



**HAL**  
open science

## Conversion d'énergie électrique triphasée

Giacomo Galli, Noemi Lanciotti, Gilles Perusot, Matthieu Berranger

► **To cite this version:**

Giacomo Galli, Noemi Lanciotti, Gilles Perusot, Matthieu Berranger. Conversion d'énergie électrique triphasée. La Revue 3E.I, 2022, 110. hal-04266246

**HAL Id: hal-04266246**

**<https://hal.science/hal-04266246>**

Submitted on 31 Oct 2023

**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.



**HAL**  
open science

# CONVERSION D'ENERGIE ELECTRIQUE TRIPHASEE

Giacomo Galli, Noemi Lanciotti, Gilles Perusot, Matthieu Berranger

► **To cite this version:**

Giacomo Galli, Noemi Lanciotti, Gilles Perusot, Matthieu Berranger. CONVERSION D'ENERGIE ELECTRIQUE TRIPHASEE. 3E-I, 2022, 110. hal-04266246

**HAL Id: hal-04266246**

**<https://hal.science/hal-04266246>**

Submitted on 31 Oct 2023

**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.

## CONVERSION D'ENERGIE ELECTRIQUE TRIPHASEE

**GIACOMO GALLI, GILLES PERUSOT, MATTHIEU BERRANGER**, INSTITUT SUPERIEUR DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE, 10 AVENUE EDOUARD BELIN, 31055 TOULOUSE, FRANCE, [GIACOMO.GALLI1235@GMAIL.COM](mailto:GIACOMO.GALLI1235@GMAIL.COM)

**NOEMI LANCIOTTI**, IUT DE BLAGNAC, DEPARTEMENTS GENIE INDUSTRIEL ET MAINTENANCE (GIM), 1 PL. GEORGES BRASSENS, 31700 BLAGNAC, FRANCE

**Résumé :** Bien que les machines électriques ainsi que l'électronique de puissance soient bien étudiés dans les différents parcours du BAC+1 au BAC+3, ils sont souvent étudiés séparément. De nombreux étudiants en niveau M2 en cours d'électrotechnique, tout en ayant déjà vu le principe régissant le redressement et l'ondulation de la tension triphasée, ainsi que le fonctionnement des machines électriques, sont incapables de décrire le fonctionnement d'un variateur de vitesse associé à un moteur électrique. Le cours présenté dans cet article vise à combler ces lacunes, en proposant un format de cours qui vise l'acquisition de connaissances et compétences par le biais de l'expérience, tout en passant par des simulations et en apportant au fur à mesure quelques rappels théorique.

### I/ Positionnement de l'activité

Le PREX (Pratique Expérimentale) est un format de cours qui est proposé au second semestre de chaque première année aux étudiants de l'Institut National Supérieur Français de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE-SUPAERO). Les objectifs de l'activité sont affichés dans la Table 1.

Ce format de cours permet de favoriser et améliorer l'apprentissage des étudiants en s'appuyant sur plusieurs des six leviers mis en évidence par l'étude présentée dans l'autrice dans [1]. On se réfère par la suite au troisième levier présenté par l'autrice, à savoir « Donner du sens aux apprentissages en augmentant la valeur des activités aux yeux de l'étudiant, notamment en le rapprochant de leur futur vécu professionnel ». Dans ce sens-là, plusieurs sujets sont au choix et la philosophie derrière est celle de permettre aux étudiants d'aborder un sujet d'étude d'un point de vue pratique, que ce soit par simulation, par manipulation ou bien les deux. Le sujet

de cet article concerne l'étude de la chaîne de puissance pour une propulsion hybride à voir électrique des aéronefs.

Le développement de l'avion plus électrique, voir complètement électrique, joue un rôle clé dans la thématique de la lutte contre le réchauffement climatique. Pour pouvoir développer ces systèmes, il est nécessaire de former des ingénieurs ayant de solides compétences dans le développement et l'utilisation des moteurs électriques.

Le choix du thème de notre activité pédagogique se justifie par les compétences préalables des étudiants entrants et qui, tout en ayant déjà vu le principe régissant le redressement et l'ondulation de la tension triphasée,

<b>Savoir élaborer une démarche expérimentale en réponse à des objectifs</b>	1.a Identifier et hiérarchiser les paramètres et grandeurs physiques pertinentes
	1.b Spécifier une configuration expérimentale
	1.c Savoir anticiper les plages de mesure utiles
<b>Avoir un regard critique sur la technique de mesure</b>	2.a Connaître et critiquer la configuration d'une chaîne de mesure
	2.b Savoir évaluer les limites des capteurs utilisés : performances en bruit et dynamique de mesure
	2.c Cerner les limites de la précision des mesures
	2.d Savoir mener un calcul d'incertitude
<b>Savoir exploiter les résultats expérimentaux et en extraire des conclusions en vue de les communiquer</b>	3.a Assurer le post-traitement des données
	3.b Faire une analyse des résultats
	3.c Confronter les résultats expérimentaux à des modèles (théoriques ou numériques)
	3.d Présenter les résultats et analyses associées via des supports adaptés

Table 1 : Compétences à travailler dans le PrEx

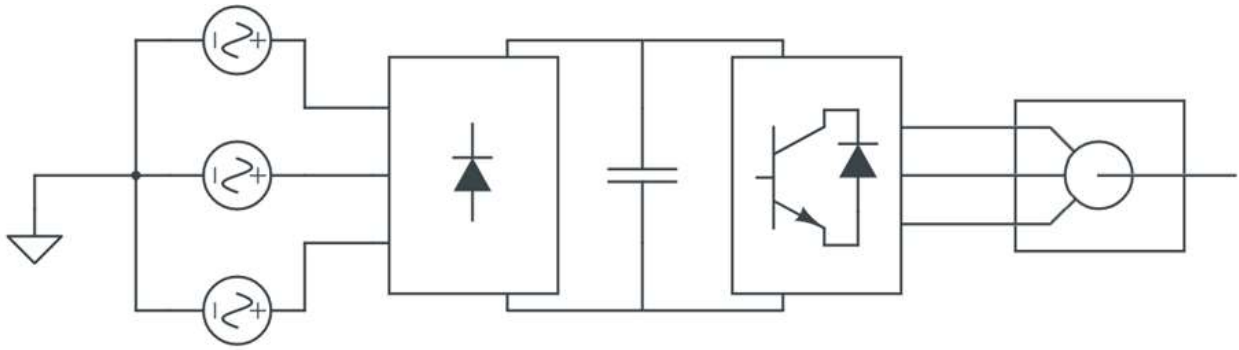


Figure 1. Structure utilisée dans le cours décrit.

ainsi que le fonctionnement des machines électriques, sont incapables de décrire le fonctionnement d'un variateur de fréquence ainsi que de mettre en évidence son utilité. Les raisons de ce manque peuvent être trouvées dans le système de formation précédent, où les sujets susmentionnés sont couverts dans des sessions totalement séparées avec une forte composante théorique.

Cette réflexion nous a porté à exploiter deux autres leviers, notamment le fait de « Rendre l'étudiant plus actif durant son cours, de façon de rendre ses apprentissages plus profonds, plus durablement ancrés et plus transférables » ainsi que de « Augmenter le sentiment de maîtrise ou de compétence de l'étudiant ».

Le cours présenté dans cet article vise favoriser ces dynamiques, en proposant une structure basée sur l'expérience (70%), avec une part de simulation (25%) et quelques rappels théoriques (5%).

Pendant le cours, leurs compétences de base autour de :

- machines électriques,
- redresseur de tension triphasé (diodes et Thyristors),
- onduleur de tension triphasé

sont évoquées, renforcées, et testées préliminairement par des simulations et enfin par l'expérience.

Chaque compétence est utilisée avec l'objectif final d'alimenter efficacement une machine électrique triphasée selon le schéma en figure 1.

De plus, des études [2] ont montré l'importance de présenter la problématique générale avant de passer à l'étude de chaque partie. Cela permet à l'étudiant d'arriver à mettre en place l'opération de connexion des différentes parties dans la façon correcte. C'est judicieux de se rappeler que quand on est enseignant on connaît la réponse alors que l'étudiant est en train d'en construire une.

## II/ Moyens mis en œuvre avec détail des coûts

Pour toutes les simulations nous avons choisi d'utiliser PSIM, car il était très bien adapté à nos besoins même dans sa version gratuite.

Le redressement (par le biais d'un pont à diodes) et l'ondulation de la tension triphasée a été étudié en utilisant un bloc d'enseignement «Onduleur triphasé pédagogique SEMITEACH» (figure 2). Le redressement avec des thyristors a été étudié en utilisant

un bloc d'enseignement «Redresseur à thyristors pédagogique SEMITEACH» (figure 2).

Le moteur/générateur électrique, ainsi que toutes ses propriétés (vitesse, couple, courant de démarrage, etc.) sont étudiés en utilisant le banc de conversion d'énergie pédagogique Leroy en figure 4.



Figure 2 : Système SEMITEACH IGBT [3].



Figure 3 : SEMITEACH Thyristor Power Electronics Teaching System Système [4].

Le Table 1 résume les systèmes pédagogiques utilisés pendant le cours ainsi que les objectifs fixés derrière chaque application. Un focus sur le prix de chaque système est également présenté pour permettre au lecteur d'avoir une idée des coûts de mise en œuvre pour construire le cours.

Dans un point de vue matériel, un certain nombre de sondes, de câbles et d'oscilloscopes ont été utilisés pour afficher les tensions et les courants des différents montages électriques, ainsi que des ordinateurs sont utilisés pour effectuer des simulations. Ces outils ne sont



Figure 4 : Système utilisé pendant le cours, dans lequel on trouve : alimentation triphasée variable (en bas à droite), moteur asynchrone (en bas au centre à droite, en noir), variateur de fréquence commercial (en haut au centre à droite), générateur synchrone (en bas au centre, en orange), contrôle de vitesse et de couple (en bas au centre, en blanc), frein électromagnétique (en bas à gauche).

Nom	Objectif	Prix
Système SEMITEACH IGBT (figure 2)	Redressement (avec des diodes) et ondulation de la tension triphasée	2000 €
SEMITEACH Thyristor Power Electronics Teaching System (figure 3)	Redressement et contrôle de la tension avec de thyristors	2000 €
Bloc d'étude moteur/générateur (figure 4)	Etude d'un moteur/générateur électrique	12000 €
Variateur Leroy Somer UMV 4301 (figure 4)	Comparaison d'un système commercial avec notre système fait maison	3500 €
Carte électronique commande PWM	Compréhension commande PWM	200 €

Table 2 : Matériel utilisé coûts et objectifs

pas comptabilisés dans le tableau car il s'agit d'actifs partagés non attribuables à un seul cours.

### III/ Déroulement Pratique EXPérimentale

Le cours dure 20 heures, les étudiants organisés en binôme ont été encadrés la moitié du temps (~10 heures) par deux enseignants. Pendant les 10 heures restantes, les étudiants effectuent leurs propres recherches ou simulations en autonomie. Dans le cas des expériences en laboratoire, la manipulation a été effectuée en présence d'au moins un des professeurs. Ensuite (si rien ne change dans le circuit électrique), les étudiants sont libres continuer à manipuler de manière autonome.

Un prospectus du PREX est présenté dans la fig.5.

Le PREX a été organisé de manière à travailler chaque partie tant d'un point de vue simulé que réel, afin de comparer les deux résultats et les écarts éventuels. Cette démarche en sciences de l'ingénieur, qui intègre la démarche scientifique et connue par les étudiants issus de la filière scientifique en pré-bac ainsi que des CPGE [5], permet de rentrer dans une problématique grâce à la simulation de tout ou une partie d'un système, de définir le comportement attendu et tester sa réponse via la manipulation. Elle permet ainsi à l'étudiant d'améliorer sa compréhension du système, en cherchant de réduire le gain entre le système simulé et celui réel.

La compréhension du fonctionnement de l'onduleur et du redresseur et surtout de leur fonction vis-à-vis de la variation de vitesse du moteur, a permis aux étudiants de s'approprier au préalable du principe de fonctionnement d'un variateur de vitesse commercial.

Le démarrage et le fonctionnement du moteur a été exploité avec le variateur commercial (fig.4), les différentes maquettes pédagogiques (fig. 2 et 3) et le déploiement d'une carte de commande de type PWM conçue pour ce cours (fig. 13).

Dans la prochaine section, chaque bloc sera présenté de façon individuelle.

Dans un point de vue pédagogique, le cadre posé au tout début de cet article nous a imposé une structure bien précise pour chaque séance.

Tout d'abord, avant chaque rencontre l'étudiant avait accès à la présentation ainsi qu'au sujet, afin de lui permettre d'accroître ce sentiment de maîtrise de son apprentissage ainsi que d'aller à rechercher parmi ses compétences précédemment acquises les outils pour aborder la problématique mise en évidence.

De plus, l'enseignant présent dans la salle a cherché pour chaque activité proposée de trouver un équilibre entre la découverte par soi-même de la part de l'étudiant et la guidance de l'enseignant vers la solution. Cette méthode semble favoriser la procéduralisation chez

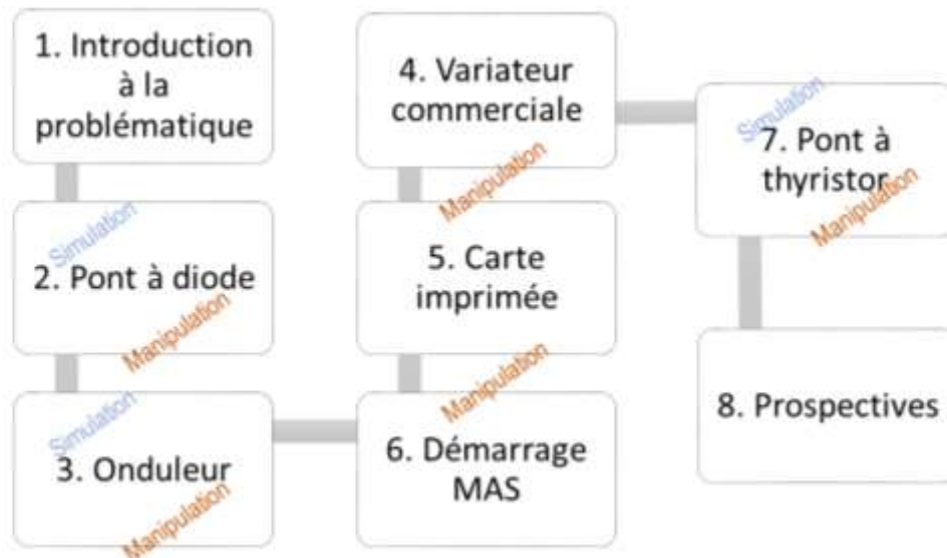


Figure 5 : Déroulement PREX Conversion d'énergie.

l'apprenant [6], c'est-à-dire sa capacité d'accomplir une ou plusieurs tâches (connaissance procédurale [7]).

Finalement, comme spécifié dans l'introduction de cet article, ce module doit permettre à l'étudiant d'acquérir les capacités d'élaboration d'une démarche expérimentale. Conséquemment il sera possible de remarquer qu'à chaque séance les étudiants sont amenés à comparer les résultats obtenus en simulation avec ceux expérimentaux et théoriques.

#### IV/ Extrait des consignes

Dans cette partie nous présentons une introduction de chaque séance ou regroupement de séances. Des extraits de questions ainsi que des pistes de réponse sont proposées (marquées en italique) dans cette partie.

##### Séance 1 : Simulation convertisseur AC/DC et comparaison avec la maquette

Après une présentation générale du système et de ses composants, les étudiants ont étudié son comportement

par simulation. Les résultats obtenus ont été expliqués grâce à la théorie.

Au cours de la séance 2, seulement après avoir exploré numériquement le fonctionnement des deux convertisseurs (ac/dc et dc/ac), ces résultats seront validés par des mesures sur le banc expérimental.

**Q2** : Concernant la présentation de cours Intro\_simulation\_PSIM.ppt, préparez des questions sur les points qui ne vous semblent pas clairs ou que vous aimeriez pouvoir approfondir.

**Q3** : Reproduire le circuit de la figure 6 sur PSIM et afficher la variation temporelle de tous les instruments de mesure de tension utilisés. *La variation temporelle des tensions dans le circuit est présentée dans la figure 7.*

**Q4** : Effectuez des recherches (si nécessaire) pour comprendre comment construire le circuit de pont de diodes monophasé (si vous avez des problèmes avec la recherche, demandez à l'un des deux professeurs).

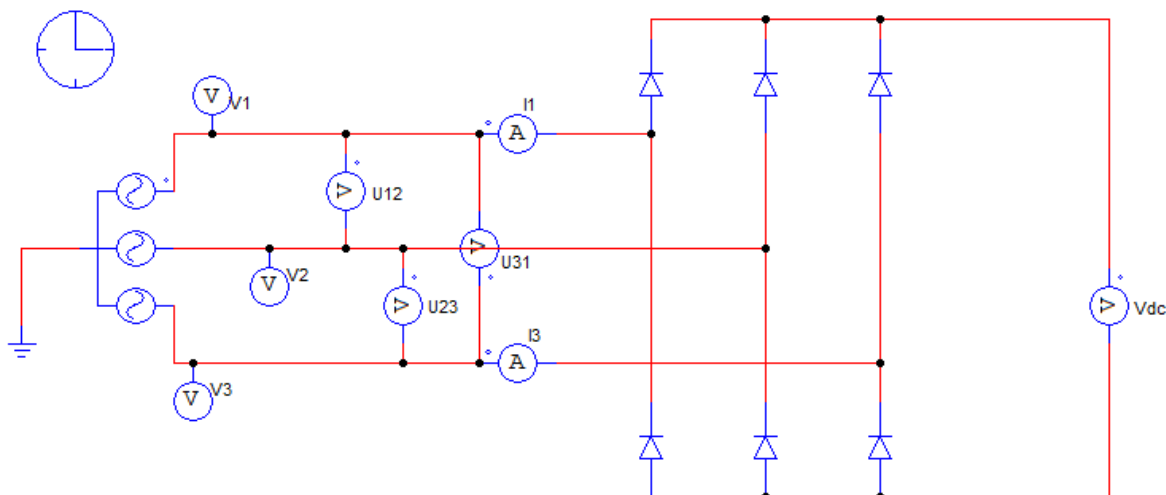


Figure 6 : Simulation conversion AC.DC sous le logiciel PSIM.



**Q5 :** Réaliser un circuit avec un pont de diodes monophasé sur PSIM avec une résistance de charge parallèle ( $4.6\Omega$ ) représentant la prochaine partie du circuit à connecter.

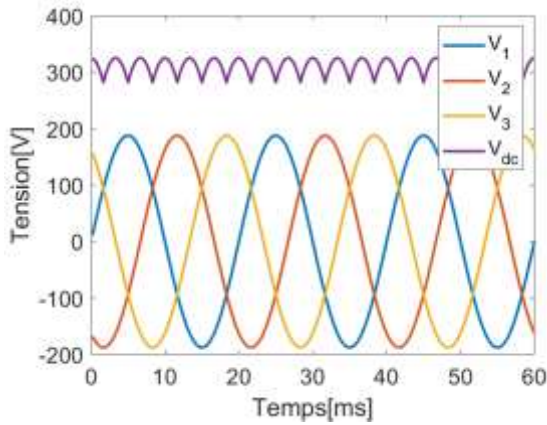


Figure 7 : Variation temporelle des tensions mesurée dans le circuit en figure 6.

**Q6 :** Comparer les valeurs de tension et courant avant le pont de diodes avec celles après le pont de diodes.

**Q7 :** Ajouter une capacité parallèle entre le pont de diodes et la résistance.

**Q8 :** Faites varier la capacité entre les valeurs 0.01mF et 100mF. Comparer les valeurs de tension avant le pont de diodes avec celles après le pont de diodes en fonction des valeurs de la capacité.

**Q9 :** Répétez ce qui a été fait dans les questions 4 à 8 pour un pont de diodes triphasé.

**Q11 :** En utilisant le diagramme en figure 8, trouver l'expression qui relie la tension de crête de l'alimentation triphasée à la tension continue moyenne à la sortie du redresseur.

Le système triphasé d'entrée est défini ci-dessous :

$$\begin{cases} v_1 = V_m \sin(\omega t) \\ v_2 = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_3 = V_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{cases}$$

avec  $\omega t = \theta$ .

On considère l'intervalle  $[\pi/6 - \pi/2]$ , pendant lequel les diodes D1 et D4 conduisent. La tension continue moyenne à la sortie du redresseur  $u_c(t)$  peut être écrite sous la forme suivante :

$$u_c(t) = v_1(t) - v_2(t)$$

$$\langle u_c(\theta) \rangle = \frac{1}{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6}} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} u_c(\theta) d\theta$$

Après développement [8], on obtient :

$$\langle u_c(\theta) \rangle = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}$$

Cette question permet de développer chez l'étudiant son esprit critique : il cherche à interpréter le résultat de sa simulation en s'appuyant sur ces connaissances, acquises pendant le cycle d'étude précédent. En revanche, dans le cas où ces notions n'aient pas été abordées ou bien maîtrisées, le format du cours permet au travail en binôme de compenser la lacune ou bien une intervention spécifique de l'enseignant.

### Séance 2 : Simulation convertisseur dc/ac et comparaison avec la maquette.

Pendant cette séance la technique de modulation à largeur d'impulsion a été exploitée par les étudiants. Ci-dessous un extrait du cahier du PrEx.

Comme on peut le voir sur la figure 1, une fois la tension alternative transformée en une tension continue, il est nécessaire d'obtenir, à partir de la tension continue, trois tensions sinusoïdales alternatives, chacune étant déphasée de  $120^\circ$  par rapport à les autres. Pour ce faire, nous utiliserons un onduleur contrôlé par une technique appelée « Modulation de largeur d'impulsion » (MLI) ou

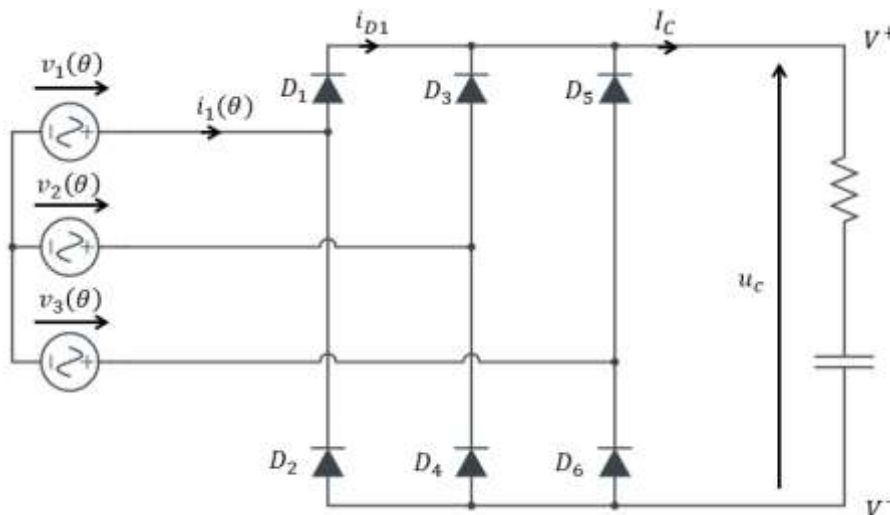


Figure 8 : Schéma convertisseur AC-DC.

plus

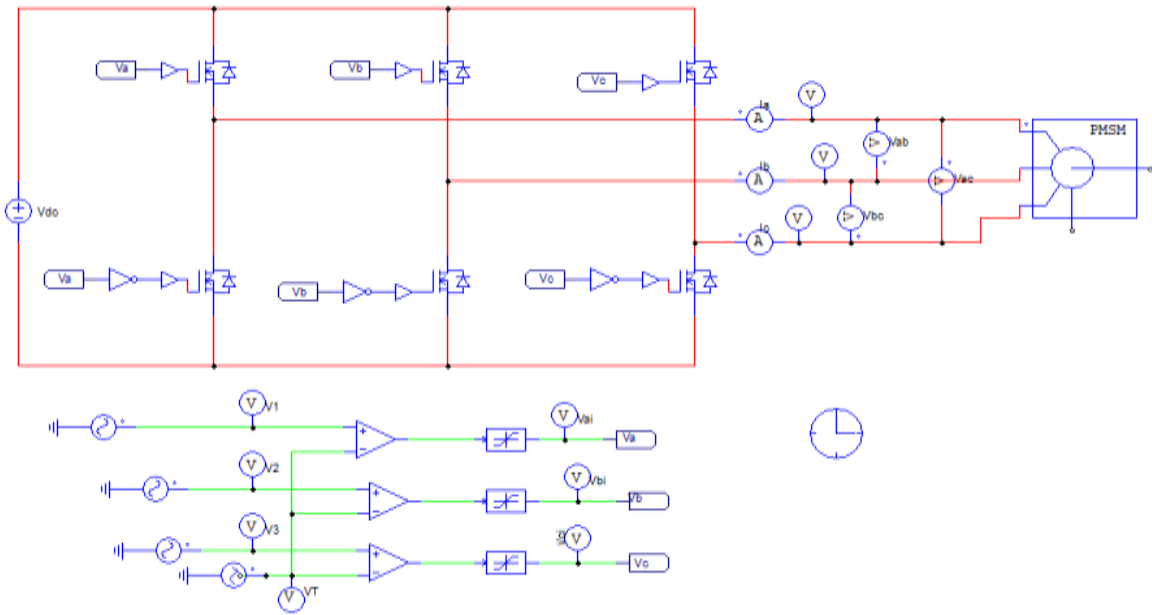


Figure 9: Simulation de l'onduleur triphasé avec commande sous le logiciel PSIM.

couramment (utilisez ce terme pour effectuer une recherche) « Pulse Width Modulation » (PWM).

**Q12 :** Effectuez des recherches (si nécessaire) pour comprendre comment cela fonctionne et comment construire un PWM. Une fois le temps de recherche libre terminé, une présentation intitulée PWM.ppt vous sera proposée.

**Q14 :** Réalisez un schéma fonctionnel d'un onduleur monophasé utilisant un PWM.

**Q15 :** Réalisez un schéma fonctionnel d'un onduleur triphasé (phases déphasées de  $120^\circ$ ) utilisant un PWM.

**Q16 :** Pour les deux diagrammes fonctionnels produits (Q14 et Q15), réaliser deux circuits sur PSIM. Proposition de schéma de simulation de l'onduleur triphasé avec commande en figure 9.

**Q17 :** Se focaliser sur le circuit de l'onduleur triphasé et afficher les trois tensions composées à la sortie du système ( $U_{ab}, U_{bc}, U_{ac}$ ). Comparez par une FFT le signal de sortie du système avec le signal de commande PWM. Les graphiques demandés sont fournis dans la figure 10 où l'acronyme DPS signifie Densité Spectrale de Puissance.

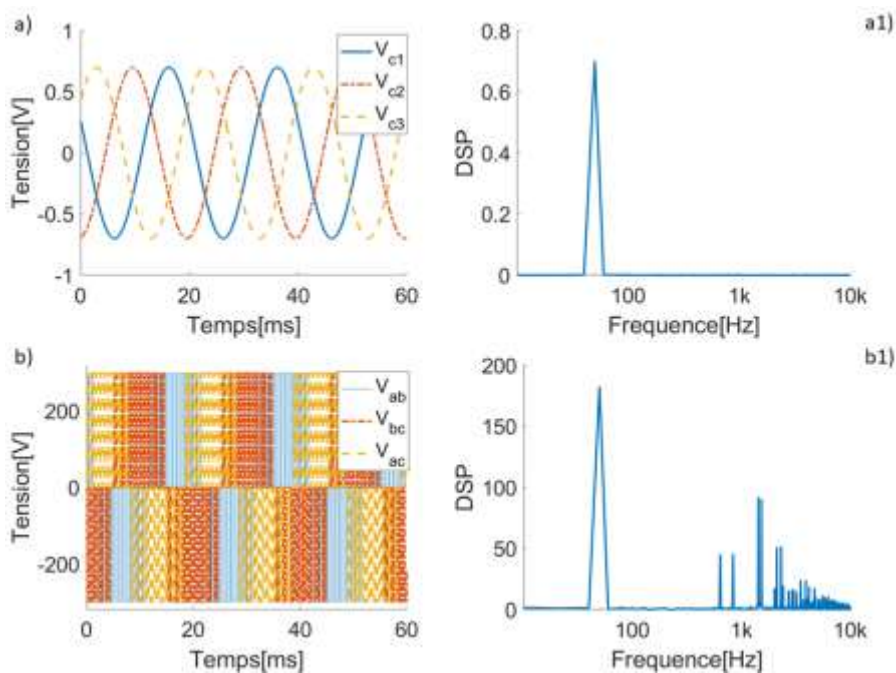


Figure 10 : Résultats de la simulation, dont le diagramme est dans la figure 10. a) Tensions de commande de la PWM ; b) Tensions composées de sortie de l'onduleur triphasé ; a1) Transformée de Fourier (FFT) du signal Vc1 de la figure b ; b1) Transformée de Fourier (FFT) du signal Vab de la figure a.



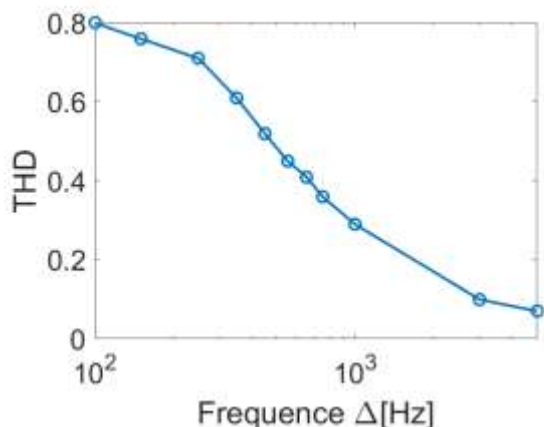


Figure 11 : Variation du THD en fonction de la fréquence du signal triangulaire de commande PWM.

**Q18 :** Ajoutez un filtre passe-bas pour chaque phase afin de contrôler les signaux de sortie.

**Q19 :** Varier la fréquence de l'onde triangulaire de commande PWM et les comparer avec les valeurs du taux de distorsion harmonique (abrégé THD, total harmonic distortion en anglais) de l'un des courants triphasés à la sortie du système. *La variation du THD en fonction de la fréquence du signal triangulaire de commande PWM est fournie dans la figure 11.*

**Q20 :** Varier la fréquence du signal de commande triphasé d'entre et vérifier les effets sur les signaux en sortie du système.

**Séance 3 et 4 : Proposition architecture carte électronique. Prise en main de la carte proposée par l'équipe enseignante**

Proposition *binôme a*: génération du signal triangulaire à base de deux AOP (comparateur double seuil + intégrateur). Signal triphasé généré

numériquement par une fonction sinus (programmation microcontrôle).

La carte électronique conçue par l'équipe enseignante est reportée en fig.12. Elle est alimentée par une source de tension continue de 12V. Il est possible, via des potentiomètres, de varier la fréquence de la modulate et de la porteuse. Les signaux de commande des trois sinusoïdes ainsi que celui de la porteuse triangulaire sont visualisables à l'oscilloscope. Également, il est possible de visualiser les signaux logiques envoyés à un bras de l'onduleur (0 = IGBT ouvert, 1= IGBT fermé) ainsi que les signaux en 0÷5V qui permettent de commander le système de fig.2.

Les étudiants ont utilisé la carte électronique pour valider les résultats obtenus par simulation.

**Séance 5 et 6 : Comparaison prestations variateur commercial VS maquette au démarrage. Introduction à la commande scalaire  $U/f = const.$  Comparaison prestation convertisseur ac/dc pont diode VS pont thyristors**

Pendant la première de ces deux séances, les étudiants ont d'abord testé le fonctionnement du moteur au démarrage, en relevant le courant de démarrage à l'oscilloscope. Cela a permis de comparer la valeur du courant absorbé par le moteur au démarrage ( $I_d$ ) avec sa valeur nominale ( $I_n$ ) et de remarquer le facteur de proportionnalité entre les deux ( $I_d = 7I_n$ ).

Dans le support du PrEx, l'équipe décrit les techniques de variation de résistance rotorique ainsi que de variation de tension et fréquence afin de limiter le courant au démarrage. Ce passage permet d'introduire l'intérêt d'employer un pont à thyristors pour la

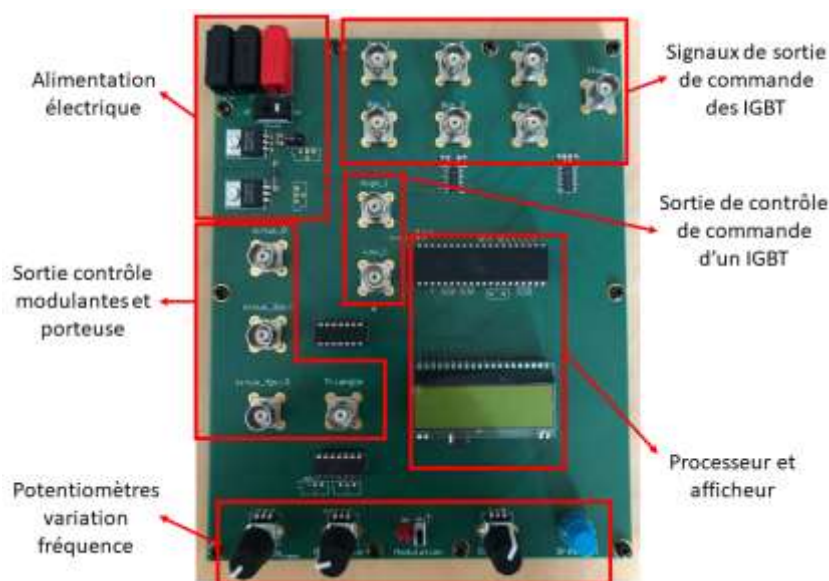


Figure 12 : Schéma implantation de la carte électronique pour la commande PWM.

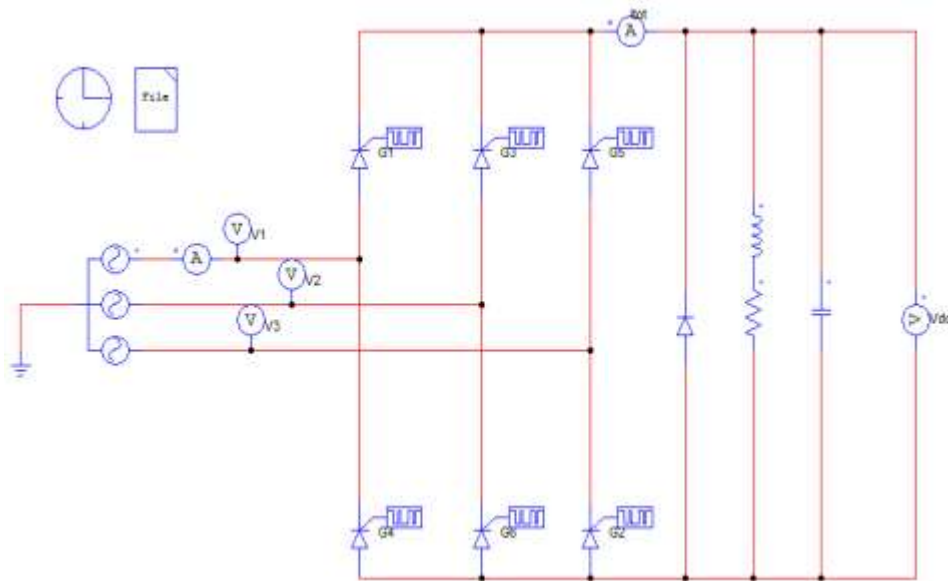


Figure 13 : Simulation du pont à thyristor triphasé sous le logiciel PSIM.

conversion ac/dc, c'est-à-dire afin de moduler la valeur moyenne de la tension en sortie du redresseur.

**Q48 :** Proposer des méthodes pour contrôler la tension continue à l'entrée de l'onduleur.

**Q49 :** Effectuez des recherches (si nécessaire) pour comprendre comment cela fonctionne et comment construire un pont à thyristors. Une fois le temps de recherche libre terminé une présentation intitulée Pont\_à\_Thyristeurs.ppt vous sera proposée.

**Q51 :** Réalisez un schéma fonctionnel d'un pont à thyristors triphasé.

**Q52 :** Pour le diagramme fonctionnel produit, réaliser un circuit sur PSIM. Un schéma du pont ac-dc à thyristors est proposé en fig.13.

**Q53 :** Une fois le circuit fonctionnel créé, mesurez la tension de sortie CC en fonction des tensions d'entrée AC selon l'angle d'amorçage ( $\alpha$ ) choisi. En fig.14, l'évolution de la tension moyenne en sortie pour une tension efficace de  $x$  V et pour différentes valeurs de l'angle d'amorçage ( $\alpha$ ), compris entre  $0^\circ$  et  $120^\circ$ .

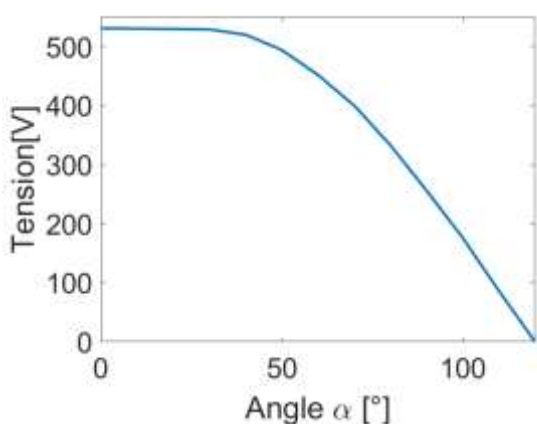


Figure 14 : Variation de la tension moyenne en sortie du pont à thyristor triphasé en fonction de l'angle de retard à l'amorçage ( $\alpha$ ).

**Q56 :** En utilisant les simulations faites sur le pont à thyristors et l'onduleur triphasé, combinez les deux simulations pour utiliser le pont de thyristors pour alimenter l'onduleur triphasé sur PSIM.

**Q57 :** Evaluez les tensions de sortie dans ce cas (pont à thyristors + onduleur triphasé) par rapport à une alimentation via un pont de diodes.

## V/ Retour des étudiants et perspectives

L'activité a été évaluée sur la base de trois moments [9] :

- Une évaluation de type diagnostic au début de chaque séance. Cela a permis à l'enseignant de prendre connaissance du niveau des étudiants via un questionnement oral. D'ailleurs, une auto-évaluation de ce type a été faite par l'étudiant avant chaque séance, en travaillant la partie préparation. Un exemple d'auto-évaluation a été reporté en figure 15.
- Une évaluation de type formative sous forme de présentation orale, préparée et exposée en binôme. Cela a permis aux étudiants de commencer à se préparer pour l'évaluation sommative, tout en profitant de commentaires de l'enseignant afin de s'améliorer et progresser. Cet exercice a également mis en évidence éventuels points à éclaircir.
- Une soutenance orale de la durée de 20 minutes a clôturé le cours. Cette soutenance a eu lieu en face à un jury de neuf enseignants-chercheurs, dont l'enseignant qui a délivré le PrEx. Les autres huit membres étaient les responsables des autres PrEx proposés et issus d'autres domaines.

Les étudiants ont été jugés par rapport à les compétences présentées dans le Table 1, les mêmes des auto-évaluations initiales et finales.

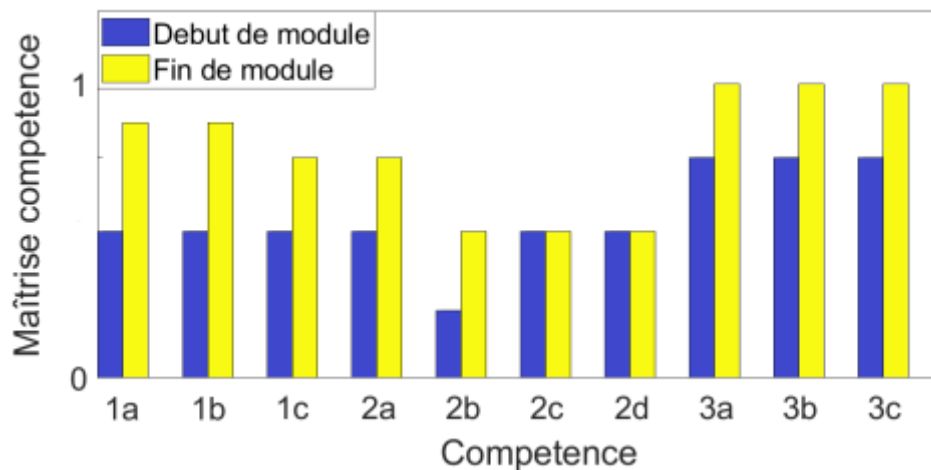


Figure 15 : Retour des étudiants sur leur perception de maîtrise avant et après le PrEx Conversion d'Énergie.

Un échange avec les étudiants a permis aussi de ressortir de possibles points d'amélioration pour la session PrEx Conversion d'Énergie pour l'année 2023. Ils ont exprimé l'intérêt vers la programmation de la commande pour la carte électronique. A partir de cette demande, l'écriture d'une partie de la commande serait confiée aux étudiants, la génération des signaux sinusoïdaux par exemple.

En ce qui concerne les perspectives de l'équipe enseignante, dans un point de vue disciplinaire, une nouvelle version de la carte a été déjà conçu afin d'effectuer la commande « U/f constante ». Cette nouvelle version permettra de commander en cascade les deux convertisseurs afin de limiter le courant de démarrage du moteur.

Dans un point de vue pédagogique on souhaitera changer le déroulement vis-à-vis de compétences travaillées. L'idée sera de faire travailler chaque étudiant du binôme sur un des deux convertisseurs tant qu'ils sont en simulation et en validation expérimentale via les systèmes de figures 2 et 3.

Cela permettra à chaque étudiant de travailler les compétences ciblées par le module tout en économisant du temps qui sera consacré à la mise en place de la commande « U/f constante ». Un temps d'échange sera préconisé afin que chacun puisse présenter à l'autre le fonctionnement du convertisseur étudié, en sachant que l'apprentissage par les pairs présente plusieurs bienfaits tant pour celui qui explique que pour celui qui apprend [10].

De plus, un suivi plus rigoureux de l'étudiant est envisagé, en prenant le temps en début de module pour faire un bilan plus poussé du niveau des étudiants ainsi que en demandant au jury de prendre le temps de remplir la grille des compétences lors de la soutenance orale.

A long terme, l'équipe souhaite mettre en place un dispositif plus performant pour évaluer l'impact de ce module sur l'évolution de l'étudiant dans son cursus (à la fois son utilité et utilisabilité [11]), via des questionnaires anonymes par exemple sur l'ensemble de la promotion ou encore via des entretiens individuels.

## Bibliographie

- [1] M. Poumay, « Six leviers pour améliorer l'apprentissage des étudiants du supérieur », *Revue Internationale de Pédagogie de l'Enseignement Supérieur*, 2014.
- [2] Jeannotte D., « Raisonnement mathématique : proposition d'un modèle conceptuel pour l'apprentissage et l'enseignement au primaire et au secondaire », 2015.
- [3] SEMITEACH, « IGBT Module stack », [https://www.kit-elec-shop.com/gb/index.php?controller=attachment&i\\_d\\_attachment=201](https://www.kit-elec-shop.com/gb/index.php?controller=attachment&i_d_attachment=201).
- [4] SEMIKRON, « Application Note, Thyristor Power Electronics Teaching System », [https://www.kit-elec-shop.com/gb/index.php?controller=attachment&i\\_d\\_attachment=1079](https://www.kit-elec-shop.com/gb/index.php?controller=attachment&i_d_attachment=1079).
- [5] « Réforme du lycée options SI et CIT en seconde », [https://disciplines.ac-toulouse.fr/sii/sites/sii.disciplines.ac-toulouse.fr/files/specialite\\_si/accompagnements\\_et\\_complements\\_reforme\\_2019/essentiel\\_de\\_la\\_reforme\\_2019\\_par\\_nos\\_ia-iplr\\_de\\_lacademie/reforme\\_si\\_31\\_01\\_2019.pdf](https://disciplines.ac-toulouse.fr/sii/sites/sii.disciplines.ac-toulouse.fr/files/specialite_si/accompagnements_et_complements_reforme_2019/essentiel_de_la_reforme_2019_par_nos_ia-iplr_de_lacademie/reforme_si_31_01_2019.pdf)
- [6] Manuel Musial, Fabienne Pradère et André Tricot, « Prendre en compte les apprentissages lors de la conception d'un scénario pédagogique », *Recherche et formation*, 68 | 2011, 15-30.
- [7] Anderson J. R., « Acquisition of cognitive skills », *Psychological Review*, 1982, vol. 89, no. 4, pages : 369 – 406.
- [8] Luc Lasne, « Electronique de puissance » 2e édition -Editions Dunod - ISBN 978-2-10-072135-1.
- [9] Académie Nancy-Metz, « Évaluation diagnostique, formative, sommative », <https://sites.ac-nancy-metz.fr/svt/evaluation/divers/index.php?idp=177>

- [10] A. Núñez-Andrés, A. Martínez-Molina, N. Casquero-Modrego et al., « The Impact of Peer Learning on Student Performance in an Architectural Sustainability Course », *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 5 Janvier 2022.
- [11] Sandra Nogry, Stéphanie Jean-Daubias, Magali Ollagnier-Beldame, « Evaluation des eiah : une nécessaire diversité des Méthodes », *Communication recherche CNRS*.

