



# Efficacité énergétique

## Transformateurs de distribution

### Une petite amélioration de l'efficacité = un gain énergétique important

Les pertes sur les réseaux électriques diffèrent de façon significative selon les pays dans le monde. Elles peuvent aller de moins de 4 % à plus de 20 %. Il existe une importante marge de progression dans de nombreux- pour ne pas dire tous- pays. **Une des ressources majeures de réduction des pertes sur les réseaux réside dans les transformateurs de distribution.**

Les transformateurs de distribution sont utilisés par les entreprises en charge des réseaux pour abaisser la tension depuis un niveau compris entre 1 et 50 kV – niveau auquel la puissance est transférée localement et fournie à de nombreux consommateurs industriels – à un niveau de tension situé entre 120 V et 1 kV – valeurs usuelles pour les utilisateurs résidentiels et le secteur tertiaire.

**Des économies d'énergie significatives peuvent être réalisées aussi bien sur les transformateurs de distribution dans l'industrie que sur ceux du réseau public.**

Les transformateurs de distribution peuvent sembler posséder de hauts rendements énergétiques en comparaison à d'autres équipements électriques. Ces rendements se situent entre 90 % et 99 %. Toutefois, ils sont opérationnels de façon continue et ont une durée de vie longue, typiquement 30 à 40 ans. Il en résulte qu'**une faible amélioration du rendement peut conduire à une économie d'énergie significative sur la durée de vie totale du transformateur.**

- ◆ **le remplacement par des transformateurs de distribution efficaces énergétiquement peut économiser en Europe 18,5 TWh sur la consommation annuelle électrique (UE 25). Cela correspond à la production annuelle de 3 centrales nucléaires (1 000 MW).**
- ◆ **ces pertes représentent un coût de fonctionnement, pour les utilisateurs résidentiels et industriels, de 1 milliard d'€ ainsi que 7 millions de t/an d'émissions de CO<sub>2</sub>eq.**
- ◆ **dans la plupart des cas, le coût de cycle de vie des transformateurs de distribution s'avère attractif.**



# Comment les pertes énergétiques Peuvent être minimisées

## Les pertes énergétiques dans les transformateurs de distribution

Un transformateur de distribution est constitué d'un noyau de fer, avec une colonne pour chacune des phases (voir l'illustration). Deux enroulements sont situés autour de chaque colonne : l'un possédant un nombre de tours élevé et raccordé côté haute tension, l'autre à nombre de tours bas et raccordé côté basse tension.



Les pertes sont à classer en trois catégories différentes :

- ❖ **Les pertes à vide** : elles sont provoquées par le phénomène d'hystérésis et les courants de Foucault dans le noyau du transformateur. Il s'agit de pertes constantes présentes dès que le transformateur est raccordé. Sur le réseau global de distribution européen, les pertes à vide représentent 70 % de la totalité des pertes.
- ❖ **Les pertes en charge** : elles sont dues aux pertes Joule dans les enroulements et les câbles, ainsi qu'aux courants de Foucault dans la carcasse métallique et les enroulements.
- ❖ **Les pertes de refroidissement** : certains transformateurs nécessitent un refroidissement par ventilation – ce qui conduit à une consommation énergétique supplémentaire. Plus les pertes intrinsèques de l'équipement sont importantes, plus le besoin de refroidissement est élevé et plus l'énergie consommée par le ventilateur est importante. Les pertes de refroidissement sont relativement faibles comparées aux pertes à vide et en charge.

## Plusieurs solutions techniques éprouvées existent pour améliorer le rendement énergétique d'un transformateur de distribution :

- ◇ Les pertes à vide peuvent être réduites en améliorant la conception, le mode d'assemblage et le choix des matériaux constitutifs du noyau.
- ◇ Les pertes en charge sont proportionnelles au carré du courant de charge. Elles peuvent être réduites en augmentant la section des enroulements.
- ◇ La consommation d'énergie de refroidissement peut être diminuée en minimisant les autres types de pertes énergétiques.

La combinaison de ces techniques conduit à la réalisation d'un transformateur de distribution de la meilleure technologie disponible, qui aura – dans la majorité des cas – le plus bas Coût de Cycle de Vie (CCV).

## Transformateurs à noyau amorphe (TAM)

Un transformateur à noyau amorphe (TAM) utilise des tôles en alliage métallique amorphe pour le circuit magnétique. Cela permet de fabriquer des transformateurs à très faibles pertes à vide (jusqu'à 70 % de moins que les types conventionnels). Du fait de la structure flexible du noyau, la puissance des transformateurs à noyau amorphe est limitée habituellement à 10 MVA. Les transformateurs à noyau amorphe sont 5 à 20 % plus lourds que les transformateurs conventionnels de même puissance.

## Les harmoniques de courant augmentent les pertes

L'efficacité énergétique d'un transformateur est également influencée négativement par les harmoniques de courant. Ces harmoniques consistent en des distorsions qui sont inhérentes à la puissance électrique du réseau, même si les opérateurs de réseaux cherchent à les réduire le plus possible. Sur le réseau global de distribution européen, les harmoniques de courant sont à l'origine d'environ 10 % de pertes supplémentaires dans les transformateurs de distribution : (source : projet SEEDT). De plus, les harmoniques de courant réduisent le temps de vie du transformateur.

## Les catégories de rendement pour les transformateurs

Les deux principaux types de transformateurs de distribution sont les transformateurs immergés dans l'huile et les transformateurs à refroidissement par air. La norme européenne EN 50464-1 distingue,

pour les transformateurs immergés dans l'huile, différentes catégories de pertes. Les rendements résultant s'étalent entre 96 % et 99 %. Malgré cela, le rendement fonctionnel moyen des transformateurs de distribution dans l'UE des 27 est resté fixé à 93,38 % (source : projet SEEDT).

Les transformateurs à refroidissement par air (également appelés transformateurs secs) sont utilisés dans des endroits à haut risque d'incendie ou dans des conditions de travail spécifiques. Ils ont, en général, un rendement énergétique plus faible, mais peuvent atteindre des rendements plus élevés lors qu'ils sont conçus sur mesure.

## Cycle de vie long et fonctionnement en continu

Les transformateurs de distribution ont un cycle de vie de 30 à 40 ans et fonctionnent de façon continue. De ce fait, une légère différence de rendement peut conduire à des économies significatives.

Cependant, dans de nombreuses sociétés et entreprises, les budgets d'investissements sont distincts des budgets de fonctionnement. Les décisions d'achat sont ainsi souvent prises uniquement en fonction du prix de vente sans prise en compte du coût total de possession (CTP). Ce mode de décision peut avoir ensuite des impacts négatifs pendant des décennies.

## Coût total de possession (CTP), gestion d'actifs, réduction des émissions

Typiquement, les coûts fonctionnels représentent 30 à 70 % du CTP des transformateurs de distribution. La durée de retour sur investissement des transformateurs à haut rendement est relativement courte, souvent inférieure à deux ans. Le taux de rentabilité interne (TRI) sur les transformateurs à haute efficacité est systématiquement supérieur à 10 % et peut atteindre parfois 70 %. Au-delà des considérations sur le CTP, l'amélioration du rendement des transformateurs de distribution comporte des bénéfices environnementaux et entraîne une diminution des émissions (de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et SO<sub>x</sub>).

## Le projet Endesa Effitrafo démontre la rentabilité

Dans le cadre du projet Effitrafo, l'opérateur de réseau Endesa (Espagne) a remplacé des transformateurs satisfaisant uniquement aux normes nationales par des transformateurs à rendement élevé. Les pertes énergétiques ont été réduites entre 50 et 80 %, avec un retour sur investissement des nouveaux transformateurs compris entre seulement 1 et 2 ans. Pour chaque transformateur de 400 kVa de leur réseau, le gain énergétique annuel, qui a résulté de cette opération, est de 5,5 MWh, ce qui représente 30 machines à laver en fonctionnement permanent sur une année.



### **L'ECl et les transformateurs de distribution à haut rendement**

En 2005, l'Institut Européen du Cuivre (ECI) a publié un document sur les avantages des transformateurs à haut rendement, à l'intention des décideurs politique de l'UE. Ce document est basé sur un travail de collecte, d'analyse et de synthèse de plusieurs années.

L'ECl participe également au SEEDT, un projet s'inscrivant dans le cadre du programme de « Intelligent Energy » de l'Union Européenne. Le SEEDT construit le business case pour le développement et la diffusion des transformateurs de distribution à haut rendement ; l'ECl travaille sur le projet SEEDT en collaboration avec le NTUA (Grèce), le Wuppertal Institute (Allemagne), et ENDESA (Espagne).

Depuis 2006, le programme Leonardo ENERGY, dirigé par l'ECl, rend compte des derniers développements sur les normes concernant le rendement des transformateurs, les avancées réglementaires et la technologie.

## **Comment promouvoir Les transformateurs efficaces énergétiquement**

Sur la base des réalités du marché, au cours des 10 dernières années, afin de pouvoir s'assurer que tous les bénéfices attendus tant sur le plan économique qu'environnemental de la mise en œuvre des transformateurs à haut rendement seront atteints, l'ECl souligne qu'une nouvelle réglementation est nécessaire. A cet effet, les étapes suivantes sont recommandées :

#### **◆ Etablir des normes de performance énergétiques minimales (NPEM) :**

Des NPEM peuvent supprimer progressivement les niveaux de rendements énergétiques les plus bas. Un nivellement international peut aider à définir de façon adéquate ces niveaux. Des normes minimales strictes et renforcées stimuleront les fabricants innovants et garantiront des profits liés à des investissements de R&D passés et actuels.

#### **◆ Un projet volontaire pour des niveaux de rendement**

Un tel projet doit être intégré dans le contexte d'un plus large programme d'économie d'énergie.

#### ◆ Promouvoir le Coût du Cycle de Vie (CCV)

La promotion du CCV en tant que pratique d'achat d'équipements servira indirectement les transformateurs de distribution efficace énergétiquement puisque ces derniers ont, dans la plupart des cas, le CCV le plus bas.

Les opérateurs de réseau électrique sont souvent soumis à un cadre réglementaire qui empêche - au lieu de permettre des initiatives - d'investir dans des équipements à bas CCV mais à coût d'achat initial élevé. Il est nécessaire de mettre en place des schémas réglementaires qui favorisent les équipements à bas CCV.

Afin que "penser en terme de cycle de vie" devienne une pratique généralisée dans les entreprises privées, il faut l'intégrer dans les exigences de la certification GESA (Gestion Eco et Schéma d'Audit). Les pratiques CCV seront alors vérifiées lors de la certification MESA. De façon analogue, la future norme ISO 50001 pour la Gestion de l'Energie doit également comprendre un chapitre sur les pratiques CCV.

## Avantages environnemental, économique et géopolitique

Une implantation généralisée des meilleures technologies disponibles pour les transformateurs de distribution permettrait à l'UE d'économiser 18,5 TWh par an en consommation électrique. Cela représente une capacité de production de 4 000 MW, équivalents à :

- ◆ 3 centrales nucléaires (1 000 MW)
- ◆ 11 tranches de centrales à combustible fossile (350 MW)
- ◆ un tiers de la capacité totale de production, en 2007, d'énergie éolienne dans l'UE (56 531 MW avec un coefficient de production moyen de 0,21 %)

Les avantages pour l'UE sont environnementaux, économiques et géopolitiques :

- ◆ une réduction de 7 millions de tonnes par an en émission de CO<sub>2</sub>eq
- ◆ des réductions significatives d'émissions de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et de poussières
- ◆ une réduction de 4,5 milliards d'€ des capitaux investis pour de nouvelles possibilités de production
- ◆ une économie annuelle de 1 milliard d'€ pour les coûts de fonctionnement
- ◆ une dépendance réduite pour les importations de combustible fossile

**Si vous désirez recevoir notre rapport ECI sur les Transformateurs de Distribution à Haut Rendement , merci de contacter Roman Targosz, Project Manager Electricité et Energie.**

**[www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org)**