

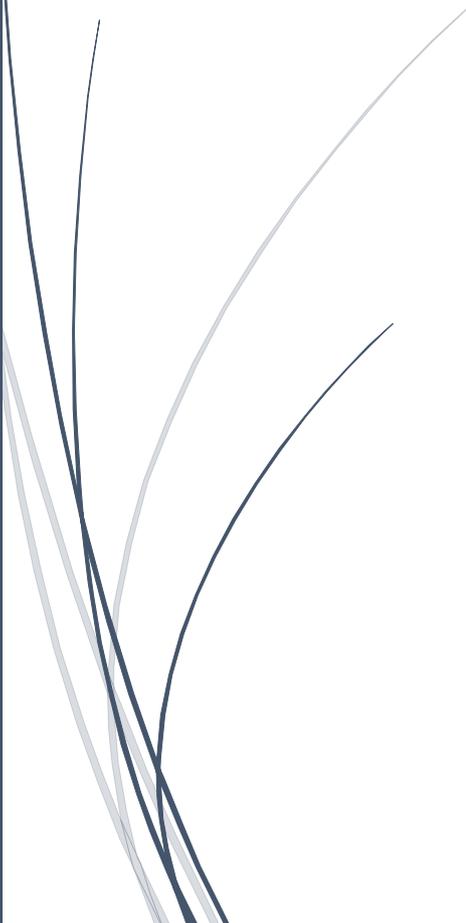


24 janvier 2015

# Commande DPC sur un convertisseur matriciel

Projet de fin d'étude, IMA 5

Tuteur : Philippe Delarue



Quentin Pesqueux, Nicolas Alexandre  
POLYTECH LILLE, IMA 5 SA

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>CAHIER DES CHARGES.....</b>	<b>3</b>
<b>I PRINCIPE DE LA COMMANDE DPC.....</b>	<b>3</b>
<b>II CARACTERISTIQUES D'UN CONVERTISSEUR MATRICIEL .....</b>	<b>7</b>
<b>III COMMANDE DU CONVERTISSEUR MATRICIEL .....</b>	<b>9</b>
III.1 IMPLEMENTATION DE LA COMMANDE DPC SUR UN REDRESSEUR.....	10
III.2. CONTROLE DE L'INVERSEUR DC/AC .....	11
<b>IV. ANALYSE ET RESULTATS DE SIMULATION .....</b>	<b>14</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>15</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>16</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>17</b>

## Introduction

L'application la plus répandue actuellement, dans l'industrie, pour la commande de moteurs électriques, est le variateur de vitesse du type MLI (Modulation de largeur d'impulsion) afin d'asservir le couple et la vitesse des moteurs. Ce système est composé de deux étages, conversion AC/DC et DC/AC, avec un bus continu formé d'une capacité de stockage, qui a une durée de vie limitée et coûte assez cher pour remplacer.

Les recherches de l'électronique de puissance tendent vers un nouveau convertisseur de type AC/AC qui n'utilise plus ce condensateur. Datant des années 80, le convertisseur matriciel propose ce type de conversion avec de nombreux avantages par rapport aux systèmes actuels. En effet, celui-ci n'utilise plus le condensateur afin de filtrer le signal donc réduit le coût. Le facteur de puissance de l'installation est réglable et peut être proche de un, ce qui est bénéfique pour les industriels car les distributeurs d'électricité facturent le courant réactif lorsque le  $\cos(\varphi)$  est inférieur à 0,8. De plus, il est bidirectionnel en tension et en courant ce qui permet de récupérer l'énergie venant de la charge (pendant les périodes de freinage par exemple), c'est un enjeu majeur dans la lutte contre le réchauffement climatique.

Il existe deux types de convertisseurs AC/AC, le cycloconvertisseur et le convertisseur matriciel. Le premier a un faible coût mais une mauvaise qualité des formes d'ondes, ce qui le rend inutile pour les moteurs industriels, il sera donc retenu seulement pour les applications de très fortes puissances (supérieures à 10 Méga Watts).

Le convertisseur matriciel est en pleine expansion, notamment dans le domaine de l'aéronautique du fait de la compacité du montage. Malgré ses avantages, il n'est pas encore utilisé dans les industries car la commande est trop complexe. En effet, il existe plusieurs commandes avec des algorithmes assez poussés et des correcteurs qui impliquent un certain coût et qui ne sont pas adaptés à toutes les applications, ce qui repousse les industriels.

Nous allons donc étudier dans un premier temps une commande du convertisseur MLI, appelée commande DPC (control direct de puissance). Puis nous allons étudier le convertisseur matriciel et adapter la commande DPC à celui-ci afin de proposer une solution simple aux industriels.

## Cahier des charges

Le cahier des charges a été donné dans le sujet du projet, l'objectif est d'élaborer une commande DPC pour un convertisseur matriciel.

On distingue donc plusieurs sous-objectifs :

- Dans un premier temps, il s'agit d'une étude bibliographique concernant la commande par contrôle de puissance.
- Prise en main du contrôle direct sur un convertisseur MLI (sur Matlab).
- Prise en main du convertisseur matriciel et des fonctions associées (sur Matlab).
- Elaboration de la commande DPC pour un convertisseur matriciel.
- Implantation sur Matlab de la commande élaborée.
- Analyse des résultats et rédaction du rapport final.

## I Principe de la commande DPC

Afin de prendre en main le sujet, il a tout d'abord fallu comprendre ce qu'était une commande DPC. Notre travail a donc commencé par la recherche de documents traitant de ce sujet, la commande DPC n'étant qu'au stade de la recherche il n'existe pas encore d'application industrielle mettant en œuvre cette commande.

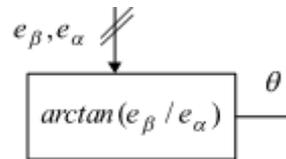
Nous avons donc récupéré plusieurs articles de chercheurs à partir du site IEEE (***Institute of Electrical and Electronics Engineers***), auquel nous avons accès au sein de l'école, qui traitent du sujet.

L'utilisation d'une commande DPC, permet en premier lieu de se passer des correcteurs utilisés couramment afin d'asservir un convertisseur. Cette commande élimine les blocs de modulation et les boucles internes, il n'utilise que les puissances instantanées comme variable de contrôle, plus précisément les erreurs déterminées entre les valeurs mesurées des puissances instantanées actives et réactives et leurs valeurs de référence. Elle détermine ensuite, en fonction de ces valeurs et d'une table de commutation le réglage du convertisseur à appliquer.

Nous allons maintenant expliquer le fonctionnement de la commande DPC, pour cela nous partirons de l'exemple suivant :



- Le  $\theta$  représentant le secteur dans lequel on se trouve dans notre repère diphasé  $(\alpha, \beta)$ , celui-ci peut être déterminé simplement en appliquant une fonction *arctang* sur notre rapport  $\frac{v_\beta}{v_\alpha}$  pour obtenir le  $\theta$ .



- Une fois le  $\theta$  trouvé, il faut déterminer dans quel secteur on se trouve sur la tension du réseau. Un cycle est divisé en 12 zones, chaque zone correspondant à un intervalle de  $\frac{\pi}{6}$  (12 secteurs équivalent à un cycle de  $\frac{\pi}{2}$ ). En fonction de la valeur du  $\theta$  on trouve donc facilement dans laquelle des 12 zones nous nous situons.

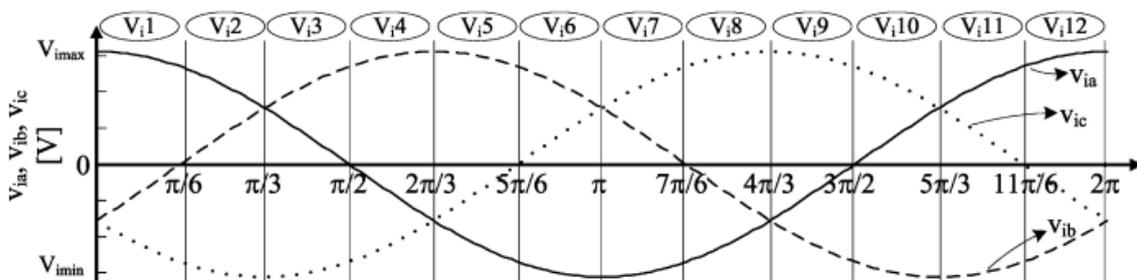
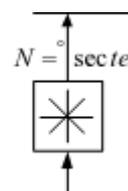


Figure 2. Représentation des 12 secteurs des tensions triphasées

Une autre solution est possible pour déterminer la zone dans laquelle on se trouve sans avoir besoin de calculer le  $\theta$ , cette solution est plus brute, il suffit en effet de comparer les 3 tensions entre elles et par rapport à la valeur nulle. En connaissant les différentes combinaisons possibles (par rapport à la figure précédente) on détermine la zone associée.



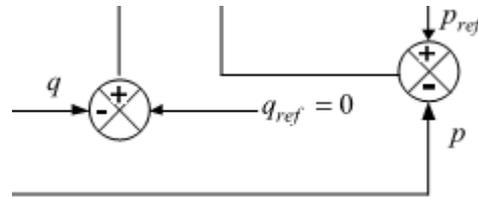
- Il nous faut ensuite calculer les puissances instantanées active et réactive, pour cela nous disposons des courants/tensions directes et de quadratures, il suffit d'appliquer les formules :

$$p = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta$$

$$q = v_\alpha i_\beta + v_\beta i_\alpha$$

On compare ensuite les valeurs des puissances instantanées calculées précédemment :

La puissance réactive instantanée est comparée à une puissance de référence nulle, en effet on cherche à obtenir une puissance réactive nulle, cela permet d'obtenir un facteur de puissance unitaire pour le convertisseur matriciel, si celle-ci est constante on pourra obtenir des tensions triphasés équilibrés.



La puissance active est quant à elle comparée à la puissance active de référence calculée en fonction de la tension continue voulu en sortie du redresseur.

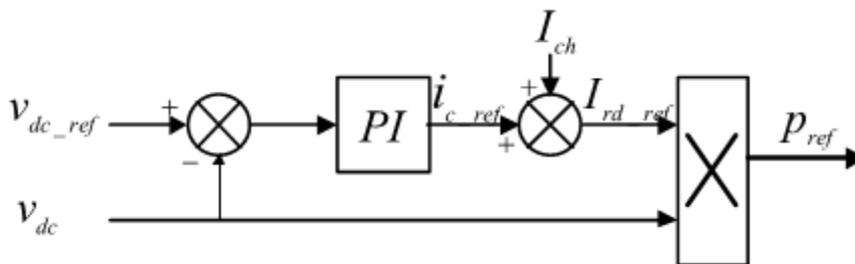
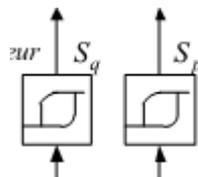


Figure 3. Calcul de la puissance active de référence

La tension Vdc est obtenue en la mesurant aux bornes du condensateur. Le correcteur PI sert à réguler la tension Vdc en suivant la référence Vdc\_ref.

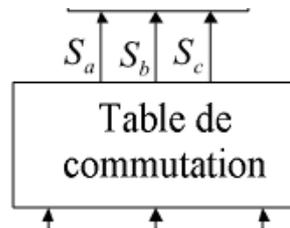
Pour avoir la puissance active de référence est le produit de la tension Vdc avec le courant de référence obtenue lors de la régulation de la tension.

2. L'implémentation de comparateurs à hystérésis est plutôt simple, dans notre cas nous utilisons deux régulateurs à deux niveaux (0 ou 1) afin de comparer l'erreur obtenue auparavant avec un seuil défini. Les sorties du comparateur à hystérésis étant des variables booléennes, leurs valeurs vont dépendre du dépassement de ces erreurs par rapport au seuil. Si celui-ci est inférieur alors la sortie prendra la valeur 0, au contraire si le dépassement est supérieur alors la sortie sera égale à 1.



3. La table de commutation prend en entrée les erreurs  $S_q$  et  $S_d$  ainsi que l'indice du secteur (1 à 12) dans lequel on se trouve. Celle-ci est remplie précédemment avec les opérations à réaliser en fonctions des valeurs des erreurs et de la zone.

En sortie plusieurs Bit sont envoyés afin de contrôler l'état des commutateurs, le nombre de bit dépend du convertisseur choisi, on prendra en effet seulement 6 bits (dont 3 complémentaires) pour réaliser le contrôle d'une MLI.



## II Caractéristiques d'un Convertisseur matriciel

Le convertisseur matriciel effectue une conversion AC/AC de manière directe, c'est-à-dire sans étage de stockage comme dans un convertisseur MLI, ce qui le rend plus fiable. De plus, il absorbe les courants sinusoïdaux provenant du réseau sans consommer de puissance réactive, ce qui permet de garder un facteur de puissance unitaire. Il permet d'obtenir en sortie des grandeurs sinusoïdales avec une fréquence et une amplitude réglables.

Le convertisseur matriciel est connecté directement au réseau, qui est une source de tension, et sa sortie (V1, V2, V3) est connectée à une source de courant comme un moteur électrique qui est de nature inductive. Il y a ainsi le respect de l'alternance des sources.

La commande électronique du convertisseur doit le protéger contre les court-circuits et les surtensions. Une ou plusieurs sources de tensions peuvent être associée(s) à une ou plusieurs source(s) de courant.

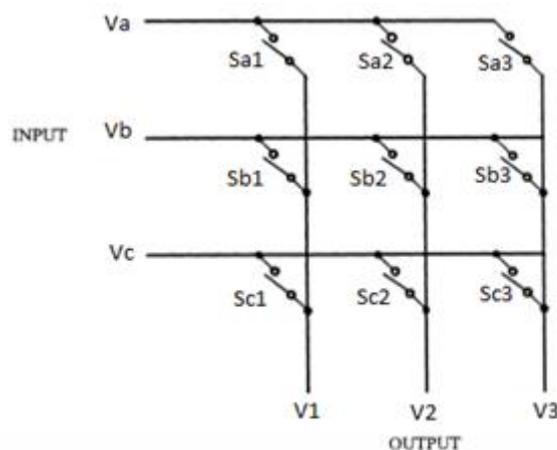


Figure 4. Schéma de principe du convertisseur matriciel

Nous allons mettre en équation la structure en utilisant les lois de Kirchhoff :

$$\begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Sa1 & Sa2 & Sa3 \\ Sb1 & Sb2 & Sb3 \\ Sc1 & Sc2 & Sc3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i1 \\ i2 \\ i3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Sa1 & Sa2 & Sa3 \\ Sb1 & Sb2 & Sb3 \\ Sc1 & Sc2 & Sc3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ia \\ ib \\ ic \end{bmatrix}$$

Avec  $i1, i2, i3$  les courant de sortie de la matrice et  $ia, ib, ic$ , les courants en entrée.

Et  $S_{ij}$ , la fonction de connexion des neufs interrupteurs,

$$S_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si interrupteur ouvert} \\ 1 & \text{si interrupteur fermé} \end{cases} \quad \text{pour } i=a,b,c \text{ et } j=1,2,3$$

### Composition des interrupteurs :

Il est composé de neufs interrupteurs bidirectionnels en courant et en tension et à commutation forcée. Pour cela, il faut associer des composants tels que des diodes et transistors. Actuellement, plusieurs schémas sont retenus par les chercheurs comme sur la figure 5. L'inconvénient est le nombre élevé d'alimentations isolées nécessaire pour commander ces interrupteurs.

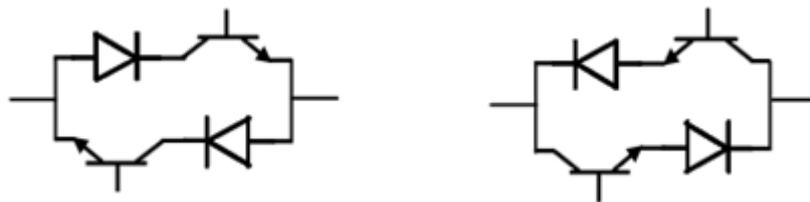


Figure 5. Topologie à transistor et diode en série

Avec la solution récente du RB IGBT, pas encore commercialisé, le convertisseur matriciel peut devenir une solution viable car ce composant n'a plus le problème des pertes de conduction qu'avec les montages associant transistor et diode en série. En effet, le RB IGBT est équivalent à un transistor en série avec une diode avec une chute de tension faible lors de l'état passant.

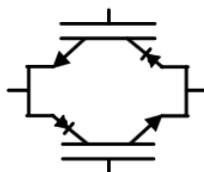


Figure 6. Schéma de l'interrupteur quatre quadrants avec la technologie RB IGBT

Il existe déjà des commandes pour les convertisseurs matriciels mais celles-ci sont compliquées et nécessitent une stratégie de modulation. Avec la sortie récente des semi-conducteurs RB IGBT, le convertisseur matriciel devient très intéressant car ces composants ont très peu de pertes. Avec une commande adaptée et facile à mettre en œuvre comme la commande DPC, les industriels utiliseront ce type de système.

### III Commande du convertisseur matriciel

Dans notre étude, nous allons employer un convertisseur virtuel AC/DC/AC afin de déterminer les états des interrupteurs du convertisseur matriciel. En effet, celui-ci peut se décomposer en deux parties virtuelles :

- Un redresseur afin d'effectuer la conversion AC/DC.
- Un inverseur qui va convertir du continu en triphasé.

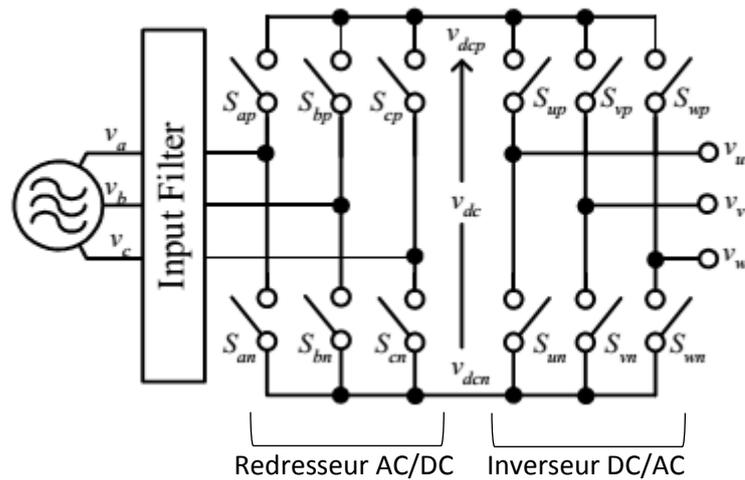


Figure 7. Décomposition du convertisseur matriciel

Le redresseur permet d'obtenir un bus continu en sortie avec la possibilité de modifier la valeur de la tension continue. L'inverseur est un onduleur, qui permet d'obtenir des signaux alternatifs dont l'amplitude et la fréquence peuvent être variables.

Avec cette méthode, si nous pouvons contrôler indépendamment la source de tension (redresseur) et la source de courant (inverseur) du convertisseur virtuel, alors il nous suffit de concaténer les deux commandes pour contrôler le convertisseur matriciel comme nous le montre la figure suivante.

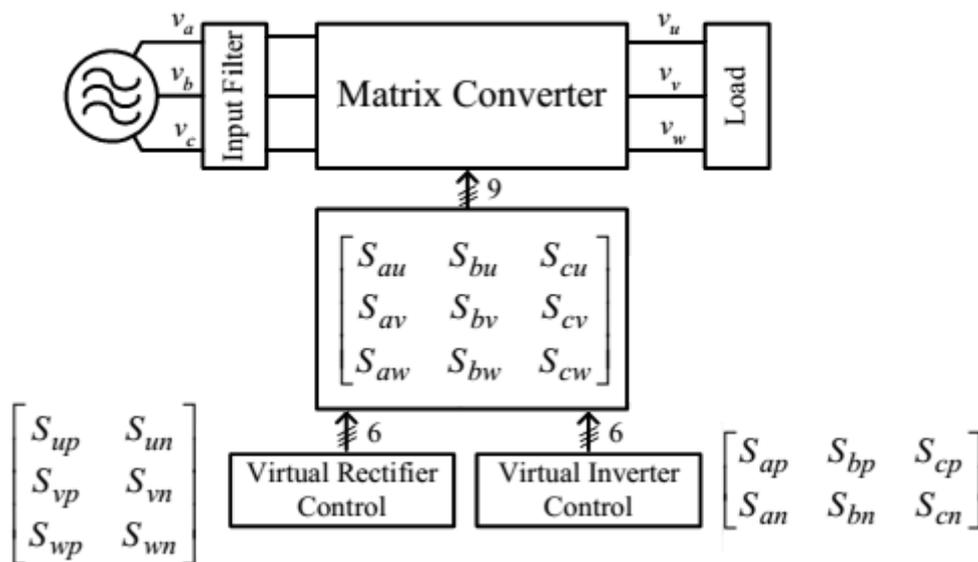


Figure 8. Commande du convertisseur matriciel basé sur le convertisseur virtuel AC/DC/AC

### III.1 Implémentation de la commande DPC sur un redresseur

Nous avons vu précédemment que nous pouvons considérer un convertisseur matriciel comme un ensemble d'un redresseur et d'un inverseur.

La commande DPC est réalisée pour la partie redresseur, pour rappel la première étape est donc de déterminer l'angle entre les tensions composées du réseau afin de déterminer dans quel secteur nous nous trouvons pour réaliser une table de commutation performante.

Une fois l'angle  $\theta$  calculé grâce à une fonction  $\arctan(v_\alpha, v_\beta)$ , nous comparons la valeur obtenue afin de déterminer la zone dans laquelle nous sommes :

Valeur de $\theta$	Zone
$0 \leq \theta < \frac{\pi}{3}$	1
$\frac{\pi}{3} \leq \theta < \frac{2\pi}{3}$	2
$\frac{2\pi}{3} \leq \theta < \frac{3\pi}{3}$	3
$\frac{3\pi}{3} \leq \theta < \frac{4\pi}{3}$	4
$\frac{4\pi}{3} \leq \theta < \frac{5\pi}{3}$	5
$\frac{5\pi}{3} \leq \theta < \frac{6\pi}{3}$	6

Nous devons ensuite déterminer les états des interrupteurs pour cela nous utilisons la table de commutation suivante :

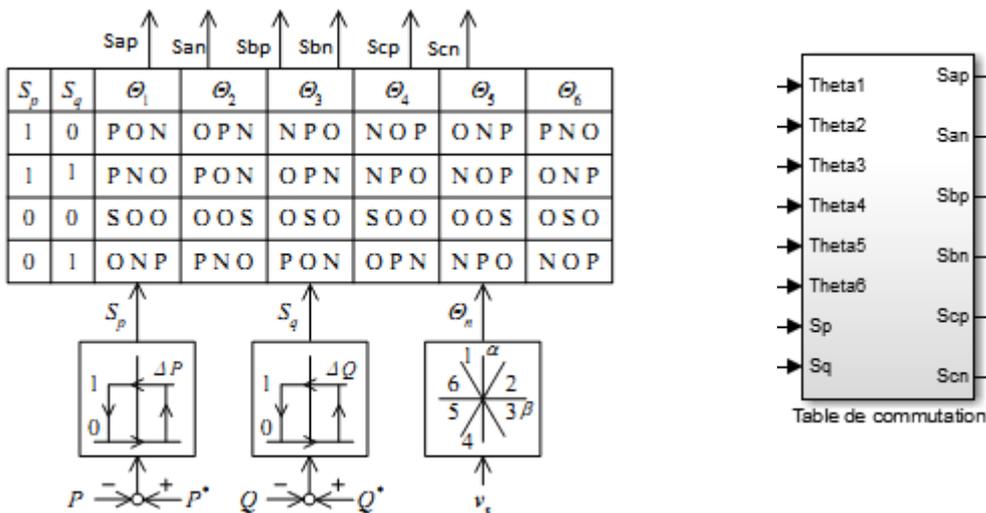


Fig 9. Représentation de la table de commutation et des comparateurs

En entrée de la table de commutation nous avons donc les 6 secteurs possibles ainsi que les valeurs de sortie des comparateurs à hystérésis vu précédemment, dans lesquels nous comparons la différence entre nos puissances active et réactive instantanées à leurs références respectives :

$$P^* = P_L \max \left\{ \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \omega t \\ \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ \cos(\omega t - 4\pi/3) \end{bmatrix} \right\}$$

$$Q^* = 0$$

Sur la table de commutation nous pouvons voir que les états sont définis par 4 lettres différentes (P, N, S et O), ils sont regroupés par groupe de 3 et déterminent les états des interrupteurs des 3 bras. P signifie que l'interrupteur supérieur sera fermé et que l'interrupteur inférieur sera ouvert, N correspond à l'inverse. S correspond à la fermeture des deux interrupteurs et donc à l'apparition d'un court-circuit, O quant à lui signifie l'ouverture des deux interrupteurs.

Par exemple dans le cas où l'on se trouve dans le secteur  $\theta_4$  avec  $S_p = 1$  et  $S_q = 0$ , nous aurons la matrice d'état de commutation suivante :

$$\begin{pmatrix} S_{ap} & S_{bp} & S_{cp} \\ S_{an} & S_{bn} & S_{cn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Nous avons implanté cette table de commutation sous la forme d'une fonction Matlab et sous la forme de blocs logiques, mais nous avons été confrontés au fait que Simulink n'exécute pas les fonctions Matlab à la même fréquence que le reste des blocs Simulink, par conséquent nous avons préféré garder la seconde option qui répond plus rapidement.

### III.2. Contrôle de l'inverseur DC/AC

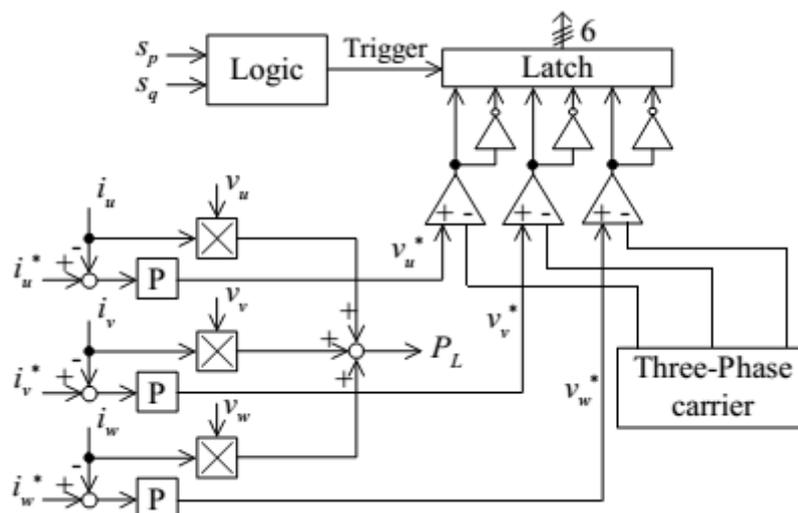


Figure 10. Schéma de la commande de l'inverseur DC/AC

Nous contrôlons l'onduleur avec une commande MLI (modulation de largeur d'impulsion). Celle-ci va comparer les tensions de sorties de références  $V_u^*$ ,  $V_v^*$  et  $V_w^*$  (obtenues avec le control de l'erreur entre les courants de référence et les courants de sortie) à des signaux triangulaires (dans le bloc Three-phase carrier).

Nous avons réalisé cette fonction avec Simulink en comparant les trois tensions de références avec trois signaux triangulaires comme le montre la figure suivante. La fréquence de ces signaux triangulaires va influencer sur la fréquence de commutation de l'onduleur et donc sur la qualité des signaux de sorties.

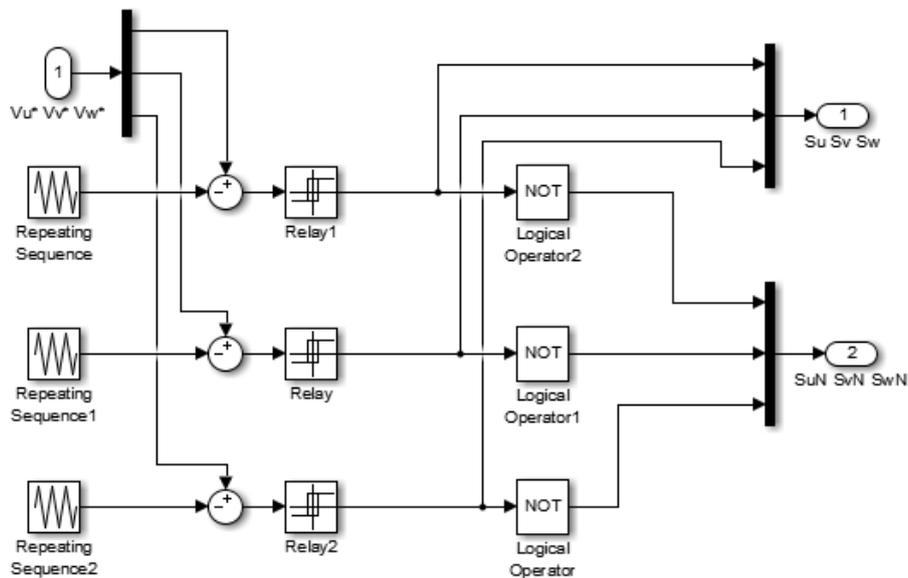


Figure 11. Bloc Three-phase carrier, commande MLI

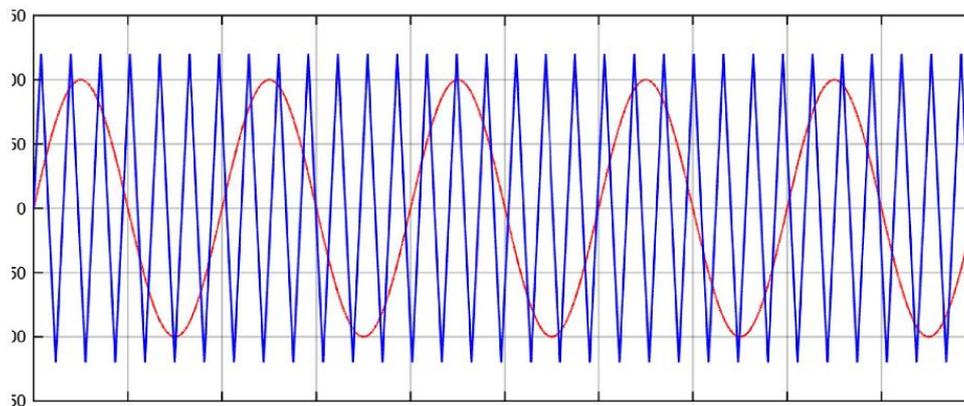


Figure 12. Signal triangulaire (bleu) et tension  $V_u^*$  de référence

Ces deux signaux sont injectés dans un comparateur et nous obtenons ainsi un signal triangulaire comme la figure suivante pour le premier signal  $V_u^*$ .

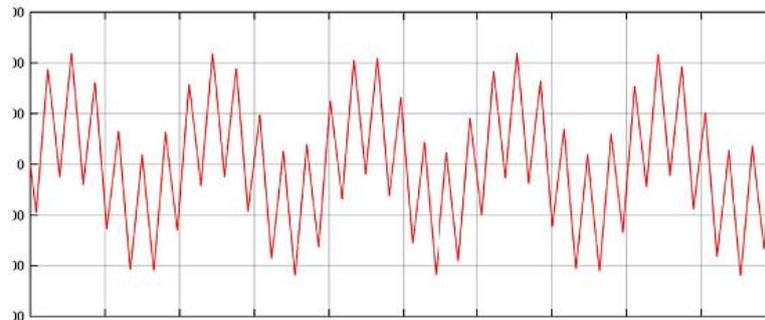


Figure 13. Signal en sortie du comparateur

Ce signal passe ensuite par un relai (ou comparateur hystérésis), qui donne un résultat booléen en fonction d'un delta qu'on lui donne, dans notre cas :

- 0 si le signal est inférieur à 15.
- 1 si le signal est supérieur à 15.

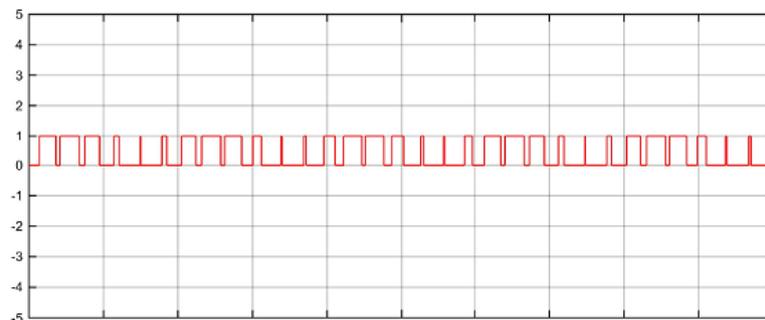


Figure 14. Signal en sortie du comparateur hystérésis

Sur cette figure, nous observons bien les commutations à 1 ou 0 du relai à chaque dépassement des seuils +Delta et -Delta du signal d'entrée.

Nous obtenons ainsi trois signaux qui commutent à 0 ou 1, et 3 autres signaux qui sont les précédents complémentés car on ne peut pas avoir deux interrupteurs du même bras fermés en même temps pour éviter les courts-circuits. Ils servent donc à contrôler les 6 interrupteurs de l'inverseur virtuel.

Dans cette partie de commande, nous calculons aussi la puissance  $P_L$  à partir de tensions de sortie de références et des courants instantanés de sortie.  $P_L = i_u V_u^* + i_v V_v^* + i_w V_w^*$

Cette puissance va servir de référence pour le contrôle direct de puissance de la partie redresseur.

Le bloc « Latch » va servir à bloquer les 6 signaux de commandes lorsque l'on a un court-circuit du bus continu virtuel, déclenché par le redresseur quand  $S_q$  et  $S_p$  sont tous les deux égaux à 0 en même temps.

## IV. Analyse et Résultats de simulation

	Variable	Valeur
Amplitude des signaux d'entrée	V_in	200 V
Fréquence du réseau	F	50Hz
Bandes d'hystérésis	Eps, delta_P, delta_Q	20, 100, 150
Amplitude signal triangulaire	PWM	50 V
Inductance de la charge	L	3.7 e-3 H
Résistance à la charge	R	12.5 Ohm
Inductance du filtre	Lf	2.7 mH
Capacité du filtre	Cf	20 $\mu F$

Lors de la simulation de la partie inverseur virtuel, nous observons bien sur la figure suivante les trois courants en sortie  $i_u$ ,  $i_v$  et  $i_w$  qui sont sinusoidaux avec une fréquence de découpage élevée (avec les courants de références de sortie d'amplitude 8V).

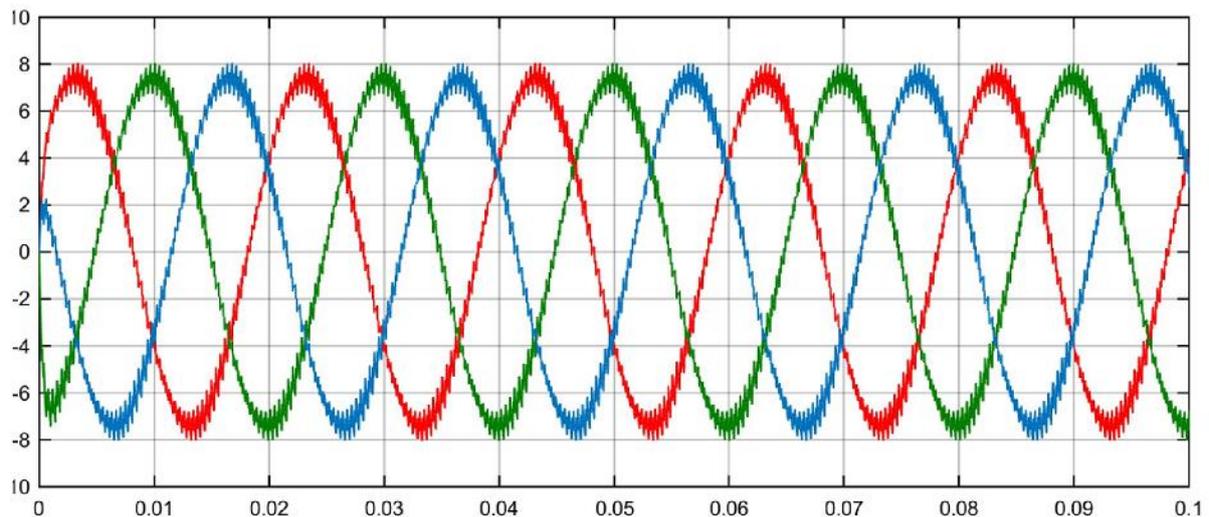


Fig 15. Courants  $i_u$ ,  $i_v$ ,  $i_w$  en sortie de l'inverseur

Nous avons simulé les deux commandes sur le convertisseur matriciel :

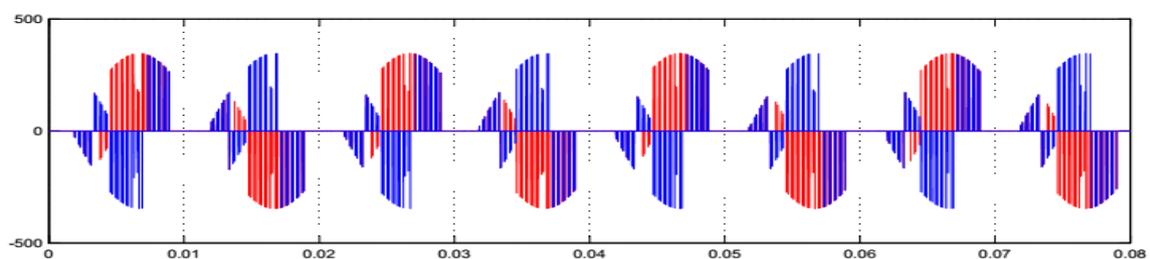


Fig 16. Tensions à la sortie du convertisseur (V)

On voit que la tension est bien découpée par endroit, malgré cela on s'aperçoit qu'à certains moments on obtient une tension nulle, cela est dû au fait que lorsque les erreurs  $S_p$  et  $S_q$  sont égales à 0 on a un court-circuit sur le bus continu et les interrupteurs des deux autres bras sont ouverts.

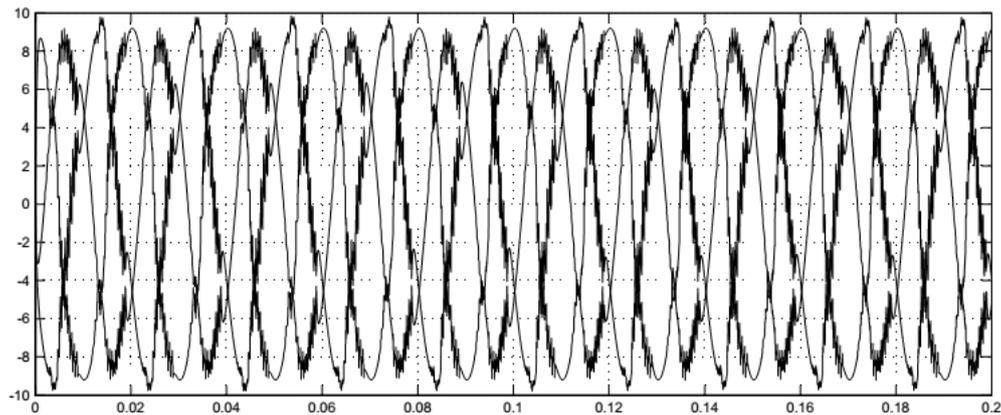


Fig 17. Courant triphasé à la sortie de la charge (A)

Malgré ce problème de court-circuit les courants en sortie de la charge sont de forme sinusoïdale découpée.

On observe un problème au niveau de la puissance de référence calculée à partir des courants instantanés et des tensions de références, dû à un mauvais dimensionnement du filtre.

## Conclusion

Ce convertisseur matriciel va remplacer les convertisseurs actuels AC/DC/AC généralement utilisés pour la variation de vitesse de moteurs dans l'industrie. Ces derniers nécessitent un bus continu entre les deux étages (redresseur et onduleur) avec une importante capacité électrolytique afin de lisser la tension en sortie de ce bus continu pour augmenter la durée de vie de l'équipement connecté. Ces convertisseurs deux étages ont un rendement global ne dépassant pas les 90%.

Depuis quelques années, de nombreux chercheurs étudient le convertisseur matriciel, qui effectue directement une conversion AC/AC sans avoir le tampon d'énergie constitué d'une grosse capacité. La stratégie de control direct de puissance est généralement étudiée pour de nombreux convertisseurs, elle contrôle les puissances instantanées actives et réactives en sélectionnant directement les états des interrupteurs de façon optimale. Ce DPC ne nécessite pas de boucle de courant, ou même de régulateur type PI. De plus, ce type de stratégie à une réponse très rapide pour contrôler le convertisseur et le convertisseur matriciel a besoin d'une réponse rapide puisqu'il n'utilise pas l'étage tampon d'énergie du bus continu.

D'après nos simulations, ce type de commande sur ce convertisseur matriciel est possible et facile à mettre en œuvre dans l'industrie. Il faut seulement bien adapter les filtres et les paramètres de la commande de type MLI en fonction des puissances en jeu.

## Bibliographie

[1] **Bengana Sara**, « *Stratégie de Contrôle Directe de Puissance d'un redresseur PWN triphasé* », 2013, mémoire, Ouargla, 82p.

[2] **Mariusz Malinowski, Member, IEEE, Marek Jasin 'ski, Student Member, IEEE, and Marian P. Kazmierkowski, Fellow, IEEE**, "Simple Direct Power Control of Three-Phase PWM Rectifier Using Space-Vector Modulation (DPC-SVM)", *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, VOL. 51, NO. 2, APRIL 2004.

[3] **A. Halvaei Niasar, Member, IEEE, H. Moghbelli, Member, IEEE, A. Vahedi, Member, IEE**, "MODELING, SIMULATION AND IMPLEMENTATION OF FOUR-SWITCH, BRUSHLESS DC MOTOR DRIVE BASED ON SWITCHING FUNCTIONS".

[4] **J. Monteiro, Student Member, IEEE, J. Fernando Silva, Senior Member, IEEE, S. F. Pinto, Member, IEEE, and J. Palma**. "Matrix Converter-Based Unified Power-Flow controllers: Advanced Direct Power Control Method", *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 26, NO. 1, JANUARY 2011.

[5] **J. Monteiro, Member, IEEE, J. Fernando Silva, Senior Member, IEEE, S. F. Pinto, Member, IEEE, and J. Palma**, "Linear and Sliding-Mode Control Design for Matrix Converter-Based Unified Power Flow Controllers", *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 29, NO. 7, JULY 2014.

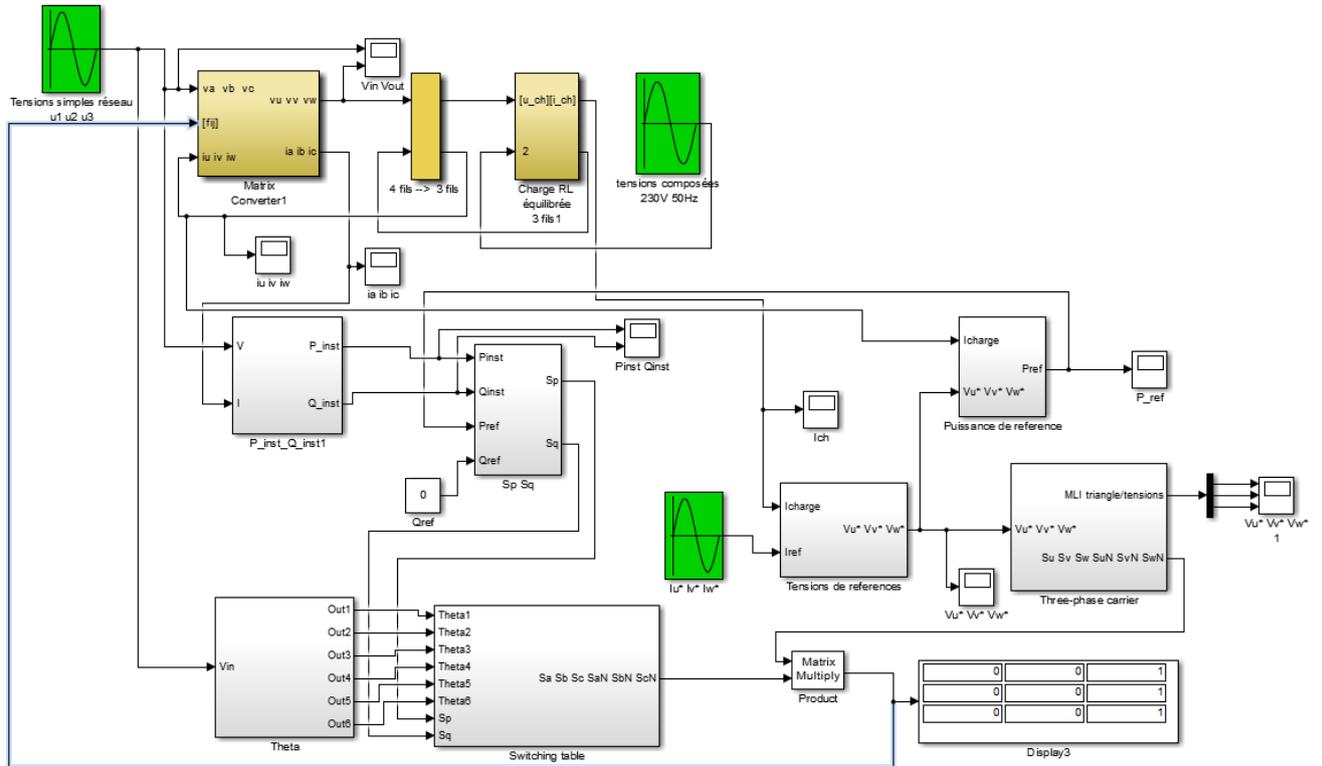
[6] **LI Ning, WANG Yue, LI su, LI Yufei and WANG Zhao'an**, "Direct Power Control Strategy used in three-level NPC Converters" ,2012 IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference - ECCE Asia, Power Electronics and Renewable Energy Research Center, Department of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China.

[7] **H.Q.S Dang, P. Wheeler, J. Clare**, "A Control Analysis and Implementation of High Voltage, High Frequency Direct Power Converter", 2012.

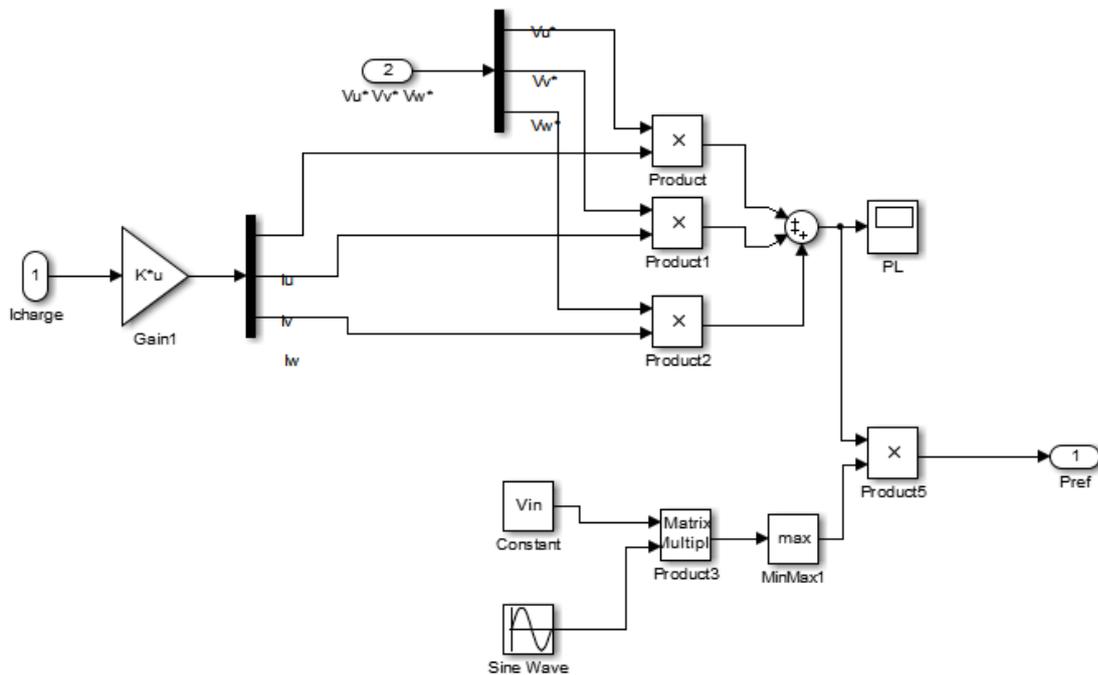
[8] **Amaia LOPEZ DE HEREDIA BERMEO**, "COMMANDES AVANCEES DES SYSTEMES DEDIES A L'AMELIORATION DE LA QUALITE DE L'ENERGIE : DE LA BASSE TENSION A LA MONTEE EN TENSION", thèse, grenoble 2006

[9] **Noguchi T., Nakatomi S., Takeuchi D.**, « Direct Power Control Based Matrix Converter and Its Operation Characteristics » *IEEE Industrial Electronics*, Publication Year: 2006 , Page(s): 1872 – 1877.

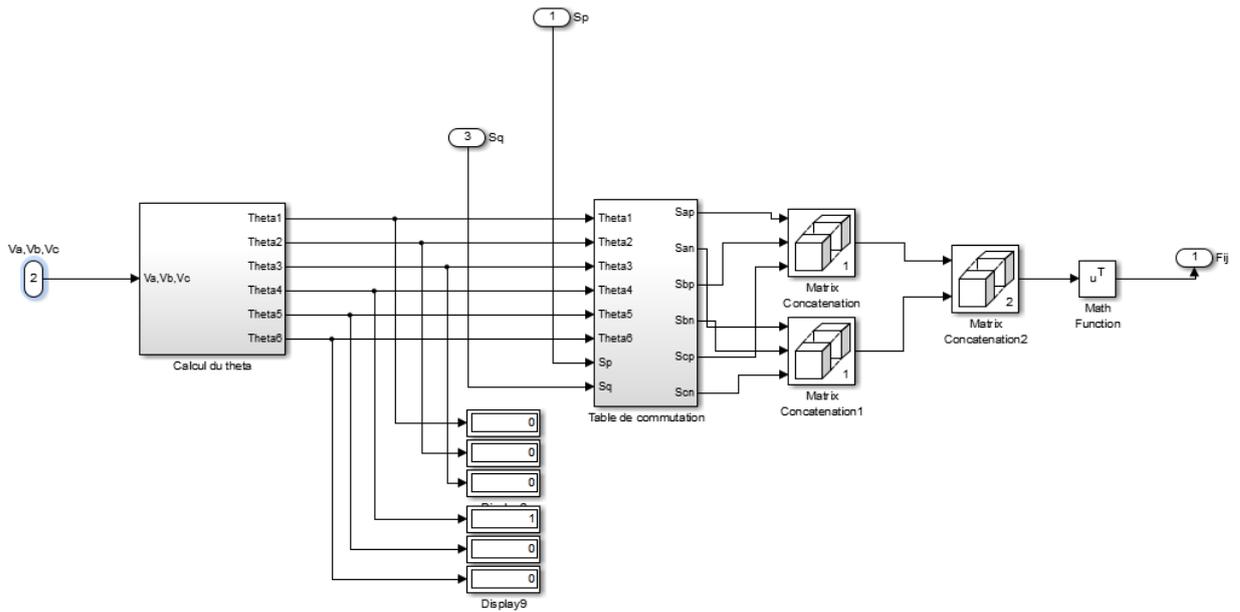
Annexe



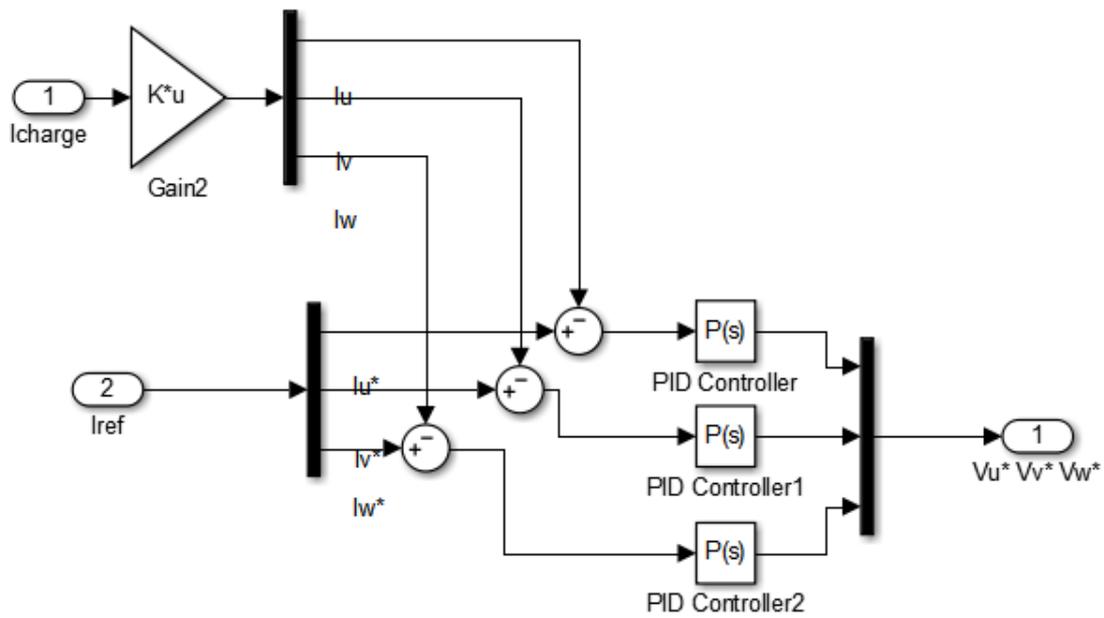
Annexe 1. Modèle Simulink de la commande du convertisseur matriciel



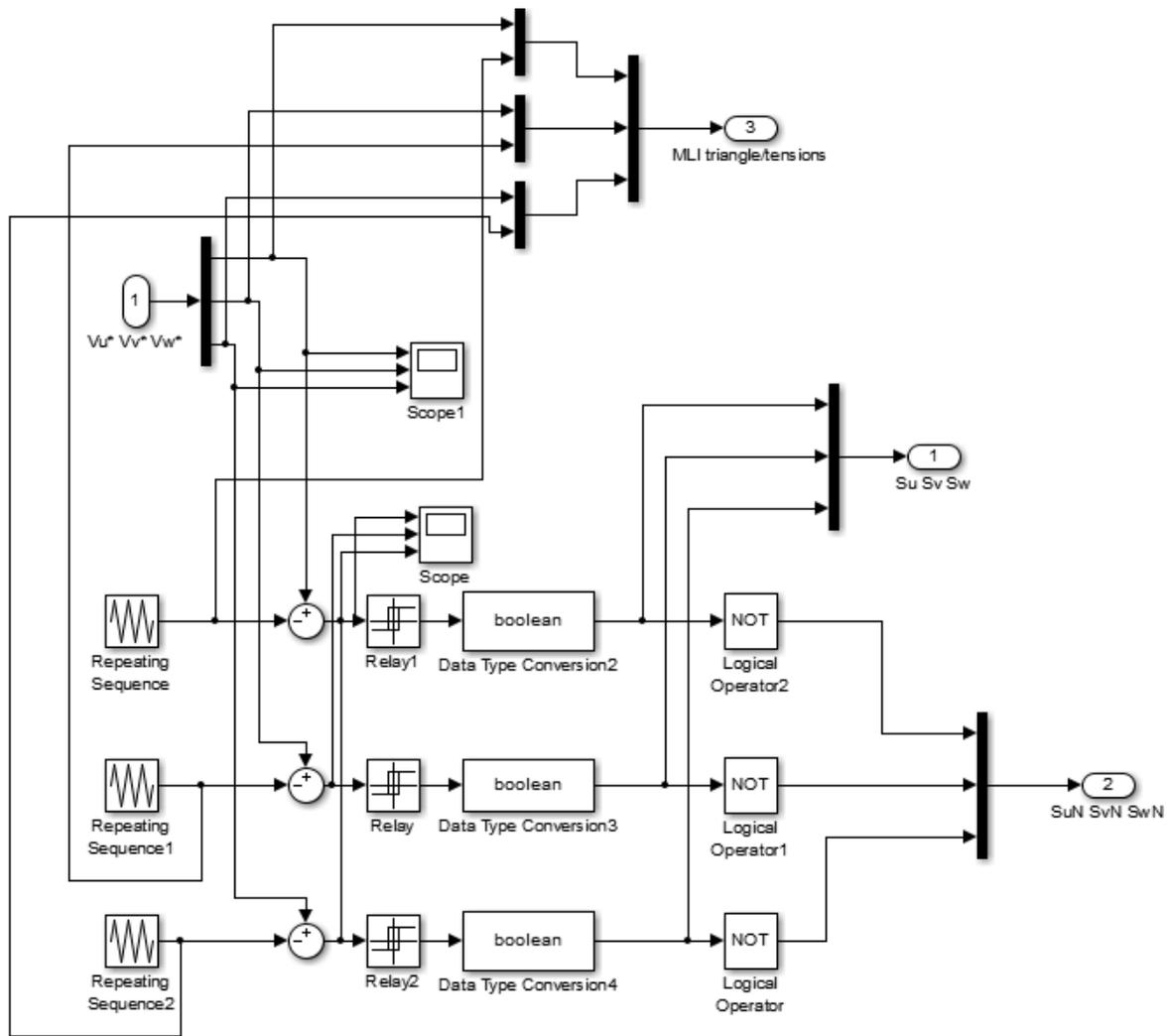
Annexe 2. Calcul puissance de reference



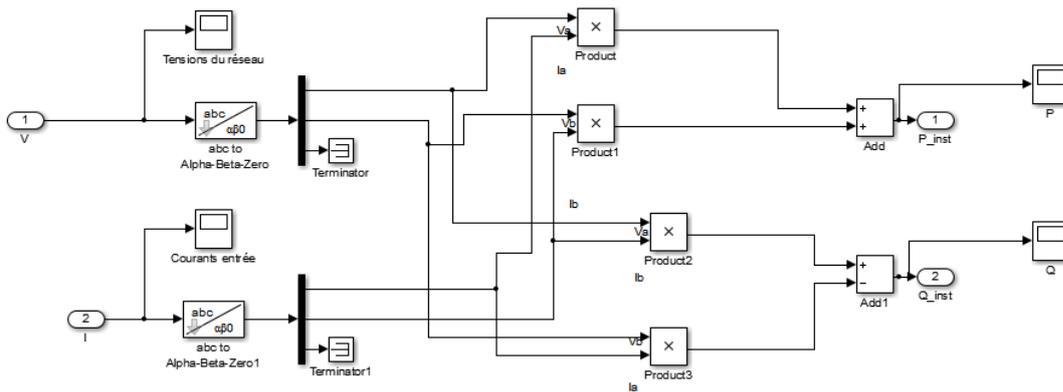
Annexe 3. Elaboration de la table de commutation



Annexe 4. Calcule des tensions de référence



Annexe 5. Elaboration du bloc Three-phase carrier



Annexe 6. Calcul des puissances instantanées réactive et active