

Philippe DEGOBERT



FORMALISME POUR LA COMMANDE DES
MACHINES ELECTRIQUES ALIMENTEES
PAR CONVERTISSEURS STATIQUES

APPLICATION A LA COMMANDE NUMERIQUE
D'UN ENSEMBLE
MACHINE ASYNCHRONE - COMMUTATEUR DE COURANT

50376
1007
FH

2
1

INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet portant sur "*un Arbre lent asynchrone*" initialisé en collaboration avec la société Autinor - Logilift.

ANALYSE DU PROBLEME

Deux Champs d'investigation :

- *Augmenter le nombre de pôles d'une machine asynchrone alimentée par un onduleur de tension,*
- *Réflexion sur le type d'alimentation à mettre en oeuvre pour la variation en basse vitesse d'une machine plus classique.*

REPONSE AU PROBLEME

Deux solutions explorées :

- *Réalisation d'une machine asynchrone 64 pôles alimentée par un onduleur de tension,*
- *Mise en oeuvre d'un commutateur de courant pour alimenter par des ondes continues une machine plus classique.*

INTRODUCTION

Objectifs de cette étude :

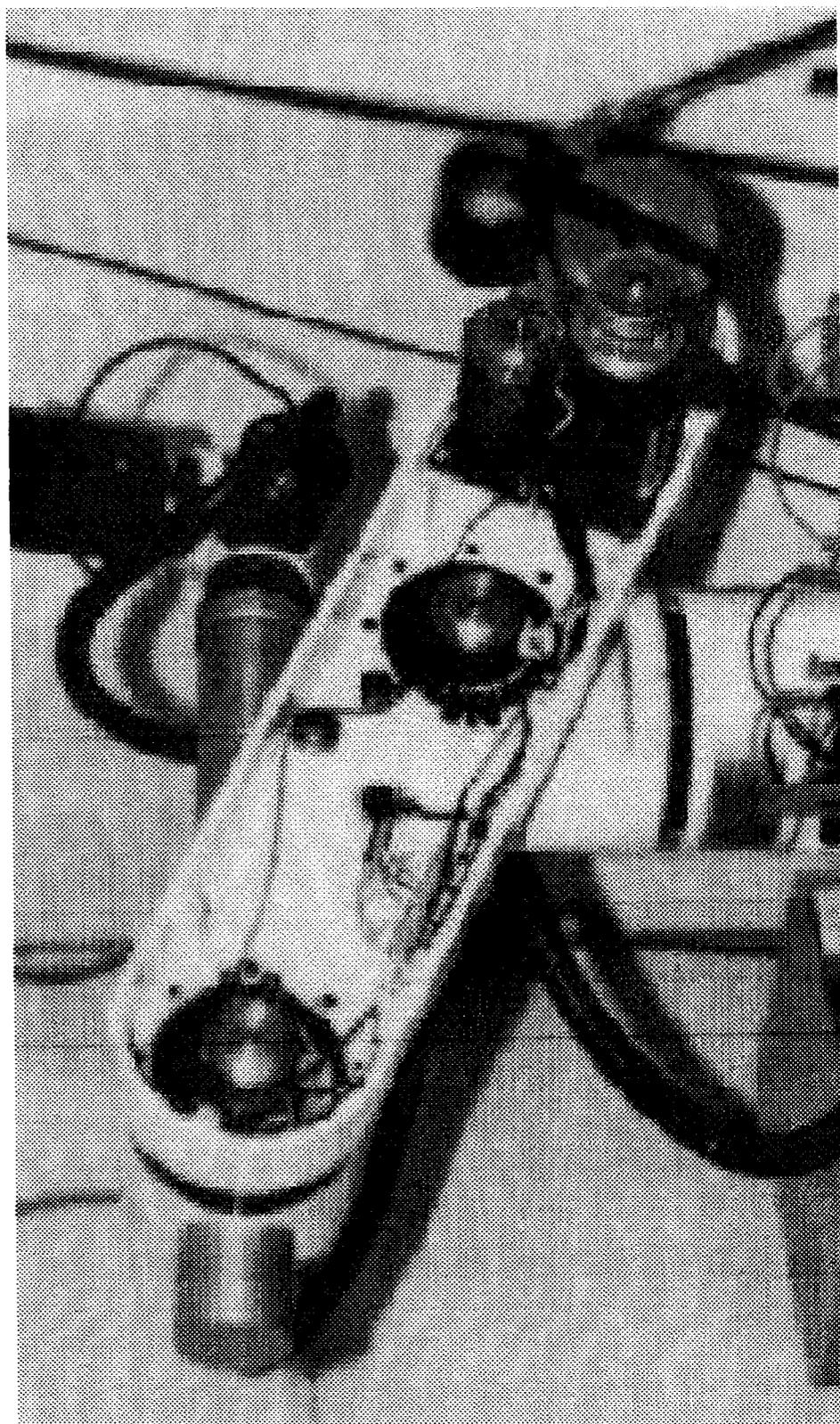
- Développement d'un formalisme de modélisation en vue de la Commande des machines tournantes électriques (*aspect scientifique et pédagogique*),
- Réflexion sur le type d'alimentation à mettre en oeuvre pour la variation de vitesse (*respect de l'environnement et sûreté de fonctionnement*).

PLAN DE L'EXPOSE

Deux Parties distinctes :

- Théorique : *Sur la Conversion Statique associée à la Conversion Electromécanique*
- Applicative : *Sur la Commande numérique de la machine asynchrone alimentée par un commutateur de courant.*

*LA CONVERSION
ELECTROMECHANIQUE*



OBJECTIF DE CETTE ETUDE

Développer un formalisme de modélisation en vue de la Commande des machines tournantes électriques (*aspect scientifique et pédagogique*).

LA CONVERSION ELECTROMECHANIQUE

Vue sous deux aspects :

- Modélisation de l'Actionneur de référence (*machine à courant continu*),
- Généralisation du modèle aux machines synchrones et asynchrones.

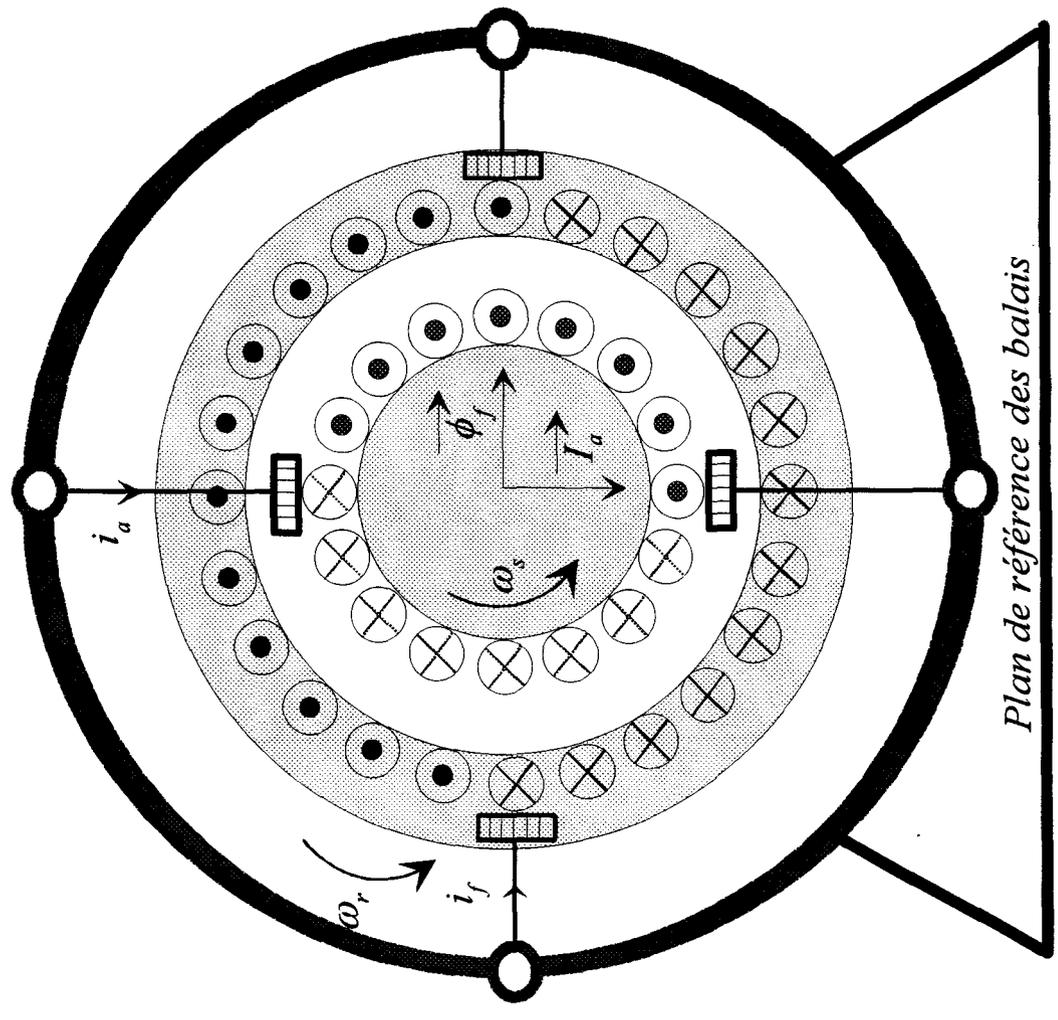
ACTIONNEUR DE REFERENCE

Définition :

Machine à courant continu dont l'induit et l'inducteur sont immobiles par rapport à un plan de référence supportant deux paires de balais en quadrature.

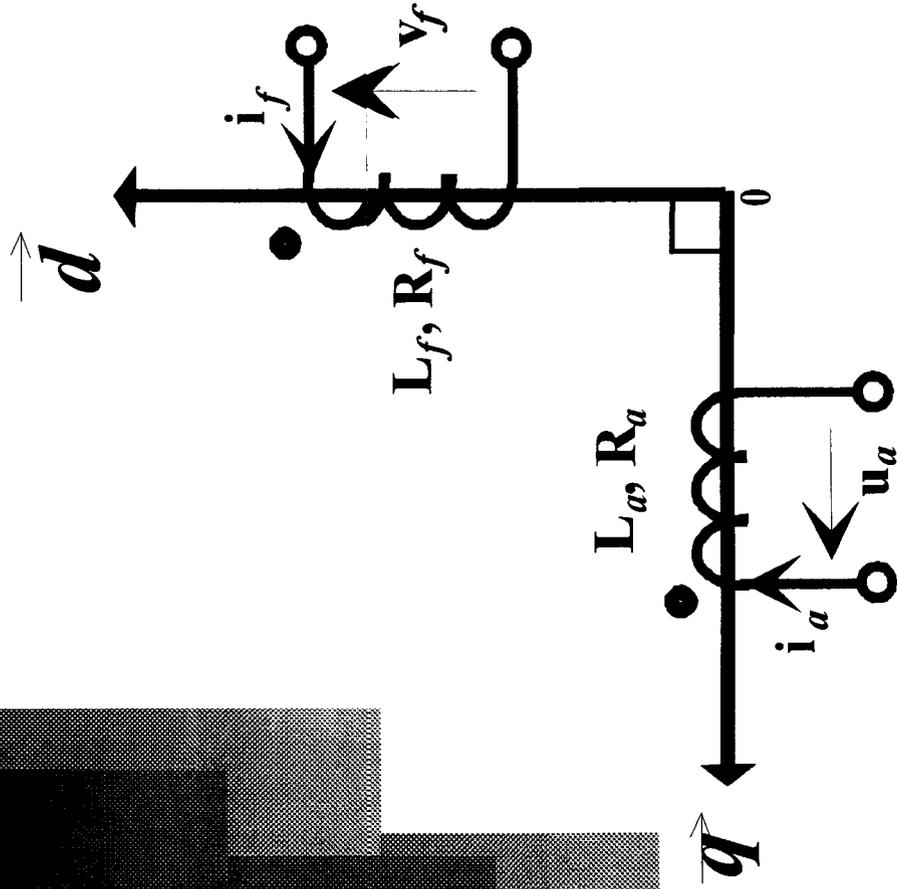
ACTIONNEUR DE REFERENCE

(Machine à courant continu)



Plan de référence des balais

LA CREATION DU COUPLE ELECTROMAGNETIQUE



$$c_s = k i_f i_a$$

$$\bar{c}_s = \frac{2}{\pi} (\bar{I}_a \wedge \bar{\phi}_f)$$

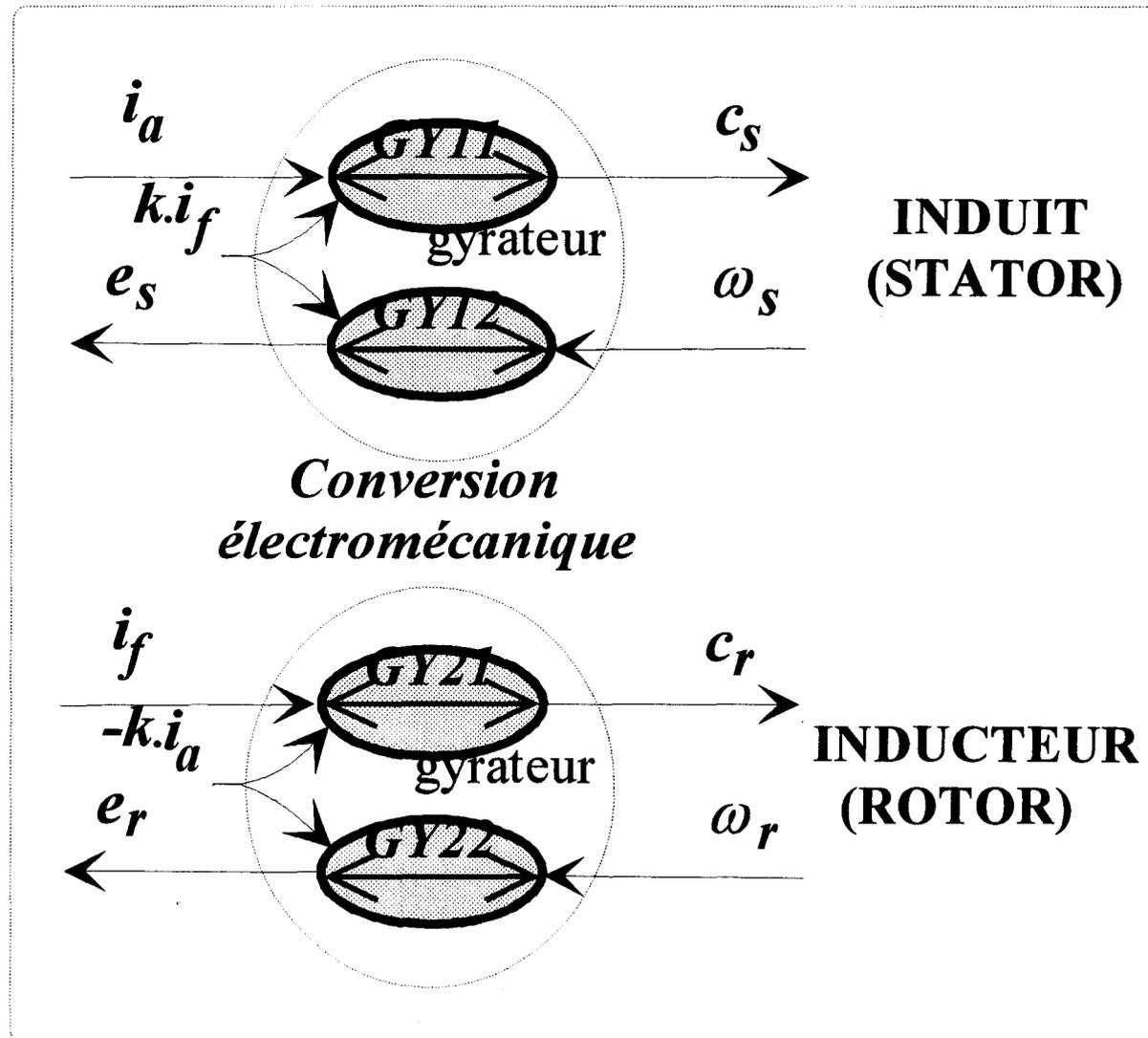
$$c_r = -k i_f i_a$$

Principe

d'action réaction :

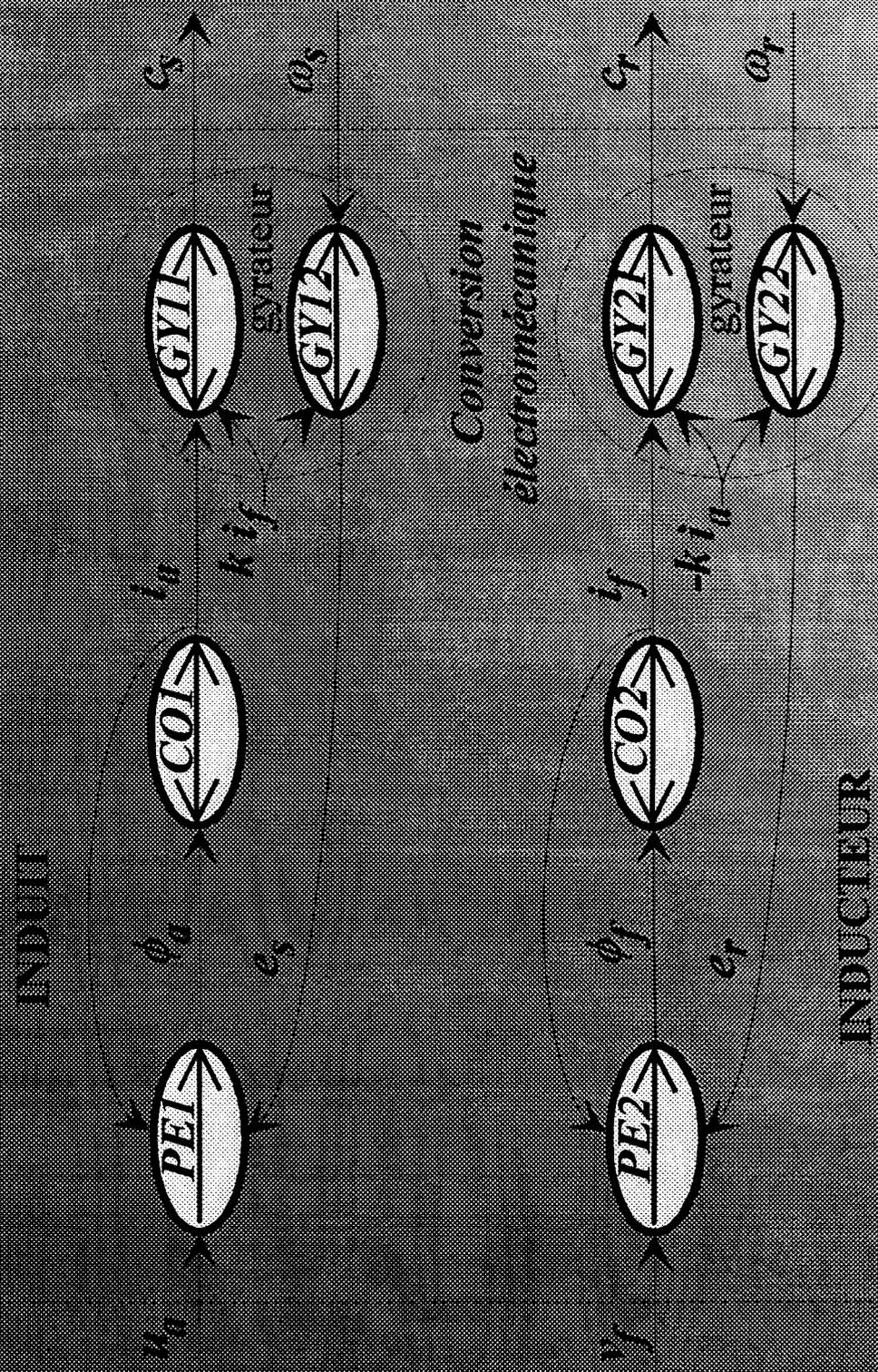
$$c_e = c_s = -c_r$$

CONVERSION ELECTROMECHANIQUE (Couplage par Gyration)



ACTIONNEUR DE REFERENCE

(GIC de la Partie Electrique)



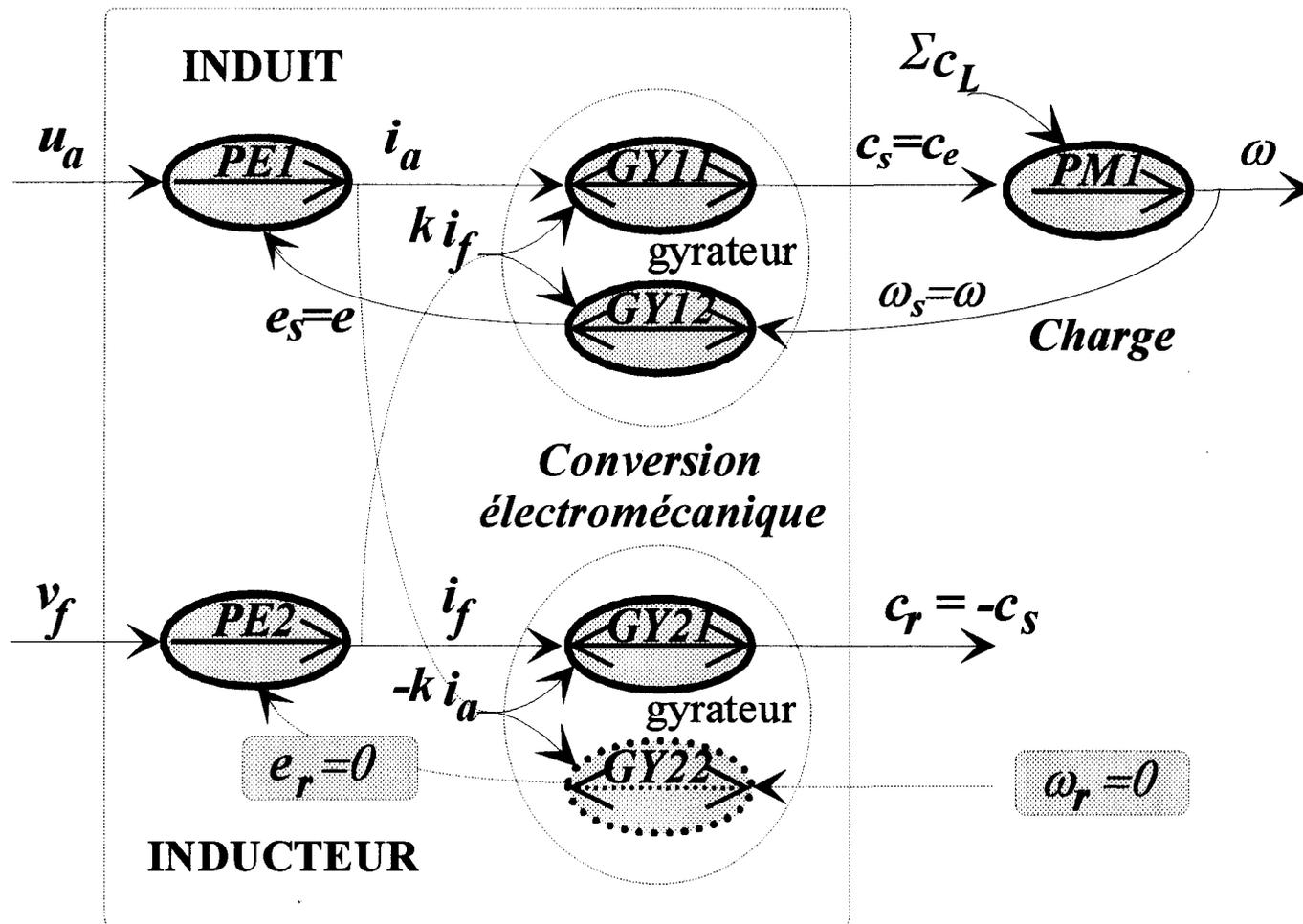
ACTIONNEUR DE REFERENCE

Quatre grandeurs de réglage :

- *Les tensions u_a et v_f appliquées à l'induit et à l'inducteur,*
- *Les vitesses relatives ω_s et ω_r du rotor (inducteur) et du stator (induit) par rapport au plan de référence.*

MACHINE A COURANT CONTINU

(Inducteur radial bobiné)



Actionneur de référence : inducteur radial bobiné

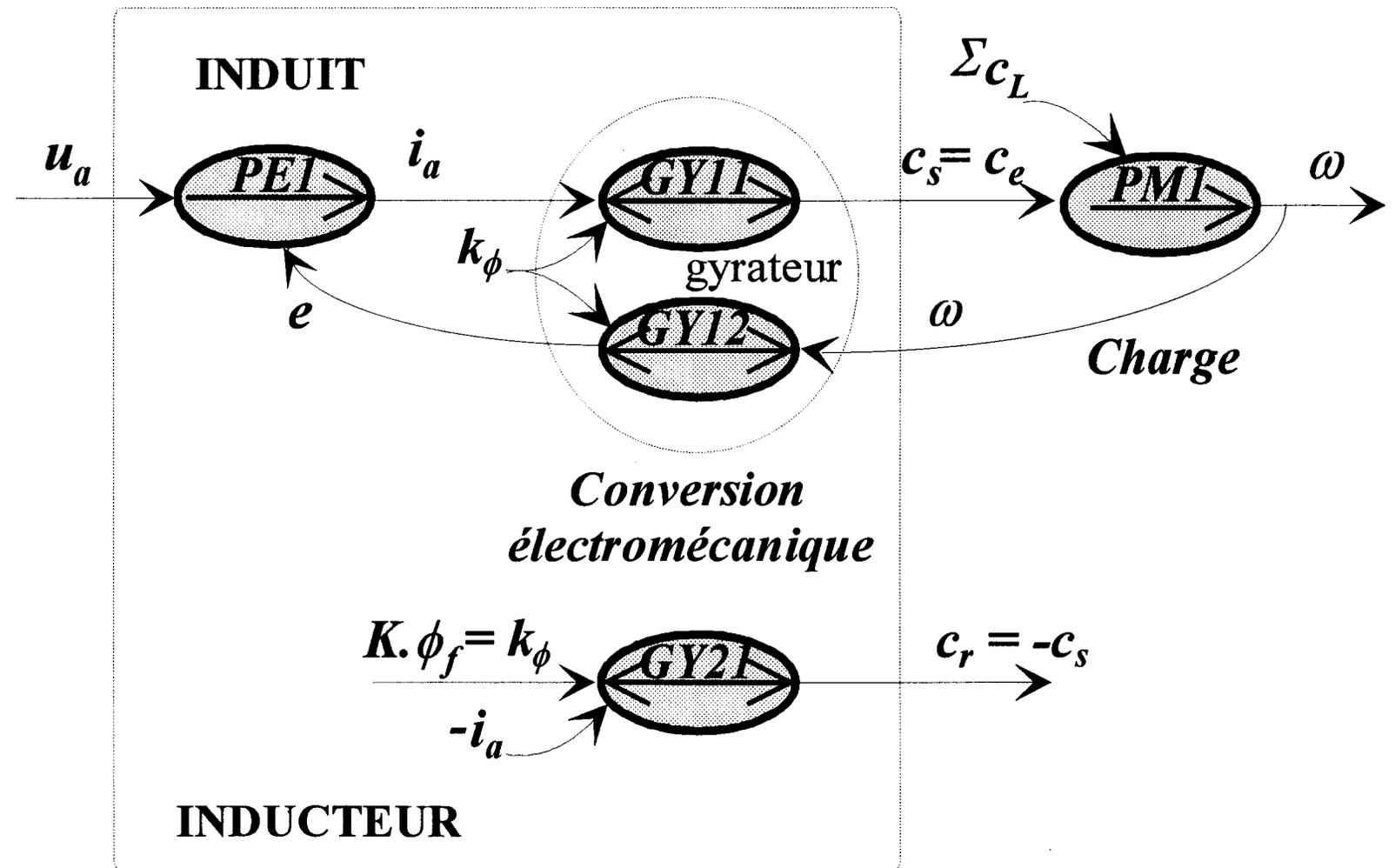
MACHINE A COURANT CONTINU

(Inducteur radial bobiné)

*Deux grandeurs de réglage
indépendantes :*

- *La tension u_a appliquée à l'induit,*
- *La tension v_f appliquée à l'inducteur.*

MACHINE A COURANT CONTINU (Inducteur à aimants)



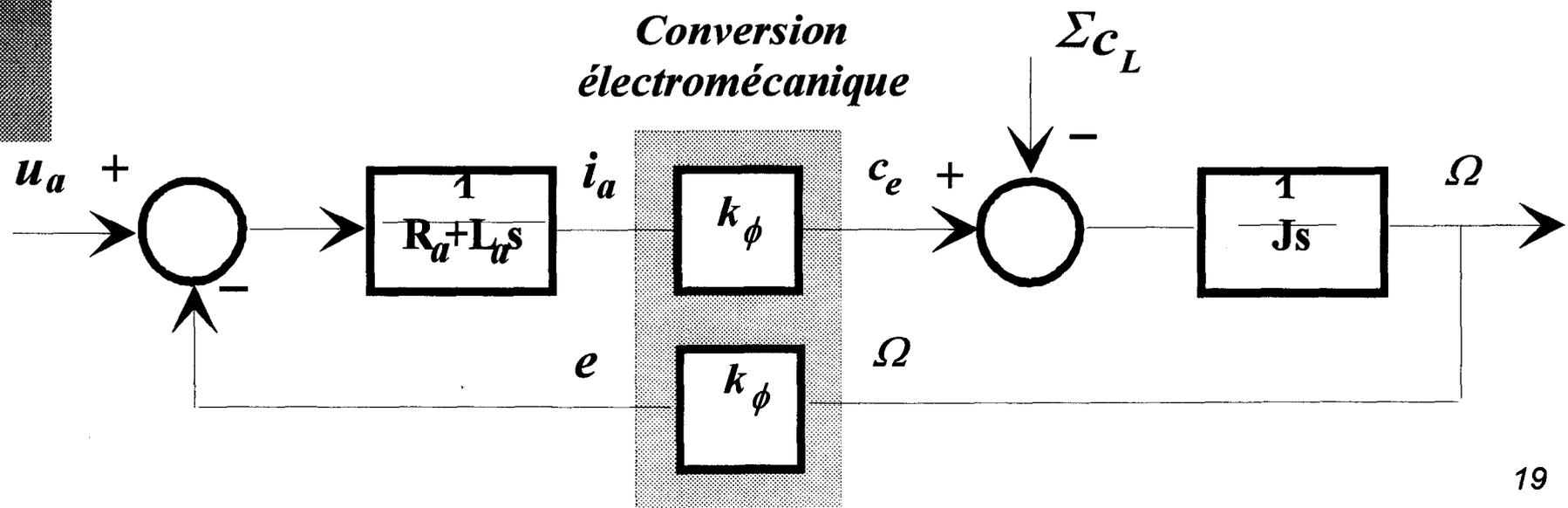
Actionneur de référence : inducteur à aimants

ACTIONNEUR DE REFERENCE

(Modèle généralisé)

Une seule grandeur de réglage :

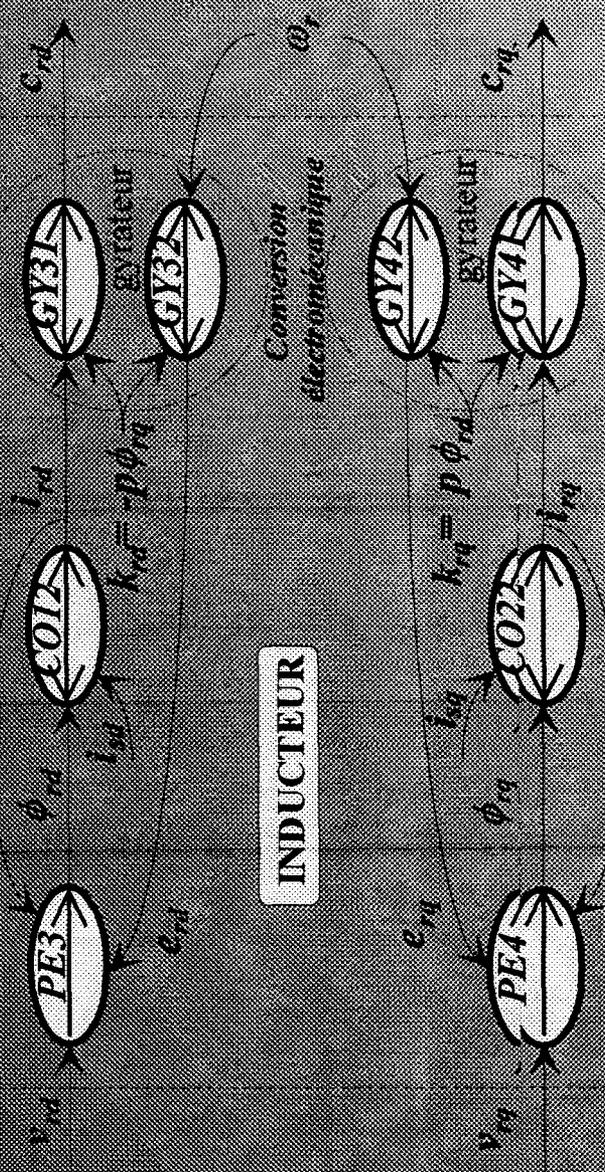
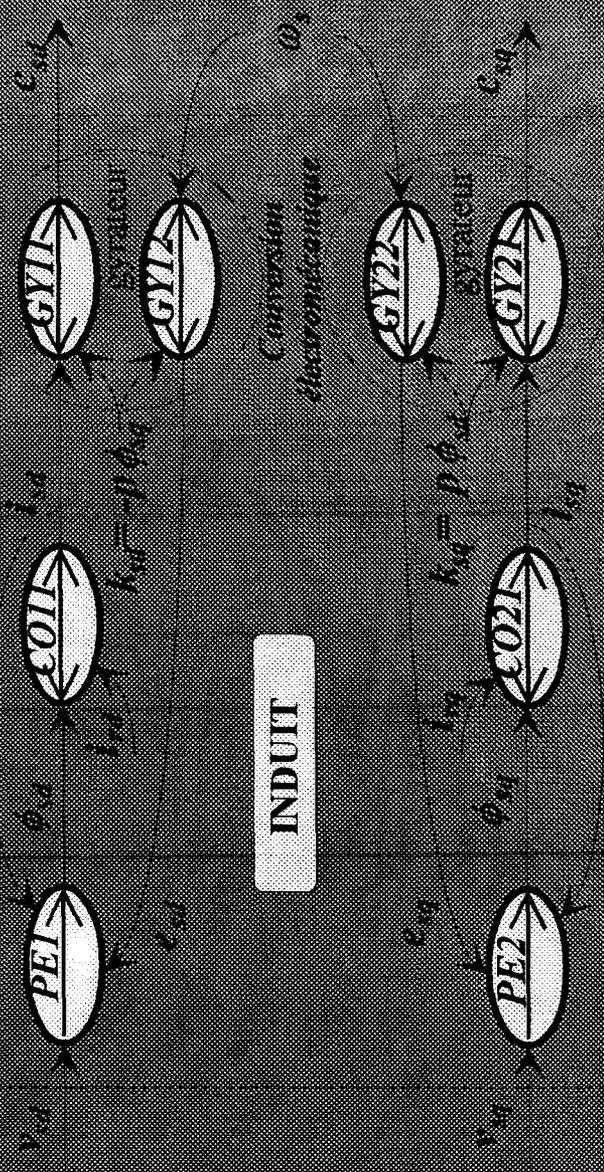
- *La tension u_a appliquée à l'induit.*



MACHINE GENERALISEE

Définition :

Machine à courant alternatif à entrefer variable dont les enroulements du rotor et du stator sont diphasés (*saillance des pôles*).



MACHINE GENERALISEE

(Machine à rotor et stator diphasés)

Six grandeurs de réglage :

- *Les tensions v_{sd} , v_{sq} , v_{rd} et v_{rq} appliquées à l'induit et à l'inducteur,*
- *Les vitesses relatives ω_s et ω_r du rotor (inducteur) et du stator (induit) par rapport au plan de référence.*

MACHINE GENERALISEE

(Couple Electromécanique)

$$C_e = p(\phi_{sd}i_{sq} - \phi_{sq}i_{sd}) = p(\phi_{rq}i_{rd} - \phi_{rd}i_{rq})$$

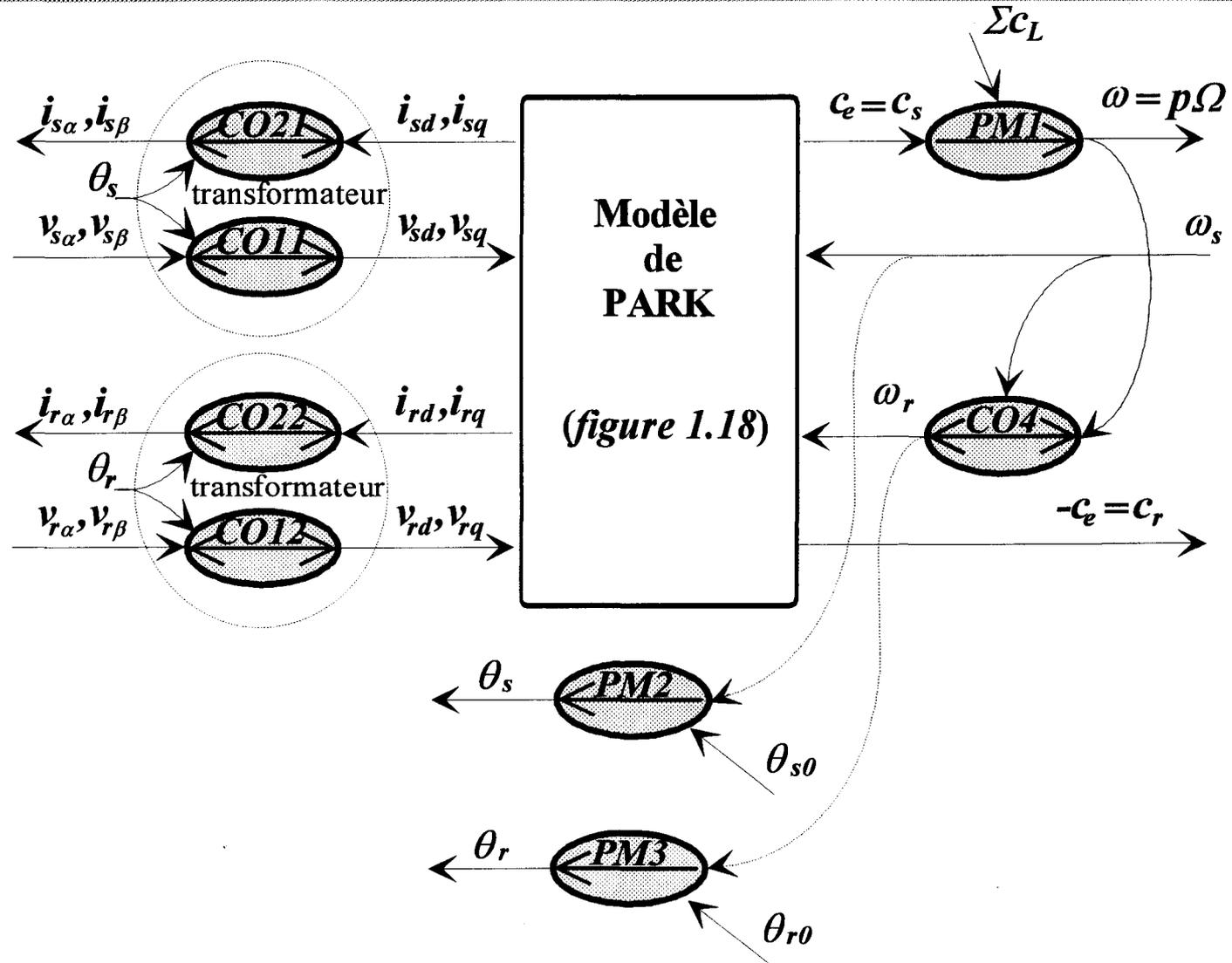


$$C_e = p[(L_{sd} - L_{sq})i_{sd}i_{sq} + M_{sr}^n(i_{rd}i_{sq} - i_{rq}i_{sd})]$$

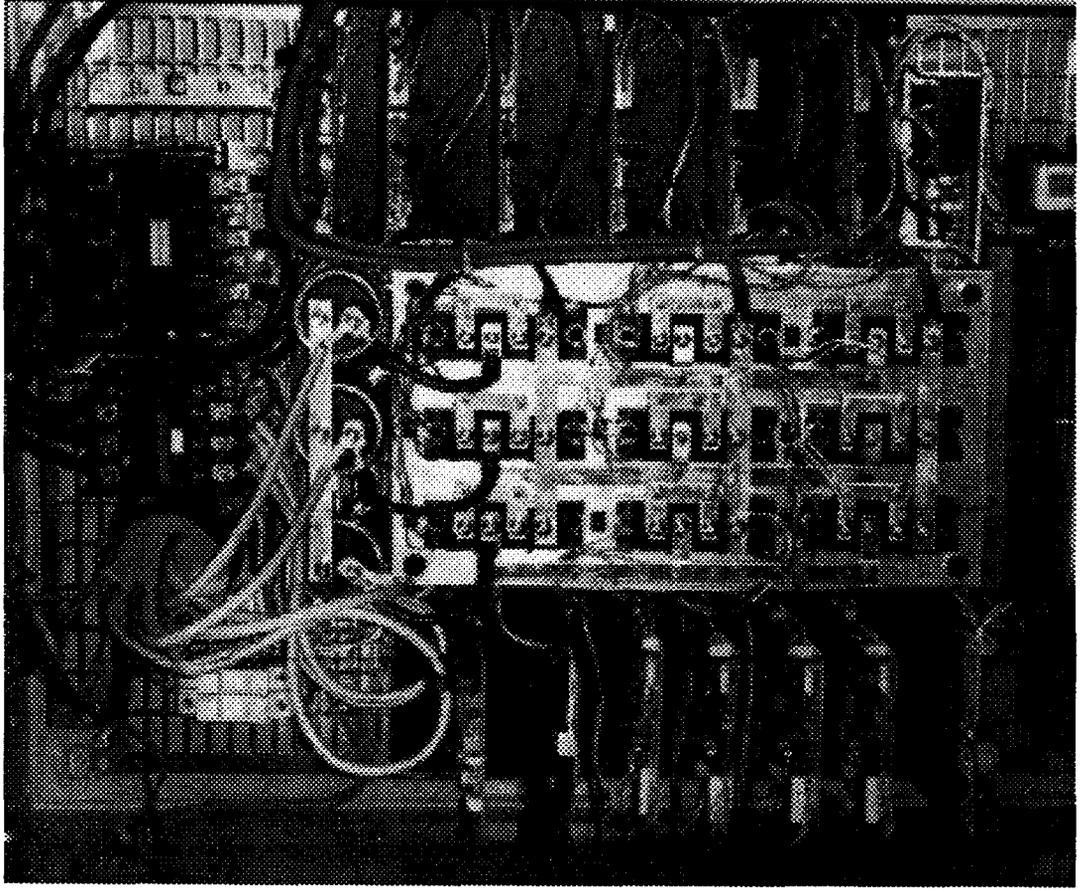
- *un couple principal* : $M_{sr}^n(i_{rd}i_{sq} - i_{rq}i_{sd})$
- *un couple réluctant* : $(L_{sd} - L_{sq})i_{sd}i_{sq}$

MACHINE GENERALISEE

(Articulation Electromécanique)



LA CONVERSION STATIQUE



LA CONVERSION STATIQUE

Définition :

Transformation permettant l'échange d'énergie entre deux réseaux électriques de nature différentes (*sources de courant ou de tension, alternatives ou continues*).

LA CONVERSION STATIQUE

l'Echange énergétique peut être
de plusieurs nature :

- unidirectionnel ou bidirectionnel (*reversibilité en courant ou en tension*),
- direct ou indirect (*association en cascade de convertisseurs*),
- monophasé ou polyphasé.

LES CONCEPTS DE BASE

(contraintes énergétiques)

le respect des principes de Causalité :

- ALTERNANCE DES SOURCES
(*transfert Courant/Tension ou Tension/Courant*),
- CONTINUITÉ ÉNERGETIQUE
(*aiguillage pour éviter les discontinuités*).

LA CONVERSION STATIQUE

- L'interrupteur statique auquel est associé la fonction de connexion,
- Application au noeud commuté de courant (*onduleur de tension*),
- L'interrupteur dual auquel est associé la fonction de déconnexion,
- Application à la maille commutée de tension (*commutateur de courant*).

1) L'INTERRUPTEUR STATIQUE

Définition :

Dipôle qui permet d'interrompre ou de rétablir le passage du courant électrique dans un circuit.

Constitution :

*Association de semi-conducteurs
de puissance (Transistors MOS ou
IGBT, Diodes rapides et Thyristors
GTO ...).*

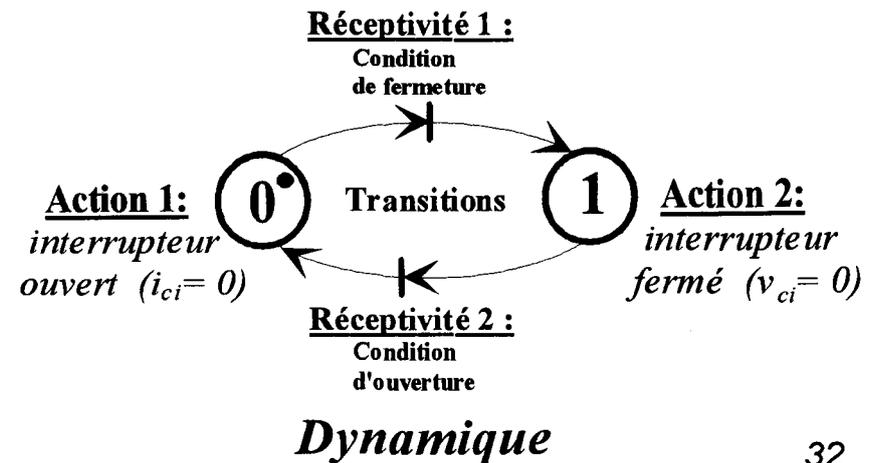
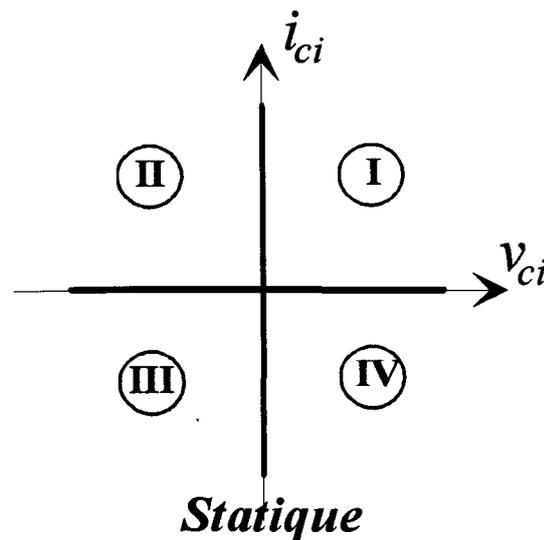
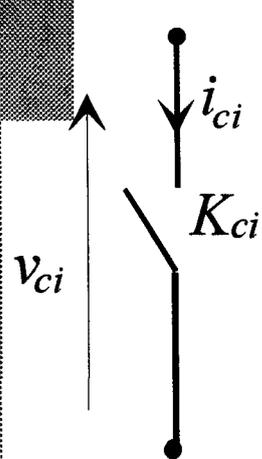
LA FONCTION DE CONNEXION

(Fonction idéalisée d'un interrupteur réel)

A l'interrupteur statique K_{ci} (normalement ouvert au repos), on associe une fonction appelée fonction de connexion qui correspond à une commande à la fermeture :

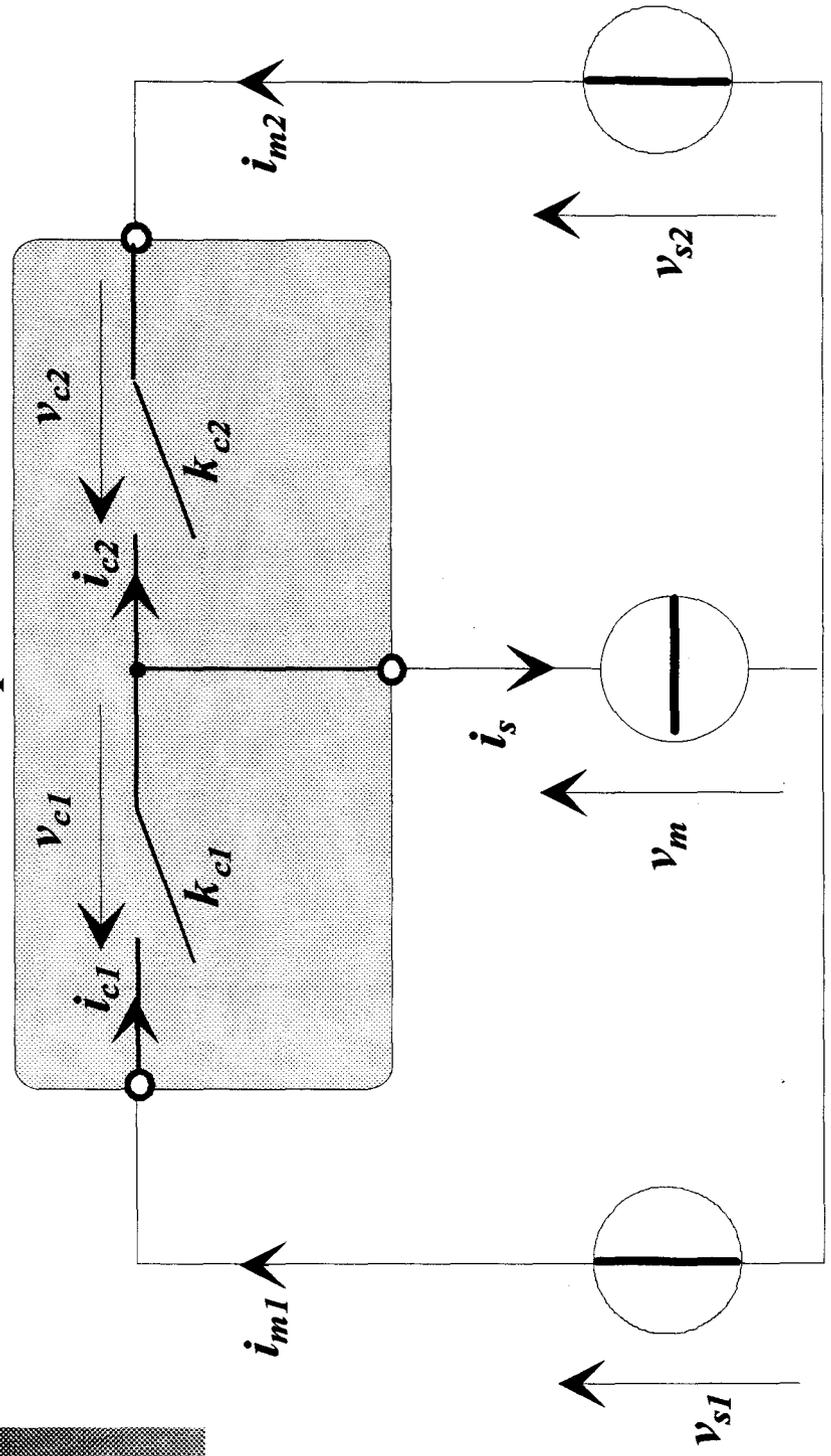
$f_{ci} = 1$: connexion fermée ($v_{ci} = 0$)

$f_{ci} = 0$: connexion ouverte ($i_{ci} = 0$)



2) NOEUD COMMUTE DE COURANT (Onduleur de tension)

Cellule de commutation tripôle



CELLULE DE COMMUTATION TRIPOLE

- *La relation matricielle de connexions :*

$$\begin{pmatrix} i_{m1} \\ i_{m2} \\ v_m \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f_{c1} & 0 & 0 \\ f_{c2} & 0 & 0 \\ 0 & f_{c1} & f_{c2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} i_s \\ v_{s1} \\ v_{s2} \end{pmatrix}$$

- *La relation de contrainte énergétique :*

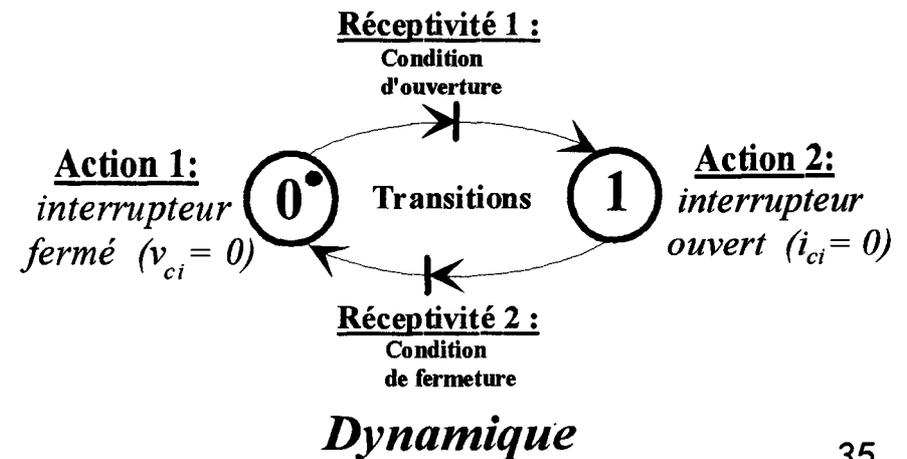
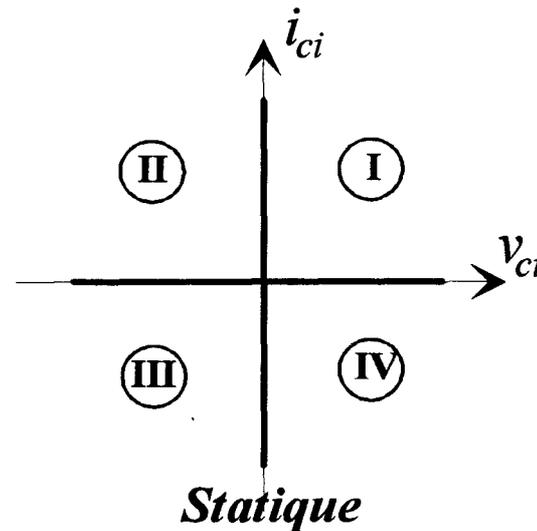
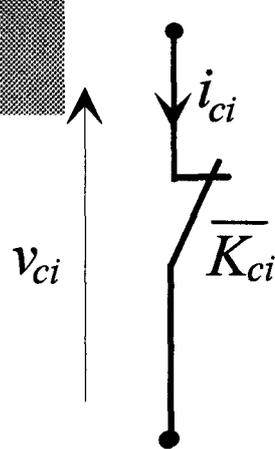
$$f_{c1}(t) + f_{c2}(t) = 1$$

3) FONCTION DE DECONNEXION (Fonction idéalisée d'un interrupteur dual)

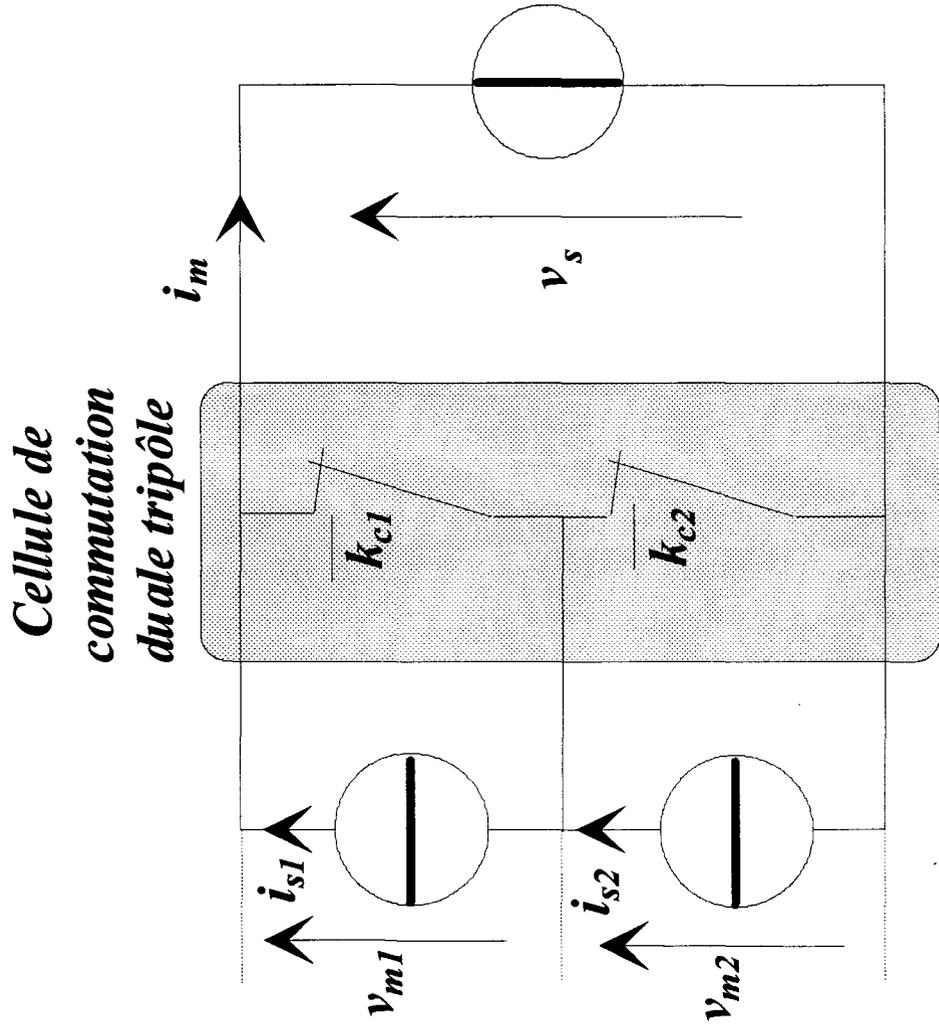
A l'interrupteur statique $\overline{K_{ci}}$ (normalement fermé au repos), on associe une fonction appelée fonction de déconnexion qui correspond à une commande à l'ouverture :

$$\overline{f_{ci}} = 1 : \text{connexion ouverte } (i_{ci} = 0)$$

$$\overline{f_{ci}} = 0 : \text{connexion fermée } (v_{ci} = 0)$$



4) MAILLE COMMUTEE DE TENSION (Commutateur de courant)



CELLULE DE COMMUTATION DUALE TRIPOLE

- *La relation matricielle de déconnexions :*

$$\begin{pmatrix} i_m \\ v_{m1} \\ v_{m2} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{f}_{c1} & \bar{f}_{c2} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{f}_{c1} \\ 0 & 0 & \bar{f}_{c2} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ v_s \end{pmatrix}$$

- *La relation de contrainte énergétique :*

$$\bar{f}_{c1}(t) + \bar{f}_{c2}(t) = 1$$

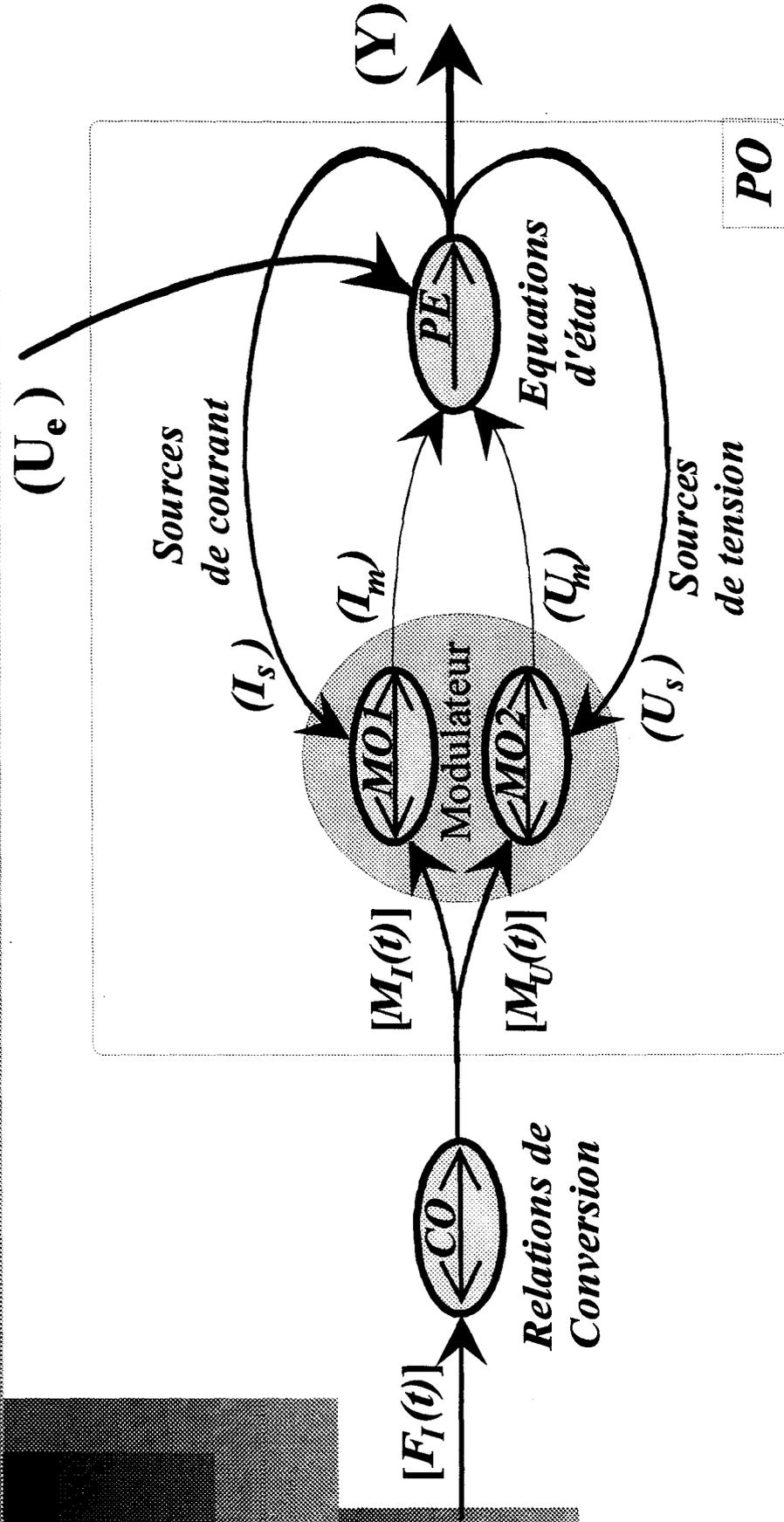
LE CONVERTISSEUR STATIQUE

Définition :

Un convertisseur est un assemblage de cellules de commutation qui établit des relations de conversion (M_i et M_u) entre des grandeurs de même nature dont les valeurs dépendent de l'état des connexions (F_i).

CONVERSION STATIQUE

(Couplage par Modulation)



$$(I_m) = [M_I(t)](I_s), (U_m) = [M_U(t)](U_s) \text{ et } [M_U(t)] = [M_I(t)]^T$$

CONVERSION STATIQUE

(Homogénéisation du modèle de connaissance)

$$f_{cig}(k, t) = f_{cig}(kT_e) = \frac{1}{T_e} \int_{kT_e}^{(k+1)T_e} f_{ci}(t) dt$$

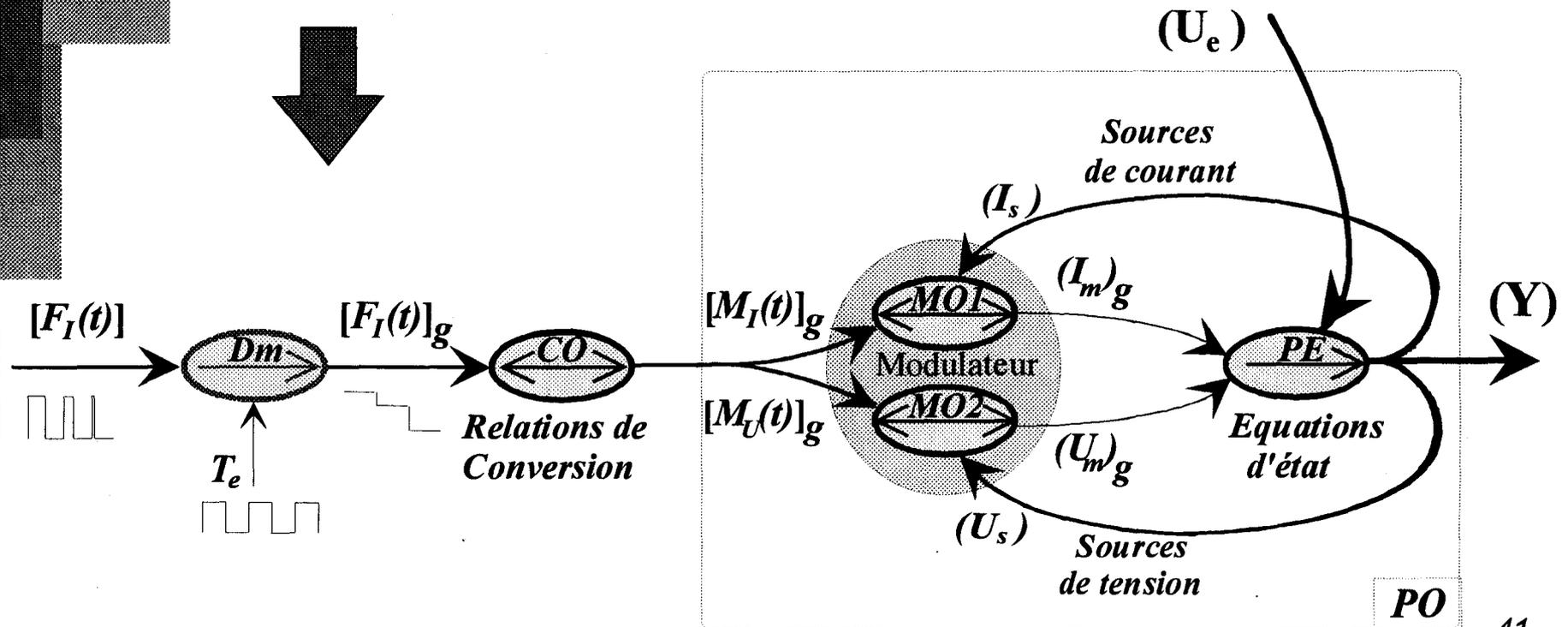
Notion de fonction Génératrice :

Relation d'intégration correspondant à la valeur moyenne de la connexion réalisée pendant une période de commutation.

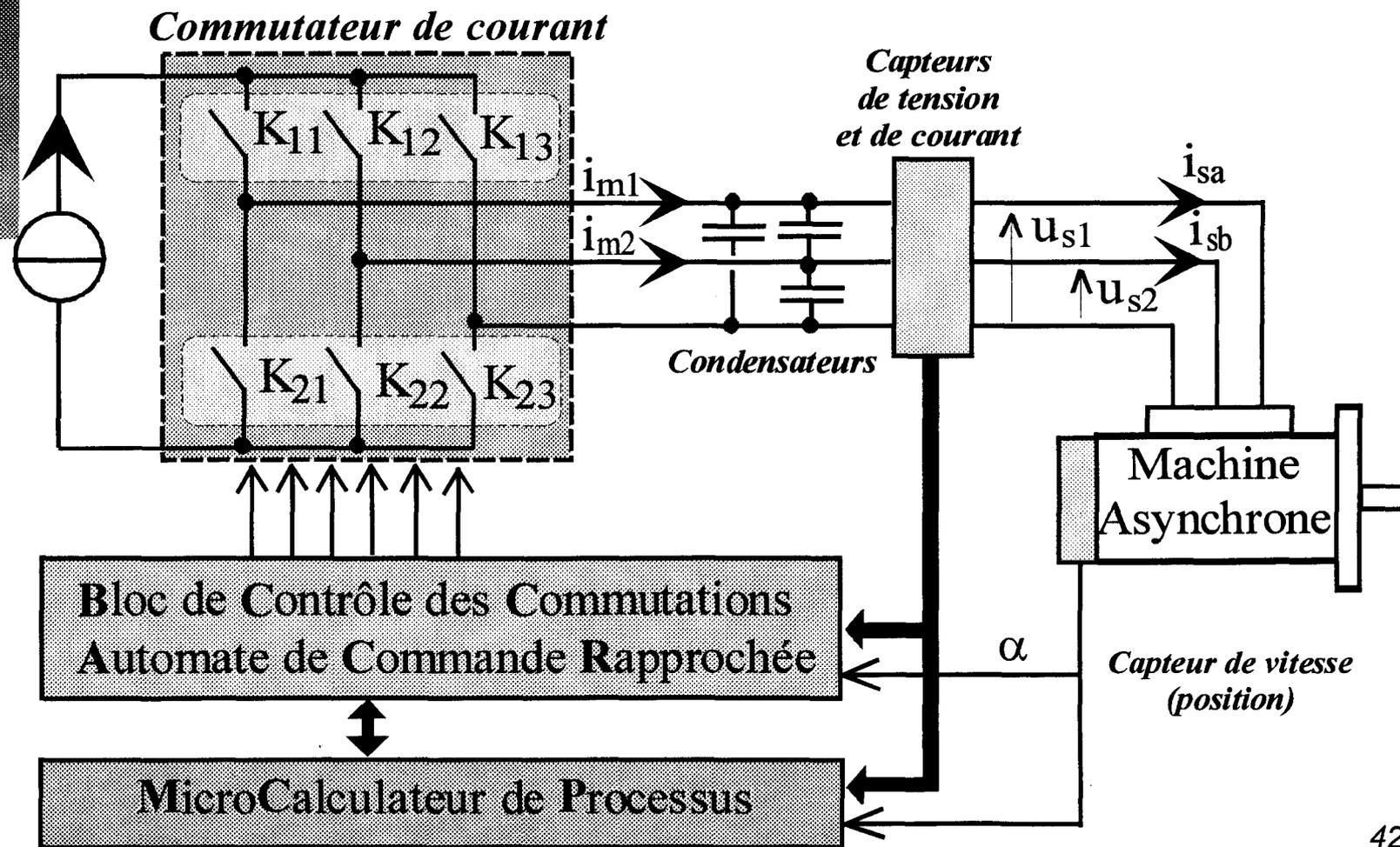
CONVERSION STATIQUE

(Homogénéisation du modèle de connaissance)

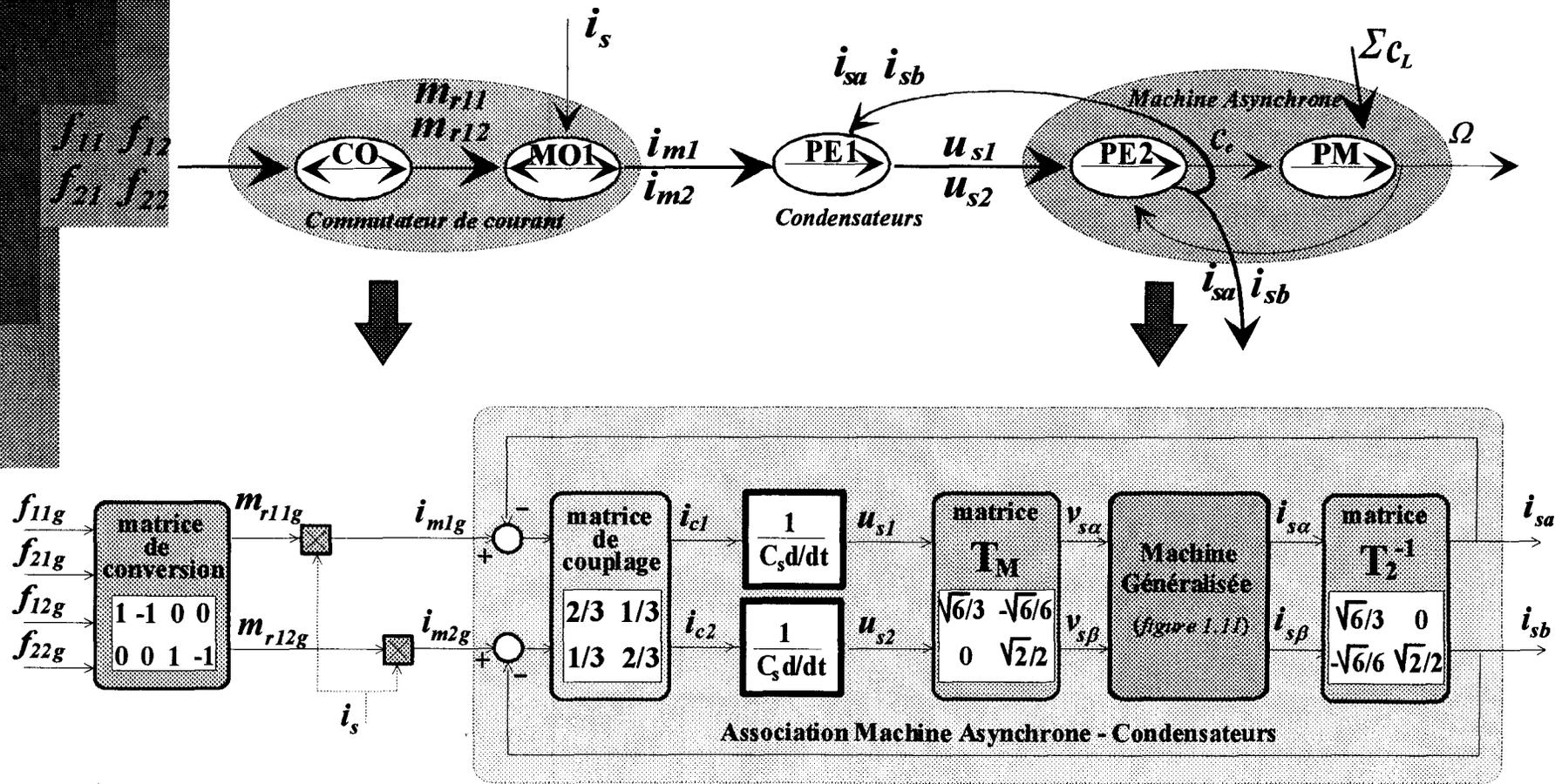
$$f_{cig}(k, t) = f_{cig}(kT_e) = \frac{1}{T_e} \int_{kT_e}^{(k+1)T_e} f_{ci}(t) dt \quad (Dm)$$



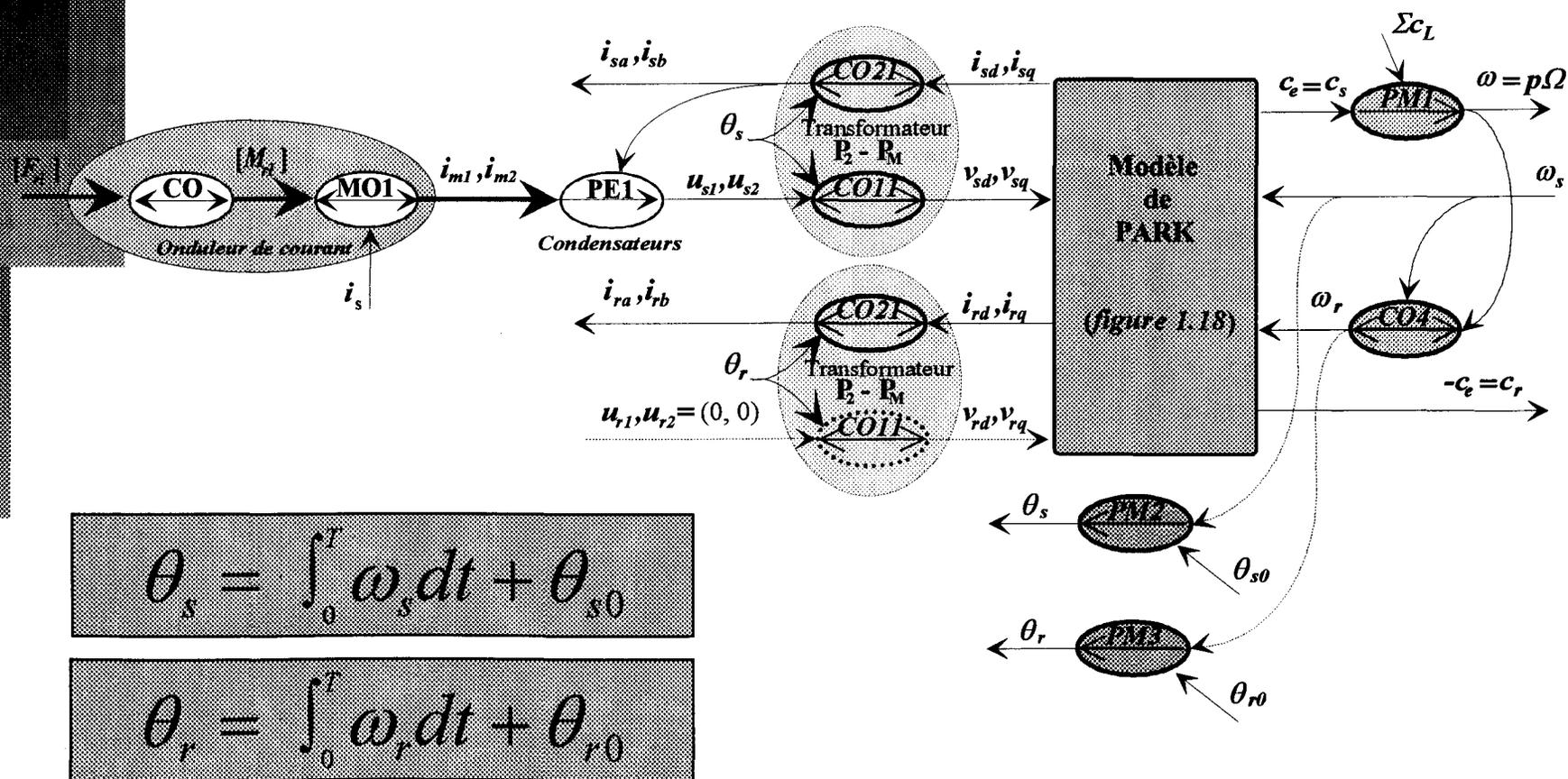
ASSOCIATION COMMUTATEUR MACHINE ASYNCHRONE



SCHEMA FONCTIONNEL DE L'AXE DE PUISSANCE



ARTICULATION ELECTROMECHANIQUE DANS LE REFERENTIEL DE PARK



$$\theta_s = \int_0^t \omega_s dt + \theta_{s0}$$

$$\theta_r = \int_0^t \omega_r dt + \theta_{r0}$$

Intégrations permanentes des vitesses

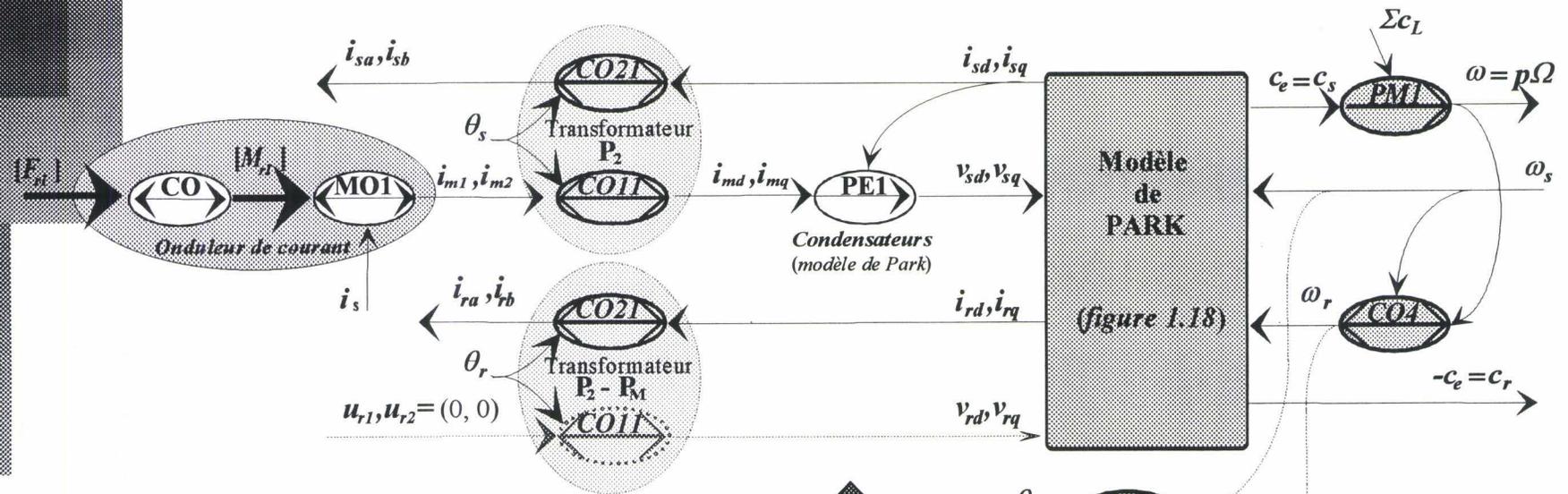
MODELE DE PARK DE L'ENSEMBLE MACHINE ASYNCHRONE CONDENSATEURS

L'application de la transformation de PARK à la relation causale PE1 qui caractérise le fonctionnement des condensateurs donne :



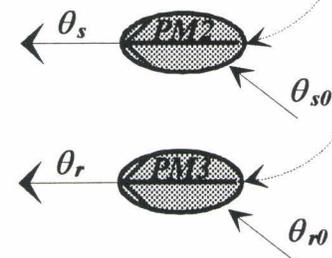
$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} v_{sd_{dec}} \\ v_{sq_{dec}} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_{sd_{dec}} \\ v_{sq_{dec}} \end{pmatrix} = \frac{1}{3C_s} \begin{pmatrix} i_{md} - i_{sd} \\ i_{mq} - i_{sq} \end{pmatrix} \quad (\text{PE1})$$

MODELE DE PARK DE L'ENSEMBLE MACHINE ASYNCHRONE CONDENSATEURS



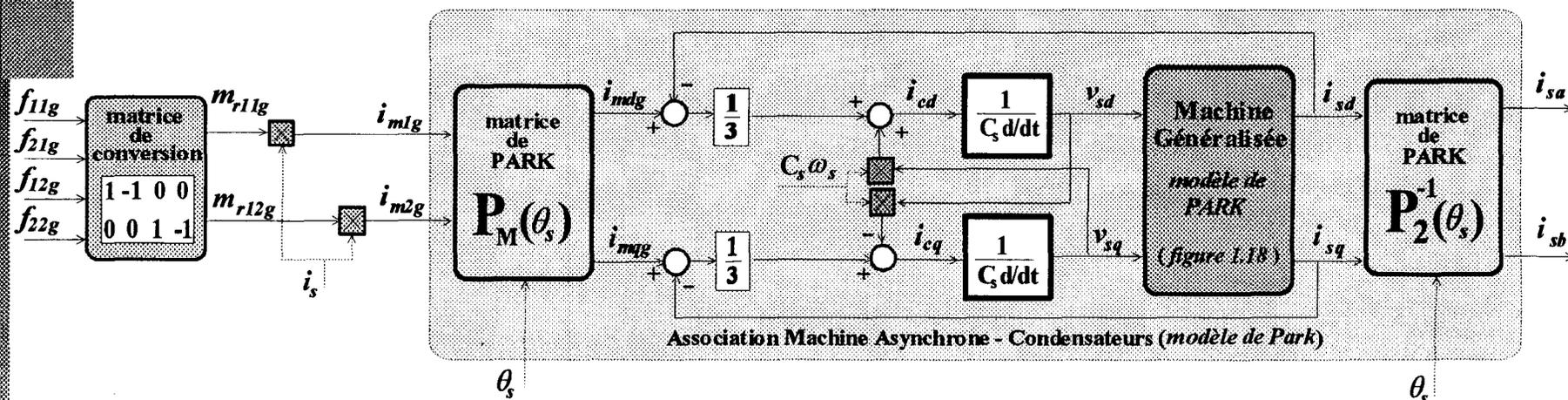
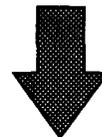
$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} v_{sd_{dec}} \\ v_{sq_{dec}} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_{sd_{dec}} \\ v_{sq_{dec}} \end{pmatrix} = \frac{1}{3C_s} \begin{pmatrix} i_{md} - i_{sd} \\ i_{mq} - i_{sq} \end{pmatrix}$$

(PE1)

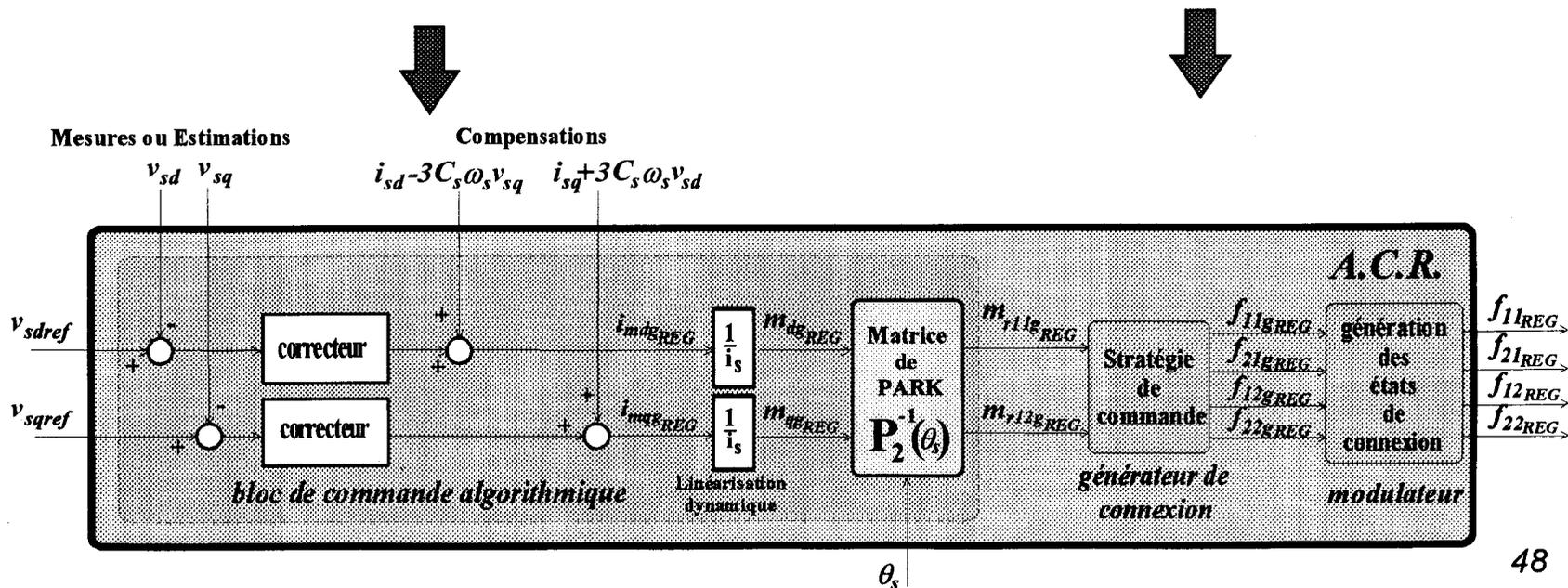
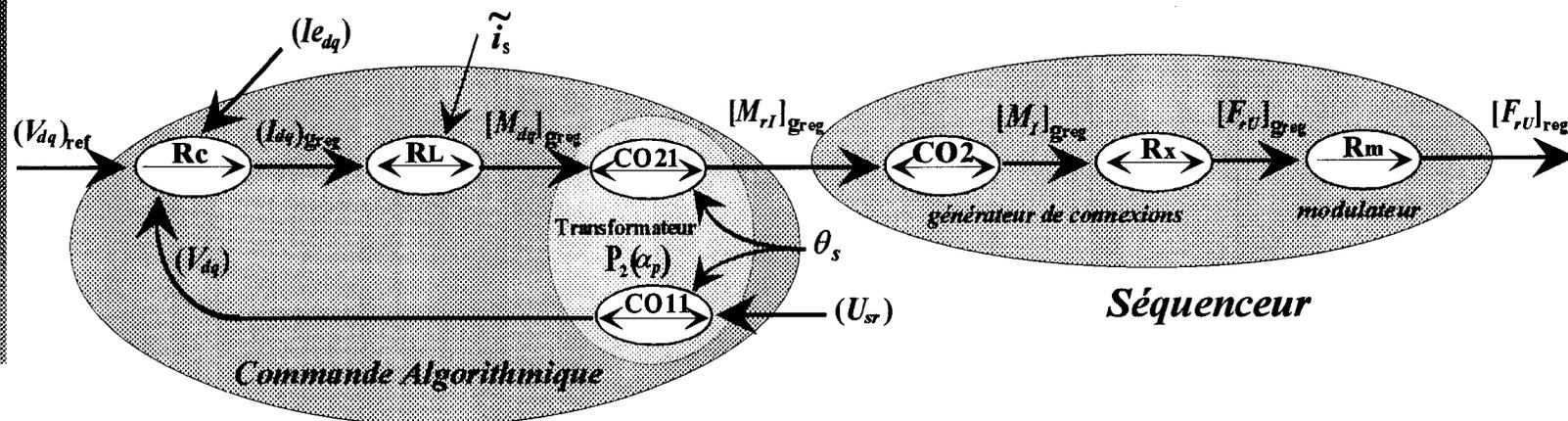


SCHEMA FONCTIONNEL HOMOGENE DU MODELE DE PARK

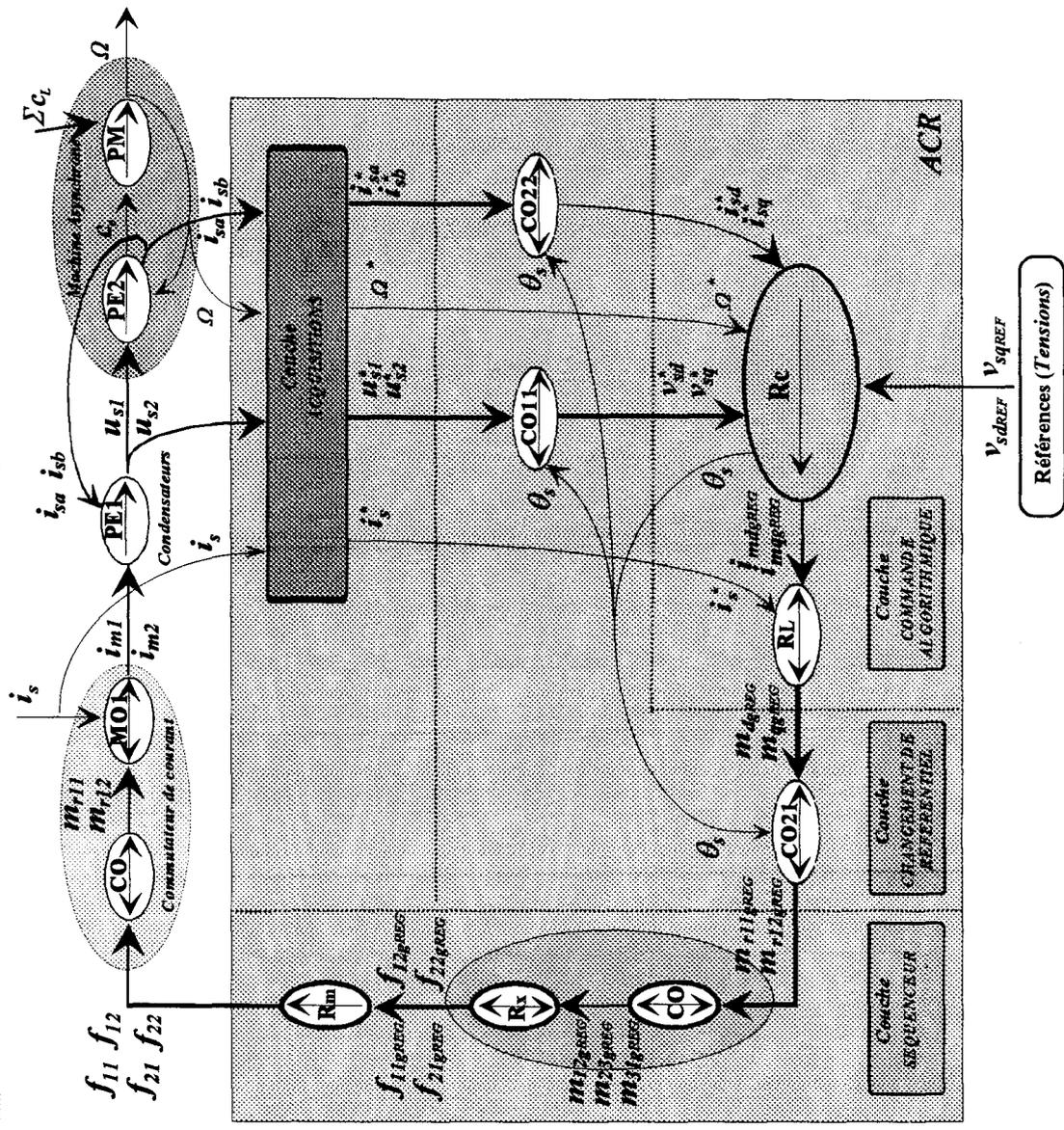
$$f_{cig}(k, t) = f_{cig}(kT_e) = \frac{1}{T_e} \int_{kT_e}^{(k+1)T_e} f_{ci}(t) dt$$

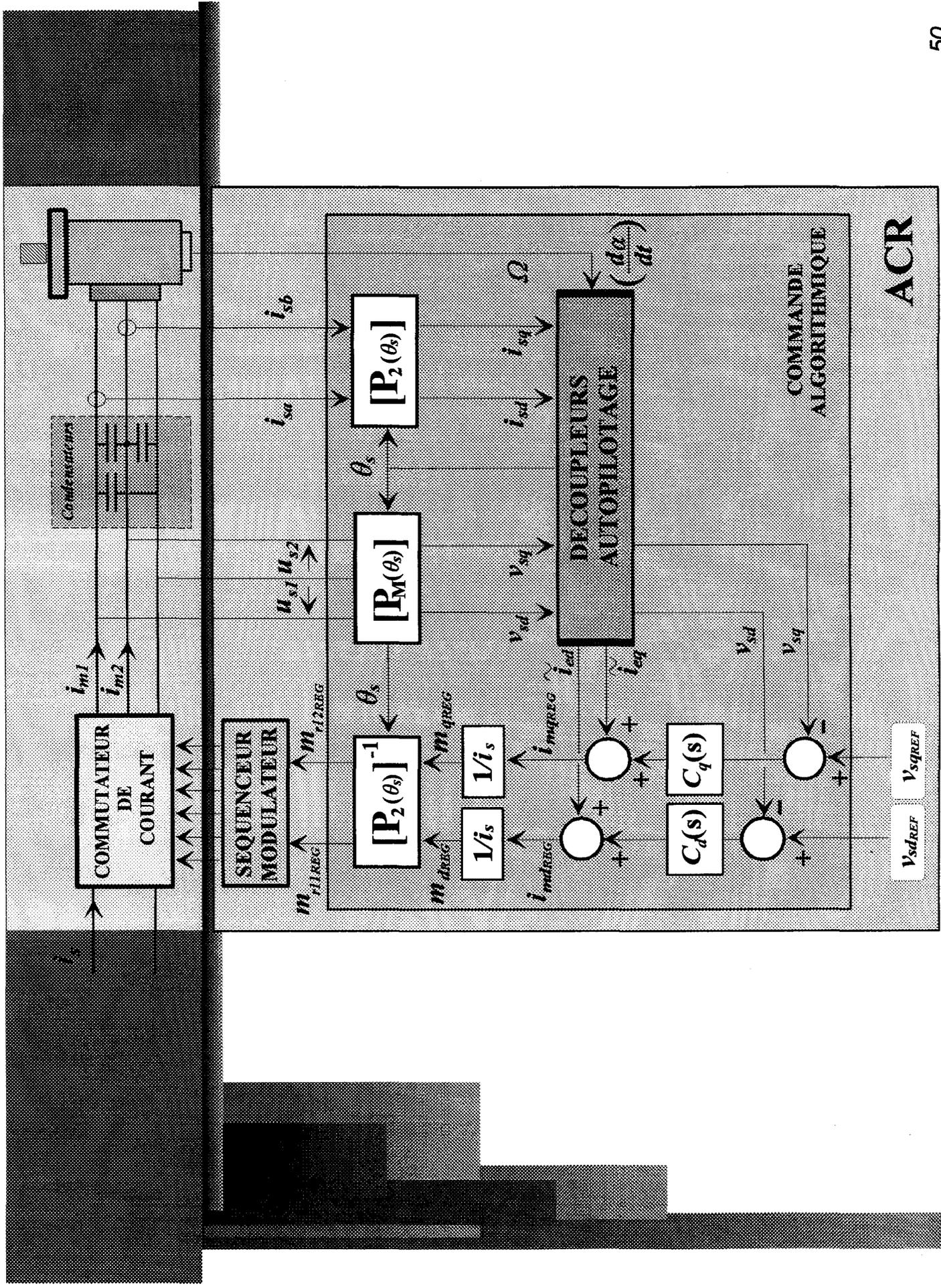


COMMANDE RAPPROCHEE DANS LE REFERENTIEL DE PARK



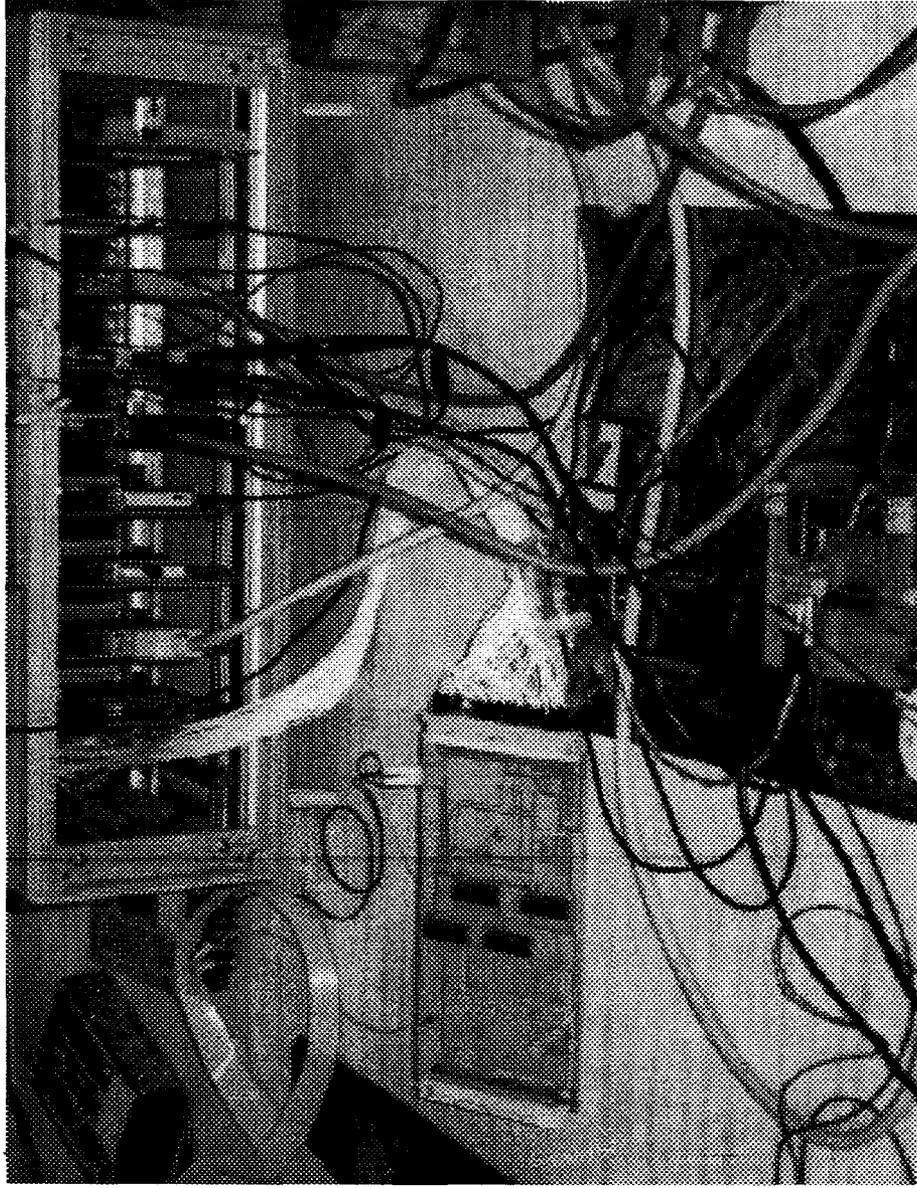
DECOMPOSITION EN COUCHES DE LA COMMANDE RAPPROCHEE

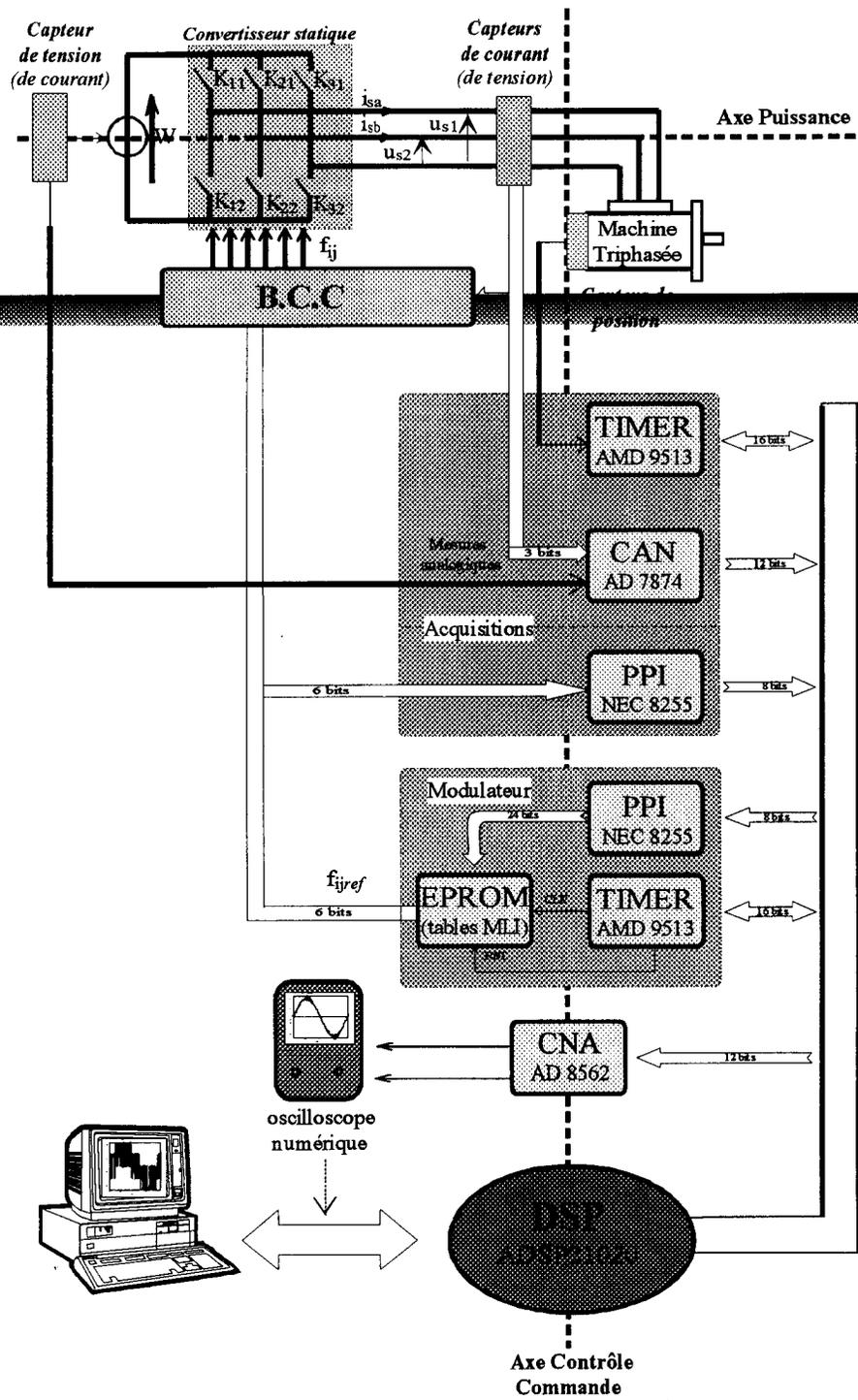




ACR

ARCHITECTURE DE
L'AXE DE COMMANDE





VALIDATION DE LA COMMANDE RAPPROCHEE

Elle s'effectue en trois étapes :

- Choix de la valeur des condensateurs en prenant en compte les phénomènes de résonance,
- Application à un contrôle de tensions continues (*fluxage de la machine*),
- Suivi de consignes sinusoïdales.

PRISE EN COMPTE DES IMPERFECTIONS DANS LES SIMULATIONS

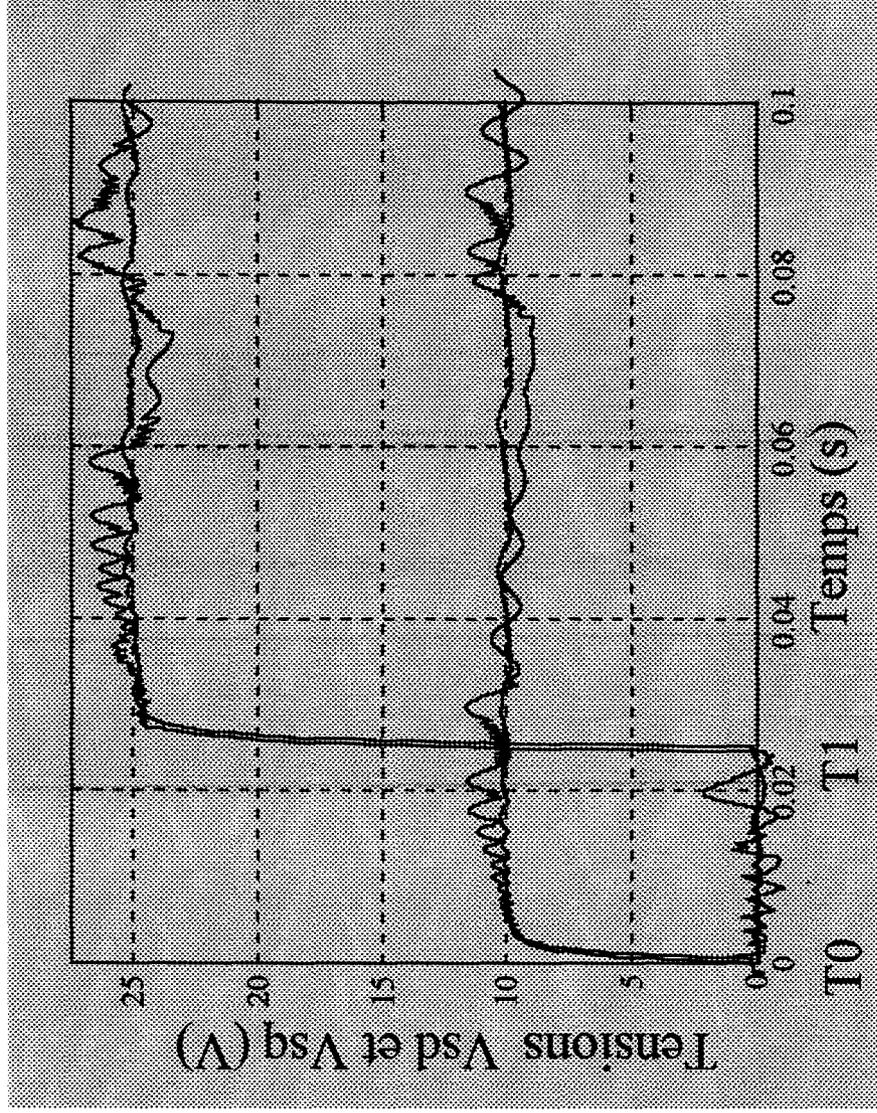
- Chaîne d'acquisition : retards dûs aux capteurs et à la conversion, filtrage et format numérique des données,
- Commande algorithmique : numérisation saturation des commandes, linéarisation dynamique,
- Séquenceur : quantification de la MLI, retard d'une période d'échantillonnage dû aux calculs, temps d'empiétement.

CHOIX DES CONDENSATEURS

(simulation numérique)

$C_s = 25$ et $100 \mu\text{F}$

• en $t=T0$:
 $V_{sd} = 10\text{V}$
 $V_{sq} = 0\text{V}$
 $\omega_s = 0$
(Fluxage)

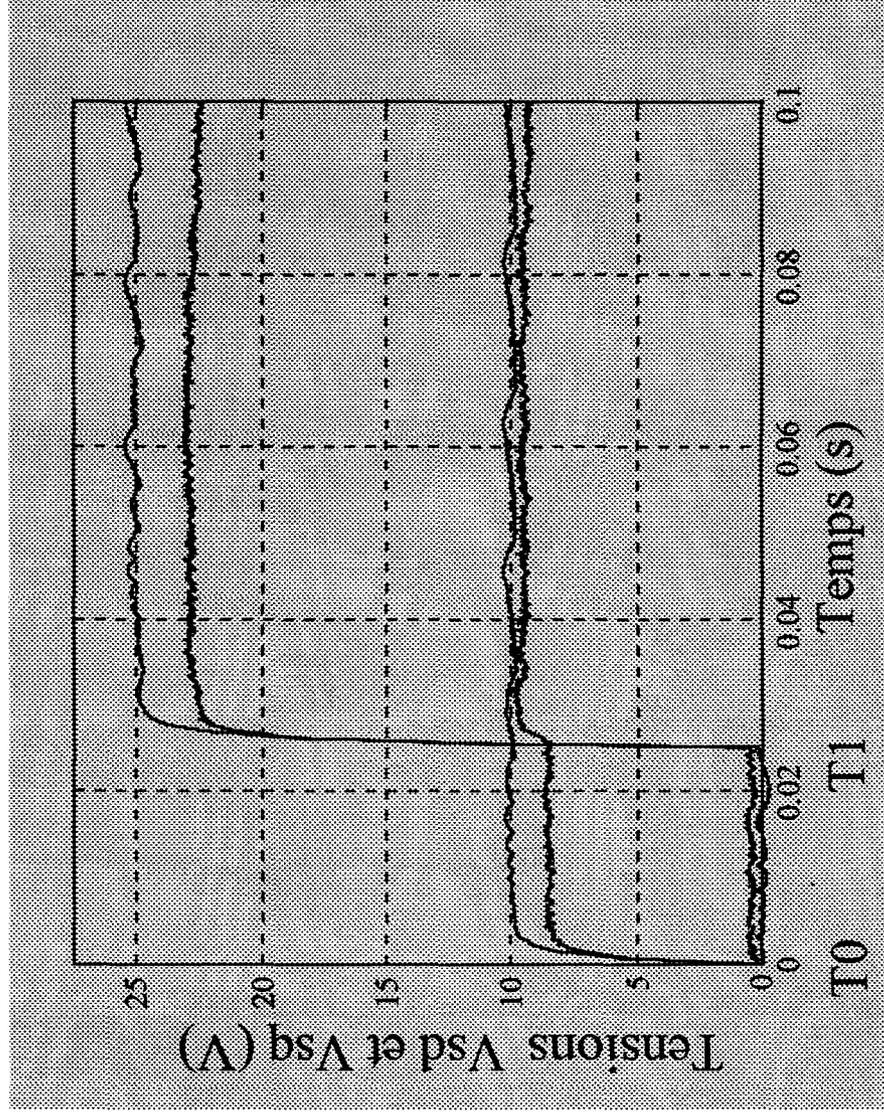


• en $t=T1$:
 $V_{sd} = 10\text{V}$
 $V_{sq} = 25\text{V}$
 $\omega_s = 0$

CONTROLE DE TENSIONS CONTINUES

(correcteur de type P)

Simulation Expérimentation



.en t=T0 :

$$V_{sd} = 10V$$

$$V_{sq} = 0V$$

$$\omega_s = 0$$

(Fluxage)

.en t=T1 :

$$V_{sd} = 10V$$

$$V_{sq} = 25V$$

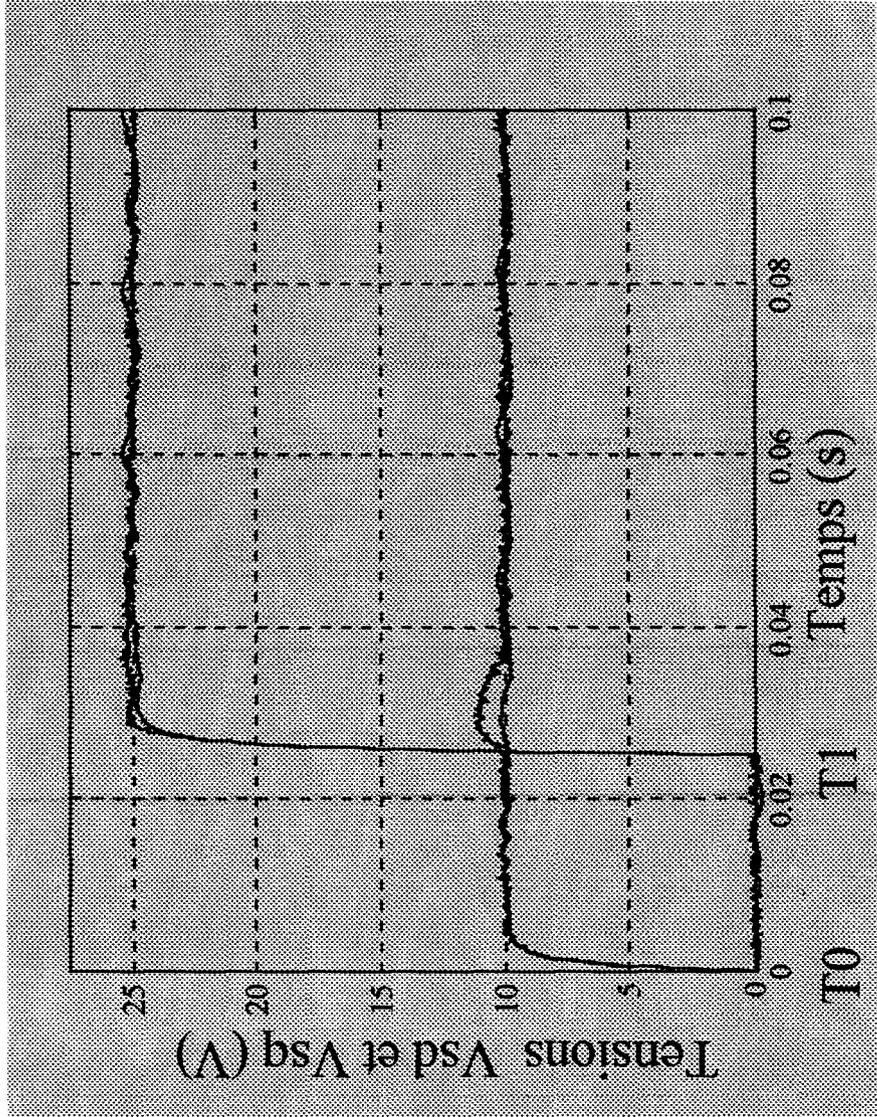
$$\omega_s = 0$$

CONTROLE DE TENSIONS CONTINUES

(correcteur de type PI)

Simulation Experimentation

• en $t=T0$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 0V$
 $\omega_s = 0$
(Fluxage)

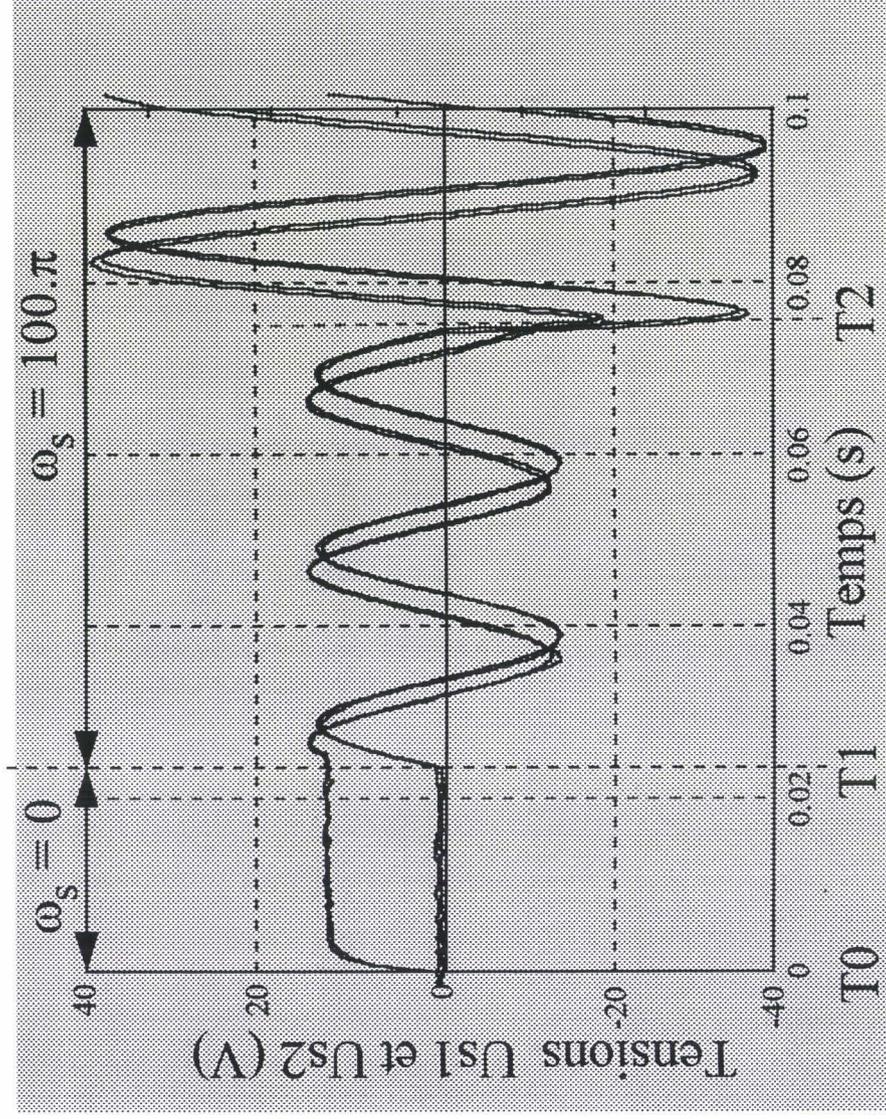


• en $t=T1$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 25V$
 $\omega_s = 0$

CONTROLE DE TENSIONS SINUSOIDALES

(Suivi fréquentiel des Tensions statoriques)

Simulation Expérimentation



• en $t=T_0$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 0V$
 $\omega_s = 0$
(Fluxage)

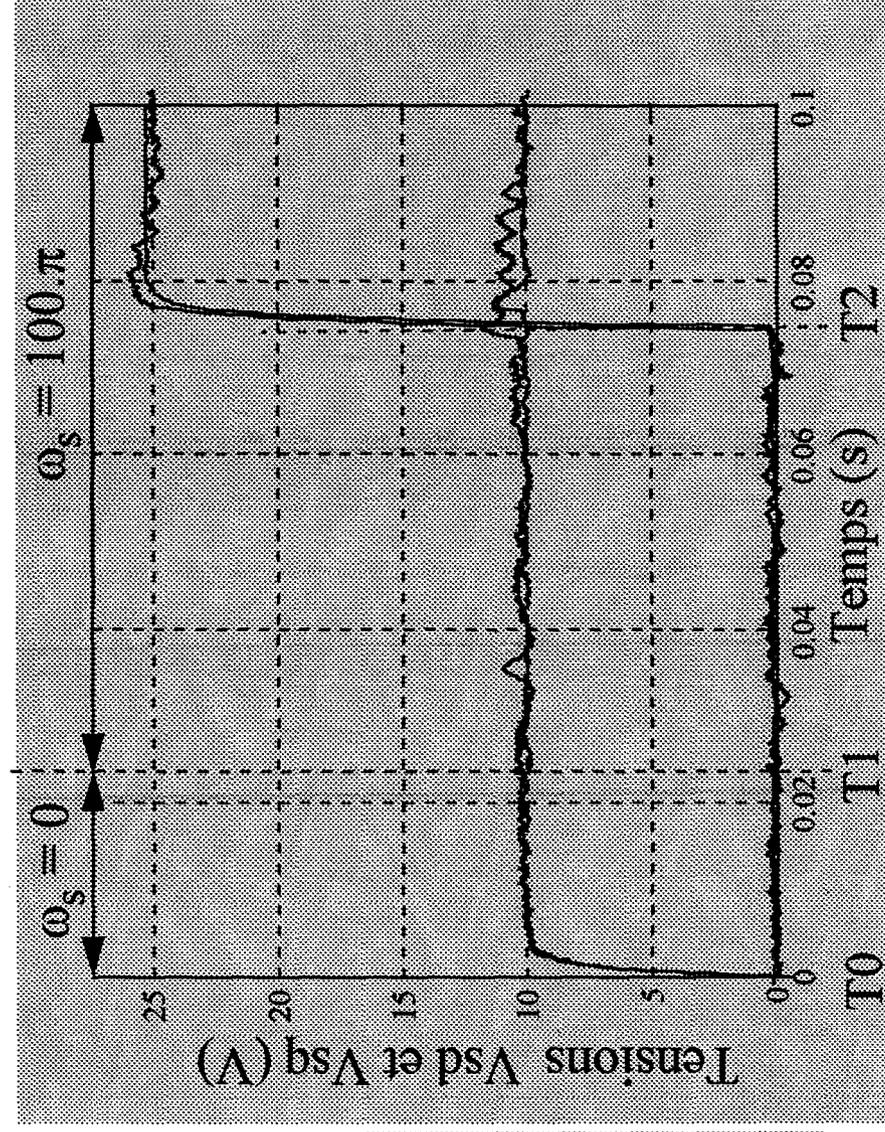
• en $t=T_1$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 0V$
 $\omega_s = 100\pi$

• en $t=T_2$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 25V$
 $\omega_s = 100\pi$

CONTROLE DE TENSIONS SINUSOIDALES (correcteur de type PI)

Simulation Experimentation

• en $t=T0$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 0V$
 $\omega_s = 0$
(Fluxage)



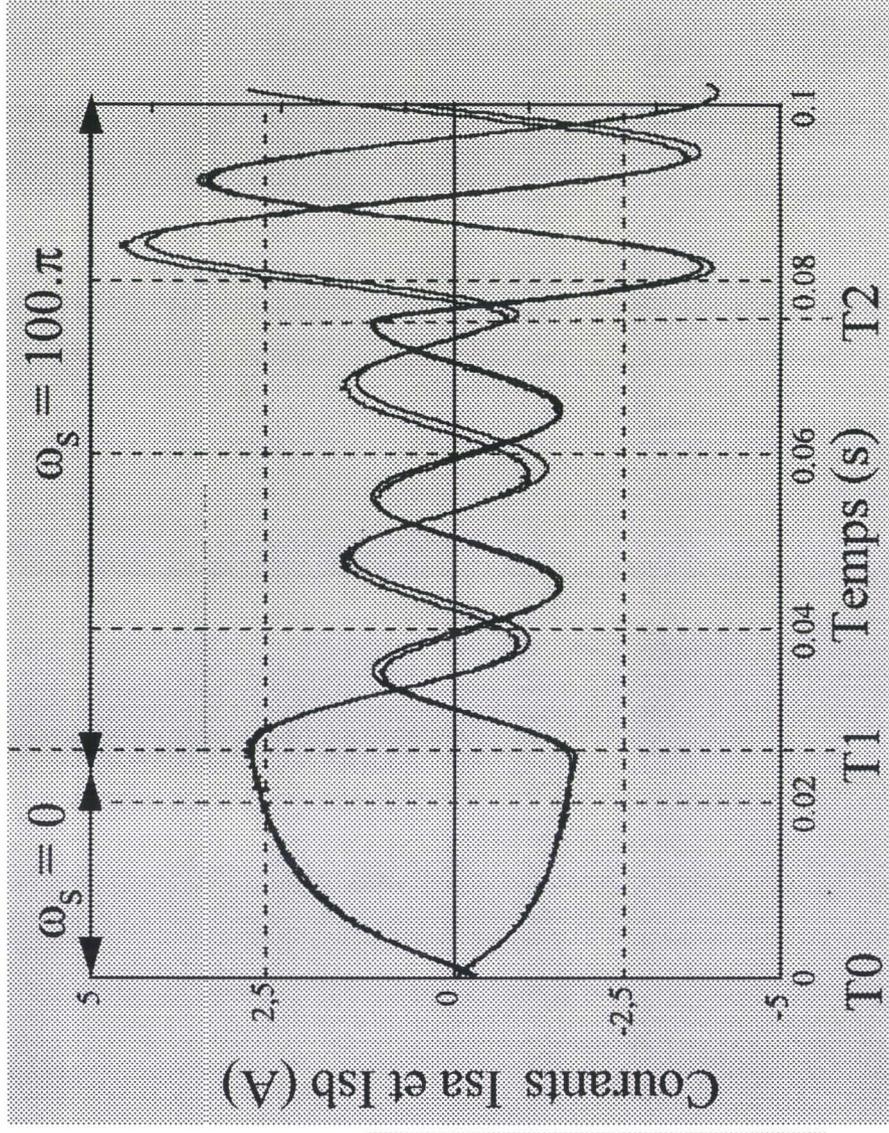
• en $t=T1$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 0V$
 $\omega_s = 100\pi$

• en $t=T2$:
 $V_{sd} = 10V$
 $V_{sq} = 25V$
 $\omega_s = 100\pi$

CONTROLE DE TENSIONS SINUSOIDALES

(Evolution des Courants statoriques)

Simulation Expérimentation



• en $t=T_0$:

$$V_{sd} = 10V$$

$$V_{sq} = 0V$$

$$\omega_s = 0$$

(Fluxage)

• en $t=T_1$:

$$V_{sd} = 10V$$

$$V_{sq} = 0V$$

$$\omega_s = 100\pi$$

• en $t=T_2$:

$$V_{sd} = 10V$$

$$V_{sq} = 25V$$

$$\omega_s = 100\pi$$

COMMANDE A FLUX STATORIQUE ORIENTE

Le choix d'orienter le vecteur flux statorique apparaît a priori le plus naturel car la machine asynchrone est avant tout, un circuit magnétique dont le stator est directement accessible.

COMMANDE A FLUX STATORIQUE ORIENTE

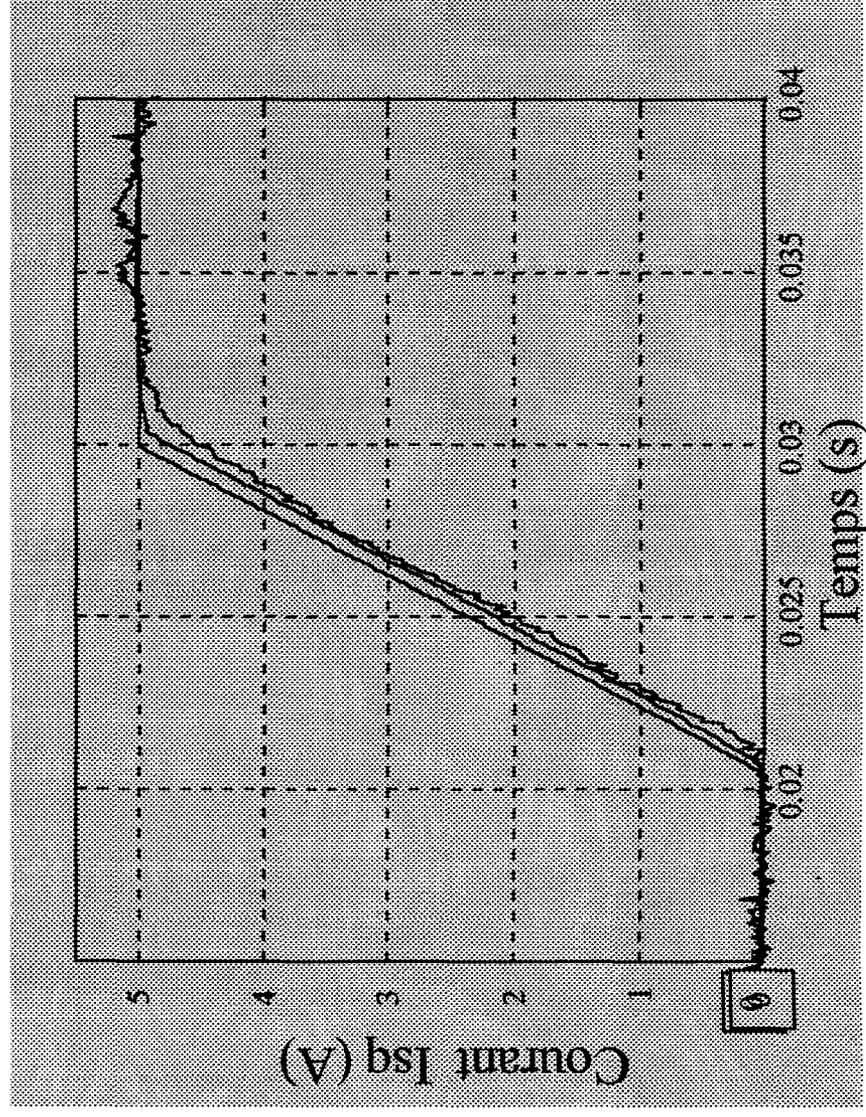
La contrainte ϕ_{sq} nul conduit dans ces conditions aux deux propriétés suivantes :

- *L'axe d est aligné sur le vecteur flux statorique*
- *L'évolution du couple est proportionnelle au courant i_{sq} .*

CONTROLE EN COUPLE

(rampe de 2000Nm/s)

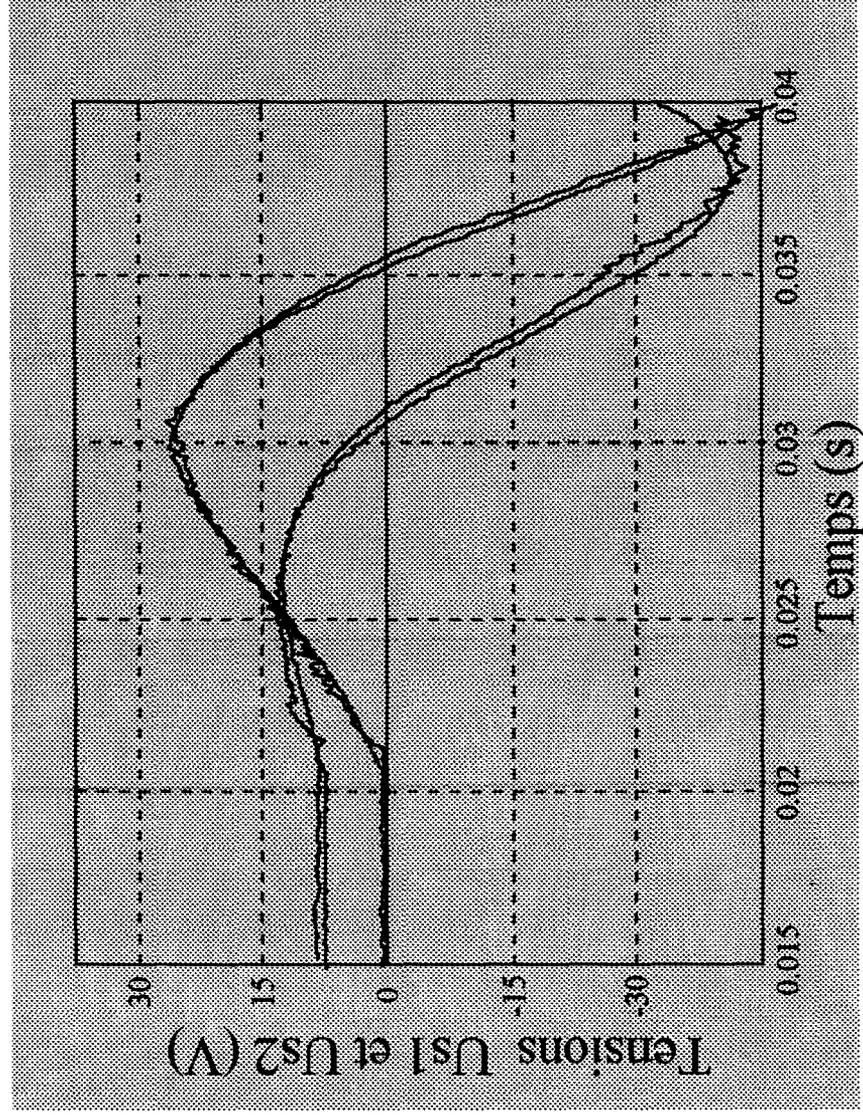
Simulation Expérimentation



CONTROLE EN COUPLE

(rampe de 2000Nm/s)

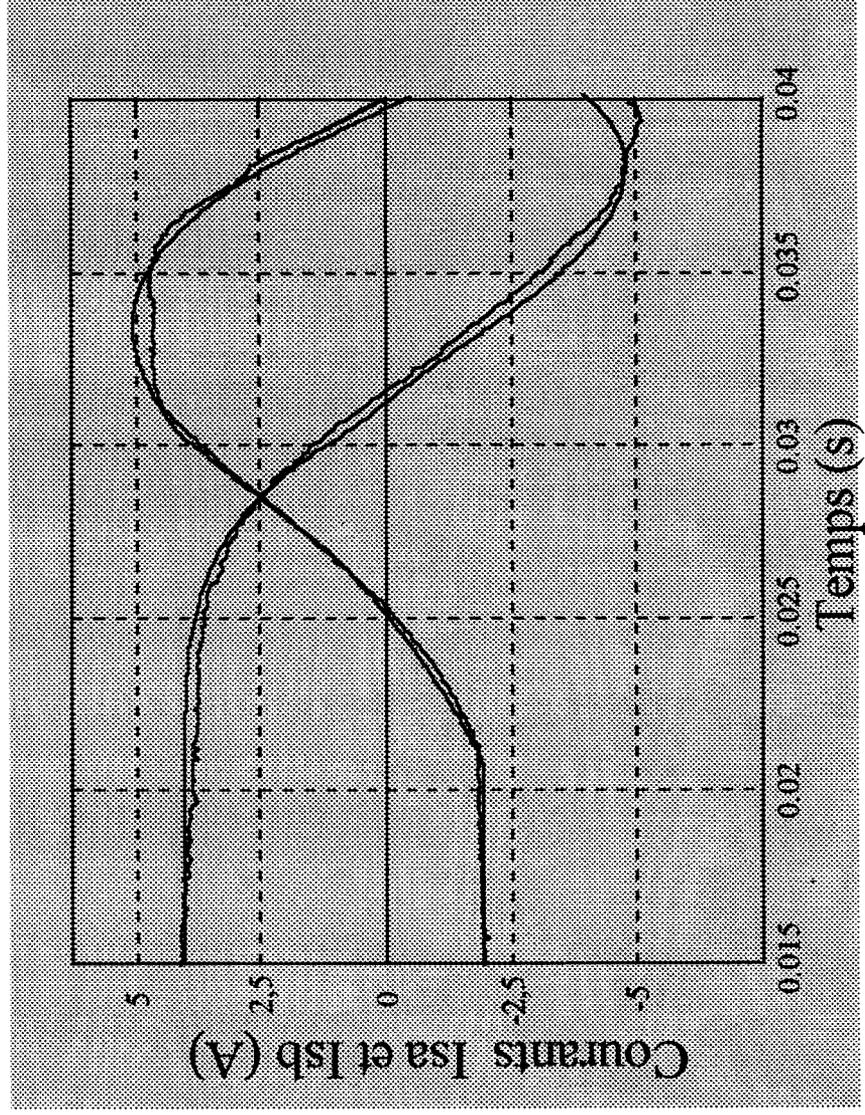
Simulation Expérimentation



CONTROLE EN COUPLE

(rampe de 2000Nm/s)

Simulation Expérimentation



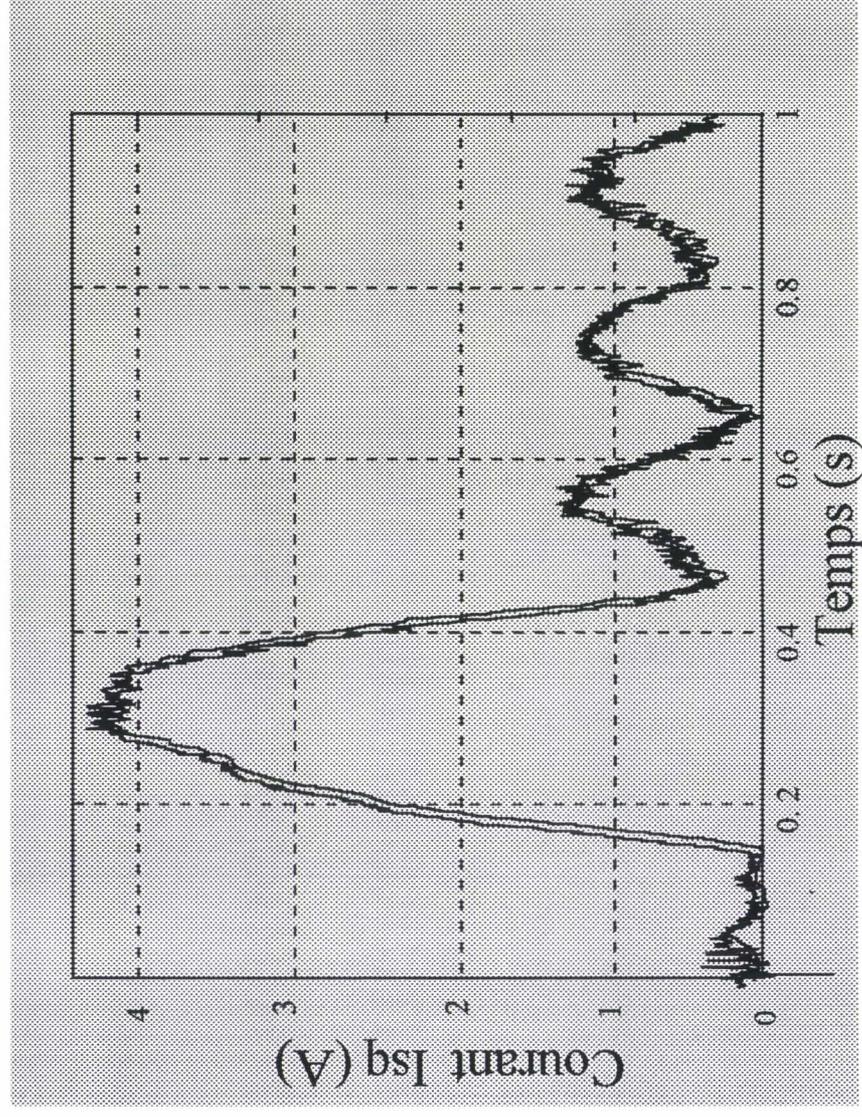
ESTIMATEUR DE VITESSE

Nous avons mis en oeuvre un estimateur de vitesse basé sur le principe de l'estimation en boucle fermé : la trajectoire du courant \tilde{i}_{sq} estimé est asservie au courant réel i_{sq} grâce à la grandeur de réglage $\tilde{\omega}_r$ issue de la relation de poursuite.

ESTIMATION EN BASSE VITESSE

(10% de la vitesse nominale donnée à 50Hz)

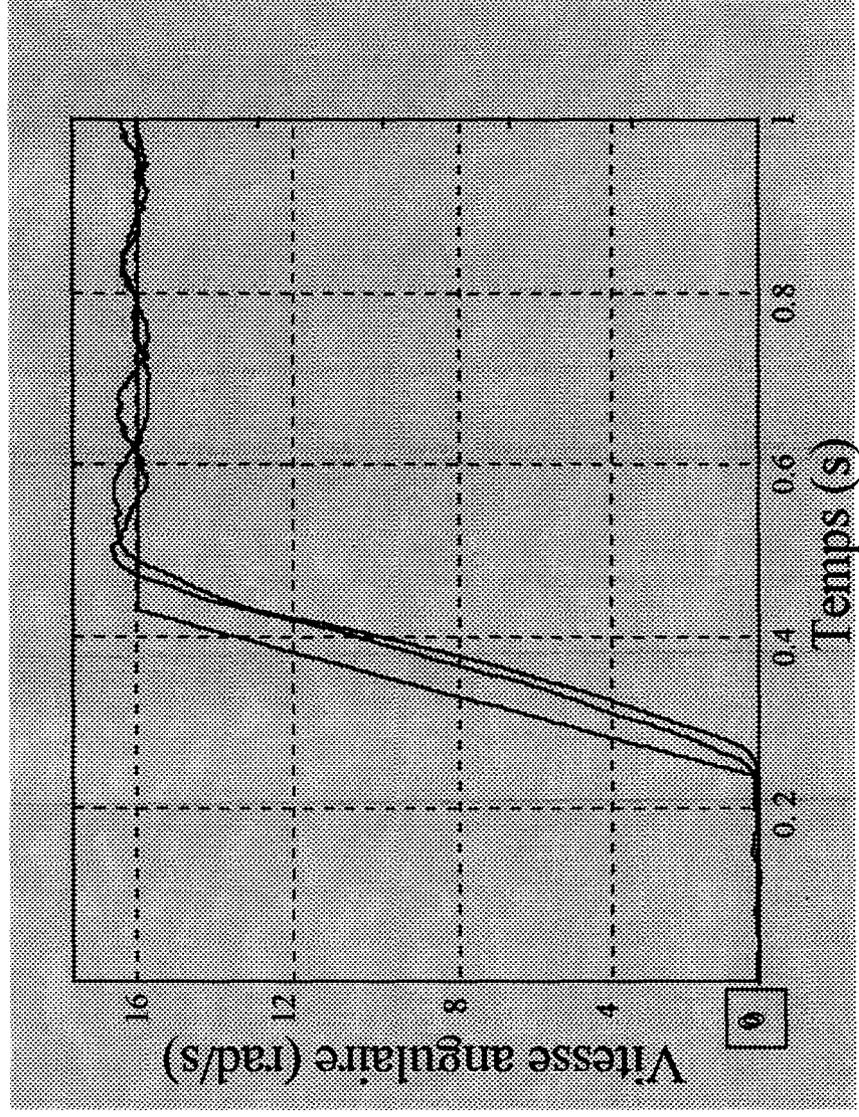
Estimation Mesure



ESTIMATION EN BASSE VITESSE

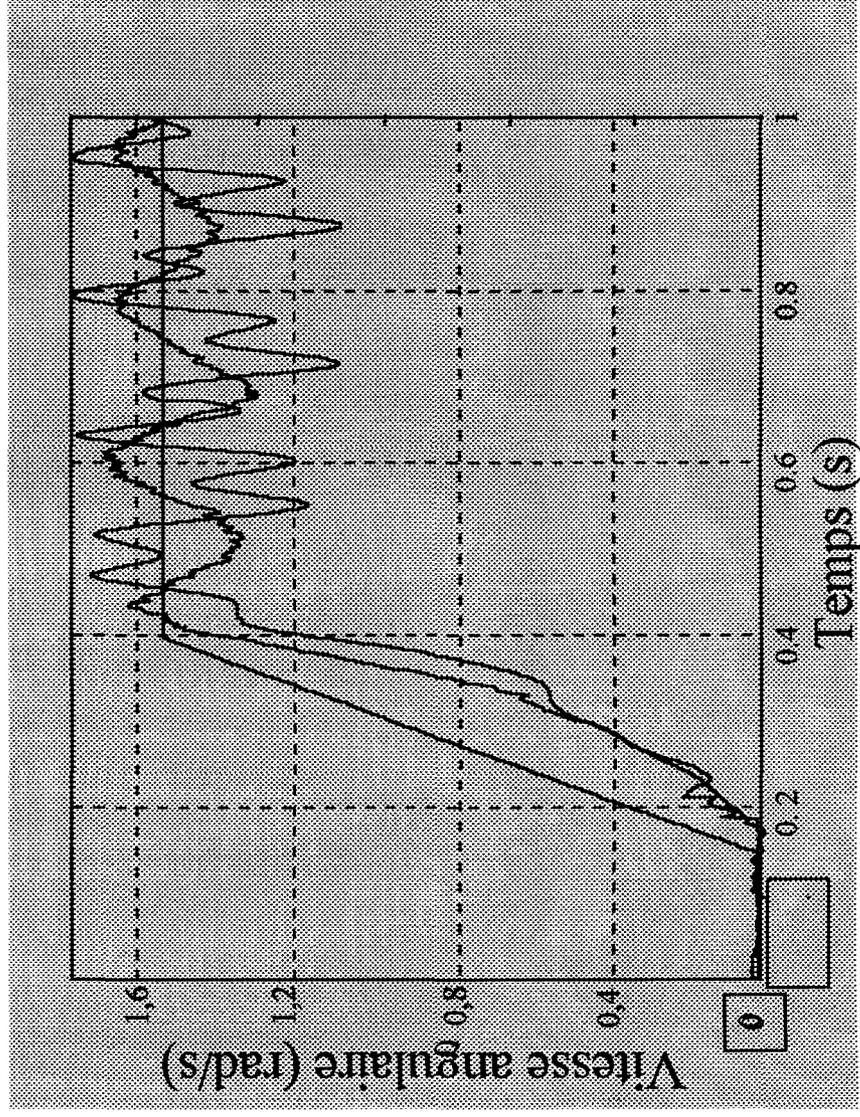
(10% de la vitesse nominale donnée à 50Hz)

Estimation Mesure



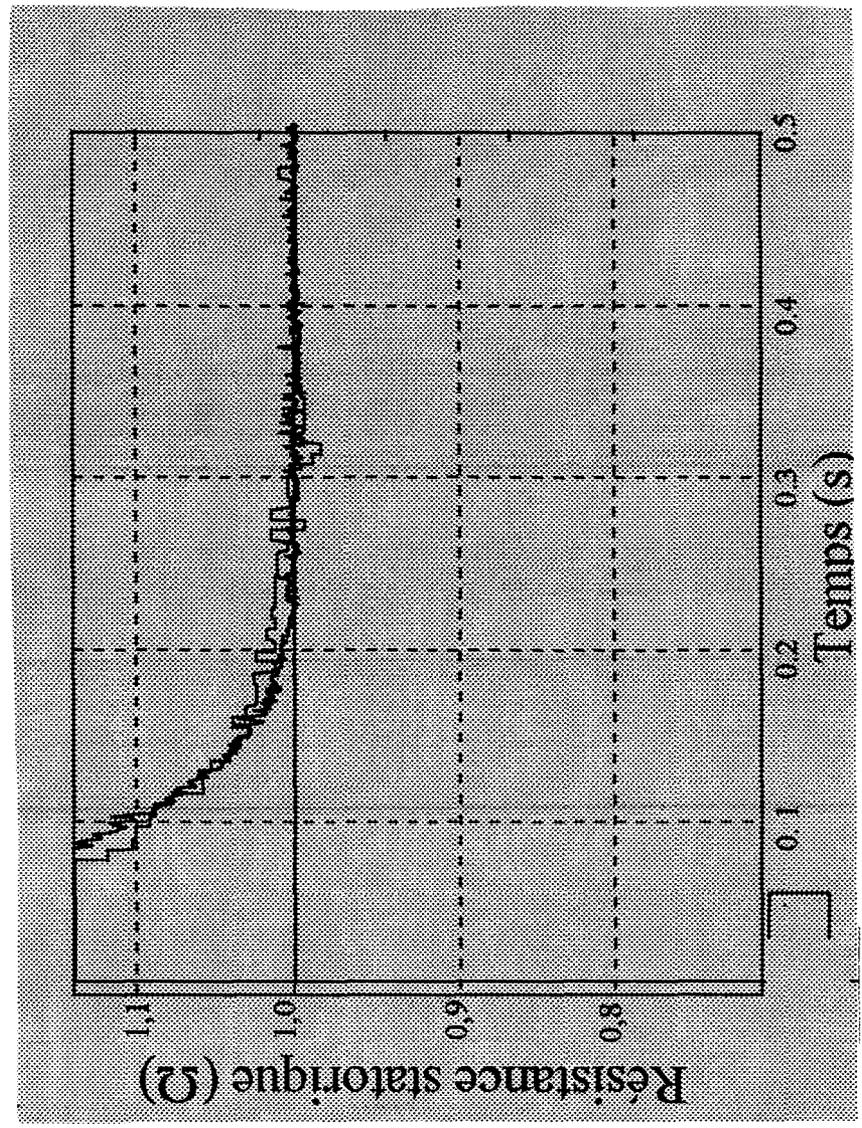
ESTIMATION EN TRES BASSE VITESSE (1% de la vitesse nominale donnée à 50Hz)

Estimation Mesure



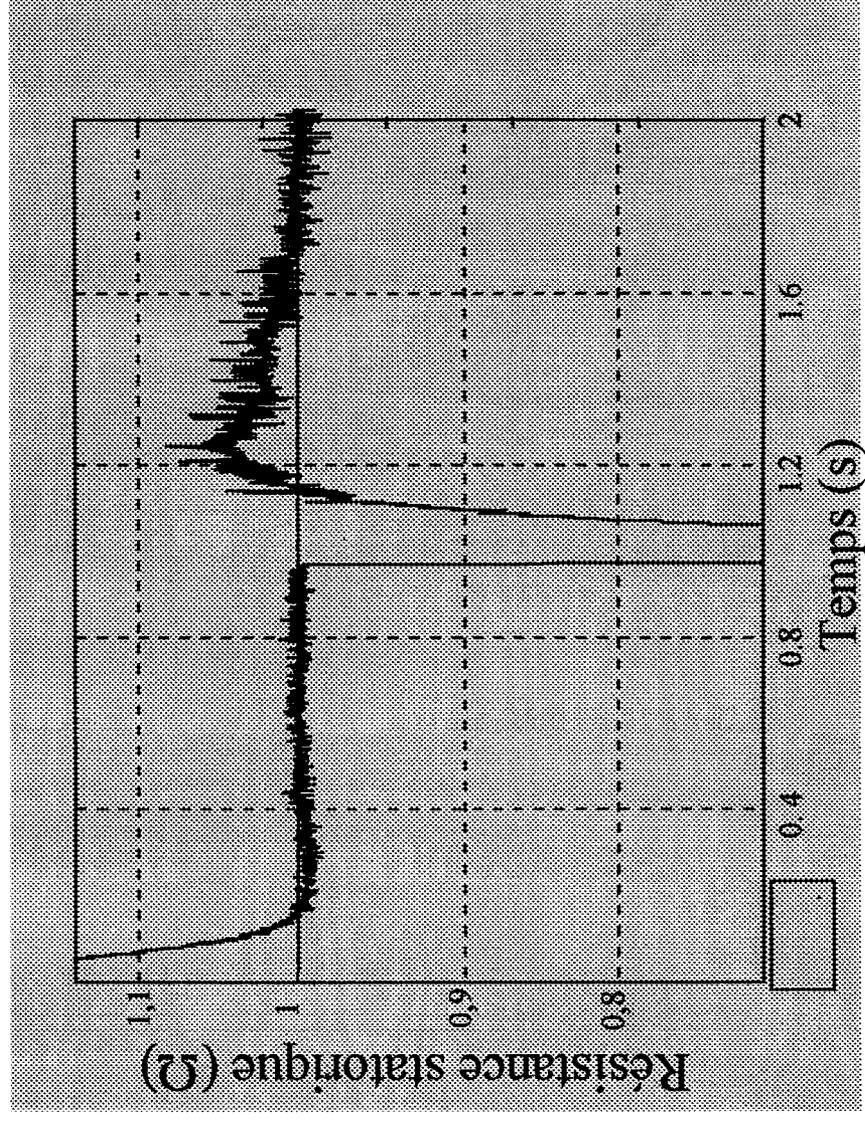
ESTIMATEUR DE RESISTANCE STATORIQUE

Simulation Expérimentation



ESTIMATEUR DE RESISTANCE STATORIQUE

Réponse à un défluxage de 50 %

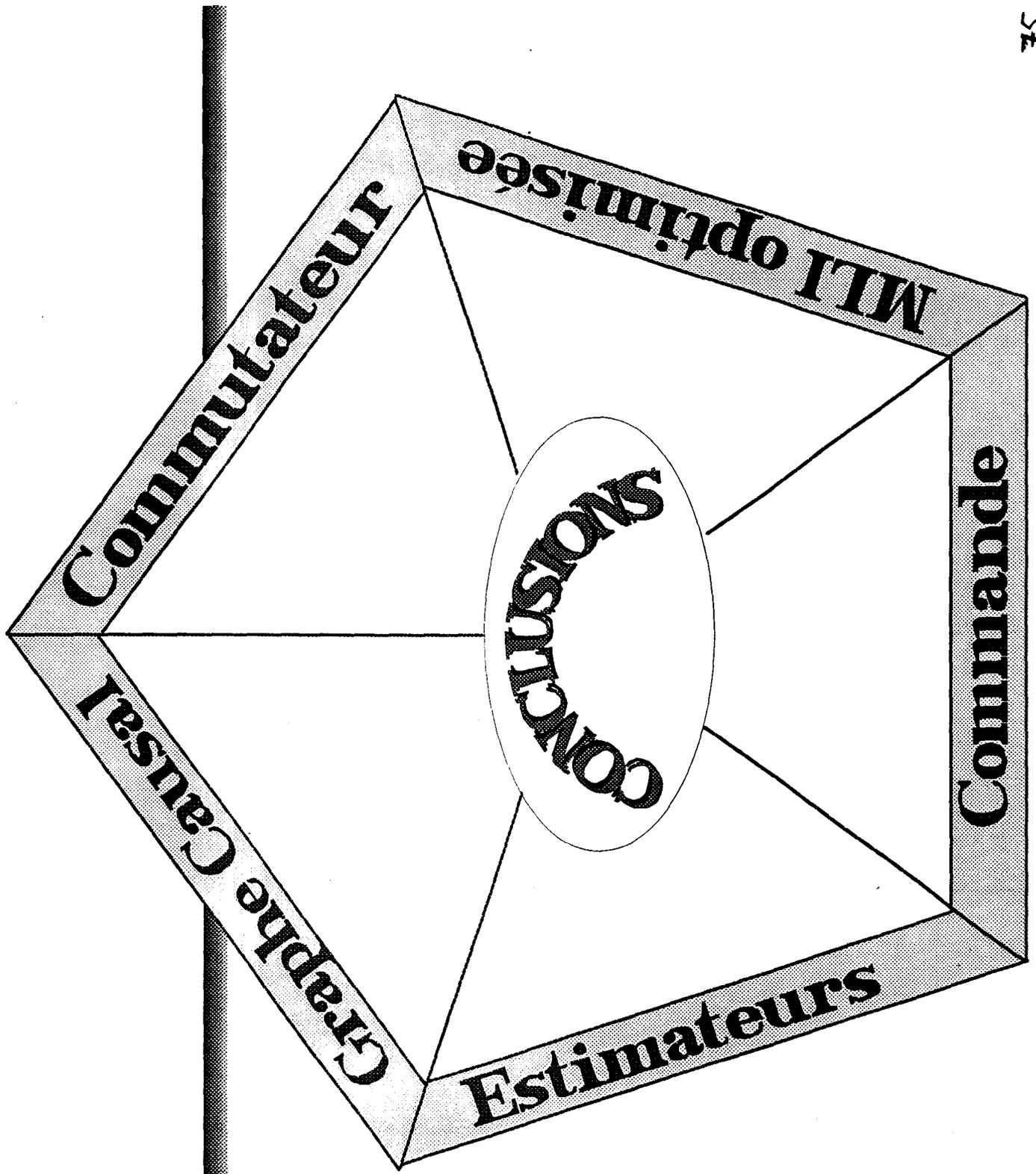


CONCLUSIONS GENERALES



PRINCIPAUX ACQUIS SUITE A CE TRAVAIL

- *Démarche méthodologique* intéressante prenant appui sur l'outil GIC,
- *Solutions techniques performantes* pour les convertisseurs étudiés fonctionnant en MLI (*modulateurs*),
- *Qualité de la transformation* obtenue par l'association commutateur - machine asynchrone.



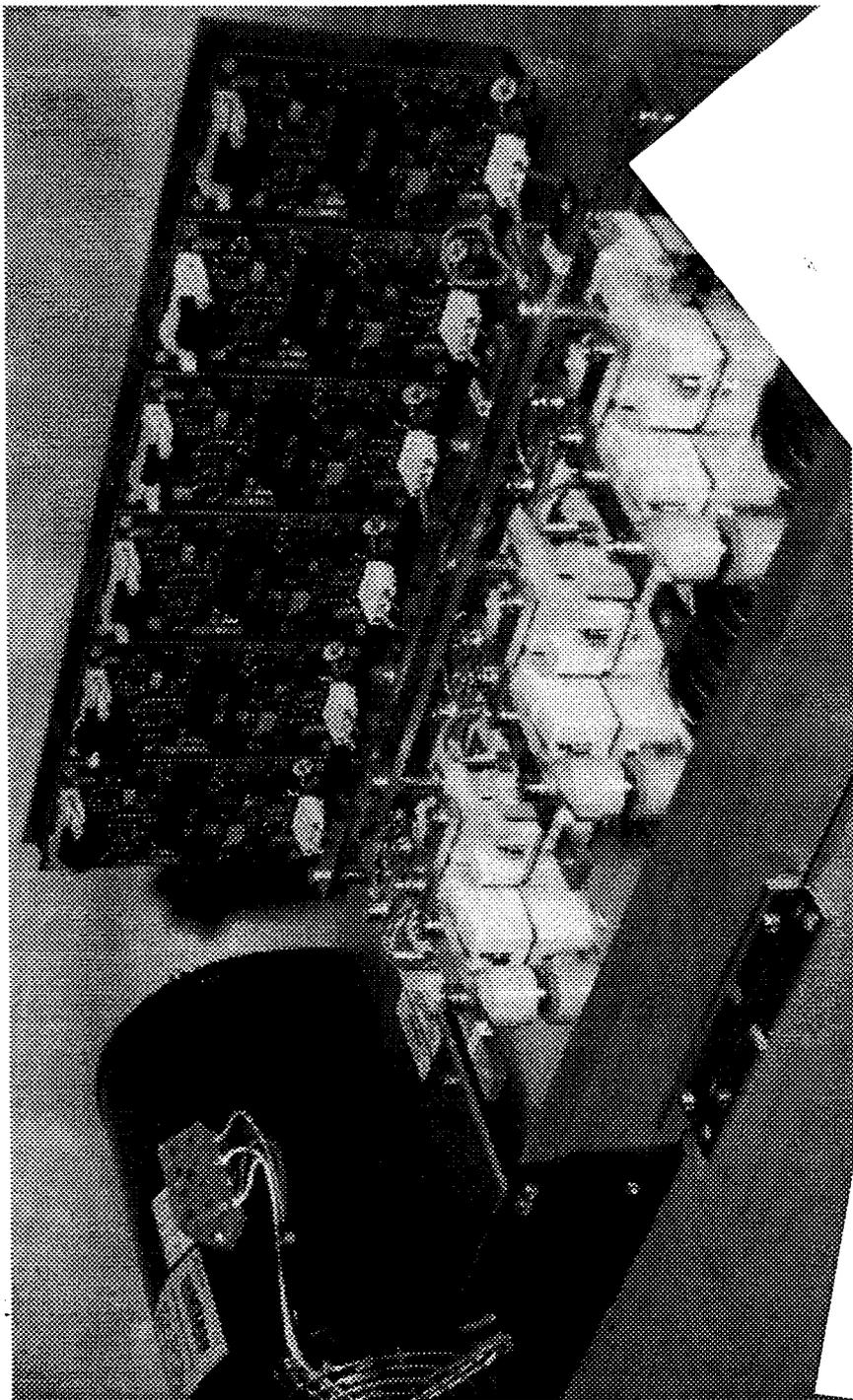
INTERETS DE L'OUTIL GIC

- *Modélisation globale* de l'association Source - Convertisseur - Machine (*Modèle Hybride*),
- *Synthèse simplifiée* de la structure de contrôle dynamique par inversion du graphe de causalité,
- *Décomposition hiérarchisée* de l'architecture de commande en couches fonctionnelles.

ASSOCIATION COMMUTATEUR MACHINE ASYNCHRONE

- *Sécurité accrue* en cas de défaillance du commutateur (Limitation de l'énergie stockée),
- *Réduction de la pollution* harmonique et sonore,
- Disparition des problèmes liés aux *temps morts*,
- *Parfaite régularité du couple* même en très basse vitesse.

PERSPECTIVES



SUITES ENVISAGÉES A CE TRAVAIL

- Prise en compte des phénomènes de *saturation magnétique* pour optimiser totalement la conversion,
- Analyse de l'effet à long terme des *contraintes diélectriques* dans les condensateurs,
- Etudes sur les *marches dégradées* du commutateur de courant (*passage d'un mode de fonctionnement à un autre*).

Aspects prospectives d'avenir

Shingage 10V

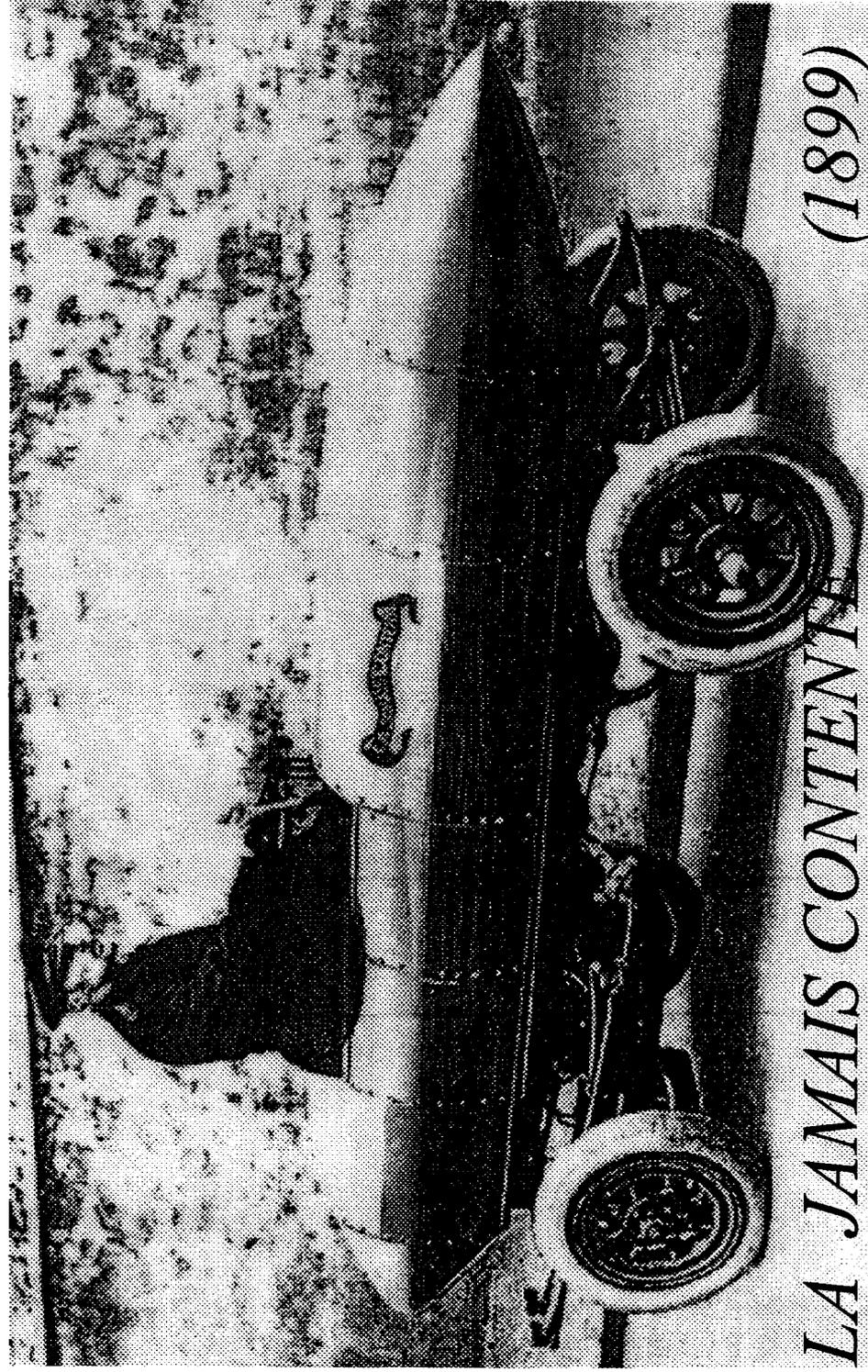
Positionnement

Automobile



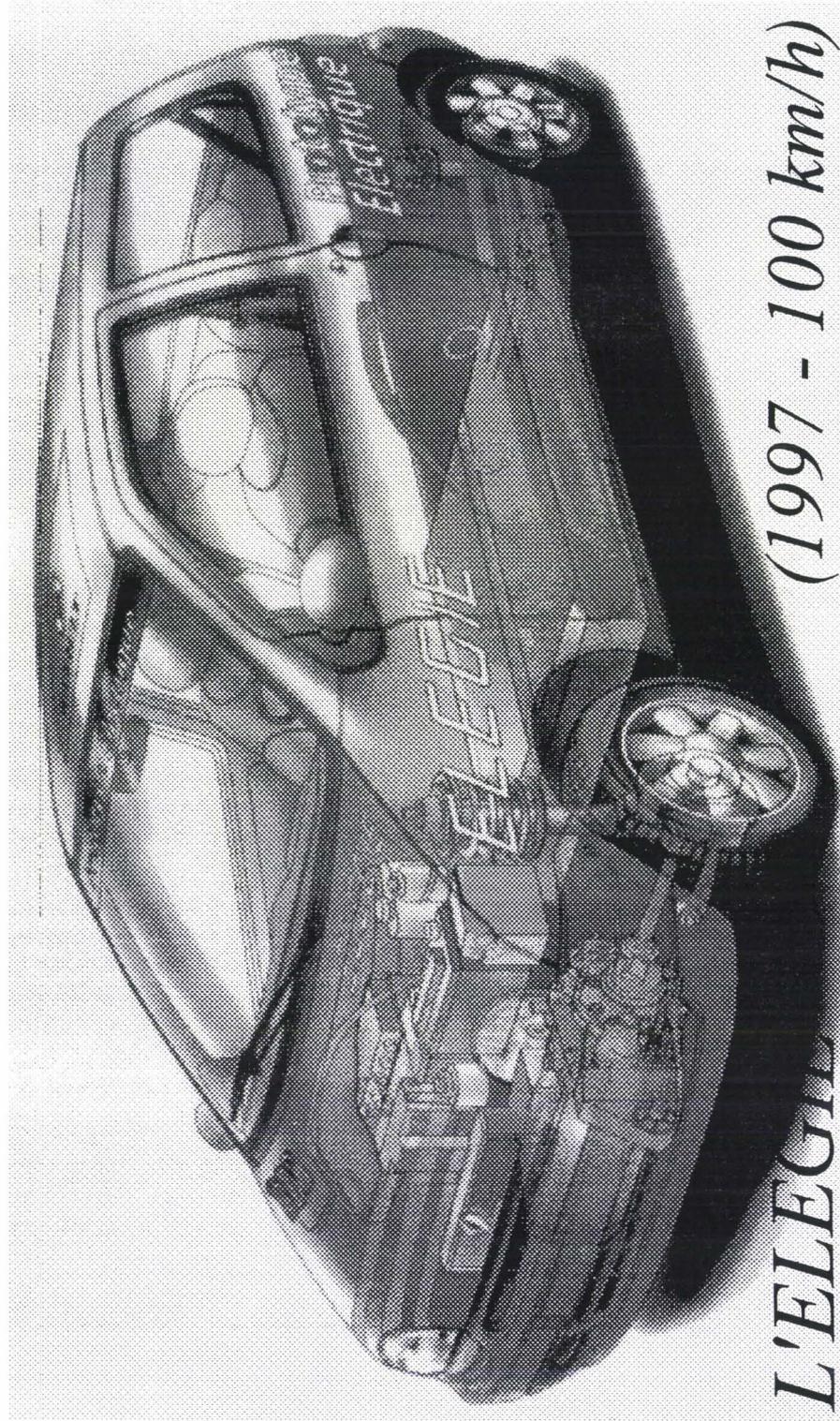
Philippe DEGOBERT

*Le premier véhicule à dépasser les 100 km/h
était déjà un véhicule électrique !!!*



LA JAMAIS CONTENTE (1899)

Quels sont les véritables progrès apportés au véhicule électrique depuis près d'un siècle !!!



*L'ELEGIE
(1997 - 100 km/h)*

**FORMALISM FOR ELECTRICAL MACHINES CONTROL
SUPPLIES BY STATICS CONVERTERS**

**APPLIED TO INSTANTANEOUS DIGITAL CONTROL OF
INDUCTIONS ACTUATORS BY SIX-VALVES CURRENT SOURCE CONVERTERS**

DEGOBERT Philippe

LILLE 1997

This thesis is split up into two parts : the first describes the modelling formalism for the alternating current machines control, the second part depicts the study and the realisation of an induction motor drive instantaneous digital control supplies by a 10 kHz current source inverter.

The first chapter is built on a concept of causality. After define a direct current reference actuator, the concept of CIG (Causal Informational Graph) is applied oneself to a generalized machine in order to find the differents aspects of electromechanical conversion.

In the second chapter, we have try to generalize the duality between all the statics converters as well as the near control. We have introduct the concept of "*unconnection function*" which complete the formalism already shown in previous works.

The third chapter is an application of the suggest method : the motor used is a salient poles synchronous machine and the converter a three phases inverter.

The fourth chapter concern the near control of induction machine supplies by six-valves current inverter.

We study in the fifth chapter, the stator field oriented vector control. We research for simple and robust algorithms to use in a very low speed DSP control.

Mots clés :

Outil Graphe Informationnel Causal, Machine généralisée, Machine Synchrone à pôles saillants, Moteur Asynchrone, Commutateur de courant, Stratégies de Modulation de Largeur d'Impulsions, Simulation numérique, Architecture à Processeur de Signal Numérique, Commande robuste à flux statorique orientée, Estimateur de résistance statorique temps réel.

Keywords :

Concept of Causal Informational Graph, Generalized machine, Salient poles Synchronous Machine, Asynchronous Motor, Six-valve Current Source Converter, PWM Strategies, Numerical simulation, DSP Architecture Design, Robust Stator Field Oriented Control, Real time appraisal Stator Resistance.

FORMALISME POUR LA COMMANDE DES MACHINES ELECTRIQUES ALIMENTEES PAR CONVERTISSEURS STATIQUES

APPLICATION A LA COMMANDE NUMERIQUE D'UN ENSEMBLE MACHINE ASYNCHRONE - COMMUTATEUR DE COURANT

DEGOBERT Philippe

LILLE 1997

Ce mémoire se décompose en deux parties : la première correspond à la description d'un formalisme de modélisation pour la commande des machines à courant alternatif, la seconde décrit l'étude et la réalisation expérimentale d'une commande numérique de la machine asynchrone alimentée par un commutateur de courant à transistors fonctionnant à 10 kHz.

Le premier chapitre est bâti sur l'idée conceptuelle de la causalité régissant le fonctionnement de tout processus physique. Après avoir défini un actionneur de référence à courant continu, le concept Graphe Informationnel Causal (GIC) est appliqué à la machine généralisée dans l'objectif de retrouver les différents aspects de la conversion électromécanique.

Dans le second chapitre, nous avons cherché à généraliser la dualité entre toutes les structures de conversion statique. Pour cela, nous avons introduit le concept de fonction de déconnexion qui vient compléter le formalisme déjà présenté à l'occasion de travaux antérieurs. La représentation Informationnelle de la Commande Rapprochée est également généralisée et on retrouve ainsi, la même organisation pour le réglage de tension que de courant.

Le troisième chapitre est une application de la méthodologie appliquée à la commande d'une machine synchrone à pôles saillants alimentée par un onduleur de tension triphasé.

Le quatrième chapitre est une sorte de dualité du cas précédent ; il concerne la commande rapprochée de la machine asynchrone alimentée par un commutateur de courant triphasé à transistors. L'application des principes débouche non seulement sur une optimisation des condensateurs, mais surtout sur une alimentation de la machine par des grandeurs à évolution continue parfaitement régulées.

Le cinquième chapitre est l'étude du contrôle vectoriel à flux statorique orienté avec recherche d'algorithmes simples et robustes, pouvant facilement s'implanter dans un dispositif de commande numérique à base de processeur de signal. Des résultats expérimentaux à très basse vitesse permettent de valider la démarche systématique de la structure de commande.

Mots clés :

Graphe Informationnel Causal, Machine généralisée, Machine Synchrone, Moteur Asynchrone, Commutateur de courant, Modulation de Largeur d'Impulsions, Simulation numérique, Architecture à Processeur de Signal Numérique, Commande robuste, Flux statorique orienté, Estimateur adaptatif.

Keywords :

Causal Informational Graph, Generalized machine, Synchronous Machine, Asynchronous Motor, Six-valve Current Source Converter, PWM, Numerical simulation, DSP Architecture Design, Robust Stator Field Oriented Control, Real time appraisal.