risque de résonance entre les condensateurs du filtre et les autres condensateurs du système. | Le mode à faibles harmoniques (THD <sub>i</sub> 5 %) n'autorise pas une régulation totale de la vitesse sur toute la plage de fréquence, car il ne peut atteindre que 93 % de la tension totale.<br><br>L'absence de bus DC ne permet pas aux circuits de puissance de se protéger contre les sous-tensions. | Très grande taille.<br><br>Nombre important de points de défaillance.<br><br>Pour obtenir des performances harmoniques optimales, une puissance AC parfaitement équilibrée, avec peu de distorsion de fond, est nécessaire.<br><br>Très difficile à installer en rétrofit. | Généralement la solution la plus coûteuse.<br><br>Le filtre devient un point unique de défaillance pour la réduction des harmoniques. La défaillance d'un seul filtre peut donc entraîner des problèmes importants/immédiats liés aux harmoniques dans le système. |

— 05 Variateur 6 pulses, avec bobine de réactance 3-5 %



niveaux de courant harmonique à 35-45 %. ABB recommande cette solution comme point de départ pour tous les variateurs utilisés dans des systèmes HVAC. Si un calcul ultérieur des harmoniques permet de déterminer que le THD<sub>i</sub> doit encore être réduit, il sera possible d'opter pour une technologie de réduction des harmoniques plus avancée.

**Filtres passifs**

Les filtres passifs sont ajoutés côté alimentation du variateur. Les versions modernes de ces produits se présentent sous forme de solution inductance-condensateur-inductance, paramétrée pour cibler une fréquence harmonique spécifique. Les performances des filtres harmoniques passifs varient d'un fabricant à l'autre, certaines conceptions atténuant peu les harmoniques en charge partielle ou lorsque la tension est déjà déformée au niveau de l'alimentation du bâtiment. En règle générale, les filtres harmoniques passifs permettent d'enregistrer une distorsion de courant comprise entre 5 et 10 %.

Les filtres passifs génèrent un facteur de

puissance capacitive en charge partielle. La plupart des fabricants proposent donc un contacteur optionnel qui contourne les batteries de condensateurs du filtre en cas de charge partielle. L'installation de ce contacteur est fortement recommandée lorsque les filtres peuvent être alimentés par un générateur, car ce dernier peut devenir instable lorsque les charges appellent un courant à facteur de puissance capacitif. Le condensateur d'un filtre harmonique passif interagit par ailleurs avec les autres condensateurs des réseaux électriques, comme ceux des batteries de correction du facteur de puissance ou des variateurs. Ces interactions peuvent provoquer des problèmes électriques.

Les filtres passifs peuvent être fournis séparément, sous forme de filtres indépendants enclos dans une enveloppe distincte, à installer à proximité du variateur, mais le fabricant peut aussi les installer dans le même boîtier que le variateur. La fourniture et l'installation séparées du filtre nécessitent des efforts de coordination supplémentaires lors de la phase de conception et de construction. Par exemple :

- Un espace doit être alloué à l'installation de chaque filtre.
- Les budgets doivent inclure la main-d'œuvre complémentaire pour l'installation et le câblage du filtre.
- Des précautions doivent être prises lors de l'installation d'un filtre passif sur un variateur.

Il est possible de confondre le filtre passif avec un filtre  $dV/dt$  et de l'installer du mauvais côté du variateur.

- Un câblage supplémentaire doit être réalisé si le variateur inclut un bypass. Le filtre doit se trouver hors du circuit en mode bypass et doit donc être branché uniquement sur le circuit du variateur. Le niveau de complexité correspondant peut ne pas être compris par l'installateur.
- Si le condensateur du filtre doit être désactivé en charge partielle, une source électrique et un câblage complémentaire doivent être installés entre le variateur et la bobine du contacteur, et les branchements correspondants expliqués en détail à l'installateur.

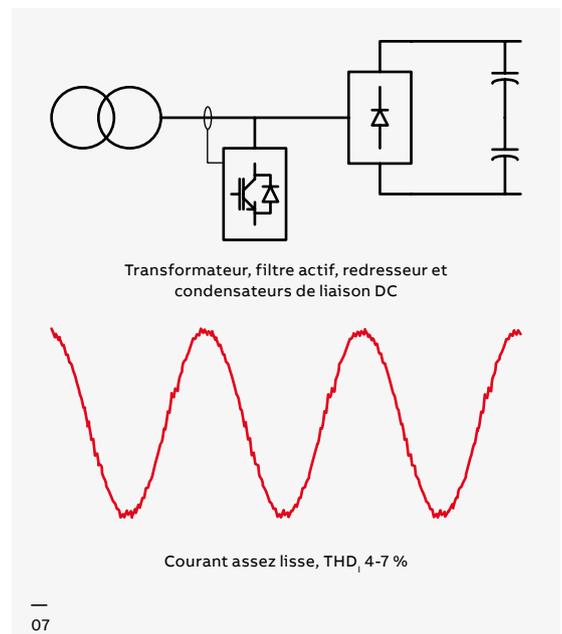
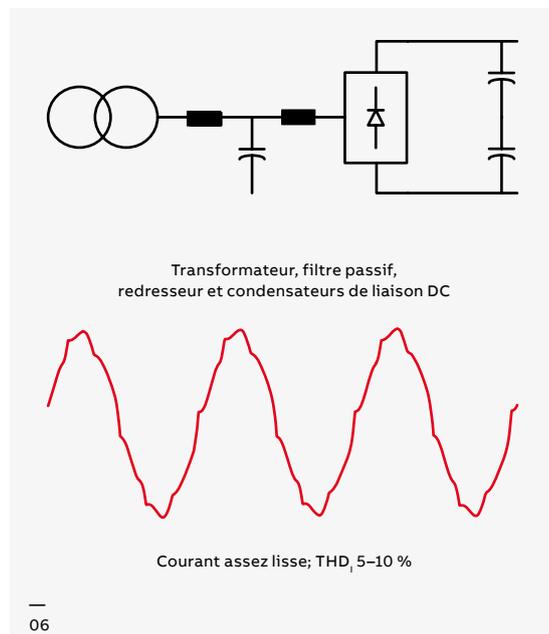
#### Filtres actifs

Un filtre harmonique actif fonctionne comme un casque anti-bruit. Le filtre actif mesure la distorsion de courant puis produit une contre-forme d'onde afin de la compenser. Les techniques de réduction active des harmoniques sont efficaces : elles permettent normalement d'obtenir un THD compris entre 4 et 7 %.

Mais l'application de ces solutions de filtrage actif des harmoniques s'accompagne de nombreuses difficultés : volumineux, ces filtres font appel à des capteurs de courant externes et sont dimensionnés pour nettoyer un volume spécifié de courants harmoniques (en ampères) dans le système. Pour des raisons de coût et

— 06 Variateur 6 pulses, avec filtre passif

— 07 Variateur 6 pulses, avec filtre actif



d'encombrement, ils sont généralement installés pour l'ensemble du bâtiment ou pour un groupe de variateurs. Cela corrige bien entendu le problème au point concerné, mais reste sans effet sur les appareils, installés à l'intérieur du bâtiment ou ailleurs, qui sont affectés par les harmoniques. Cette solution présente également certains risques : si un filtre tombe en panne, le niveau d'harmoniques en amont augmentera de manière significative.

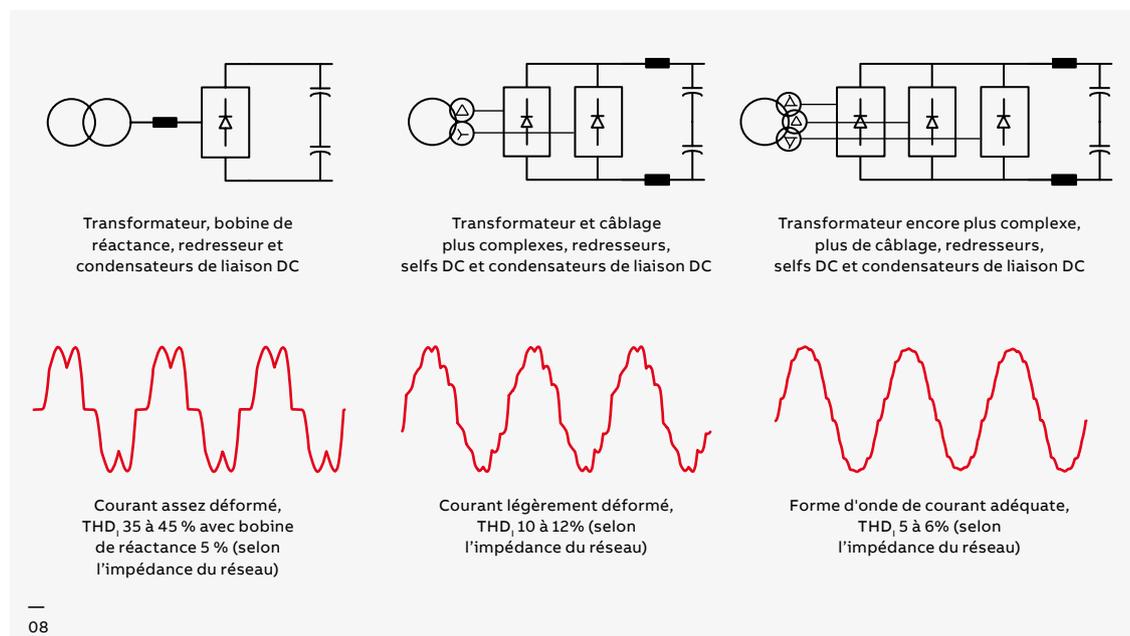
**Solutions multi-pulses**

Les solutions multi-pulses sont une autre méthode de réduction des harmoniques. Un variateur standard présente 6 pulses, tandis que les solutions multi-pulses basse tension atteignent généralement 12 ou 18 pulses. Il existe également des solutions à 24 pulses ou plus, généralement disponibles sur les variateurs moyenne tension. Le nombre total de diodes incluses dans le redresseur correspond au nombre de pulses. En raison du nombre de composants matériels qu'elles emploient, les méthodes multi-pulses sont les solutions de réduction des harmoniques les plus volumineuses : à titre d'exemple, une solution à 18 pulses contient un variateur 6 pulses, 12 diodes supplémentaires, des bobines de réactance d'équilibrage, 18 fusibles, des circuits de pré-charge spéciaux, un volume considérable de câblage pour connecter tous ces composants et un grand transformateur. Une solution 23 A à 18 pulses de taille relativement compacte

présente les dimensions d'un réfrigérateur, en raison du transformateur et de l'ensemble du matériel nécessaire. Une solution à 18 pulses prend la tension d'entrée triphasée et utilise le transformateur pour créer un total de neuf phases déphasées. Le variateur de fréquence s'alimente alors sur les neuf phases au lieu de trois, ce qui lui permet d'appeler un volume de courant moins important sur chaque phase. La distorsion de courant d'une solution à 18 pulses est comprise entre 5 et 6 %. La distorsion de courant d'une solution à 12 pulses est comprise entre 10 et 12 %.

Les valeurs de distorsion de courant multi-pulses indiquées ci-dessus partent du principe que la tension appliquée au variateur est parfaitement équilibrée. Un léger déséquilibre de 2 % de la tension appliquée au variateur peut entraîner une hausse de 50 % de sa distorsion de courant. De plus, en raison du matériel supplémentaire requis, ces solutions font partie des techniques les moins efficaces énergétiquement sur le marché. Elles ont constitué, il y a plus de 20 ans, les toutes premières solutions au problème de réduction des harmoniques. Mais en raison de leur taille et de cette exigence d'alimentation parfaitement équilibrée, elles ont tendance à perdre en popularité.

08 Solutions multi-pulses (redresseur 6 pulses, redresseur 12 pulses, redresseur 18 pulses (f.l.t.r.))



### Active Front End

Dans un variateur AFE (Active Front End), le redresseur est constitué de transistors IGBT et non de diodes. Le variateur AFE inclut par ailleurs un filtre LCL (inductance-condensateur-inductance) intégré. Le redresseur à IGBT est régulé de manière à permettre au variateur d'appeler du courant sinusoïdal quasiment pur. Le filtre LCL supprime les parasites haute fréquence créés par la commutation des IGBT. Il est généralement préféré aux filtres LC, moins efficaces. Grâce à la combinaison d'un redresseur IGBT et d'un filtre LCL, les variateurs AFE d'ABB présentent une distorsion de courant entre 3 et 5 %. D'où leur autre nom : variateurs ULH (à très faibles harmoniques).

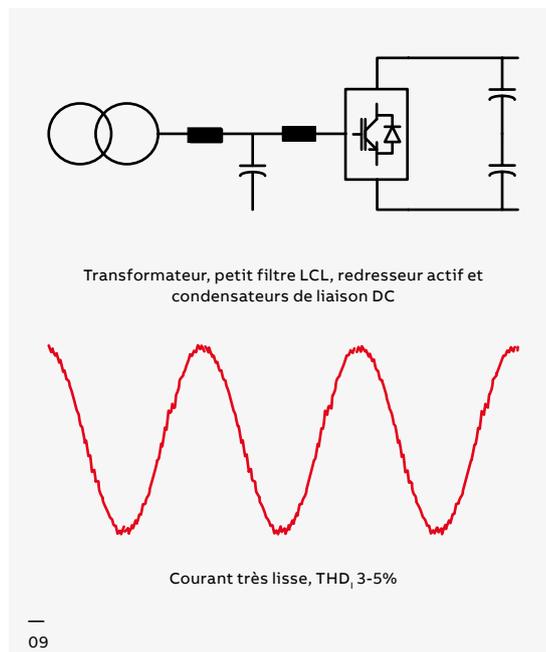
Parmi celles qui permettent d'obtenir une valeur de distorsion inférieure à 5 %, la solution AFE est la plus compacte. Son facteur de puissance est unitaire, ce qui signifie qu'elle utilise le moins de courant réactif possible. Les variateurs AFE enregistrent par ailleurs d'excellentes performances harmoniques en charge partielle. De plus, leur construction en une seule pièce contenant les bornes d'entrée d'alimentation et les bornes de sortie moteur facilite leur installation. En raison du redresseur à IGBT, le variateur AFE est moins sensible aux déséquilibres de tension que toute autre solution de réduction des harmoniques.

### Autres technologies de réduction

Il existe d'autres moyens de réduire les harmoniques, tels que les variateurs à condensateur de bus DC sous-dimensionné et les variateurs à technologie matricielle, mais ABB déconseille leur utilisation. Les variateurs à condensateur de bus DC sous-dimensionné ont été abordés au chapitre sur les variateurs 6 pulses sans bobine de réactance. Nous parlerons brièvement ci-dessous des variateurs à technologie matricielle.

Les variateurs à technologie matricielle sont dotés de neuf IGBT bidirectionnels et dépourvus de condensateurs de bus DC, ce qui signifie que la tension AC d'entrée est convertie directement en tension AC de sortie. Le concept semble prometteur, mais présente d'importantes limitations techniques. Les variateurs à matrice sont ainsi incapables de proposer une pleine puissance de sortie tout en assurant une réduction optimale des harmoniques. Lorsqu'un variateur à technologie matricielle est configuré de manière à offrir une réduction optimale des harmoniques (quasi-équivalente à celle d'un variateur AFE), la tension de sortie est limitée à seulement 87 ou 93 %. La limitation de la tension du moteur pousse ce dernier à appeler plus de courant à pleine vitesse et pleine charge, ce qui entraîne une surchauffe. La tension de sortie peut être configurée de manière à dépasser 87 %, mais au prix d'une hausse de la distorsion de courant. La solution à technologie matricielle propose donc : soit un bon niveau de réduction des harmoniques, soit le contrôle total de la tension de sortie, mais pas les deux simultanément. Cette solution permet habituellement d'obtenir un niveau de distorsion harmonique compris entre 5 et 13 %, selon la configuration.

09 Variateur Active Front End avec filtre LCL





CAROLAN'S

WILSON

ctfi

LINGS GATE MARKET

A. H. COX



# Synthèse

Il est important de veiller à maintenir un niveau d'harmoniques assez bas dans le réseau, car cela n'apportera que des bénéfices sur le long terme. Le  $THD_v$  est le taux de distorsion harmonique totale de la tension et le  $THD_i$  le taux de distorsion harmonique totale du courant. Le  $THD_v$  a l'impact le plus important sur la qualité de l'énergie pour l'utilisateur final, mais le  $THD_i$  permet de comparer facilement les différentes solutions de réduction des harmoniques. Les harmoniques de courant ( $THD_i$ ) créent les harmoniques de tension ( $THD_v$ ). Il est donc normal que dans ce document, nous ayons uniquement comparé les différentes technologies de réduction en nous appuyant sur les harmoniques de courant ( $THD_i$ ). La distorsion harmonique donne naissance à un large éventail de problèmes dans un bâtiment, le principal étant l'échauffement supplémentaire à dissiper. Les appareils étant de plus en plus chauds, ils fonctionnent moins efficacement et sont vulnérables aux pannes prématurées.

Il n'existe pas de solution miracle pour la réduction des harmoniques, mais certaines règles générales peuvent être suivies :

- Dans les projets où les variateurs représentent moins de 30 % de la capacité des transformateurs du bâtiment, il est acceptable d'utiliser uniquement des variateurs 6 pulses avec une impédance de 5 %.
- Dans les projets où les variateurs sont plus nombreux, la solution optimale consistera à faire appel à une combinaison de variateurs 6 pulses avec 5 % d'impédance (pour les plus petits variateurs) et de variateurs AFE (pour les plus grands).

Une analyse harmonique simulée par ordinateur est recommandée pour tout projet présentant un volume considérable de charges non linéaires. Elle permettra d'identifier les niveaux d'harmoniques et de déterminer l'impact des solutions de réduction complémentaire des harmoniques (AFE, etc.). ABB peut vous accompagner en réalisant une analyse harmonique de votre bâtiment ou de votre projet.





—  
Pour plus d'informations  
et les détails de contact :

**[abb.com/drives](http://abb.com/drives)**

**[abb.com/drivespartners](http://abb.com/drivespartners)**

