Comment les variateurs de vitesse influent sur la distribution électrique

Note d'application

Les variateurs de vitesse (ASD) peuvent être à l'origine d'une mauvaise qualité du réseau électrique ou en subir les méfaits.

Les ASD en tant que « charge victime »

Bien que les ASD soient généralement considérés comme coupables d'un courant de mauvaise qualité, ils peuvent également en être la victime parfois.

Transitoires de commutation de condensateur
Les transitoires à haute énergie (à fréquence relativement basse) propres à la commutation des condensateurs du réseau électrique peuvent passer par le transformateur de distribution, les circuits d'alimentation et l'interface de convertisseur de l'entraînement avant d'atteindre directement le bus de liaison en CC où ils déclenchent souvent une surtension. Les diodes d'entrée peuvent également griller en raison de ces transitoires.

Distorsion de tension
Si une distorsion de haute tension se manifeste sous la forme d'un sommet excessivement aplati, elle empêche les condensateurs de liaison en DC de se charger complètement. L'autonomie de l'entraînement est alors réduite. Ainsi, une baisse de tension, qui en temps normal n'aurait pas d'effet sur un entraînement, entraîne son déclenchement en cas de sous-tension.

Une **mise à la terre incorrecte** altère les circuits de commande internes de l'entraînement, pouvant produire des résultats imprévisibles.

Les ASD en tant que « charge coupable »

Un entraînement peut sans aucun doute être la « charge coupable » et avoir un impact majeur sur la qualité du réseau électrique du système. Mais avant d'aborder les problèmes, glissons un mot en faveur des effets positifs des entraînements sur la qualité du réseau électrique. Tout d'abord, ils intègrent des fonctions de démarrage progressif. Cela signifie qu'il n'y aura aucun courant de démarrage ni aucun effet de baisse de tension dans le reste du système. En outre, si l'entraînement est à modulation de largeur d'impulsions, doté d'une interface de convertisseur à diode, le facteur de déplacement de puissance (DPF) est élevé (généralement > 95 % à charge nominale) et plus ou moins constant sur toute la plage de valeurs. Cela veut dire que l'entraînement peut simultanément réduire la consommation d'énergie et corriger le DPF. Cela constitue un autre avantage, car les entraînements et les condensateurs de correction du facteur de puissance ne se combinent pas. Les condensateurs sont vulnérables aux courants harmoniques de fréquence supérieure générés par les entraînements, car leur impédance diminue au fur et à mesure que la fréquence augmente.

Le type d'entraînement a un impact majeur sur les symptômes de qualité réseau électrique du fait des différentes conceptions de convertisseur (les convertisseurs ou les redresseurs convertissent le AC en DC et constituent la première étape de l'entraînement). Il existe deux types principaux de convertisseurs.

Mesures côte secteur sur les ASD

Mesure	Recherchez
Forme d'onde de tension	• Encoches de tension (convertisseurs SCR) • Sommet aplati
Spectre des harmoniques	Rangs et amplitudes des harmoniques avant et après l'application du filtre
Facteur de puissance de déplacement	Pour les entraînements PWM, le DPF doit rester élevé même à faible vitesse (il diminue généralement légèrement)
Déséquilibre de tension	Déséquilibre inférieur aux spécifications du fabricant de l'entraînement ou possible déclenchement de surcharge de courant. La tolérance de l'entraînement au déséquilibre peut être supérieure à celle du moteur.

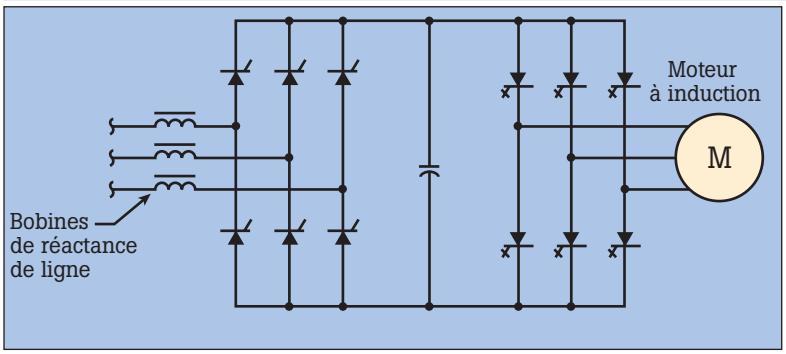

Figure 1. ASD d'onduleur de tension (VSI).

Convertisseur SCR avec entraînements VSI (onduleur de tension) et VVI (onduleur à tension variable)

Les interfaces de convertisseur de ces entraînements à six phases utilisent des SCR (redresseur au silicium). La section qui suit s'applique aux entraînements CSI (onduleur de courant). Les entraînements VSI et CSI étaient généralement appliquées aux entraînements supérieurs à 100 ch. Les convertisseurs SCR commandent la tension de liaison en DC en activant le passage du courant pour une partie de l'onde sinusoïdale appliquée et en le désactivant aux points de passage à zéro. Contrairement aux diodes, les SCR nécessitent des circuits de commande pour l'amorçage de la porte.

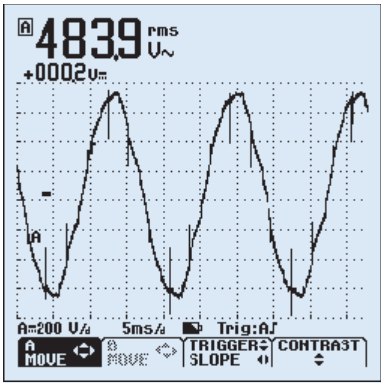

Figure 2. Encoches de tension.

Concernant le convertisseur SCR, trois problèmes majeurs altèrent la qualité du réseau électrique côté secteur :

- Encoches de commutation. La commutation du SCR est telle qu'il se passe de brefs instants où deux phases sont actives simultanément. En fait, cela engendre un court-circuit passager qui provoque généralement une panne de tension secteur. Cela apparaît sous forme d'encoches sur la forme d'onde de la tension. Ces encoches produisent à la fois une distorsion harmonique totale de la tension (THD V) élevée et des transitoires. La solution consiste à placer en série une bobine réactive ou un transformateur d'isolement, ainsi que l'interface de l'entraînement pour résoudre les deux problèmes.
- Le facteur de déplacement de puissance diminue au fur et à mesure que la vitesse de l'entraînement augmente. Ce n'est pas aussi grave qu'il y paraît, car l'alimentation requise de la charge du moteur d'entraînement diminue dans une plus grande proportion.
- Les courants harmoniques, généralement les 5e et 7e, sont générés par des entraînements VSI.

Convertisseur à diode avec entraînements PWM (modulation de largeur d'impulsions)

L'autre type de convertisseur le plus répandu utilise des diodes et est appliqué à l'entraînement PWM. Les diodes ne nécessitent pas de circuit de commande de commutation. Une des principales tendances du secteur a été la prolifération des entraînements PWM, du fait principalement du développement continu des transistors bipolaires à porte isolée (IGBT) performants à commutation rapide qu'on retrouve dans la section d'onduleur de l'entraînement (les onduleurs convertissent le DC en AC).

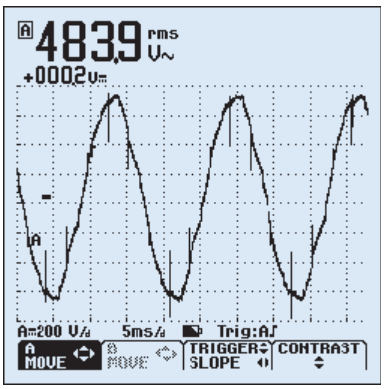

Figure 3. Forme d'onde d'harmonique d'ASD type.

Dans la pratique, les entraînements PWM sont la norme du secteur.

Concernant le convertisseur à diode, les harmoniques sont le principal obstacle à la qualité du réseau électrique. Le rang des harmoniques qui est véritablement généré dépend du nombre de diodes sur l'interface. En ce qui concerne la conversion triphasée, un minimum de six diodes est requis.

Ce convertisseur à six impulsions génère les 5e et 7e harmoniques. Si un convertisseur à 12 impulsions était utilisé, les 11e et 13e harmoniques seraient générés à la place des 5e et 6e. Un autre point très important à considérer est que, pour la même charge, l'amplitude des 11e et 13e harmoniques serait largement inférieure à celle des 5e et 6e. Par conséquent, la THD serait également inférieure. Cependant, la grande majorité des entraînements sont de type PWM à six impulsions, ce qui explique notamment pourquoi le système contient autant de 5e harmoniques.

Solutions aux problèmes d'harmoniques

Il existe plusieurs solutions pour réduire le nombre d'harmoniques générés par l'entraînement :

Filtres d'harmoniques (figure 5)

Il s'agit généralement de réseaux LC connectés en parallèle à la source des harmoniques (c'est-à-dire, à l'entrée de l'entraînement). Ils sont réglés sur une fréquence (280 Hz, généralement) située juste en dessous du 5e harmonique et neutralisent à la fois le 5e harmonique et la plupart du 7e. Bien évidemment, ils doivent être calibrés en fonction de la charge engendrant les harmoniques.

Déphaseurs

Il peut s'agir d'un simple transformateur en triangle-étoile alimentant plusieurs entraînements ou d'un transformateur triangle-triangle alimentant d'autres entraînements. Il existe un décalage de phase de 30 degrés entre ces deux configurations, qui entraîne à coup sûr l'élimination des harmoniques au point commun de raccordement au réseau public en amont le plus proche. Cette élimination est optimale lorsque les deux charges sont plus ou moins égales.

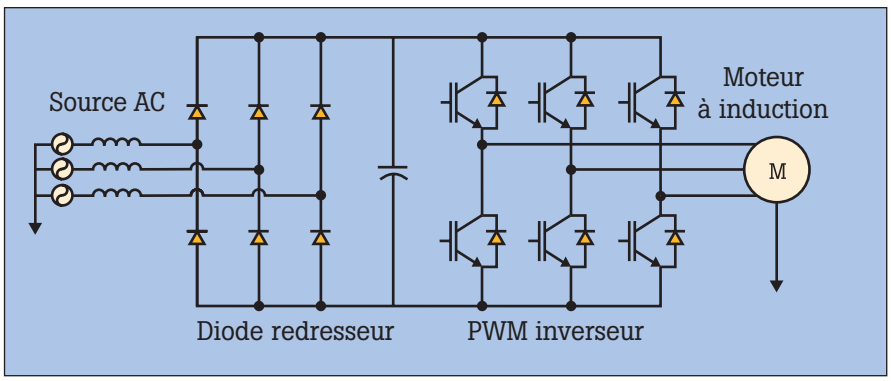

Figure 4. ASD à modulation de largeur d'impulsions.

Convertisseur à 12 impulsions
Si les transformateurs triangle-étoile et triangle-triangle sont utilisés ensemble (primaire en triangle, secondaire en triangle et en étoile) et que chaque secondaire alimente un des deux convertisseurs à six impulsions en parallèle, l'interface à 12 impulsions créée vous fera bénéficier de tous les avantages mentionnés ci-dessus. Des configurations à 18 impulsions sont également disponibles. En raison du surcoût que représente cette solution, elle n'est généralement appliquée que sur les charges de puissance harmonique élevées.

Filtres actifs
Le concept à l'origine de cette nouvelle technologie est séduisant : utiliser l'électronique de puissance pour résoudre les problèmes créés par l'électronique de puissance. Le filtre détecte l'onde sinusoïdale de AC instantané ; il élimine efficacement les harmoniques en générant des harmoniques de polarité identique ou opposée, recréant ainsi l'onde sinusoïdale. Certaines solutions commerciales permettent également de réguler la tension.

Correction du facteur de puissance active
C'est là une autre solution récente destinée aux fabricants souhaitant produire une interface de convertisseur utilisant la technologie de commutation rapide, qui génère une quantité minime d'harmoniques et qui présente un facteur de puissance quasi unitaire (à la fois le facteur de puissance total et le facteur de déplacement de puissance).

La stratégie la plus efficace et la moins coûteuse à adopter dans une situation donnée pour réduire les harmoniques donne lieu à un large débat. Cependant, un point souvent négligé par l'utilisateur final est clarifié dans cette section ; le coût total d'un système à entraînement doit inclure à la fois le coût de l'entraînement et celui de la réduction des harmoniques (qu'elle fasse partie intégrante de l'entraînement ou non).

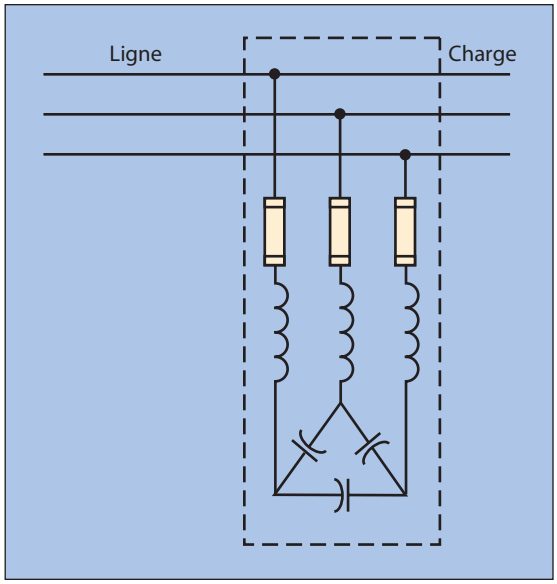

Figure 5. Filtre d'harmoniques.

Pourquoi des valeurs efficaces vraies (TRMS) ?

Les outils de diagnostic à valeurs efficaces vraies (TRMS) sont nécessaires pour mesurer précisément des formes d'onde avec distorsion. Pour obtenir de plus amples informations, consultez la note d'application Fluke *Pourquoi des valeurs efficaces vraies (TRMS) ?* (numéro 1260729).

Comparaison des multimètres à réponse moyenne et à valeur efficace vraie (TRMS)

Forme d'onde	Description	Valeur de multimètre	
		Multimètre numérique à réponse moyenne	Multimètre numérique TRMS
	Onde sinusoïdale	Correcte	Correcte
	Onde carrée (tension au sommet aplati)	10 % haut	Correcte
	Redresseur à diode de courant en monophasé	40 % bas	Correcte
	Redresseur à diode de courant en triphasé	5-30 % bas	Correcte

Résonance du système de distribution électrique

De fortes vibrations peuvent survenir lorsque les harmoniques et les condensateurs sont ensemble.

Est-il possible d'installer des condensateurs de correction du facteur de puissance sans que cela améliore le facteur de puissance, et même le détériore ? Oui, tout à fait et pour mieux comprendre cette énigme, il suffit de faire la distinction entre le facteur de déplacement de puissance (DPF) et le facteur de puissance total (FP). Si vous ne faites pas cette distinction, vos condensateurs peuvent griller et vos investissements ne pas être rentables.

Le facteur de puissance total et le facteur de déplacement de puissance ont un point commun de base : ils sont le rapport entre la puissance active et la puissance apparente, ou entre les watts et les volts-ampères. Le DPF est le concept classique du facteur de puissance. Il peut être considéré comme le facteur de puissance à la fréquence fondamentale. Le facteur de puissance total, ou facteur de puissance (FP), comprend désormais les effets de la fréquence fondamentale et des courants harmoniques (on parle également de facteur de puissance vrai [True PF] ou de facteur de puissance de distorsion ; voir figure 7). En outre, en présence d'harmoniques, le FP est toujours inférieur au DPF et il correspond également à une description plus précise du rendement de la totalité du système que le DPF seul.

Au sens strict, le terme « facteur de puissance » fait référence au facteur de puissance total, mais en pratique il peut également être utilisé pour désigner le DPF. Inutile de dire que ceci introduit une certaine confusion dans les discussions portant sur le facteur de puissance. Il est nécessaire de clarifier de quoi vous parlez.

Facteur de déplacement de puissance

Un DPF inférieur est dû aux charges du moteur, ce qui oblige à recourir à la puissance réactive (volt-ampère réactif ou var). Le système doit avoir la capacité, mesurée en volts-ampères (VA), d'alimenter à la fois les var et les watts. Plus on a besoin de var, plus la demande de VA est grande et plus le DPF est petit. Le coût du var est représenté par une pénalité de facteur de puissance. Les fournisseurs d'électricité facturent souvent des frais supplémentaires lorsque le DPF est en dessous d'un certain niveau ; le chiffre réel est très variable, mais il oscille généralement entre 0,90 et 0,95.

Pour réduire les var dus aux charges du moteur, des condensateurs de correction du facteur de puissance sont installés. La capacité du système en amont, à la fois dans l'usine et chez le fournisseur d'électricité, est délivrée et disponible pour d'autres usages. Voir figure 6.

Voici l'essentiel historique du facteur de puissance : une solution relativement simple à un problème relativement bien connu.

Harmoniques et condensateurs

Les harmoniques ont considérablement influencé notre approche de la correction du facteur de puissance. Les charges de moteur et de condensateur décrites ci-dessus sont toutes linéaires et dans la pratique ne génèrent pas d'harmoniques. D'autre part, les charges non linéaires, telles que les ASD, génèrent des courants harmoniques.

Prenez le cas d'une usine qui installe des variateurs de vitesse sur ses charges de moteur en suivant chaque étape. Les ASD génèrent d'importants courants harmoniques (5e et 7e sur les convertisseurs à six impulsions). Soudain, les fusibles des capuchons de correction de facteur de puissance grillent. Puisqu'il s'agit de condensateurs triphasés, un seul des trois fusibles risque de griller. Vous disposez désormais de courants déséquilibrés, voire de tensions déséquilibrées. L'électricien remplace les fusibles, mais ils grillent de nouveau. Il pose des fusibles plus importants ; ils résistent mais c'est le condensateur qui grille. Il remplace le condensateur et le scénario se répète. Que se passe-t-il ? Les harmoniques sont des courants de fréquence plus élevée. Plus elle est élevée, plus l'impédance du condensateur est faible ($X_C = 1/2\pi fC$). En résumé, le condensateur absorbe les courants harmoniques.

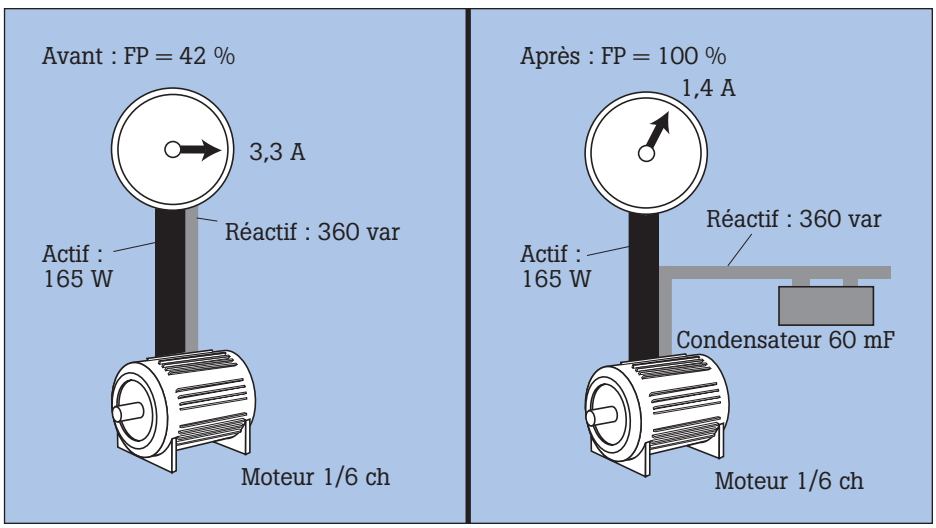

Figure 6. Le condensateur corrige le facteur de déplacement de puissance (DPF).

Résonance du système de distribution électrique

Dans le pire des cas, la réactance inductive (X_L) du transformateur et la réactance capacitive (X_C) du condensateur de correction de facteur de puissance forment un circuit résonant parallèle : $X_L = X_C$ à une fréquence de résonance identique ou proche d'une fréquence harmonique. Les courants harmoniques générés par la charge produisent une oscillation dans le circuit. Les courants circulent alors dans ce circuit mais ils sont plusieurs fois plus élevés que le courant d'excitation. Ce « circuit d'accord » peut gravement endommager l'équipement et également entraîner une baisse du facteur de puissance. L'effet pervers est que cette condition de résonance n'apparaît souvent que lorsque le système est peu chargé, car l'effet d'atténuation de charges résistives est supprimé. Dans le domaine audio, on parlerait de circuit « haute qualité ». Voir figure 8.

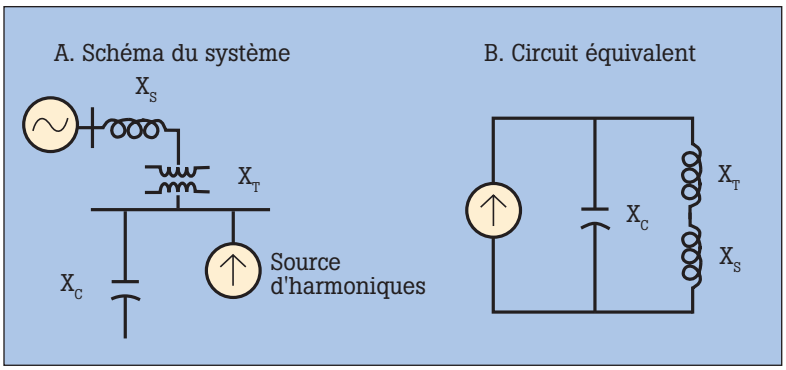

Figure 8. Circuit résonant lorsque XC = (XT + XS)

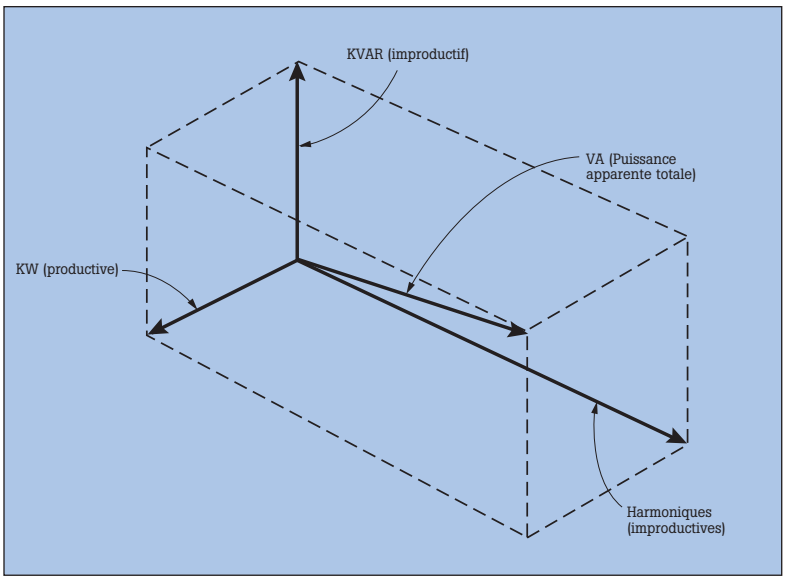

Figure 7. Le facteur de puissance total augmente avec les harmoniques.

Imaginez que vous vous rendez à votre lieu de travail un lundi et que vous découvrez que l'isolation des câbles a fondu. Comment cela a-t-il pu se passer en l'espace d'un week-end où il n'y avait quasiment aucune charge sur le système ? La loi d'Ohm ne s'applique-t-elle plus ? Pas exactement. Votre système d'alimentation a passé le week-end à « faire la java » avec les harmoniques. Tout le monde s'est bien amusé, mais maintenant il faut tout nettoyer.

Tout commence par la réduction des harmoniques

Il faut d'abord mesurer et réduire les harmoniques générées par les entraînements. Dans ce cas, on fait généralement appel aux filtres d'harmoniques. Ces filtres sont installés localement sur le côté secteur de l'entraînement. Leur effet est, par certains points, très semblable au condensateur de correction du facteur de puissance : 1) ils augmentent le DPF ainsi que le FP et 2) ils localisent la circulation des harmoniques posant problème (généralement le 5e). La réduction des harmoniques et la correction traditionnelle du DPF devrait être traitée comme un problème de système. En d'autres termes, occupez-vous du facteur de puissance total, pas seulement du DPF.

Fluke. *Soyez à la pointe du progrès avec Fluke.*

Fluke France S.A.S.
Parc des Nations
383, rue de la Belle Etoile- Bâtiment T3
B.P. 50236 Roissy en France
95956 ROISSY CDG CEDEX
Téléphone: (01) 48 17 37 37
Télécopie: (01) 48 17 37 30
E-mail: info@fr.fluke.nl
Web: www.fluke.fr

N.V. Fluke Belgium S.A.
Langveld Park – Unit 5
P. Basteleusstraat 2-4-6
1600 St. Pieters-Leeuw
Tel.: 02/40 22 100
Fax: 02/40 22 101
E-mail: info@fluke.be
Web: www.fluke.be

Fluke (Switzerland) GmbH
Industrial Division
Hardstrasse 20
CH-8303 Bassersdorf
Tel.: 044 580 75 00
Fax: 044 580 75 01
E-mail: info@ch.fluke.nl
Web: www.fluke.ch

© Copyright 2004 Fluke Corporation. Tous droits réservés. Imprimé aux Pays-Bas 10/2004
Informations modifiables sans préavis.
Pub_ID : 11598-fre