



**HAL**  
open science

**De la contribution à l'optimisation des ensembles  
convertisseurs-machines par la minimisation du facteur de  
dimensionnement à La contribution de l'optimisation des  
chaines de conversion d'énergie électromécanique au  
développement de systèmes électriques innovants pour un  
développement soutenable**

Hoang Emmanuel, Eric Labouré, Hamid Ben Ahmed, Adel Razek, Sylvain Allano

► **To cite this version:**

Hoang Emmanuel, Eric Labouré, Hamid Ben Ahmed, Adel Razek, Sylvain Allano. De la contribution à l'optimisation des ensembles convertisseurs-machines par la minimisation du facteur de dimensionnement à La contribution de l'optimisation des chaines de conversion d'énergie électromécanique au développement de systèmes électriques innovants pour un développement soutenable. 2027. <hal-05626808>

**HAL Id: hal-05626808**

**<https://hal.science/hal-05626808v1>**

Preprint submitted on 19 May 2026

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 - Attribution - Non-commercial use - ShareAlike - International License

# De la contribution à l'optimisation des ensembles convertisseurs-machines par la minimisation du facteur de dimensionnement

à

## La contribution de l'optimisation des chaînes de conversion d'énergie électromécanique au développement de systèmes électriques innovants pour un développement soutenable

Liste provisoire : Emmanuel Hoang (1, 2), Eric Labouré (3), Hamid Ben Ahmed (4, 5), Adel Razek (3), Sylvain Allano (6)

1 SATIE - Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie

2 ENS Paris Saclay - Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay

3 GeePs - Laboratoire Génie électrique et électronique de Paris

4 ENS Rennes - École normale supérieure - Rennes

5 IETR - Institut d'Électronique et des Technologies du numéRique

6 FLYING WHALES

« *Mais ce qu'il y a de sublime, justement, c'est que c'est un mystère - ici le visage terrestre et la vie éternelle se sont rejoints.* »

Page 459 du livre "Les frères Karamazov", de Fiodor Dostoïevski, traduit par Sophie Benech, éditions Zulma.

<https://www.zulma.fr/livre/les-freres-karamazov/>

“*Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow.*” Albert Einstein.

## 1 Objectif : SGE 2027 (<https://sge2027.sciencesconf.org/>)

La rédaction, en mode collaboratif de cet article scientifique, qui est plutôt une sorte de "carte de visite" permettant de montrer la cohérence de nos actions de recherche, d'innovation et d'enseignement depuis plus de 40 ans sur le thème de « **l'optimisation des ensembles convertisseurs-machines** », devrait nous permettre de faire une présentation orale lors du septième symposium de génie électrique, organisé par l'Institut FEMTO-ST, qui aura lieu à Belfort du mercredi 7 juillet 2027 au vendredi 9 juillet 2027.

## 2 Liste provisoire des participant-es

**La participation** à la rédaction de ce document **est libre** et la publication du prénom et du nom est fait **après accord** avec la personne concernée.

Emmanuel Hoang, Eric Labouré, Adel Razek, Sylvain Allano, Hugo Milan, Pierre-Etienne Lévy, Morgan Almanza, Jean-Pierre Barbot, Hamid Ben Ahmed, à suivre ...

### 3 Préambule

Bernard Multon, avec sa thèse de troisième cycle<sup>1</sup>, soutenue le 2 juillet 1985 à l'Ecole normale supérieure de Cachan, est l'un des précurseurs<sup>2</sup> dans la conceptualisation de « l'**optimisation des ensembles convertisseurs-machines** » utilisant la « minimisation du facteur de dimensionnement » [1] à [4] et [22].

Cette notion de minimisation du facteur de dimensionnement est aussi utilisée pour l'optimisation des convertisseurs d'électronique de puissance [5].

Avec le concept CTAF [6] et [49], nous pensons que la valeur minimale théorique du facteur de dimensionnement d'un ensemble convertisseur-machine peut être atteinte.

L'association de cette notion et de ce concept nous amène vers des propositions d'ensembles convertisseurs-machines optimales sur des points de vue scientifiques et techniques ainsi que sur des points de vue « économiques » et « environnementaux ».

Surtout, nous allons montrer en nous appuyant sur des articles écrits ces 40 dernières années que l'**optimisation des ensembles convertisseurs-machines** a été et reste un fil conducteur de certains de nos travaux de recherche en lien avec les besoins sociétaux pour un développement soutenable et qu'elle est un « horizon » pour de nouvelles applications.

Cela nous conduit à élargir nos réflexions à l'ensemble de la **chaîne de conversion d'énergie électromécanique (CCEE)** et nous vous invitons à regarder les références bibliographiques qui ne sont que des exemples de contributions scientifiques.

### 4 Qu'est-ce que le facteur de dimensionnement ?

Extrait (pages 3 et 4) de l'article [3] : *En électrotechnique classique (charges linéaires alimentées en sinusoïdal), le facteur de dimensionnement est classiquement défini par :*

$$\delta_c = \frac{v_{\text{eff}} i_{\text{eff}}}{P} = \frac{1}{\cos \Phi}$$

Où  $V_{\text{eff}}$  et  $i_{\text{eff}}$  sont les valeurs efficaces des tensions et des courants ;  $P$  est la puissance active et  $\cos \phi$  est le facteur de puissance.

*Dans les systèmes alimentés par des convertisseurs statiques, les tensions et les courants ne sont plus sinusoïdaux. Ce facteur de dimensionnement n'est plus très significatif. Un convertisseur statique est normalement dimensionné par le nombre de composants semiconducteurs, le dimensionnement de chaque composant, la*

---

<sup>1</sup> Des extraits sont reproduits en fin de ce document après les références bibliographiques.

<sup>2</sup> Pour d'autres références, voir par exemple la « BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE 2 », pages 176 à 178 de la HdR [1]

complexité des circuits auxiliaires et des circuits de commande, etc. Pour une structure donnée, nous voulons minimiser les contraintes sur les composants semiconducteurs du convertisseur.

On peut donc définir un nouveau facteur de dimensionnement  $\delta$  par analogie avec  $\delta_c$  en remplaçant les valeurs efficaces par les valeurs crêtes qui caractérisent la plupart de composants semiconducteurs (transistors, GTO, ...).

$$\delta = \frac{v_{\max} i_{\max}}{P}$$

Le facteur de dimensionnement ainsi défini se détermine entièrement à partir des formes d'onde de tension et de courant de la machine. Une comparaison des différentes structures de convertisseur doit aussi prendre en compte le nombre de composants dans le convertisseur.

Page 49 de la thèse [5], il y a écrit : « L'idée principale qui se cache bien souvent derrière ces structures concerne l'augmentation ou l'optimisation du niveau d'utilisation des composants actifs (**facteur de dimensionnement  $F_d$**  aussi faible que possible). »

Extrait (page 4) de l'article [4] :

We define the "Sizing factor"  $f_d$  of a converter by :

$$f_d = \frac{n \cdot U_M \cdot I_M}{P} \quad 3.1$$

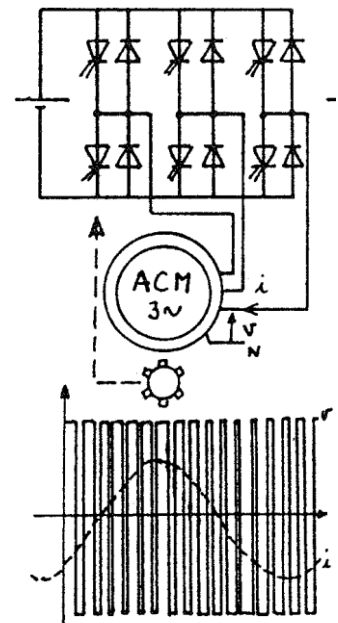
where :  $n$  is the number of power switches (including the freewheeling diodes)

$U_M$  and  $I_M$  are the maximum voltage and

current;

$P$  is the electric power.

Pour plus d'informations voir la HdR[1].



A.C. motor drive  $S_1$

$$f_d = \frac{8}{\cos\phi}$$

Dans [22] :

## Analyse des possibilités de fonctionnement en régime de désexcitation des moteurs à aimants permanents

Bernard Multon, Jean Lucidarme et Laurent Prévond

LÉSIR, École Normale Supérieure de Cachan, URA CNRS D1375, 61 Avenue du Pdt Wilson, 94235 Cachan Cedex, France

(Reçu le 30 novembre 1994, accepté le 30 janvier 1995)

**Résumé.** — Cet article traite de l'extension de la plage de vitesse des moteurs (ou alternateurs) à excitation par aimants permanents et alimentés par convertisseur électronique. La tension et le courant sont limités en amplitude par l'alimentation électronique. L'objectif est d'obtenir une puissance proche de celle correspondant au régime de base sur une plage de vitesse étendue. Ceci nécessite une réduction de flux d'entrefer ou "désexcitation" au delà de la vitesse de base. Une analyse paramétrique des caractéristiques du moteur est effectuée pour mettre en évidence l'influence de la réaction d'induit et de la saillance magnétique. Nous montrons qu'il existe une

condition idéale pour obtenir une plage de fonctionnement à puissance constante théoriquement illimitée. La saillance magnétique permet d'accroître le facteur de puissance surtout lorsque  $L_d > L_q$ . Les principales hypothèses de cette étude sont l'absence de saturation, des f.e.m. et des courants sinusoïdaux et une induction spatiale sinusoïdale dans l'entrefer. Enfin, nous effectuons un bilan des structures de rotors permettant un fonctionnement en régime de désexcitation.

### 2. Puissance apparente silicium. Facteur de dimensionnement

Afin de quantifier la puissance installée en semi-conducteurs et, éventuellement, d'effectuer des comparaisons entre systèmes d'entraînements électriques, nous avons, pour le régime de base (couple maximal ou nominal et vitesse de base), défini [9] les notions :

- de "puissance apparente silicium" (V.A Si) :

$$P_{Si} = n \cdot U_{Max} \cdot I_{Max} \quad (2.1)$$

où  $n$  est le nombre total de semi-conducteurs commandés et où  $U_{Max}$  et  $I_{Max}$  sont leurs contraintes maximales en tension et courant ;

- et de **facteur de dimensionnement**

$$f_d = \frac{P_{Si}}{P} \quad (2.2)$$

où  $P$  est la puissance mécanique utile définie par :

$$P = \eta \cdot P_e \quad (2.3)$$

$\eta$  est le rendement du moteur et  $P_e$  est la puissance électrique absorbée par le moteur.

**Même si cette notion est insuffisamment précise,** il faudrait en effet tenir compte des pertes de conduction (combinaison courants efficace et moyen) et de commutation, elle permet une première quantification utile.

Par exemple, le hacheur série (Fig. 1) alimentant un moteur à collecteur conduit à la valeur minimale de  $f_d$  égale à  $1/\eta$  (dans le cas idéal où les ondulations de tension d'alimentation et du courant moteur sont négligeables). Un hacheur 4 quadrants donnerait :

$$f_d = \frac{4}{\eta} \quad (2.4)$$

L'onduleur triphasé qui nous intéresse dans le cas des moteurs à aimants (Fig. 1), avec modulation sinusoïdale du courant conduit à :

$$f_d = \frac{8}{\eta \cdot \cos \varphi} \quad (2.5)$$

où  $\varphi$  est l'angle de déphasage du courant par rapport au fondamental de la tension. Il faut ainsi plus de 8 fois la "quantité" de silicium d'un hacheur série répartie sur 6 composants... Notons que pour un onduleur diphasé à deux ponts complets (8 transistors), le facteur de dimensionnement a la même expression.

Si  $U_{dc}$  est la tension continue d'alimentation de l'onduleur triphasé, l'amplitude maximale de la tension simple fondamentale vaut, si le rapport cyclique maximal de découpage tend vers 1 :

$$V_{1M} = \frac{U_{dc}}{2} \quad (2.6)$$

Si l'on considère la transformation classique, triphasée-diphasée, l'amplitude maximale de la tension fondamentale dans les axes d et q vaut :

$$V_{d,q1M} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{U_{dc}}{2} = 0,61 \cdot U_{dc} \quad (2.7)$$

Notons qu'une commande de type trapèze (*forces électromotrices trapézoïdales* et courants en quasi-crêteaux) conduit dans le cas où le moteur est faiblement inductif (petites dimensions) à une valeur plus faible de  $f_d$  :

$$f_d = \frac{6}{\eta} \quad (2.8)$$

Si l'on prend en compte l'inductance du bobinage,  $f_d$  se dégrade et on peut le réduire en effectuant une avance de l'angle de mise en conduction (on arrive d'ailleurs à une situation où les trois phases, au lieu de deux, sont alimentées en même temps) [15].

En pratique, la tension maximale d'alimentation est limitée par la source continue et le courant crête doit rester inférieur à une valeur maximale. Cette dernière correspond généralement au couple à basse vitesse. Pour maintenir le courant lorsque la vitesse augmente, la f.e.m. ainsi que la tension de réaction d'induit croissent, à partir d'une vitesse dite *vitesse de base*, la tension maximale disponible est juste égale à la somme vectorielle des tensions moteur. En général, c'est à cette vitesse que l'on a atteint la puissance maximale du moteur et c'est pour ce point de fonctionnement que la puissance apparente silicium est définie. Au delà de cette vitesse, si l'on veut convertir une puissance la plus élevée possible (voire constante), il est nécessaire de "désexciter" (ou "défluxer") le moteur pour continuer à injecter un courant suffisant.

## 5 En quoi le concept CTAF permet de minimiser le facteur de dimensionnement

Avec un « poc'up program » de la SATT Paris-Saclay<sup>3</sup> [41] et [42] nous avons pu financer la réalisation d'un banc de tests nous permettant de comparer 2 types de CCEE, l'une triphasée, l'autre fractionnée.

Voici quelques résultats :

MS triphasée du poc'up :  $\cos(\phi) = 0,9$  donc  $F_d = 8,9$

MS fractionnée du poc'up :  $\cos(\phi) = 1$  donc  $F_d = 8$

---

<sup>3</sup> <https://satt-paris-saclay.fr/>

De plus, le concept CTAF est modulaire [50], et compte-tenu de la tension du bus DC (48 V), la technologie des transistors utilisés est telle qu'il n'y a pas de diodes.

Donc le  $F_d$  est divisé par 2 !

CCEE fractionnée - 48 V<sub>DC</sub> - poc'up :  $F_d = 4$

Donc la CCEE fractionnée du poc'up permet d'atteindre une valeur théorique "très basse" du coefficient  $F_d$ , ce qui devrait se traduire par une optimisation certaine du système "convertisseur d'électronique de puissance", tant du point de vue "performances" que du point de vue "coût".

## 6 De la minimisation de $F_d$ à des considérations « technico-économiques »

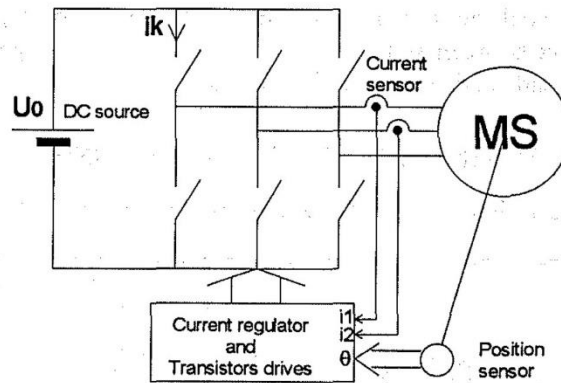
### 6.1 Cos $\phi$

Nous avons pu voir qu'avec le concept CTAF, le « cos  $\phi$  » augmente, ce qui est contradictoire avec la notion de « capacité de défluxage électronique ».

Dans la référence [8], il est écrit : « *La figure 2.8 montre les courbes de puissances maximales obtenues en fonction de la valeur de  $r$  lorsque la chute ohmique est négligeable. On constate qu'une **forte réaction d'induit est favorable à une grande plage de fonctionnement à puissance maximale constante**. Elle a cependant pour inconvénient de conduire à un **plus faible facteur de puissance** à la vitesse de base. Une valeur de  $r$  égale à 1 donne une plage de vitesse infinie mais le facteur de puissance à la vitesse de base vaut 0,707.* »

C'est une des raisons, nous semble-t-il, pour laquelle Bernard Multon a cherché à optimiser les ensembles convertisseurs-machines utilisant des machines sans aimants permanents comme, par exemple, présenté dans l'article [9].

Bernard Multon a travaillé dans l'équipe actionneurs du laboratoire LESiR (maintenant SATIE) sur de nouvelles structures de machines « à concentration de flux » permettant d'utiliser des aimants « ferrite » sans terres rares. Un exemple est décrit dans la référence [10]. Dans les premières lignes de l'introduction de cette référence, il y a écrit : « *In this paper, we present new structures of synchronous **polyphased** machines with **concentrated flux** and permanent magnets. We notice that these structures are the same if we replace the magnets by excitation coils (this case has not been studied).* »



**Fig. 16. Diagram of current regulated - machine drive**

La figure 16 de cette référence, reproduite ci-dessus, a permis de « démocratiser » ce type de machine, car c'est une structure triphasée qui est présentée et qui est bien connue et bien maîtrisée, ce qui est un des éléments de l'optimisation des ensembles convertisseurs-machines.

Il existe d'autres types de machines électriques sans aimants permanents comme les machines synchrones à rotor bobiné [11], les machines asynchrones ou des machines synchrones à double excitation, comme par exemple [12].

## 6.2 Number of power switches (including the freewheeling diodes)

Le concept CTAF permet de réaliser des chaînes de conversion d'énergie électromécanique (CCEE) de fortes puissances tout en maîtrisant la valeur de la tension du bus DC. Ainsi nous avons vu que pour une application 48 V<sub>DC</sub>, la technologie des transistors utilisés est telle qu'il n'y a pas de diodes. Donc le  $F_d$  est divisé par 2 !

La « basse » tension a certains avantages : sécurité d'utilisation, diminution du risque de décharges partielles, maîtrise des systèmes de contrôle des accumulateurs (en anglais « BMS » pour *battery management system*) qui ne sont pas adaptés lorsque les puissances délivrées sont trop importantes.

Il en existe d'autres comme décrits dans [13], où il est question d'une motorisation 48 V<sub>DC</sub> utilisant une machine électrique sans aimants permanents.

Dans [14], il est écrit : « *Thus, the costs of a 48 V balancing system can be reduced clearly in comparison to a HV battery.* » et « *The reduced capacity deviation causes a second advantage: the lifetime of the battery pack is slightly increased.* »

Le défaut d'un seul accumulateur rend la batterie, et donc l'ensemble de la chaîne de traction, hors d'usage (faible résilience aux pannes).

Il est aussi à noter que la très grande partie des éléments « branchés » sur le bus DC sont des éléments électrochimiques (batterie d'accumulateurs, pile à combustible, supercondensateurs et condensateurs) qui sont « plus faciles » d'utilisation en « basse tension ».

## 7 Références bibliographiques

[1] **Conception et alimentation électronique des machines à réluctance variable à double saillance.**

Bernard Multon. Rapport de synthèse de l'habilitation à diriger des recherches, mai 1994.  
Lien HAL : <https://theses.hal.science/tel-00447847v1>

[2] **Optimisation du dimensionnement des alimentations des machines à réluctance variable.** Bernard Multon, Christian Glaize. Revue de Physique Appliquée, 1987.

[https://hal.science/file/index/docid/245549/filename/ajp-rphysap\\_1987\\_22\\_5\\_339\\_0.pdf](https://hal.science/file/index/docid/245549/filename/ajp-rphysap_1987_22_5_339_0.pdf)

[3] **Optimisation de l'alimentation des machines à réluctance variable polyphasées avec inductances mutuelles**

Xiaofeng Tian, Christian Glaize, Revue de Physique Appliquée, 1988.

Lien HAL : <https://hal.science/jpa-00245759v1>

[4] **Size Power Ratio Optimization for the Converters of Switched Reluctance Motors**

Bernard Multon, Christian Glaize, IMACS'TC1, Sep 1990.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-00673830v1>

[5] **Contribution à l'étude des perturbations conduites dans les redresseurs commandés.** Jean-Christophe Crébier, thèse soutenue le 12 mai 1999.

Lien HAL : <https://theses.hal.science/tel-00782571v1>

[6] **Les enjeux du concept CTAF : Chaîne de Traction à Alimentation Fractionnée**

H. B. Ahmed, O. Bethoux, A. Cizeron, E. Hoang, A. Juton, E. Laboure, A. Mercier, E. Monmasson, J. Ojeda, L. Queval, G. Remy.

4ème Symposium de Génie Électrique (SGE 2021), Juillet 2021, Nantes, France.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-03307587v1>

[7] **Design and Experimental Validation of a High-Power-Density GaN-Based Inverter Module for Integrated Modular Motor Drives in All-Electric Aircraft Applications**

Armin Ebrahimian; Seyed Iman Hosseini Sabzevari; Waqar A. Khan; Nathan Weise

IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics (Volume: 13, Issue: 4, August 2025). <https://ieeexplore.ieee.org/document/10978046>

[8] **Les machines synchrones autopilotées**, 1993-2010, Préparation à l'agrégation de Génie Electrique. Bernard Multon.

Lien HAL : [https://cel.hal.science/cel-01249633v1/file/MSAP\\_Multon\\_2010.pdf](https://cel.hal.science/cel-01249633v1/file/MSAP_Multon_2010.pdf)

[9] **Possibilités du moteur à réluctance variable à double saillance pour la motorisation de véhicules électriques. Bilan des essais d'un prototype de 27 kW**

Bernard Multon, François Camus, Emmanuel Hoang, Jean-Yves Le Chenadec , Jean-Claude Mouchoux. Journées Véhicule Électrique C-VELEC, Fev 1995, Grenoble.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-00674018v1>

[10] **Switching flux permanent magnet polyphased synchronous machines**

Emmanuel Hoang, Hamid Ben Ahmed, Jean Lucidarme. EPE 1997.

[https://hal.science/hal-00533004v1/file/hoang\\_EPE97.pdf](https://hal.science/hal-00533004v1/file/hoang_EPE97.pdf)

[11] <https://www.enercon.de/en/wind-turbines/technology>

Dans lequel il y a écrit : "Your wind turbine employs either high-yield permanent magnet generator (PMG) technology or the **well-proven**, electrically excited version of the synchronous generator, depending on the turbine type."

[12] **A new structure of a switching flux synchronous polyphased machine with hybrid excitation.** Emmanuel Hoang, Michel Lécivain, Mohamed Gabsi. EPE 2007.  
Lien HAL : <https://hal.science/hal-00532995v1>

[13] **Comparison of 48V Rare-earth-free Reluctance Traction Motor drives for Mild Hybrid Powertrain.** J. Bao, K. Boynov, J.J.H. Paulides, K. Wjinands and E.A. Lomonova  
[https://www.researchgate.net/publication/311898159\\_Comparison\\_of\\_48V\\_Rare-Earth-Free\\_Reluctance\\_Traction\\_Motor\\_Drives\\_for\\_Mild\\_Hybrid\\_Powertrain](https://www.researchgate.net/publication/311898159_Comparison_of_48V_Rare-Earth-Free_Reluctance_Traction_Motor_Drives_for_Mild_Hybrid_Powertrain)

[14] **48V traction: Innovative drive topology and battery**  
Andreas Baumgardt; Florian Bachheibl; Adrian Patzak; Dieter Gerling  
2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). DOI: [10.1109/PEDES.2016.7914544](https://doi.org/10.1109/PEDES.2016.7914544)

[15] **Improved Output Power Capability of Hybrid Excited Flux-Switching DC-Alternators: Analysis and Experiments**  
Benjamin Gaussens, Emmanuel Hoang, Philippe Manfe, Michel Lecrivain, Mohamed Gabsi. 2012 IEEE International Conference on Industrial Technology  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Improved-output-power-capability-of-Hybrid-Excited-Gaussens-Hoang/6319d76b3c62acc460563d8b38ede257cac94ef>

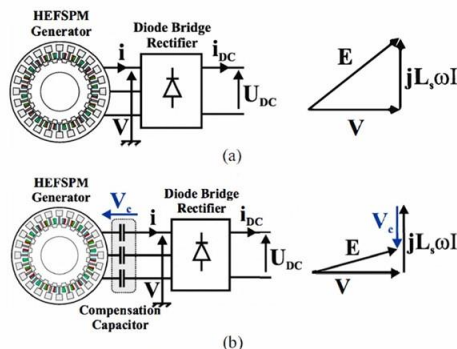


Fig. 7: Association of the HEFSPM Generator with the Diode Bridge Rectifier without (a) and with (b) serially connected capacitors

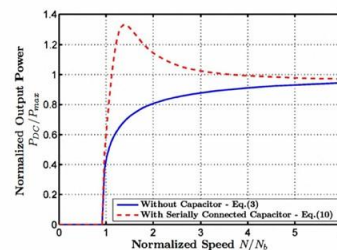


Fig. 8: Influence of the compensation technique on the power capability of the DC-Alternator: Normalized Output Power in function with Normalized Speed

[16] **Efficiency-optimal power partitioning for improved partial load efficiency of electric drives.** Olivier Béthoux, Eric Labouré, Ghislain Rémy, Eric Berthelot  
Electric Power Systems Research, January 2017 (Volume 142, Pages 176-189)  
Lien HAL : <https://hal.science/hal-01385052v1/document>

[17] **MEPT (Maximum Efficiency Point Tracking) pour une chaîne de traction d'un véhicule électrique.** Emmanuel Hoang, Michel Lecrivain, Mohamed Gabsi  
Symposium de Génie Electrique, Juin 2016, Grenoble, France.  
Lien HAL : <https://hal.science/hal-01361719v1>

[18] **Unequal Power-Sharing Capacity Assessment of an Energy Router Based on a Dual Three-Phase Electric Machine**  
Yiyu Lai, Antoine Cizeron, Adrien Voldoire, Javier Ojeda, Olivier Béthoux  
Revue IEEE Transactions on Energy Conversion, august 2025  
Lien HAL : <https://hal.science/hal-05205500v1>

**[19] New framework for parallel interconnection of buck converters: Application to optimal current-sharing with constraints and unknown load**

Jean-François Trégouët , Romain Delpoux

Control Engineering Practice, 2019, 87, pp.59-75.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967066119300292>

**[20] Environmental Impact of Modular Power Electronics Systems Considering Diagnostic-Driven Unit Replacement**

Briac Baudais, Hamid Ben Ahmed, Gurvan Jodin, Nicolas Degrenne, Stéphane Lefebvre,

Lien HAL : <https://hal.science/hal-04607579>

**[21] Etat de l'art des aérogénérateurs**

Bernard Multon, Olivier Gergaud, Hamid Ben Ahmed, Xavier Roboam, Stéphan Astier, Brayima Dakyo, Cristian Nikita

L'électronique de puissance vecteur d'optimisation pour les énergies renouvelables, Ed. NOVELECT - ECRIN, ISBN 2-912154-8-1, pp.97-154, 2002.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-00674088v1>

**[22] Modélisation d'une chaîne de conversion éolienne de petite puissance**

Olivier Gergaud, Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed

Electrotechnique du Futur, Nov 2001, NANCY, France. pp.17-22.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-00674086/>

**[23] Analyse des possibilités de fonctionnement en régime de désexcitation des moteurs à aimants permanents**

Bernard Multon, Jean Lucidarme, Laurent Prévond

Journal de Physique III, 1995, 5 (5), pp.623-640.

Lien HAL : <https://hal.science/jpa-00249335v1>

**[24] Machines synchrones - Fonctionnement en régime autopiloté**

Hamid Ben Ahmed, Nicolas Bernard, Gilles Feld, Bernard Multon

Techniques de l'ingénieur D3524 v1

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/differents-types-de-machines-electriques-tournantes-42249210/machines-synchrones-d3524/>

**[25] Design Methodology for a SEAREV Wave Energy Converter**

Marie Ruellan, Hamid Ben Ahmed, Bernard Multon, Christophe Josset, Aurélien Babarit, Alain H. Clément. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2010, 25 (3), pp.760-767.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-00528937v1>

**[26] Energy storage sizing for wind power: impact of the autocorrelation of day-ahead forecast errors**

Pierre Haessig, Bernard Multon, H. Bn Ahmed, Stéphane Lascaud, Pascal Bondon

Wind Energy, 2015, 18 (1), pp.43-57.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-00863901v1>

**[27] Contribution à la définition des enjeux et verrous de la soutenabilité en électronique de puissance**

Adrien Voldoire, Guillaume Vine, Luiz Fernando Lavado Villa, Paul-Etienne Vidal, Ulrich Soupremanien, Florentin Salomez, Boubakr Rahmani, Tanguy Phulpin, Pierre Lefranc, Lionel Laudebat, Marina Labalette, Pierre-Olivier Jeannin, Hugo Helbling, Suzanne

Guillou, Vincent Grennerat, Murielle Fayolle-Lecocq, Laurent Dupont, Jean-Christophe Crébier, Antoine Cizeron, Elise Chaumat, Daniel Chatroux, Hamid Ben-Ahmed, Morgan Almanza. Symposium de Génie Electrique (SGE 2025), Jul 2025, Toulouse, France.  
Lien HAL : <https://hal.science/hal-05284240v1>

[28] **Multi-agent control in modular motor drives.** Doctoral dissertation submitted to obtain the academic degree of Doctor of Electromechanical Engineering.  
Lynn Verkroost. <https://biblio.ugent.be/publication/01J1ZM3WJ1RD73CJYR4WQH3ZW>

[29] **Distributed MPC for Cost-Optimal Control of FC-Battery Shipboard Microgrids**  
Timon Kopka, Andrea Coraddu, Henk Polinder  
[https://www.researchgate.net/publication/395433087\\_Distributed\\_MPC\\_for\\_Cost-Optimal\\_Control\\_of\\_FC-Battery\\_Shipboard\\_Microgrids](https://www.researchgate.net/publication/395433087_Distributed_MPC_for_Cost-Optimal_Control_of_FC-Battery_Shipboard_Microgrids)

[30] **Génératrice Synchronique à Aimants multi-étoile pour améliorer le facteur de charge d'une hydrolienne.** Franck SCUILLER, SGE 2016  
Lien HAL : [https://hal.science/hal-01361604/file/SGE\\_ArticleSoumis.pdf](https://hal.science/hal-01361604/file/SGE_ArticleSoumis.pdf)

[31] **Emerging Electric Machines and Drives for Wind Power Generation (Invited)**  
Zhiping Dong; Rundong Huang; Yuxin Liu; Guoqiang Zhao; Chunhua Liu  
**DOI:** [10.1109/TMAG.2025.3540932](https://doi.org/10.1109/TMAG.2025.3540932)

[32] **Control of Offshore DFIG-based Wind Farm Grid with Line-Commutated HVDC Connection**  
Serhiy Bozhko, Ramon Blasko-Gimenez, Risheng Li, John C. Clare, Greg M. Asher  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4105995>

[33] **Digital Twins for Modern Power Electronics: An investigation into the enabling technologies and applications**  
Hao Bai; Johannes Kuprat; Caio Osório; Chen Liu; Marco Liserre; Fei Gao  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10666932>

[34] **Éléments d'éco-conception en génie électrique**  
Hamid Ben Ahmed, Gurvan Jodin, Briac Baudais  
<https://sti.eduscol.education.fr/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/17248/17248-elements-deco-conception-en-genie-electrique-ensps.pdf>

[35] **Applicability of Solid-State Transformers in Today's and Future Distribution Grids.** Jonas E. Huber, Johann W. Kolar  
[https://www.ams-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx\\_ethpublications/11\\_Applicability-of-solid-state-transformers\\_Huber\\_IEEE-Author-Gateway-Version\\_01.pdf](https://www.ams-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx_ethpublications/11_Applicability-of-solid-state-transformers_Huber_IEEE-Author-Gateway-Version_01.pdf)

Extraits : “ *Traction applications are the most prominent example of applications where weight and space for the isolation stage are constrained. This has led to several companies pursuing the development of single-phase (AC-DC) SSTs for traction applications ...*”

“*Other applications where weight and space for an isolation stage might be limited comprise the nacelles of wind turbines [17], [56], or even flying wind turbines [58], future navy warships [59] as well as future civilian ships such as cruise liners [60], [61], where local MVAC and/or MVDC grids will be employed for on-board power distribution.*”

[36] **Solid-State Transformers. Key Design Challenges, Applicability, and Future Concepts.** Johann W. Kolar, Jonas E. Huber

[https://www.ams-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx\\_ethpublications/apec\\_2016\\_sst\\_tutorial\\_FINAL-1.pdf](https://www.ams-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx_ethpublications/apec_2016_sst_tutorial_FINAL-1.pdf)

[37] **Next-Generation SiC/GaN Three-Phase Variable-Speed Drive Inverter Concepts**  
Johann W. Kolar & Jonas E. Huber

[https://www.ams-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx\\_ethpublications/11\\_PCIM\\_2021\\_Keynote\\_final\\_as\\_presented\\_040521.pdf](https://www.ams-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx_ethpublications/11_PCIM_2021_Keynote_final_as_presented_040521.pdf)

[38] **Experimental comparison of lamination material. Case of switching flux synchronous machine with hybrid excitation**

Emmanuel Hoang, Sami Hlioui, Michel Lecrivain, Mohamed Gabsi  
EPE 2009, Sep 2009, Barcelona, Spain.

Lien HAL : <https://hal.science/hal-00533013v1>

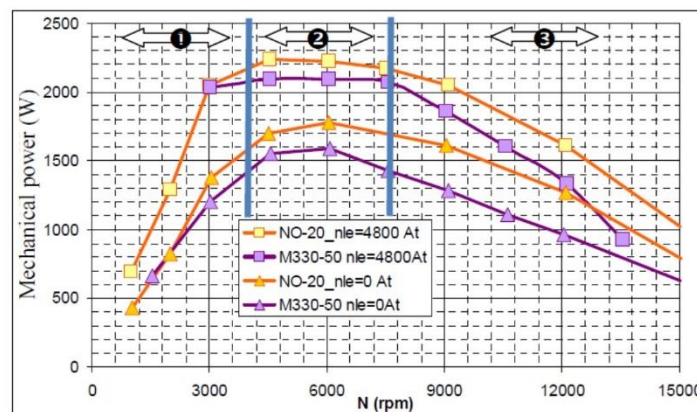


Fig. 10: Mechanical power for two different excitation levels

[39] **Etude d'une Suspension Magnétique Active Pour Turbocompresseur**

Composition d'automatique et d'informatique industrielle

Concours de recrutement des professeurs agrégés, section génie électrique, 2005.

[https://sitelec.org/download\\_page.php?filename=sujets/sujet\\_ext\\_automatique\\_2005.pdf](https://sitelec.org/download_page.php?filename=sujets/sujet_ext_automatique_2005.pdf)

[40] **Contribution à la modélisation de paliers magnétiques actifs auto-détecteurs**

Baptiste Chareyron. Thèse soutenue en novembre 2015

<https://theses.hal.science/tel-01756202/>

[41] **Le projet CTAF – Vitrine technologique de la SATT Paris-Saclay**

<https://satt-paris-saclay.fr/vitrine-technologique/ctaf-2/>

[42] **Le projet CTAF – Interview de la SATT Paris-Saclay**

[https://satt-paris-saclay.fr/wp-content/uploads/2025/12/INTERVIEW\\_ADRIEN-EMMANUEL\\_PROJET-CTAF.pdf](https://satt-paris-saclay.fr/wp-content/uploads/2025/12/INTERVIEW_ADRIEN-EMMANUEL_PROJET-CTAF.pdf)

[43] **Design and comparison of different flux-switch synchronous machines for an aircraft oil breather application**

Yacine Amara, Emmanuel Hoang, Mohamed Gabsi, Michel Lecrivain, Sylvain Allano

European Transactions on Electrical Power, November 2005

<https://doi.org/10.1002/etep.85>

[44] **Petits moteurs électriques**

Sylvain Allano. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique D 3 720

<https://cadxfem.org/pim/PetitsMoteursElectriques.pdf>

[45] **Étude de machines à réluctance variable poly-entrefers alimentées à moyenne fréquence.** Sylvain Allano, Thèse d'état 1987. <https://theses.fr/1987PA066083>

[46] **Des procédés de conversion électro-magnéto-mécaniques non-conventionnels aux systèmes mécatroniques : Conception - Modélisation - Optimisation**

Hamid Ben Ahmed

Rapport de synthèse de l'habilitation à diriger des recherches, juin 2006.

[https://theses.hal.science/tel-00458961/file/HDR-BEN\\_AHMED\\_JUIN2006.pdf](https://theses.hal.science/tel-00458961/file/HDR-BEN_AHMED_JUIN2006.pdf)

[47] **Optimisation énergétique de chaînes de traction électrifiées**

Francis Roy, thèse soutenue en juin 2015

<https://theses.hal.science/tel-01195732/>

[48] **Contribution à l'Etude et à l'Optimisation d'une Machine Synchrone à Double Excitation pour Véhicules Hybrides**

Abdeljalil Daanoune, thèse soutenue en février 2013

<https://theses.hal.science/tel-00785862/>

[49] **Electric Traction Chain with Segmented Power Supply**

Hamid Ben Ahmed, Olivier Bethoux, Antoine Cizeron, Emmanuel Hoang, Anthony Juton, Eric Labouré, Adrien Mercier, Eric Monmasson, Javier Ojeda, Loïc Quéval, Ghislain Remy 23rd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'21 ECCE Europe), Sep 2021, Ghent (Online), Belgium.

<https://hal.science/hal-03354594v1>

Lien vers une [vidéo](#)

[50] **Intégration et modularité des chaînes de conversion électromécaniques**

Javier Ojeda, Antoine Cizeron, Olivier Béthoux

La Revue de l'électricité et de l'électronique, 2022, 2, pp.15-19.

<https://see.asso.fr/produit/ree-2022-2/>

<https://hal.science/hal-04189957v1>

[51] **Optimisation du dimensionnement d'une chaîne de conversion électrique directe incluant un système de lissage de production par supercondensateurs : application au houlogénérateur SEAREV**

Thèse de Judicaël Aubry soutenue e 3 Novembre 2011

<https://theses.hal.science/tel-00662488v1/file/Aubry2011.pdf>

[52] **Les convertisseurs électromécaniques d'énergie : des systèmes mécatroniques**

Bernard Multon, Jean-Yves Cognard, Hamid Ben Ahmed, Nicolas Bernard, Pierre-Emmanuel Cavarec, Olivier Gergaud, Corentin Kerzreho, Dominique Miller, Sylvie Turri

<https://hal.science/hal-00674673v1>

ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN



THE  
MUL

THESE présentée

pour l'obtention

du

DIPLOME DE DOCTEUR de 3<sup>ème</sup> CYCLE

à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

- Paris 6 -

spécialité: SCIENCES PHYSIQUES

mention: ELECTROTECHNIQUE

par. Bernard MULTON

sujet de la thèse:

CONTRIBUTION A L'OPIMISATION DES  
ENSEMBLES CONVERTISSEUR-MACHINE A RELUCTANCE VARIABLE  
MINIMISATION DU FACTEUR DE DIMENSIONNEMENT

1985

soutenu le 2 juillet 1982 devant la commission composée de:

M.RIOUX Christian

M.FAUCHER Jean

M.GLAIZE Christian

M.GOELDEL Clément

Président

examineur

rapporteur

examineur

LESIR

Laboratoire Electricité Signaux Robotique  
Ecole Normale Supérieure  
L. av. du Président Wilson  
93000 Cachan

Téléphone (1) 47 40 31 12

Télécopie 750228 F

Fax 47 40 34

Je remercie Monsieur RIOUX, Professeur à l'Université de PARIS VI, d'avoir accepté de diriger mon travail de recherche et de me faire l'honneur d'être Président du Jury de ma thèse.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur SOL, Professeur à l'E.N.S.E.T. et Directeur du Laboratoire d'Electrotechnique, de Signaux et de Robotique, de m'avoir accueilli en m'ayant fait bénéficier de bonnes conditions de travail et, de m'avoir accordé sa confiance.

Que soient remerciés Monsieur FAUCHER, Maître Assistant à l'E.N.S.E.I.I.H.T. et Monsieur GOELDEL, Professeur à l'Université de REIMS, d'avoir accepté d'être membres du Jury.

Je remercie vivement Monsieur GLAIZE, Maître Assistant à l'E.N.S.E.T., de m'avoir encadré au cours de ce travail de recherche en me faisant bénéficier de ses bons conseils tout en me laissant suffisamment d'initiative et, enfin, d'être rapporteur de cette thèse.

Que soient remerciés, Monsieur LOUIS, Professeur à l'E.N.S.E.T., pour ses précieux conseils ainsi que pour son aide matérielle, Monsieur TIAN pour sa collaboration et son sens du travail de groupe, Messieurs ALLANO, DESESQUELLES, FOREST, LUCIDARME et enfin, l'équipe du centre de calcul d'ORSAY qui, par leur disponibilité, m'ont permis de progresser dans ma recherche.

Que Mesdames D. BOULET et G. DESESQUELLES, Messieurs M. BRUNELLO, J.M. DESAGULIER, P. FERROLI, D. MACE et R. MAILHE ainsi que l'équipe du service reprographie de l'E.N.S.E.T., soient assurés de mes remerciements les plus sincères pour leur aide technique et leur participation à la constitution de ce mémoire.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon épouse pour l'aide et la patience qu'elle m'a accordées pendant la durée de ce travail.

ne à  
sité  
orts  
e de  
nt à  
et,  
aux

s de  
nous  
ion.  
dèle

**CHAPITRE II**  
**FACTEURS DE DIMENSIONNEMENT DES CONVERTISSEURS**  
**PRELIMINAIRES ET OPTIMISATION DE FORMES DE COURANT**

## II.1 Définitions des facteurs de dimensionnement des convertisseurs

### II.1.1 Nécessité - Définitions générales

En électrotechnique, on dispose essentiellement de deux sources d'énergie électrique : une tension sinusoïdale à fréquence industrielle ( 50Hz, 60Hz, 16Hz<sup>2/3</sup>, 400Hz...), ou une tension continue délivrée par des accumulateurs chimiques ou des génératrices. Pour leur fonctionnement à vitesse et couple variables, ne serait-ce que pour la variation en amplitude du courant ou de la tension, il est intéressant de modifier les caractéristiques de cette énergie. On est alors amené à utiliser des convertisseurs.

A l'exception des cycloconvertisseurs, gradateurs et redresseurs qui transforment directement la tension sinusoïdale, on convertit l'énergie à partir d'une source de tension ou de courant continu dont on dispose d'emblée ou que l'on réalise à l'aide d'un redresseur. Suivant les types de machines (à courant continu à collecteur, synchrones, asynchrones, à réluctance variable), les besoins sont différents ; les structures de convertisseurs sont appelées hacheurs, onduleurs, commutateurs... elles modifient les formes d'onde de tension ou de courant de la source pour les adapter à la machine.

En fonction de sa charge, la machine demande à son convertisseur une certaine puissance transmise par des ondes de tension et de courant, en général, ni continues ni sinusoïdales. Leurs valeurs maximales et efficaces sont des contraintes pour les composants semi-conducteurs. On peut alors parler de puissance de dimensionnement du convertisseur en Volt-Ampère (V.A.), celle-ci est toujours supérieure ou égale à la puissance active convertie électriquement.

En électrotechnique classique, on parle de "cos  $\varphi$ " lorsque la tension et le courant sont sinusoïdaux. On définit ainsi le facteur de dimensionnement :

$$\delta = \frac{S}{P} \quad \text{II.1.1.1}$$

où  $S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$  est la puissance apparente  
 $P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cos \varphi$  est la puissance active.

alors dans ce cas particulier :

$$\delta = \frac{1}{\cos \varphi} \quad \text{II.1.1.2}$$

$\delta \geq 1$ , lorsque le récepteur n'est pas purement résistif, il absorbe ou fournit une puissance réactive ; celle-ci est responsable d'une augmentation du courant efficace et donc des échauffements par effet Joule.

Lorsque l'une des deux grandeurs, tension ou courant, n'est pas sinusoïdale, on parle de facteur de puissance  $f_p$ , c'est l'inverse du facteur de dimensionnement  $\delta$ .

$$f_p = \frac{P}{S} \quad \text{II.1.1.3}$$

où

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt$$

Par exemple, dans les montages redresseurs-onduleurs [28] fonctionnant en commutation naturelle sur le réseau, ce même facteur est utilisé pour dimensionner la ligne ou l'éventuel transformateur d'alimentation. Ici, les courants sont non sinusoïdaux et par conséquent, leurs harmoniques de rang supérieur à 1 ne fournissent pas de puissance active. C'est aussi le cas de la bobine à noyau de fer saturée et alimentée sous tension sinusoïdale.

Les convertisseurs de puissance travaillent en courant et tension non sinusoïdaux, et ils ne peuvent pas, par conséquent, être dimensionnés par le facteur de puissance tel qu'il a été défini. C. GLAIZE [12] a introduit deux nouveaux rapports définis par analogie avec le facteur de dimensionnement  $\delta$  :

$$\delta' = \frac{U_M I_{\text{eff}}}{P} \quad \text{II.1.1.4}$$

$$\delta'' = \frac{U_M I_M}{P} \quad \text{II.1.1.5}$$

où  $U_M$  est la tension maximale aux bornes d'une phase de la machine et  $I_{\text{eff}}$ ,  $I_M$  sont les courants efficace et maximal traversant cette phase.

En outre, ces rapports pourront s'appliquer au régime sinusoïdal qui ne sera qu'un cas particulier. Alors, dans ce cas,

$$\delta' = \frac{\sqrt{2}}{\cos\varphi} \quad \text{et} \quad \delta'' = \frac{2}{\cos\varphi}$$

Le facteur  $\delta'$  s'utilisera pour dimensionner les convertisseurs à thyristors ou à diodes, fonctionnant en commutation assistée (machine synchrone par exemple). Le thyristor, comme la diode d'ailleurs, est dimensionné en fonction de la tension maximale blocable et du courant efficace qui le traverse lorsqu'il est passant. Il supporte, en effet, des surintensités élevées par rapport à l'intensité efficace nominale (de l'ordre de dix fois pendant 10ms). Ceci est applicable aux thyristors asymétriques utilisés, avec une diode en antiparallèle, dans des structures à résonance par exemple [29]. Ce facteur est aussi représentatif du dimensionnement en fer (ou ferrite) et en cuivre d'un transformateur fonctionnant à fréquence et à forme de tension définies, la tension maximale correspondant alors à l'induction maximale et le courant efficace aux pertes Joule.

Le facteur  $\delta''$  s'utilisera pour dimensionner des convertisseurs à commutation forcée où les composants sont blocables par nature ou par des circuits auxiliaires. Dans les deux cas, le courant maximal est une contrainte. Les composants blocables sont : d'une part, les transistors bipolaire [30] et MOS [33]- qui doivent impérativement fonctionner à l'intérieur de leur aire de sécurité limitée en partie par une tension maximale et par un courant maximal- d'autre part, le thyristor blocable par la gachette (thyristor GTO) [31,32] qui ne peut commuter, dans des conditions acceptables, qu'avec un courant maximal peu supérieur à son courant efficace nominal. En ce qui concerne les convertisseurs à thyristors à commutation forcée, les circuits auxiliaires d'extinction sont définis par un certain pouvoir de coupure, imposant une limite en courant maximal.

On remarquera que ces facteurs de dimensionnement ne prennent pas en compte les structures de convertisseurs. Ils sont tout à fait généraux et se calculent à partir des équations de la machine alimentée en tension ou en courant imposé.

Pour la comparaison de différentes structures et en vue d'effectuer un choix, nous introduisons la notion de facteur de dimensionnement global  $\delta_g^{(i)}$  (notation générale pour  $\delta$  ou  $\delta'$  ou  $\delta''$ ). Nous prenons en compte le nombre

$n_c$  d'interrupteurs commandés, qui dépendra de la structure (tension ou courant unidirectionnel ou bidirectionnel).

$$\delta_g^{(i)} = n_c k^{(i)} \delta^{(i)} \quad \text{II.1.1.6}$$

où  $k^{(i)}$  est un coefficient éventuellement différent de 1, faisant intervenir, la complexité du convertisseur, dans le cas de l'utilisation de condensateurs de commutation par exemple, ou le couplage électrique des phases de la machine (voir § III.2.1). Toutefois, pour effectuer l'optimisation générale, nous étudierons les facteurs de dimensionnement  $\delta'$  et  $\delta''$  tels qu'ils ont été définis ci-dessus. Le courant  $I$  et la tension  $U$  sont les grandeurs électriques de la machine alimentée. Nous supposons qu'elles se retrouvent sur les composants du convertisseur. Nous utiliserons le facteur de dimensionnement global au § III.3 dans une étude comparative des structures de convertisseur.

### II.1.2 Définitions en régime excité

Nous avons traité au chapitre I.3, des deux principaux modes d'alimentation : non excité et excité. Le second mode nécessite, soit des aimants permanents, soit un bobinage d'excitation alimenté par un second convertisseur dit, lui aussi, d'excitation. Dans ce cas le premier convertisseur est dit d'alimentation. L'excitation, par définition, ne transfère pas d'énergie, la puissance consommée correspond aux pertes Joule.

L'alimentation de l'induit nécessite, premièrement, un étage à courant continu comprenant un redresseur éventuellement réversible dans deux ou quatre quadrants ainsi qu'un filtre, deuxièmement le convertisseur d'alimentation de la machine pour lequel on cherche à minimiser le dimensionnement (le dimensionnement de la partie à courant continu n'étant pas affecté par les formes d'onde de la machine, dans l'hypothèse d'un filtrage parfait). L'excitation nécessite normalement une source plus simple. Cette source ne comprend qu'un seul étage de conversion : un redresseur commandé ou non, ou éventuellement un hacheur. De plus, la puissance installée sera normalement faible devant celle de l'alimentation. Pour ces raisons, C.GLAIZE, a introduit [12] un coefficient  $\alpha$  pondérateur du coût des ampères-tours d'excitation par rapport au coût de ceux d'alimentation. En régime excité, on calculera  $\delta'$  et  $\delta''$  à partir d'ampères-tours équivalents de la manière suivante :



Reproduction de la couverture de la revue générale de l'électricité de septembre 1989. La couverture est la reproduction d'une partie de "la fée électricité", peinte par Raoul Dufy (voir informations complémentaires sur la page suivante).

**La Fée Électricité** est une peinture de Raoul Dufy. (source : Wikipédia, l'encyclopédie libre)

« Mettre en valeur le rôle de l'électricité dans la vie nationale et dégager notamment le rôle social de premier plan joué par la lumière électrique », tel était l'objectif de la commande passée à Dufy par la Compagnie parisienne de distribution d'électricité.

Commencée en avril 1936 et terminée en 1937, Raoul Dufy réalise, pour le Pavillon de l'Électricité de l'Exposition Internationale, la plus grande peinture existant au monde sur un support indépendant : *La Fée Électricité* d'une superficie de 624 m<sup>2</sup>. La peinture est formée de 250 panneaux de contreplaqué de 2 m de hauteur sur 1,20 m de largeur, sur lesquels il peint avec une peinture à l'huile très légère, conçue par le chimiste Jacques Maroger, donnant une illusion de gouache et séchant très rapidement. Les personnages sont dessinés à l'encre de chine puis les couleurs sont replacées par-dessus. Ce tableau avec ses 624 m<sup>2</sup> a longtemps été le plus grand tableau du monde mais a été détrôné depuis.

Les deux-tiers du temps prévu pour la peinture est consacré à la documentation sur les hommes et les machines. L'atelier est installé dans une ancienne centrale électrique de Saint-Ouen et l'équipe est formée par le peintre, son frère et deux autres assistants.

Les personnages, au nombre de 110, sont répartis en deux foules de savants, d'Aristote à Pierre Curie, dont les travaux sont associés à l'essor de l'électricité. Le motif central représente les Dieux de l'Olympe trônant au-dessus de l'ultramoderne centrale électrique de Vitry-sur-Seine, dont Raoul Dufy avait rapporté de nombreux documents. Le registre supérieur se déroule à la façon d'un panorama (se lisant de droite à gauche). On peut y voir de nombreuses scènes de moisson, de navigation, d'industrie...

En 1954, EDF en fait don à la ville de Paris. Elle est aujourd'hui visible dans une salle dédiée du Musée d'art moderne de la ville de Paris.



Ancien bâtiment de la Compagnie parisienne de distribution d'électricité situé dans le X<sup>ème</sup> arrondissement de Paris.