

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

PROPOSITION

PROJET DE FIN D'ÉTUDES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE LOGICIEL ET DES TI

Optimisation des paramètres d'une éolienne en mouvement

Auteur :
Pierre-Alexandre ST-JEAN
<pa@stjean.me>

Superviseur :
Dr. Christian DESROSIERS
<christian.desrosiers@etsmtl.ca>

16 mai 2013

Résumé

Le club étudiant Chinook, afin de continuer son succès en compétition améliore constamment son éolienne. L'ajout d'un système mécanique et électronique de contrôle de l'angle d'attaque de celle-ci ainsi que du ratio de transmission permettra d'augmenter les performances du véhicule. Afin de commander ces nouveaux systèmes, un algorithme de contrôle doit être développé afin de gérer ces systèmes. Le présent projet propose donc de caractériser l'éolienne puis de créer un tel algorithme de contrôle de l'éolienne à l'aide des algorithmes génétiques.

Table des matières

Résumé	1
Table des matières	2
Table des figures	2
1 Problématique et contexte	3
2 Objectifs du projet	3
3 Méthodologie	4
4 Livrables et planification	6
4.1 Description des atéfacts	6
4.2 Planification	8
5 Risques	9
5.1 Risques et mitigation de ces risques	9
5.2 Impact, probabilité et exposition aux risques	10
6 Techniques et Outils	10
Références	11
Annexes	12
Annexe A Architecture Électrique du Chinook 3	12
Annexe B Calcul de l'impact, la probabilité et de l'exposition aux risques	13
B.1 Niveaux de probabilités/Impact	13
B.2 Calcul de Probabilité/Impact	13
B.3 Exposition au risque	13

Table des figures

1 Chinook 1 et 2	3
2 Mat et Rotor du Chinook 3	4
3 Carte électronique de calcul	5

I Problématique et contexte

Le véhicule éolien Chinook₁ de l'ÉTS est un regroupement de personnes¹ qui analysent, conçoivent et construisent un véhicule propulsée par une éolienne. Le véhicule participe, chaque année, depuis deux ans à une compétition de véhicules de ce type qu'ils ont remportés l'année dernière. Cette année le véhicule doit être amélioré afin de pouvoir rester compétitif. Pour ce faire un système électronique de contrôle de l'angle d'attaque des pales de l'éolienne sera installé. La transmission du véhicule sera aussi modifiée afin de pouvoir être contrôlée électroniquement.



FIGURE 1 – Le Chinook 1 et le Chinook 2 en exposition dans le Hall A de l'ÉTS

Afin de pouvoir contrôler ces systèmes électroniques, des modèles de contrôle et d'optimisation de la puissance de l'éolienne doivent être créés. Les modèles théoriques applicables aux éoliennes standards doivent être modifiés afin de prendre en compte le fait que l'éolienne du Chinook est une éolienne mobile. Ainsi les systèmes de contrôles d'éoliennes fixes ne sont pas applicables dans le contexte d'une éolienne mobile.

2 Objectifs du projet

Le présent projet a pour but d'amener l'éolienne du Chinook₃ [figure : 2] à opérer dans les conditions et à l'aide des paramètres d'opérations optimales. Pour ce faire, l'éolienne doit être caractérisée, un modèle de contrôle et d'optimisation de l'angle d'attaque (β) des pales et du ratio de transmission qui affecte

1. <http://chinookets.com>

la vitesse de rotation de l'éolienne (ω) doit être conçu, analysé puis ce modèle doit être implanté dans le logiciel de la carte électronique de calcul.

Le système de contrôle pourra, à tout moment, changer l'angle d'attaque des pales (β) où le ratio transmission afin d'atteindre les performances optimales de l'éolienne dans les conditions de vitesse du véhicule et de vitesse du vent.

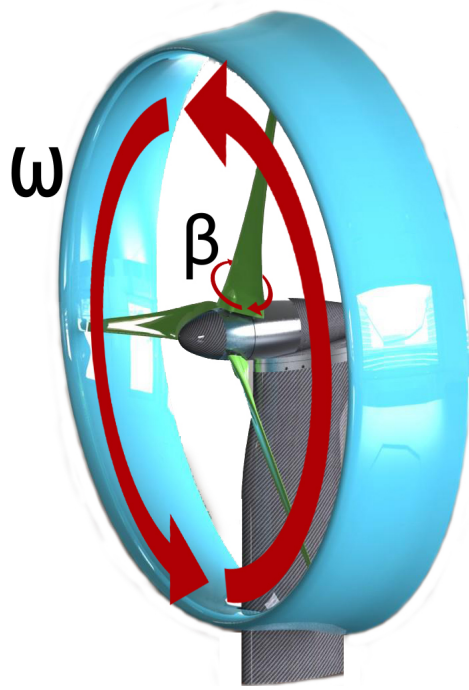


FIGURE 2 – Rendu 3D du mat et du rotor du Chinook 3

Un tel modèle ainsi opérationnel dans les systèmes de contrôle du Chinook permettra au véhicule d'atteindre de meilleures vitesses et ce plus rapidement tout en permettant de conserver les vitesses atteintes et de mieux résister aux turbulences que par les années passées.

3 Méthodologie

La méthode utilisé dans ce projet sera adapté à partir de plusieurs méthode d'optimisation par algorithme génétique, entre autres celles provenant de [RPo8] et de [OB12]. Ces méthodes seront appliqués selon des processus de génie logi-

ciel (développement dirigé par les spécifications, etc...). Tout au long du projet des pratiques provenant de méthodes agiles tel que Kanban² et Scrum³

Premièrement, le facteur de conversion de l'éolienne (C_p) doit être caractérisé. Pour ce faire on doit récupérer des données expérimentales de l'éolienne selon plusieurs paramètres puis on doit trouver une équation qui régit ces données. Afin de trouver l'équation, une régression de style "Curve-Fitting" tel que décrite dans [RPo8] à la section 12.2 sera utilisée.

Lorsque le comportement de l'éolienne sera caractérisé, un modèle mathématique de contrôle de l'éolienne sera généré à l'aide d'un algorithme génétique. La méthode décrite dans [OB12] sera améliorée et adaptée afin de convenir au contexte d'utilisation du Chinook et cette méthode sera utilisée afin de générer le modèle mathématique de contrôle.

Suite à la création de la formule de contrôle et à partir de l'architecture électrique et logiciel [Annexe A] du Chinook 3, on peut inclure ces équations à l'intérieur du Chinook dans la carte électronique de calcul [figure 3]. Les équations donneront en sortie : l'angle d'attaque et le ratio de transmission à appliquer. Ces données seront envoyés aux systèmes qui contrôlent les moteurs.

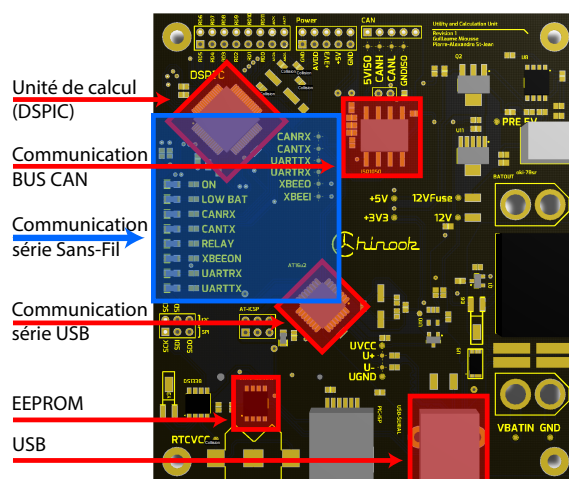


FIGURE 3 – Carte électronique d'acquisition de données, de surveillance du courant électrique et de calcul de l'angle d'attaque des pales et du ratio de transmission

Des tests sur route seront ensuite effectués avec le Chinook afin de valider si les modèles calculés à partir d'algorithmes génétiques fonctionnent.

2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Kanban_\(development\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Kanban_(development))
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Scrum_\(development\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Scrum_(development))

Afin de permettre à l'éolienne de se comporter correctement lorsqu'elle est dans un autre état qu'en régime permanent, des états supplémentaires seront ajoutés à l'algorithme de contrôle, par exemple : lorsque la voiture va plus vite que l'éolienne (poussée) ou lorsqu'elle est à l'arrêt.

En résumé, le projet consiste en :

- La récolte de données sur l'éolienne à différent β et λ
- La caractérisation du facteur de conversion de puissance de l'éolienne (C_p), c'est à dire le ratio entre la puissance du vent fournie à l'éolienne et la puissance de sortie de celle-ci
- L'adaptation et l'amélioration de la méthode de [OBr2] afin qu'elle convienne au contexte du Chinook. Cette méthode génère un modèle mathématique de contrôle de l'éolienne
- l'implémentation du modèle mathématique de contrôle de l'éolienne dans la carte électronique de calcul
- Les tests sur route afin de valider la méthode

4 Livrables et planification

4.1 Description des atéfacts

Artéfact	Description
Proposition de projet	Le présent document qui décrit sommairement en quoi consistera le projet, ça planification et la façon dont il sera exécuté.
Rapport d'étape	Document décrivant l'avancement du projet et la façon dont le projet est analyser et conçu
Rapport final	Document décrivant le projet dans son ensemble.
Présentation	Préparation et mise en page de la présentation du projet au département de Génie Logiciel et des TI à la fin de la session
Article	Article scientifique décrivant la méthode utilisée pour caractériser l'éolienne et créer l'algorithme d'optimisation
Spécifications	Documents de spécifications des différents sous-projets que ce projet génère.

Carte électronique : implémentation de base	Implémentation permettant de faire fonctionner tout les composantes de la carte électronique et prêt à accueillir la fonction de calcul. Cet implémentation permet de faire fonctionner les modules de communication soit le XBEE, le module CAN et le module de USB-SERIAL. L'implémentation permettra aussi de faire fonctionner le module de mémoire morte (EEPROM), le module de surveillance électrique et le module d'horloge (realtime clock).
Carte électronique : Logiciel d'optimisation	Implémentation du logiciel d'optimisation génétique à l'intérieur de la carte électronique en langage C
Programme de caractérisation de l'éolienne	Programme d'algorithme génétique faisant une opération de Curve-fitting
Outils de simulation	Outils mathématiques permettant de simuler le fonctionnement de l'éolienne dans des conditions réelles.
Algorithme génétique d'optimisation	Algorithme permettant d'optimiser les paramètres de l'éolienne selon des conditions quasi réelles d'opération
Données de banc d'essai	Données récoltés en fixant certains paramètres de l'éolienne.
Algorithme génétique de caractérisation de l'éolienne	Algorithme permettant de caractérisé la fonction de puissance de l'éolienne en fonction des données récoltés
Outils de simulation & de visualisation	Outils mathématiques et algorithmiques qui permettent de simuler des conditions fictive et de voir les performances de l'éolienne et des algorithmes selon ces conditions
Planification de projet	La planification de projet initiale est produite à l'intérieur de ce document. Elle ensuite continuée sur la plateforme Trello (Voir la section ??)

Environnement de développement

L'environnement de développement est l'ensemble des outils utilisés lors de ce projet. L'environnement de développement permet de bien intégrer les différents outils entre eux.

4.2 Planification

Tâche	Début - Fin	Effort estimé
Fiche de renseignement	26 Mars 2013	1h
Proposition de projet	6 Mai 2013 - 12 Mai 2013	15h
Rapport Étape	12 Mai 2013 - 21 Juin 2013	25h
Rapport Final	21 Juin 2013 - 31 Juillet 2013	30h
Présentation	21 Juin 2013 - 31 Juillet 2013	5h
Article	12 Mai 2013 - 31 Juillet 2013	25h
Planification du projet	8 Mai 2013 - 31 Juillet 2013	5h
Compétition Racing Aeolus 2013	17 Août	
Rencontre avec professeur superviseur	(Au besoin)	3h
Mise en place de l'environnement de développement	12 Mai - 18 Mai	5h
Spécification du projet	12 Mai - 1 Juin	15h
Programme de caractérisation de l'éolienne	12 Mai - 30 Mai	15h
Récolte de données	Mi-juin	12h
Caractérisation de l'éolienne	Mi-juin	6h
Outils de simulation & de visualisation	12 Mai	15h
Programme génétique d'optimisation	1 Juin - 15 Juillet	30h
Carte électronique : implémentation de base	10 mars 2013 - 20 Mai 2013	30h
Carte électronique : ajout du logiciel d'optimisation	1 Juillet 2013 - 31 Juillet 2013	20h
Tests sur route	Mi-Juillet	3 fois 6h

5 Risques

5.1 Risques et mitigation de ces risques

Risque	Description & Mitigation
Risque que la préparation du véhicule ne respecte pas les délais	Ce risque peut-être mitigé en ayant un bon suivi de l'avancement et de la construction du véhicule et en offrant de l'aide si nécessaire.
Complexité du domaine d'application	Le domaine de l'application des énégies éoliennes et de la mécanique des fluides est un domaine complexe, ce risque peut être mitigé en ayant les bons renseignements en main. Plusieurs ressources sont disponible, soit à l'intérieur du club étudiant Chinook ou auprès des professeurs spécialisés dans ce domaine.
Manque de données	En s'assurant d'obtenir assez de données lors des sorties de banc d'essai, ce risque est facilement évitable.
Non fonctionnement de la méthode d'optimisation	Ce risque peut être évité en se renseignant sur l'application et la pertinence de la méthode utilisée. Toutefois, la méthode manuelle de contrôle reste toujours disponible.
Complexité du projet	Ce risque peut être évité en se documentant correctement sur les méthodes utilisés et en s'assurant de la compréhension de ces méthodes

5.2 Impact, probabilité et exposition aux risques

Risque	Impact	Probabilité	Exposition
Risque que la préparation du véhicule ne respecte pas les délais	Élevé	Élevé	0.3734
Complexité du domaine d'application	Moyen	Haut	0.1698
Manque de données	Haut	Faible	0.0679
Non fonctionnement de la méthode d'optimisation	Haut	Faible	0.0679
Complexité du projet	Moyen	Bas	0.0309

La façon de calculer l'impact des risques et leur probabilités est faite selon la méthode de PÉRIL⁴. Voir les tableaux en [Annexe B] afin de voir les calculs.

6 Techniques et Outils

- Des pratiques de méthodes agiles et itératives provenant de Kanban, Scrum et autres seront utilisées tout au long du projet.
- Les spécifications logiciel et du projet seront écrites à l'aide la de la méthode (Specification by example) décrite dans [Adz11].
- Formattage des documents de remise à l'aide des logiciels libres L^AT_EX et de LuaL^AT_EX et des nombreux paquetages disponibles (CTAN⁵).
- Tout les documents et codes sources seront gérés avec le système de gestion de versions GIT⁶.
- Le service de partage de fichiers Dropbox sera utilisé afin de partager plusieurs fichiers entre différents postes et différentes personnes.
- Github⁷ sera utilisé comme plateforme d'hôte et de collaboration de code source.
- Trello⁸ sera utilisé comme plateforme de gestion du projet. L'outil sera utiliser pour faire le suivi et la planification du projet.

4. <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/dd315417.aspx>

5. <http://www.ctan.org/>

6. <http://git-scm.org>

7. <https://github.com>

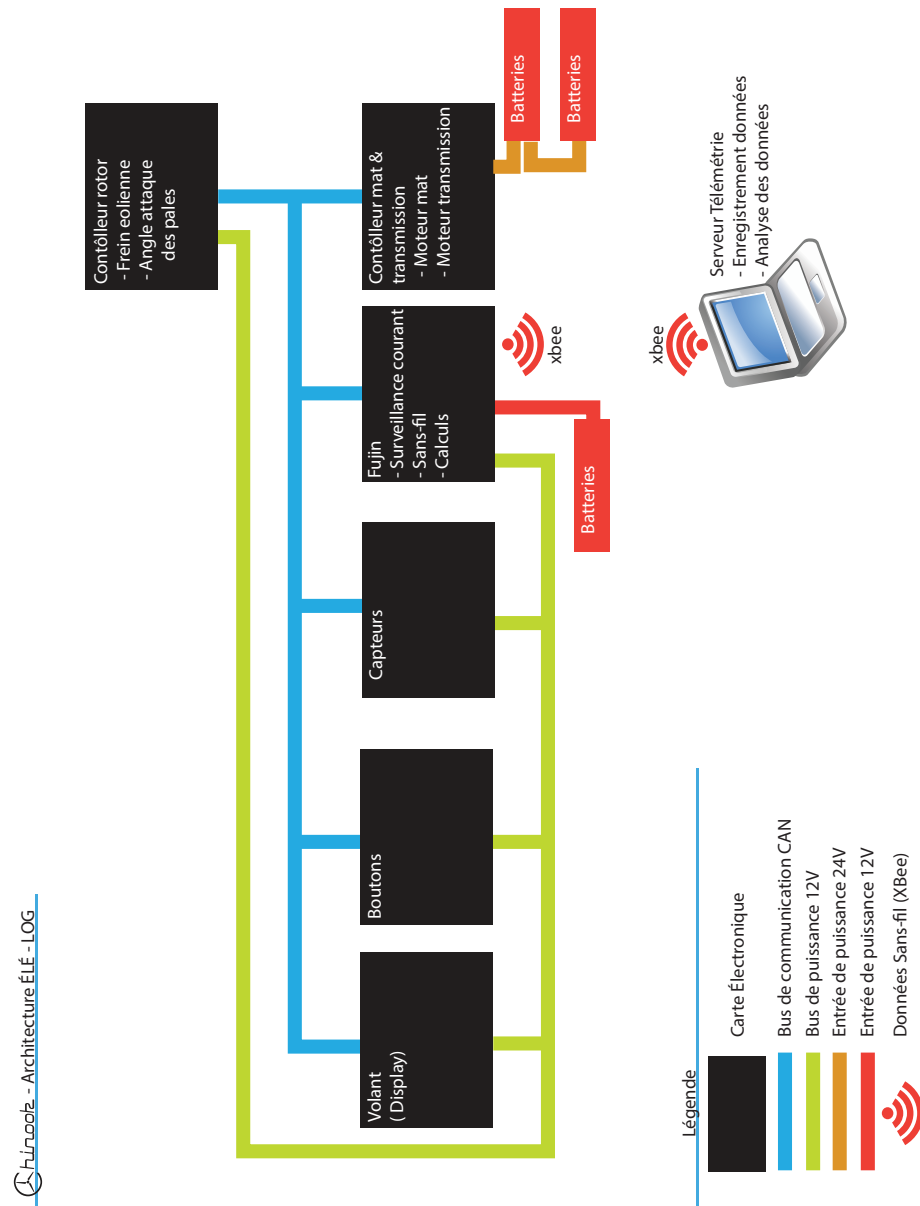
8. <https://trello.com>

- Mathematica sera utilisé comme outil de calculs mathématiques et de visualisation des données.

Références

- [Adz11] Gojko Adzic. *Specification by Example : How Successful Teams Deliver the Right Software*. Manning Publications, 2011.
- [OB12] Mohamed Cherkaoui Ouissam Belghazi. Pitch angle control for variable speed wind turbines using genetic algorithm controller. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 39. No. 1 :005 -- 010, 2012.
- [RPo8] Nicholas F. McPhee Riccardo Poli, William B. Langdon. A field guide to genetic programming. 2008.

A Architecture Électrique du Chinook 3



B Calcul de l'impact, la probabilité et de l'exposition aux risques

Voici les tableaux représentant le calcul de l'impact, la probabilité et l'exposition des risques selon la méthode de PERIL.

B.1 Niveaux de probabilités/Impact

Terme	Définition
Haut	Risque qui aurait une forte probabilité ou dont l'impact risquerait de mettre le bon bon déroulement du projet en jeu (retard de plusieurs jours)
Moyen	Risque qui aurait une moyenne probabilité de survenir ou dont l'impact risquerait de retarder le projet de quelques jours.
Bas	Risque qui aurait une faible probabilité de survenir ou dont l'impact risquerait de ne peu ou pas retarder le projet (quelques heures).

B.2 Calcul de Probabilité/Impact

Niveau	Calcul	Probabilité ou Impact
Haut	$\frac{1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}}{3}$	0.6111
Moyen	$\frac{\frac{1}{2}+\frac{1}{3}}{3}$	0.2777
Bas	$\frac{\frac{1}{3}}{3}$	0.1111

B.3 Exposition au risque

L'exposition au risque est la probabilité multipliée par l'impact

	Haut	Moyen	Bas
Haut	0.3734	0.1698	0.0679
Moyen	0.1698	0.0712	0.0309
Bas	0.0679	0.0309	0.0123