Logiciel de Prototypage d'Eoliennes Sous Matlab/Simulink® Réalisé dans le Cadre des Projets Pédagogiques

M.E.H. Benbouzid¹ et D. Diallo²

¹IUT de Brest, Université de Bretagne Occidentale – Rue de Kergoat, BP 93169, 29231 Brest Cedex 3 – m.benbouzid@ieee.org

²IUT de Cachan, Université de Paris XI – 9, Avenue de la Division Leclerc, BP 140, 94234 Cachan – ddiallo@ieee.org

Résumé : La conjoncture actuelle fait qu'il est difficile d'attirer de jeunes étudiants vers le génie électrique et plus particulièrement vers l'électrotechnique, bien que les besoins ne fassent que s'accroître au niveau industriel (métiers du génie électrique). Dans ce contexte difficile, un investissement important est nécessaire pour rendre attractif l'électrotechnique. Cela passe par un gros effort d'innovation pédagogique. Dans ce contexte, les énergies renouvelables sont en pleine croissance, ce qui a l'avantage d'attirer les étudiants et donc de nous permettre de faire passer un contenu scientifique. Dans cette logique, cet article présente un logiciel de prototypage d'éoliennes sous Matlab/Simulink® réalisé dans le cadre des projets pédagogiques de l'IUP GEII Amiens. Ce logiciel a été mis au point par un groupe de trois étudiants de l'option Electronique de Puissance et Electrotechnique de la Maîtrise GEII. Ce logiciel dispose d'une interface graphique qui permet à n'importe quel utilisateur des simulations simples et conviviales. Il a ensuite été exploité par un autre groupe de trois étudiants de la Licence GEII pour réaliser une éolienne de démonstration.

Mots-clés : Energies renouvelables, éolien, projets étudiants, Matlab/Simulink®, simulation, réalisation.

1. INTRODUCTION

Les exigences de développement durable conduisent à un accroissement de la production d'électricité d'origine renouvelable. Dans ce contexte, l'Europe s'est engagée à produire 22% de son électricité à partir de ressources renouvelables contre 14% en 1998. Le vent constitue actuellement la ressource la plus compétitive et l'amélioration des aérogénérateurs conduit à de nombreuses recherches notamment dans le domaine de l'électrotechnique : Ceci constitue un élément non négligeable pour attirer les étudiants vers les métiers de l'électrotechnique. Par ailleurs, la production d'électricité consomme actuellement environ le tiers de l'énergie primaire mondiale et la part des énergies renouvelables n'est que de 20% environ. Il apparaît donc de façon flagrante que l'électricité, bien qu'énergie finale propre par excellence, contribue très largement à la dégradation de l'environnement ainsi qu'à l'épuisement de ressources non renouvelables (combustibles fossiles et uranium). C'est pourquoi, l'une des mesures pour préparer un développement réellement durable consiste à accroître la part des ressources renouvelables pour la production d'électricité : Ceci fait apparaître une mission environnementale à ce type de métier. Beaucoup d'étudiants n'y sont pas insensibles.

L'énergie éolienne est la seule qui soit à la fois peu coûteuse et facilement exploitable. Et quand on sait que la France possède moins de 218 MW éoliens installés en août 2003 (l'Allemagne en exploite 12800 MW), alors qu'elle dispose du deuxième gisement éolien d'Europe, cela donne une idée des développements possibles dans ce domaine. La France a un grand retard à rattraper dans le développement de l'énergie éolienne. En janvier 2004,

la puissance installée est de 240 MW. Les 14000 MW de l'Allemagne nous montrent que la filière éolienne française a de belles perspectives devant elle et qu'il nous est possible d'éviter le rejet de grandes quantités de gaz carbonique. La France vise une puissance éolienne de 2000 à 6000 MW d'ici 2007. L'énergie éolienne est source de création d'emplois, et le développement de cette filière en France aura un impact économique fort. Dans le monde, la filière éolienne représente au moins 140000 emplois directs et indirects à la fin de l'année 2002. Sur ces emplois, au moins 129000 sont européens. En France, 1120 emplois sont consacrés à la filière éolienne en 2002. On a constaté en 2000 que chaque nouveau MW installé créait 20 emplois. Même si ce ratio diminue avec l'installation de nouveaux parcs, on peut considérer qu'en 2007, la filière éolienne française aura créée 26500 nouveaux emplois. L'enjeu de l'énergie éolienne n'est donc pas qu'environnemental, il est aussi économique et social. Ce dernier point montre que la question des énergies renouvelables et, d'une manière générale, celle du développement durable, est aujourd'hui incontournable. Or, elle était peu ou pas abordée par nos formations. C'est une compétence que les étudiants doivent désormais acquérir [1]. De plus, le profil professionnel type que les entreprises du secteur énergie réclament n'est plus celui d'il y a cinq ou dix ans [2]. C'est entre autres pour ces raisons que le Département GEII de l'IUT de Brest compte lancer pour la rentrée 2006 une Licence Professionnelle EISI (Electronique et Informatique des Systèmes Industriels) avec une option Electrotechnique et Electronique de Puissance ayant une forte coloration énergétique (réseaux et production non conventionnelle de l'énergie électrique).

L'objet de cette contribution est de décrire des travaux effectués par des étudiants dans le cadre de leurs projets. Les travaux réalisés, même s'ils ont une forte connotation pédagogique, peuvent avoir une suite dans le cadre des travaux de recherche sur l'énergie éolienne.

2. DIMENSIONNEMENT D'UNE EOLIENNE

Le dimensionnement d'une éolienne est un problème complexe puisqu'on est confronté à des choix technologiques (générateurs, pales, etc. – figure 1) et à des contraintes environnementales (terre, off-shore, etc. – figure 2). Il apparaît donc un besoin d'une aide automatique au dimensionnement.

Dans ce contexte, un premier groupe de trois étudiants (Maîtrise) s'est attelé à la réalisation d'une première ébauche d'un logiciel de prototypage d'éoliennes sous Matlab/Simulink®.

Fig. 1. Vue éclatée de la nacelle d'une éolienne.

Fig. 2. Type de parc éolien.

3. PRESENTATION DU LOGICIEL

Sur la base d'une bibliographie assez fournie, les étudiants ont établi les relations de base régissant la génération de l'énergie électrique par une éolienne [3].

3.1. Modèle sous Simulink

Le modèle réalisé sous Simulink pour simuler le fonctionnement d'une éolienne est illustré par la figure 3. Apparaissent en vert les composants liés à l'environnement extérieur, en rouge les paramètres propres à l'éolienne. Les autres couleurs représentent des sous systèmes créés pour modéliser les différentes équations régissant le fonctionnement d'une éolienne.

Fig. 3. Simulation du fonctionnement d'une éolienne.

3.2. Développement d'un GUI

Un GUI traduit littéralement Graphical User Interfaces. Il a pour objectif de créer des interfaces graphiques permettant de simplifier l'utilisation d'une application. Cette application est décrite par des lignes de codes sous Matlab et un fichier Simulink. L'interface réalisée avec cet outil, propre au logiciel de développement Matlab/Simulink®, est très proche de celle de Microsoft Windows afin de faciliter la prise en main par l'utilisateur. Ainsi, on y retrouve tous les éléments d'une fenêtre classique (boutons, menus déroulants, etc.).

Les informations introduites dans le GUI sont les caractéristiques, entre autres, de :

- *L'éolienne*. On y trouve des données sur le rotor (diamètre, aire balayée, nombre de pales, vitesse) et aussi sur la hauteur du mât (figure 4).
- *La génératrice*. Le type de génératrice, la fréquence de sortie, la tension de sortie et la puissance nominale (et éventuellement la puissance maximale) et autant de données qu'il est possible de trouver.
- *Le multiplicateur*. Le rapport d'engrenage.
- *L'environnement*. La vitesse du vent, la température de l'air, la masse molaire de l'air et l'altitude.

Fig. 4. Caractéristiques extérieures d'une éolienne.

L'approche retenue est de donner à l'utilisateur deux choix possibles pour le prototypage de son éolienne. Ainsi, il est possible de dimensionner une éolienne à partir des données caractéristiques fournies par des constructeurs. L'utilisateur peut alors rapidement évaluer l'énergie produite par l'éolienne choisie. Le deuxième choix proposé, est de créer une éolienne personnalisée en définissant ses caractéristiques. Dans les deux cas, une fois les paramètres entrés, il est possible de simuler le fonctionnement de l'éolienne par l'intermédiaire d'une autre fenêtre. Cette dernière représente l'environnement de la simulation et indique clairement à quoi correspond chaque valeur qui modélise l'éolienne. De plus, toujours dans cette fenêtre, il est possible de représenter graphiquement certaines relations comme l'évolution de la puissance fournie en fonction de la vitesse du vent ou bien de représenter la simulation du point de vue de Simulink. La figure 5 illustre le menu d'entrée du logiciel réalisé.

3.2.1. Le Menu "Personnalisé"

Ce menu, illustré par la figure 6, laisse libre court à l'utilisateur de choisir les caractéristiques de l'éolienne. Cependant, la personnalisation a été volontairement limitée car certaines valeurs de paramètres sont très différentes selon les dimensions de l'éolienne. Par exemple, on ne peut pas avoir le cas d'une éolienne de 2 MW avec un diamètre de 4 mètres et une vitesse de rotation de 500 trs/min. Une telle simulation ne serait pas envisageable car la modélisation se doit d'être cohérente avec la réalité. Ainsi, il est proposé à l'utilisateur deux types de dimensionnements possibles (éolienne de petite ou de grande taille). En fonction de son choix, différentes valeurs cohérentes entre elles sont disponibles.

Le menu offre aussi la possibilité de régler les paramètres d'environnement pour la simulation (figure 7) : la vitesse du vent, la température extérieure ainsi que l'altitude (valeurs par défauts : 15 m/sec, 20°C, 50 m).

Fig. 5. Menu d'entrée du logiciel.

Fig. 6. Menu personnalisé.

Fig. 7. Menu données environnementales.

3.2.2. Le Menu "Constructeur"

Le menu, illustré par la figure 8, met en évidence la marque puis le modèle d'éolienne. L'utilisateur dispose dans ce cas des informations concernant l'éolienne choisie.

3.2.3. La Fenêtre de Simulation

La fenêtre affiche plusieurs informations, celles qui proviennent des caractéristiques de l'éolienne et celles qui sont calculées sous Simulink (figure 9). Il est d'ailleurs possible de visualiser le modèle de simulation adopté dans le menu graphique.

Fig. 8. Menu constructeur.

Fig. 9. Fenêtre de simulation.

Après la simulation, l'utilisateur disposera des informations ou résultats suivants.

Les puissances d'entrée du site :

- Puissance d'entrée ;
- Puissance d'entrée maximale ;
- Vitesse moyenne au moyeu.

Les puissances de sortie de l'éolienne :

- Puissance utile récupérable par l'éolienne ;
- Puissance mécanique transmise à la génératrice ;
- Puissance totale transmise au réseau sur une année ;
- Facteur de capacité.

Les courbes suivantes :

- Courbe de puissance de l'éolienne ;
- Densité de puissance du vent ;
- Densité de puissance utile ;
- Coefficient de puissance.

4. REALISATION D'UNE EOLIENNE

Le logiciel ainsi réalisé a ensuite été exploité par un autre groupe de trois étudiants (Licence) pour réaliser une éolienne de démonstration.

Pour des raisons pédagogiques et pratiques, nous avons poussé les étudiants à utiliser le menu personnalisé pour la réalisation de leur maquette d'éolienne. Les aspects suivants ont été alors abordés.

4.1. Aspects Technologiques et Mécaniques

Dans un premier temps, il a été nécessaire de réfléchir aux avantages et aux inconvénients des capteurs bipales et tripales. Un capteur tripale a été adopté car la majorité des éoliennes sur le marché sont de ce type. Par ailleurs, ce type de capteur permet au rotor de mieux encaisser les chocs en rotation (ce qui n'est pas le cas du capteur bipale). Le capteur choisi, illustré par les figures 10 et 11, a les caractéristiques suivantes :

- Paramètre de rapidité : $\lambda = 6.5$
- Coefficient d'aérodynamisme : $C_p = 0.25$
- Diamètre de l'éolienne : $D = 0.58$ m

En fonction du capteur adopté, il a été ensuite choisi le mât de l'éolienne (réalisé par les étudiants) en fonction des paramètres en cohérence avec les données du logiciel. Le mât réalisé est illustré par la figure 12. On peut y observer un système de fixation de la génératrice.

Fig. 10. Capteur tripale choisi.

Fig. 11. Aperçu du moyeu.

Fig. 12. Mât de l'éolienne réalisé par les étudiants.

4.2. Choix de la Génératrice

Pour des raisons de démonstration, il a été choisi une génératrice à courant continu à aimants permanents de 12 V ; en se basant toujours sur des valeurs cohérentes issues du logiciel. Cette génératrice est illustrée par la figure 13.

Fig. 13. Génératrice choisie.

4.3. Réalisation de la Maquette "Eolienne"

La maquette finale réalisée est illustrée par la figure 14. Une série de tests en conditions réelles ont été réalisés pour valider la maquette. En effet, n'ayant pas la possibilité de générer un vent artificiel d'environ 10 km/h, nous avons décidé de faire des tests en milieu venté. La figure 15 regroupe un ensemble d'images illustrant ces tests. On peut y constater que l'on arrive à générer une tension continue d'environ 12 V. Il faut noter qu'un certain nombre de résultats expérimentaux ont été réalisés sous forme de vidéos.

Fig. 14. Maquette réalisée.

Fig. 15. Aperçu des tests de validation de l'éolienne.

5. CONCLUSIONS

Outre les objectifs pédagogiques des projets étudiants, un élément essentiel a été de présenter aux étudiants des sujets attrayants les poussant à s'intéresser au génie électrique en général et à la problématique majeure des énergies renouvelables. Ce type de projets, ayant le double avantage d'être une thématique émergente et une préoccupation sociétale, peut motiver beaucoup plus les étudiants et les pousser à s'investir fortement, particulièrement pour faire aboutir leur travail. Ceci a été le cas pour nos projets. En effet, les étudiants se sont déplacés sur des sites réels d'implantation d'éoliennes pour tester leur maquette (figure 16).

Par ailleurs, avec une approche système (éolienne dans notre cas), on sensibilise plus nos étudiants à la pluridisciplinarité des métiers (électricité, mécanique, etc.). Ceci permet aux étudiants d'approfondir des connaissances et d'en acquérir de nouvelles. Enfin, l'engagement des étudiants dans la réalisation de maquette nous permet de les sensibiliser aux problèmes de conception, de dimensionnement et de simulation numérique.

Fig. 16. La maquette face à des éoliennes réelles en Baie de Somme.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement les étudiants N. Bailleux, J. Bechard, A. Beun, C. Charpentier, S. Quéval et L. Lemaire pour leur enthousiasme dans la réalisation de ces deux projets malgré les difficultés et leur programme très chargé en Licence.

Références Bibliographiques

1. France Energie Eolienne. *L'Energie Eolienne, une Energie Propre et Renouvelable*. Dossier d'Information 2004. <http://www.fee.asso.fr/>
2. Guézel, J.-C. L'INPG Forme aux Nouveaux Métiers de l'Energie. *Industrie et Technologies*, n°864, p. 69, Janvier 2005.
3. Ackermann, T. Wind Energy Technology and Current Status: a Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 4, 2000, pp. 315-374.