

## Dimensionnement de transformateurs 1,6 MVA industriel à haut rendement

**Juillet 2006**

Par Hans de Keulenaer<sup>1</sup>  
Email : [hdk@eurocopper.org](mailto:hdk@eurocopper.org)

Cet éco-profil a été rédigé par Leonardo ENERGY<sup>2</sup> dans le cadre du projet « Efficacité et éco-conception », dont le but est de démontrer et de quantifier les bénéfices environnementaux liés à l'utilisation d'équipements électriques à haut rendement.

### 1. Description produit et applications types

L'étude suivante promeut l'accroissement du rendement des transformateurs 1,6 MVA à refroidissement à huile (20kV/690V) en se basant sur des considérations environnementales. Ces transformateurs sont généralement utilisés dans l'industrie pour permettre l'achat de l'électricité à des niveaux haute ou moyenne tension et une distribution sur site après transformation à des niveaux basse tension.

Les transformateurs industriels sont en règle générale plus chargés que les transformateurs des réseaux de distribution. En conséquence, les considérations suivantes s'appuient sur l'exemple d'une charge moyenne de 50 %.

Trois designs différents ont été comparés :

- transformateur de classe de pertes AA' selon la norme CENELEC HD428
- transformateur de classe de pertes CC' selon la norme CENELEC HD428
- transformateur à noyau de fer amorphe de classe de pertes C selon la norme CENELEC HD428

---

<sup>1</sup> ECI

<sup>2</sup> Leonardo Energy est la dénomination du programme portant sur l'électricité et la gestion de l'énergie à l'ECI

## 2. Objectif de l'ACV (Analyse du Cycle de Vie)

Les grandeurs de référence pour l'ACV sont la phase de production, la phase d'utilisation de l'ACV et la phase de recyclage pour trois transformateurs d'une puissance de 1,6 MVA de dimensionnement différent.

Toutes les données ACV proviennent de la base de données GaBi4 [GABI]. La modélisation ainsi que le choix des données, et notamment l'aspect qualité des données, ont été réalisés, dans la mesure du possible, conformément à la norme ISO 14040.

### 2.1 Fabrication

La phase de fabrication prend en compte les quantités de matériaux suivantes pour les trois dimensionnements possibles (voir tableau 1) [THERMIE 1999] :

Matériaux (kg)	AA'	CC'	C-Amorphe
Cuivre	505	725	1 225
Acier électrique	1 100	1 200	1 550
Acier mécanique	850	725	887
Huile	850	725	887

Tableau 1 : quantité de matériaux pour les trois designs du transformateur

### 2.2 Phase d'utilisation

Pour la phase d'utilisation, le type de production européen a été pris en compte (UE 15). Seules les pertes magnétiques sont considérées comme ayant un impact environnemental dans la phase d'utilisation, à partir des paramètres suivants<sup>3</sup> :

Paramètres	AA'	CC'	C-Amorphe
Dimensionnement (MVA)	1,6	1,6	1,6
Durée de vie (années)	30	30	30
Charge (%)	50	50	50
Pertes en charge (kW)	17	14	14
Pertes à vide (kW)	2,6	1,7	0,42
Nombre d'heures de fonctionnement	8 760	8 760	8 760

Tableau 2 : profils d'utilisation pour les trois types de transformateurs

<sup>3</sup> L'énergie électrique fournie côté basse tension est considérée comme l'énergie utile et doit être prise en compte dans les considérations environnementales d'une utilisation électrique finale. Elle n'est pas prise en compte dans les considérations environnementales du transformateur du système de distribution électrique.

## 2.3 Fin de vie

La fin de vie est définie comme le rapport de la quantité de matériaux démantelée à des fins de recyclage [kg], à la quantité de matériaux broyée à des fins de recyclage [kg].  
Les tonnages de matériaux recyclés sont comptés comme des crédits environnementaux.

## 3. Résultats des simulations

### 3.1 Inventaire

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats obtenus à l'étape de l'inventaire classés par catégories : utilisation des ressources, émissions et déchets :

Paramètres	Unité	AA'	CC'	C-Amorphe
Consommation en énergie primaire	GJ	19 750	15 061	11 439
Pétrole brut (ressources)	tonne	31	24	19
Houille (ressources)	tonne	153	117	89
Lignite (ressource)	tonne	217	165	125
Gaz Naturel (ressource)	tonne	76	57	44
Déchets	kg	295	255	261
Dioxyde de carbone	tonne	897	683	522
Oxydes d'azote	kg	1 796	1 368	1 042
Dioxyde de soufre	kg	3 173	2 416	1 838

**Tableau 3 : résultats des simulations pour trois types de transformateurs**

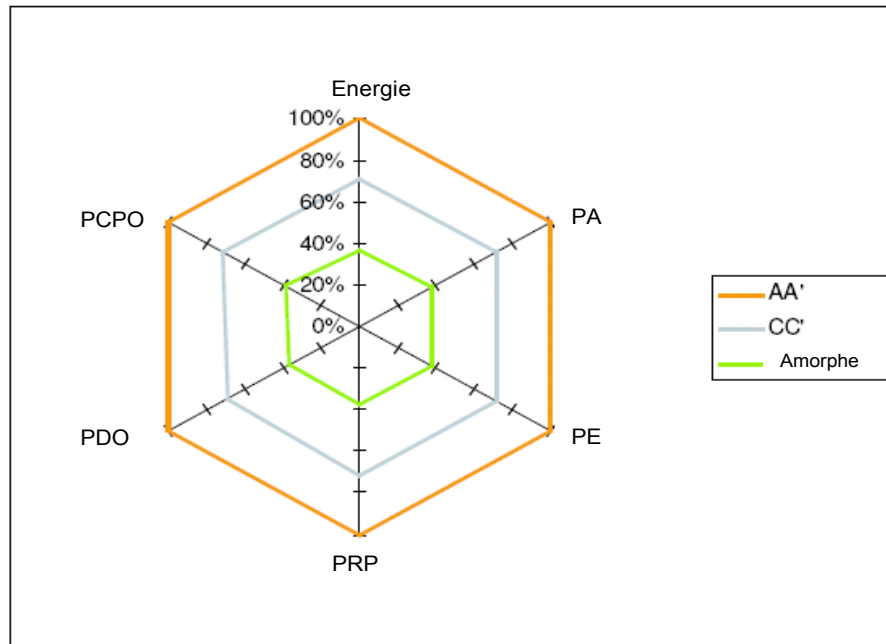
### 3.2 Résultats des impacts environnementaux

Le tableau ci-dessous liste les impacts environnementaux pour le cycle de vie de trois conceptions différentes, selon les cinq principales catégories d'impacts environnementaux :

Catégorie d'impact	Unité	AA'	CC'	C-Amorphe
Potentiel d'acidification	eq kg $SO_2$	4 616	3 517	2 677
Potentiel d'eutrophisation	eq kg phosphate	336	256	195
Potentiel de réchauffement planétaire (100 ans)	eq tonne $CO_2$	947	722	551
Potentiel de dégradation de la couche d'ozone	eq kg R11	0,27	0,20	0,15
Potentiel de création photochimique d'ozone	eq kg éthylène	353	270	207

**Tableau 4 : catégories d'impact (CML 2001) par cycle de vie**

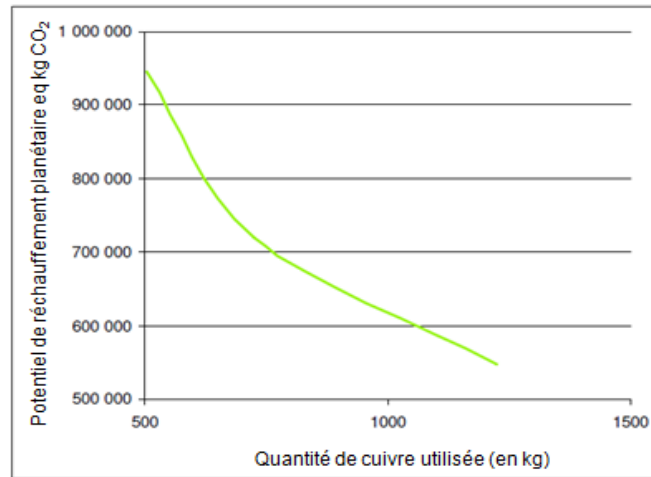
Le tableau fait apparaître que 40 % d'amélioration sur l'impact environnemental est obtenu d'un design à un autre, grâce à la diminution des pertes. Les représentations radiales ci-dessous représentent les grandeurs d'impact sous forme graphique.



**Légende pour le graphique :**

- PA : potentiel d'acidification
- PE : potentiel d'eutrophisation
- PRP : potentiel de réchauffement planétaire (100 ans)
- PDO : potentiel de dégradation de la couche d'ozone
- PCPO : potentiel de création photochimique d'ozone

Le design permettant d'obtenir le plus fort rendement nécessite 40 % de matériaux en plus que le dimensionnement à plus bas rendement. Cet ajout de matériau constitue plus qu'un simple décalage lors de l'utilisation. La performance environnementale, associée à l'ajout de cuivre pour améliorer le rendement, peut être calculée en mettant en œuvre la méthode de calcul '1' telle que décrite dans le document [PE Europe, 2005]. Chaque kg de cuivre ajouté permet de réduire de plus de 500 kg les émissions de CO<sub>2</sub> en phase de production (pour les applications électriques) [Cuivre, 2006]), le gain environnemental en retour est multiplié par un facteur 100. De plus, en fin de vie, le cuivre peut être entièrement recyclé pour une autre utilisation.



## 4. Conclusions

L'accroissement du rendement des transformateurs industriels apporte des bénéfices environnementaux significatifs. Un transformateur à haut rendement 1,6 MVA, chargé à 50 % de charge, permet une économie d'environ 400 tonnes d'émission de CO<sub>2</sub>eq sur une durée de vie de 30 ans. Le gain environnemental lié à l'ajout de matériau est multiplié par un facteur 100.

## 5. Références

[Cuivre, 2006] ECI, informations à jour concernant les cycles de vie sur le site internet du centre d'information du cuivre [www.copper-life-cycle.org](http://www.copper-life-cycle.org)

[GABI] les outils et modèles ont été mis à disposition par PE Europe, Hauptstrasse 111-113, D-70771 Leinfelden-Echterdingen (Stuttgart), Allemagne, [www.gabi-software.com](http://www.gabi-software.com)

[THERMIE, 1999] THERMIE STR-1678-98-UK, The Scope for Energy Saving in the EU through the Use of Energy-Efficient Distribution Transformers, December 1999, disponible sur le site internet [www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org)

[PE Europe, 2005] PE Europe, Recommendation Paper, Options for Calculating the Long-Term Sustainability of Copper Use, Novembre 2005, disponible sur le site internet [www.leonardo-energy.org](http://www.leonardo-energy.org)

[Toolbox, 2005] Les informations originales de ce document sont tirées des résultats du rapport GABI4 en référence à l'outil d'éco-conception Toolbox 2005 (pour plus d'informations, contactez Hans de Keulenaer, email [hdk@eurocopper.org](mailto:hdk@eurocopper.org))