

# Filière Systèmes industriels

Orientation Power & Control

# Diplôme 2014

*Zacharie Lagger*



*Intégration d'éoliennes  
dans le GridLab*

- *Professeur*  
Gilbert-André Morand
- *Expert*  
Michel Rausis
- *Date de la remise du rapport*  
11.07.2014

SI	TV
X	X

<input checked="" type="checkbox"/> FSI <input type="checkbox"/> FTV	Année académique / Studienjahr <b>2013/14</b>	No TD / Nr. DA <b>pc/2014/74</b>
Mandant / Auftraggeber <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>	Etudiant / Student <b>Zacharie Lagger</b>  Professeur / Dozent <b>Gilbert-André Morand</b>	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja <sup>1</sup> <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) <b>Michel Rausis (à confirmer)</b> DransEnergie   Route de l'Usine   1937 Orsières	

Titre / Titel <p style="text-align: center;"><b>Intégration d'éoliennes dans le GridLab</b></p>
Description / Beschreibung <p>Ces prochaines années, de nombreuses éoliennes seront mises en service et injecteront de manière décentralisée de l'électricité dans le réseau électrique BT. La société Swiss Wind Energy – qui a conçu et réalisé une éolienne à axe vertical d'une puissance de 2 kW – promeut ce type de machines dont un exemplaire sera placé sur le toit de « Dranse Energie » et injectera l'électricité fournie dans son réseau BT.</p> <p>Depuis 2013, nous disposons d'un modèle d'éolienne (résultat d'un travail de diplôme 2013), il s'agit maintenant de faire interagir des éoliennes existantes avec le modèle d'éolienne du Gridlab et d'intégrer le modèle d'éolienne dans le Gridlab.</p>
Objectifs spécifiques / Ziele <ul style="list-style-type: none"> <li>– Monitorer la vitesse de rotation de l'éolienne, ainsi que l'électricité injectée dans le réseau et présenter de manière cohérente les résultats sur un écran du Gridlab. Ce système pourra être appliqué pour n'importe quelle source d'énergie renouvelable.</li> <li>– Intégrer cette éolienne dans le GridLab, en appliquant comme consigne du modèle d'éolienne, la valeur de mesure d'une vraie éolienne ou l'information venant d'une station météorologique en appliquant un modèle pour prédire la puissance fournie.</li> <li>– Revoir le concept de la sécurité du modèle de l'éolienne et appliquer les actions correctives nécessaires.</li> <li>– Etudier les implications de l'injection d'électricité de manière décentralisée dans le réseau BT.</li> </ul>

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum  Responsable de l'orientation Leiter der Vertiefungsrichtung: .....  .....  <sup>1</sup> Etudiant / Student : .....  .....	Délais / Termine  Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags: 12.05.2014  Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts: 11.07.2014, 12:00  Expositions / Ausstellungen der Diplomarbeiten: 27 – 29.08.2014  Défense orale / Mündliche Verfechtung: Semaine   Woche 36
---	--

<sup>1</sup> Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.  
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.

## Intégration d'éoliennes dans le Gridlab

Diplômant

Zacharie Lager



### Objectif du projet

Intégration du modèle d'éolienne de l'HES-SO au Gridlab afin d'étudier l'injection d'énergie dans le réseau BT.

Pilotage du modèle d'éolienne en temps réel par l'application de mesures physiques.

### Méthodes | Expériences | Résultats

Ce projet est le développement de plusieurs fonctionnalités du modèle d'éolienne, dont la première version a été réalisée durant un travail de diplôme de l'année 2013.

Les fonctionnalités développées portent sur:

- le concept de sécurité du modèle: il a été redéfini afin de garantir une protection optimale des utilisateurs et du matériel. La fonction d'arrêt d'urgence, l'accessibilité des composants électriques ainsi que la limitation du couple à l'hélice ont été réadaptés.
- la centralisation des signaux d'entrées et de sorties.
- l'intégration de mesures physiques: pour obtenir des simulations représentatives des éoliennes existantes, des mesures de vitesse de vent sont récupérées depuis la station météo de l'HES-SO, pour être utilisées comme consigne de la maquette.
- l'intégration d'un transformateur BT afin de correspondre aux situations réelles.
- le design: celui-ci a été complètement revu afin de s'intégrer au mieux au Gridlab.

Travail de diplôme  
| édition 2014 |

Filière  
*Systèmes industriels*

Domaine d'application  
*Power and Control*

Professeur responsable  
*Gilbert-André Morand*  
[gandre.morand@hevs.ch](mailto:gandre.morand@hevs.ch)



# Table des matières

---

<b>Table des matières .....</b>	<b>I</b>
<b>1. Remerciements.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Préface.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Objectifs .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Fonctionnement d'une éolienne .....</b>	<b>4</b>
4.1 <i>Types d'éoliennes.....</i>	5
4.1.1 Axe horizontal .....	5
4.1.2 Axe vertical.....	7
4.2 <i>Topologies.....</i>	9
4.2.1 Vitesse fixe .....	9
4.2.2 Vitesse variable (asynchrone à double alimentation) .....	9
4.2.3 Vitesse variable (asynchrone à double alimentation).....	10
4.3 <i>Conversion de l'énergie aérodynamique.....</i>	11
4.3.1 Puissance du vent.....	11
4.3.2 Vitesse spécifique.....	11
4.3.3 Angle de calage .....	11
4.3.4 Coefficient de puissance .....	11
4.3.5 Rendements .....	13
4.3.6 Puissance électrique.....	14
<b>5. Modèle d'éolienne 1.0 .....</b>	<b>15</b>
5.1 <i>Modélisation.....</i>	15
5.1.1 Structure mécanique.....	15
5.1.2 Pupitre de commande.....	16
5.1.3 Automate programmable.....	16
5.1.4 Moteur, génératrice et convertisseurs.....	16
5.1.5 Puissances et mise à l'échelle.....	19
<b>6. Modèle d'éolienne 2.0 .....</b>	<b>20</b>
6.1 <i>Révision du concept de sécurité.....</i>	20
6.1.1 Arrêt d'urgence .....	20
6.1.2 Hélice.....	21
6.1.3 Cloison de protection .....	22
6.2 <i>Injection d'énergie dans le réseau .....</i>	23
6.2.1 Dimensionnement du transformateur .....	23
6.2.2 Séparation des réseaux d'entrée et de sortie .....	24
6.3 <i>Modes de fonctionnement.....</i>	25
6.3.1 Navigation .....	25
6.3.2 Modes de simulation.....	25

6.3.3	Défaut.....	27
6.3.4	Accès au paramètre Détails de l'installation .....	27
6.3.5	Implémentation de la machine d'état.....	28
6.4	<i>Concept d'automation</i> .....	29
6.4.1	Centralisation des données.....	29
6.4.2	Structure du programme.....	30
6.4.3	Pupitre de commande.....	35
6.5	<i>Intégration au Grilab</i> .....	37
6.6	<i>Modification de câblages</i> .....	39
6.7	<i>Coût des modifications</i> .....	40
6.8	<i>Améliorations</i> .....	40
<b>7.</b>	<b>Conclusion</b> .....	<b>41</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>42</b>
<b>9.</b>	<b>Annexes</b> .....	<b>43</b>

# 1. Remerciements

---

Avant tout, j'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide et qui m'ont consacré de leur temps pour mes diverses questions et requêtes.

A M. Morand Gilbert-André, professeur à l'HES-SO et responsable du projet, pour sa disponibilité, ses conseils et son suivi.

A Mlle. Gabathuler Shadya, collaboratrice à l'HES-SO, pour les explications et les démonstrations du fonctionnement de son travail de Bachelor.

A M. Vaccari Aldo et M. Furrer Dominique, collaborateurs à l'HES-SO, pour leur aide et leurs dépannages sur Labview.

A M. Roggo Dominique, M. Chevailler Samuel et M. Olivier Walpen, professeurs à l'HES-SO, pour leurs informations diverses sur le projet.

## 2. Préface

---

Depuis de nombreuses années, le domaine de l'énergie éolienne est en pleine expansion et en constante recherche d'innovation au niveau mondiale. Malheureusement, jusqu'à présent la Suisse a relativement peu pris part à ce développement. La situation géographique est une des causes principales. Notre pays ne comprend pas de zones côtières ou de grandes étendues permettant la construction de grands parcs éoliens tels qu'en Allemagne, d'où un intérêt réduit.

Cependant, la constante volonté de se diriger vers les énergies renouvelables et la découverte de sites propices ont permis à la Suisse de s'orienter vers cette technologie et de lancer son essor national.

*"D'une puissance de 28 kW, la première centrale éolienne suisse a été mise en service en 1986 près de la ferme Soolhof (Langenbruck). En 2012, notre pays compte plus de 30 installations, qui produisent ensemble quelque 85 gigawattheures (GWh) d'électricité éolienne. Situé sur le Mont-Crosin, non loin de Saint-Imier dans le Jura bernois, le plus grand parc éolien abrite seize turbines à vent, qui totalisent une puissance de 23,6 MW. D'autres grandes installations ont été construites dans la Vallée du Rhône (VS), à Entlebuch (LU) et à Gütsch ob Andermatt (UR).*

*En Suisse, l'énergie éolienne dispose également d'un large potentiel, puisque d'ici 2020, quelque 600 GWh de courant pourraient être produits annuellement. Ce chiffre devrait passer à 4000 GWh d'ici à 2050."*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> OFEN / Energies Eoliennes [en ligne]/ 2013 /  
<http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00500/index.html?lang=fr> (Consulté le 02.05.2014)

## 3. Objectifs

Réaliser des expériences sur une installation éolienne réelle n'est souvent pas aisé, ceci étant dû au niveau de tension élevé, au placement dans une soufflerie (vent extérieur pas constant), aux dimensions élevées, etc. Des essais sur maquettes permettent une plus grande liberté de manœuvre et des scénarios peuvent être répétés à souhait, permettant d'observer et de comprendre des phénomènes précis. Cependant, pour que les résultats soient représentatifs de la réalité, les paramètres de la maquette doivent être référencés à une installation existante.

Dans un but didactique, les consignes de l'éolienne, tel que sa vitesse de rotation et la vitesse du vent, doivent pouvoir être définies manuellement. Ceci permet à l'utilisateur de se rendre compte de l'utilité et la difficulté du réglage d'une éolienne, pour obtenir sa puissance optimale.

La principale fonction du modèle est d'étudier en détail la production d'énergie éolienne et ses implications. C'est pourquoi un mode de fonctionnement fournissant un maximum de liberté de simulation à l'utilisateur doit être développé. Les consignes du modèle doivent pouvoir être fournies en temps réel par des mesures effectuées sur une installation existante.

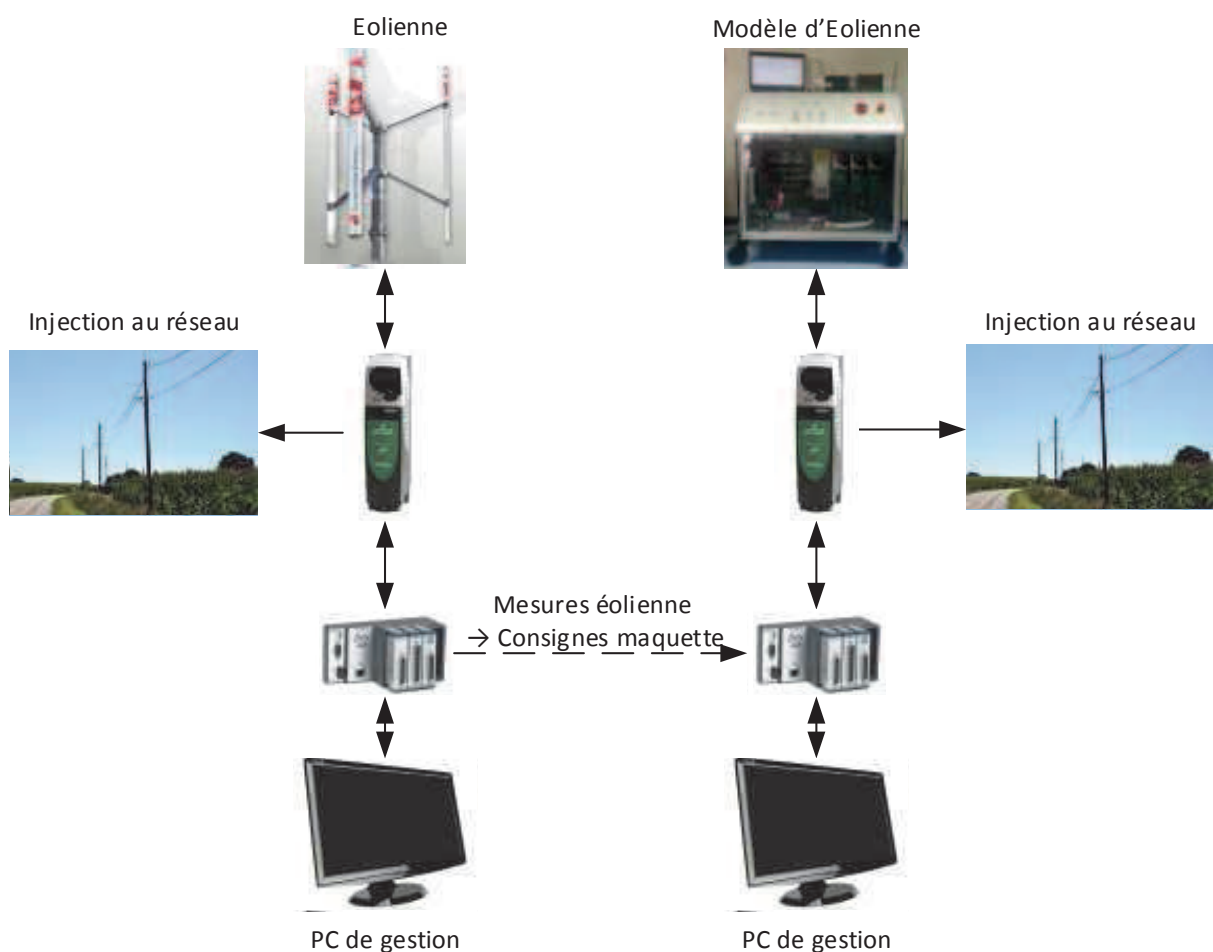


Figure 1: Principe de communication entre une éolienne et la maquette



## 4. Fonctionnement d'une éolienne

"Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Le plus souvent cette énergie est elle-même transformée en énergie électrique. Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs.<sup>2</sup>"

Une éolienne classique se compose des éléments suivants:

- Un **mat** permet de placer le rotor à une hauteur suffisante, lui permettant d'être entraîné par un vent plus régulier qu'au niveau du sol.
- Un **rotor**, composé de plusieurs pales, est fixé au sommet du mat et est entraîné par l'énergie cinétique du vent. Un frein est présent sur le rotor pour immobiliser celui-ci en cas de vent trop élevé.
- Un système de **conversion énergétique** permettant de transformer et de mettre en forme l'énergie récupérée par le rotor pour la transférer sur le réseau électrique.

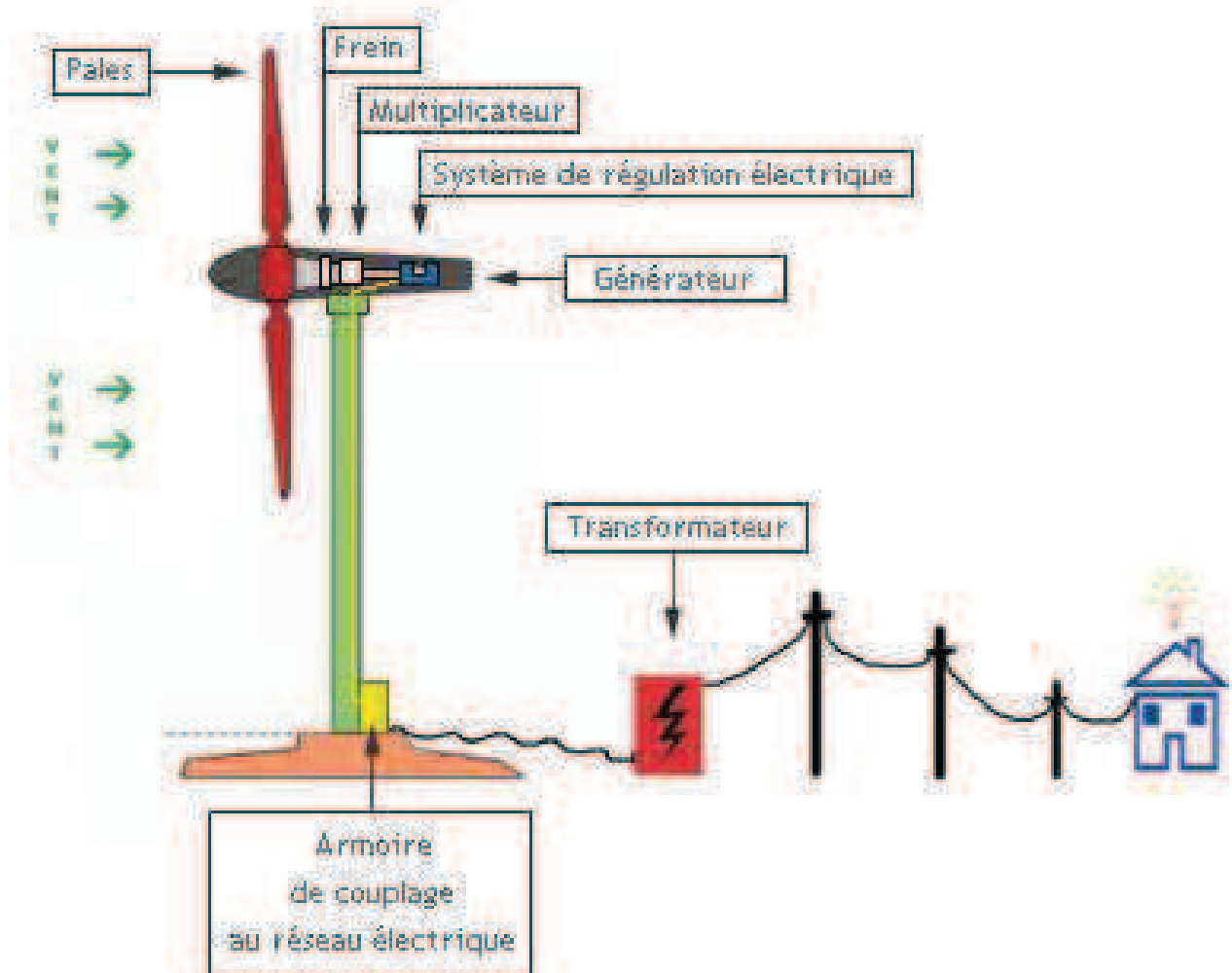


Figure 2: Principe de fonctionnement d'une éolienne<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Wikipédia / Eolienne /2014  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Eolienne> / Consulté le 06.05.2014

## 4.1 Types d'éoliennes

Les éoliennes se divisent en deux grandes catégories selon la direction de l'axe de rotation de la turbine.

### 4.1.1 Axe horizontal

Elles représentent la majorité des éoliennes industrielles de grandes puissances (jusqu'à 6MW). La version la plus courante se compose d'un rotor à trois pales, ayant un coefficient de puissance plus élevé et fonctionne de manière plus stable que des rotors à une ou deux pales.



Figure 3: Eolienne de Charrat (Valais), 3MW

De part sa forme asymétrique, la pale de l'éolienne crée un obstacle à l'écoulement du vent, ce qui induit une force de portance et une force de traînée. Ces forces sont comparables à celles permettant aux avions de voler.

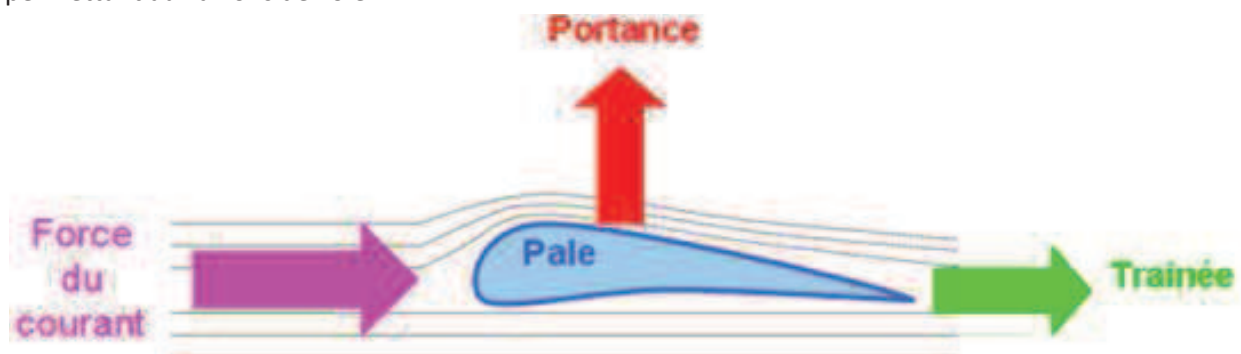


Figure 4: Effet de portance sur une pale d'éolienne<sup>4</sup>

<sup>3</sup>Lycée Pierre Mendès France/ Etude de l'énergie éolienne [en ligne]/ Fernandes Etienne / <http://www.lyc-mendesfrance-veynes.ac-aix-marseille.fr/spip/spip.php?article683> / Consulté le 03.05.2014

<sup>4</sup>Les hydroliennes / l'hélice [en ligne]/ 2013 / <http://tpe-hydroliennes.blogspot.ch/p/lhelice.html> / Consulté le 02.05.2014

Les composantes des forces de portance et de trainée peuvent être influencées en agissant sur l'angle entre les pales et la direction de l'écoulement du vent, appelé angle d'incidence. Il faut cependant faire attention à ne pas trop varier cet angle, car dépassé un certain seuil, l'écoulement de l'air autour de la pale devient turbulent et perd son efficacité. Ce phénomène est utilisé en cas de fort vent pour réduire la force appliquée sur les pales.

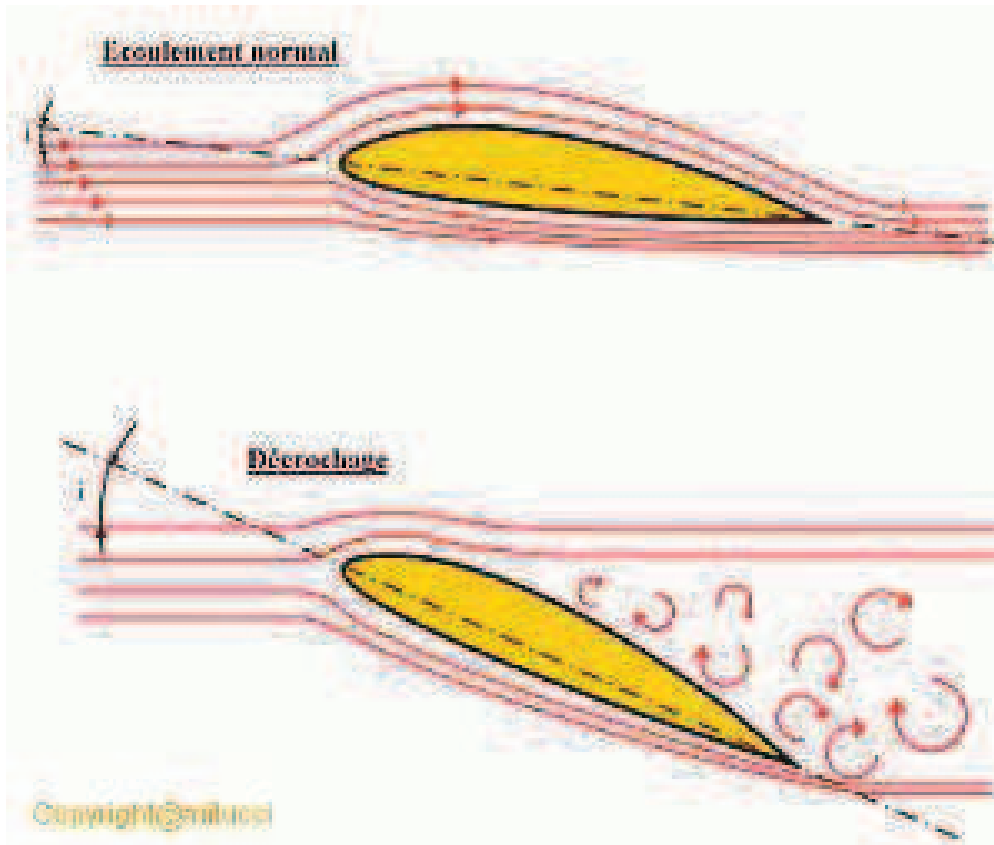


Figure 5: Phénomène de décrochage<sup>5</sup>

La combinaison de deux forces résultantes permet de mettre en rotation l'éolienne et de créer un couple, qui représente l'effort en rotation fourni à l'axe de l'éolienne. La multiplication de ces deux valeurs permet de trouver la puissance mécanique que produit l'éolienne.

$$P = M * \Omega \quad (1.1)$$

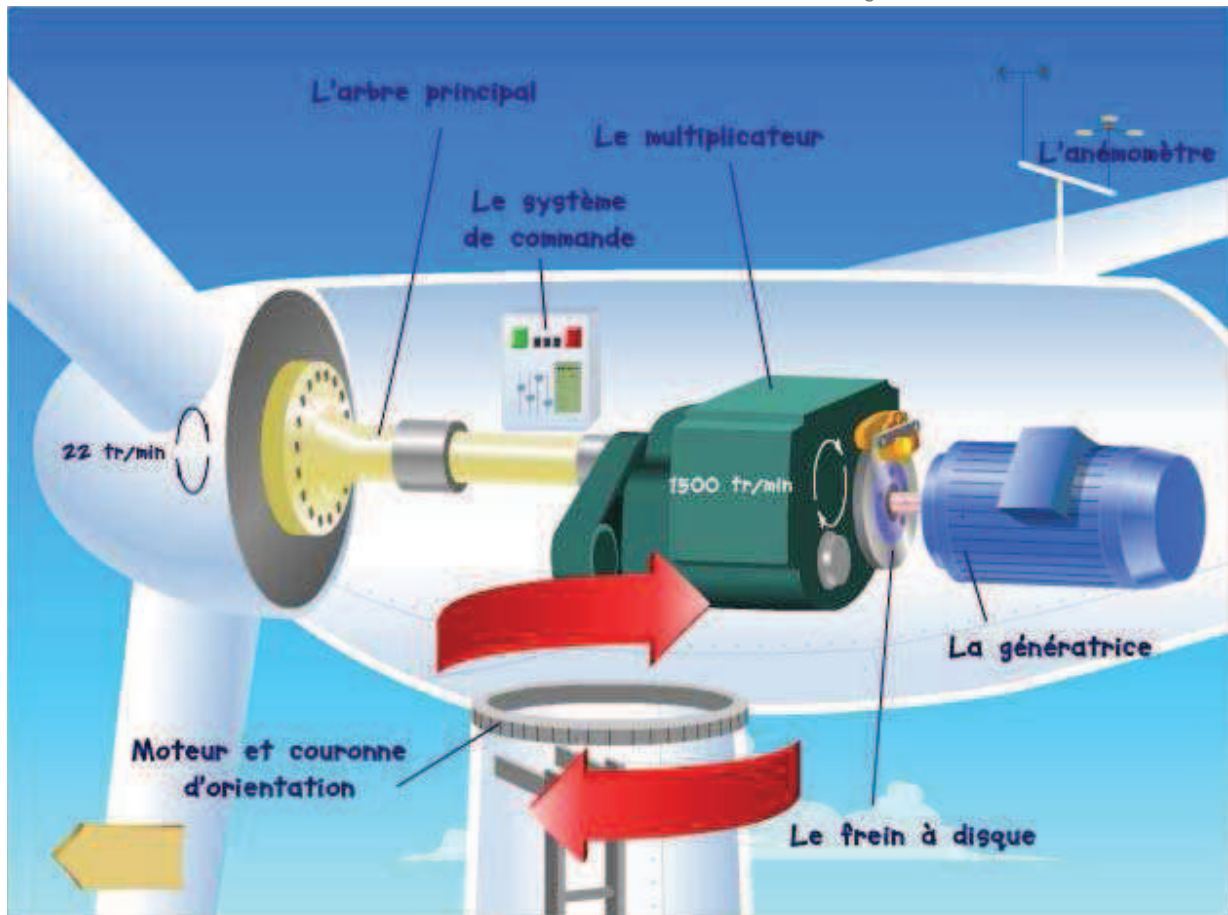
$P$ : puissance mécanique [W]

$M$ : couple à l'axe de la turbine [Nm]

$\Omega$ : vitesse de rotation de la turbine [rad/s]

Placée au sommet du mat, une nacelle contient tous les composants importants tels que l'axe majeur avec ses roulements, le générateur, les freins et le système d'engrenage.

<sup>5</sup> Avion du futur / les forces exercées sur l'avion [en ligne]/ 2014 / <http://aviondufutur.e-monsite.com/pages/forme-de-l-avion/les-forces-exercees-sur-l-avion.html/> Consulté le 06.07.2014

Figure 6: Composition d'une nacelle<sup>6</sup>

#### 4.1.2 Axe vertical

Généralement de faible puissance, plusieurs solutions d'éoliennes à axe vertical ont été expérimentées.

##### Rotor Darrieus

Comme pour l'éolienne à axe vertical, le type Darrieus repose sur l'effet de portance que subissent les pales, dû à l'action du vent. Il a l'avantage de ne pas avoir besoin d'être orienté par rapport au vent, supporte les vents turbulents et fait peu de bruit. L'éolienne Darrieus peut être intégrable dans le domaine urbain et la génératrice est placée au sol. Cependant, dû au poids du rotor, l'éolienne ne peut démarrer toute seule et son rendement est faible.

<sup>6</sup> Envinergy Transactions / Parcs éoliens - Fonctionnement [en ligne]/ 2014 / <http://www.envinergy-transactions.com/page,31,fonctionnement.html> / Consulté le 06.07.2014

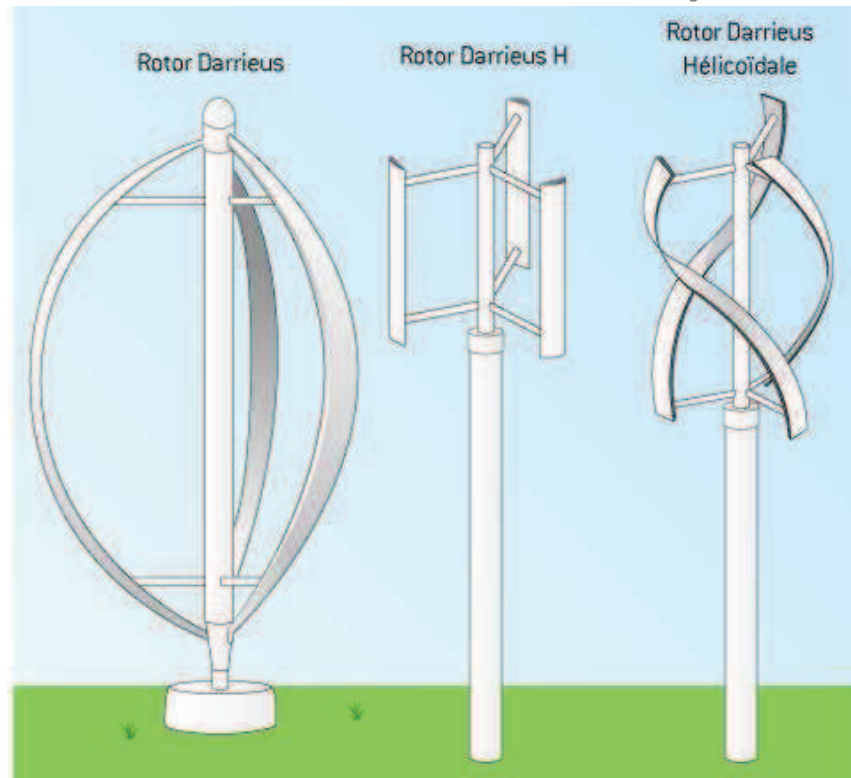


Figure 7: Rotor Darrieus<sup>7</sup>

### Rotor Savonius

Système breveté consistant en au moins deux demi-cylindres installés de manière légèrement désaxée l'un par rapport à l'autre. Comme les roues à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Les deux demi-cylindres n'étant pas reliés en un même point, le vent continue sa course dans l'autre demi-cylindre, qu'il entraîne à son tour. Le système fonctionne avec des vents faibles provenant de toutes les directions et est simple à réaliser.



Figure 8: Eolienne Savonius<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Comprendre choisir.com / Eolienne verticale [en ligne]/ 2014 / <http://eolienne.comprendrechoisir.com/comprendre/eolienne-verticale> / Consulté le 06.07.2014

<sup>8</sup> Comprendre choisir.com / Eolienne verticale [en ligne]/ 2014 / <http://eolienne.comprendrechoisir.com/comprendre/eolienne-verticale> / Consulté le 06.07.2014

## 4.2 Topologies

Les éoliennes modernes peuvent être classées selon trois différentes topologies. La plus simple à concevoir est une éolienne à vitesse fixe et les plus répandues sont les éoliennes à vitesse variable asynchrone à double alimentation ou synchrone à aimants permanents.

### 4.2.1 Vitesse fixe

La génératrice (asynchrone à cage d'écuriel) est reliée en direct au réseau ou par le biais d'un transformateur. La fréquence du réseau, détermine la vitesse de rotation de la génératrice ainsi que celle du rotor.

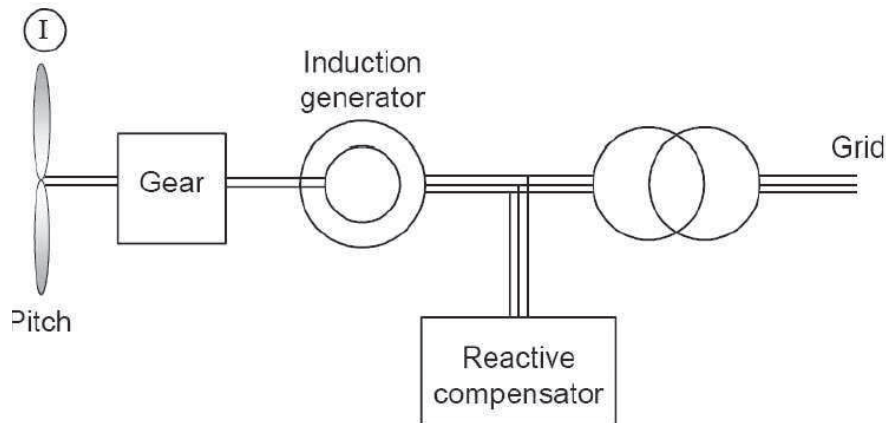


Figure 9: Schéma de principe d'un entraînement à vitesse fixe<sup>9</sup>

### 4.2.2 Vitesse variable (asynchrone à double alimentation)

Variante du convertisseur à vitesse fixe, obtenue par l'alimentation du rotor bobiné par un convertisseur statique à puissance réduite. Pour une électronique dimensionnée à 30% de la puissance nominale, une variation de l'ordre de  $\pm 30\%$  de la vitesse de rotation synchrone peut être obtenue.

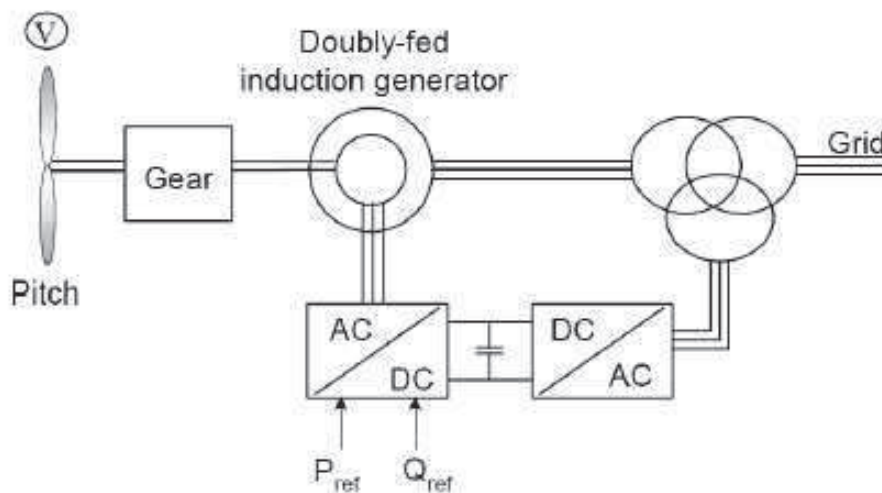


Figure 10: Schéma de principe d'un entraînement à vitesse variable (MADA: machine asynchrone à double alimentation)<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Hans-Peter Biner, Dominique Roggo / Cours 18. Electronique Industrielle et énergies renouvelables / 2013 / p.7

<sup>10</sup> Hans-Peter Biner, Dominique Roggo / Cours 18. Electronique Industrielle et énergies renouvelables / 2013 / p.10

### 4.2.3 Vitesse variable (asynchrone à double alimentation)

Les éoliennes découplées du réseau par un convertisseur statique ont l'avantage de pouvoir fonctionner comme de petites centrales électriques. Le bus DC permettant d'avoir deux fréquences différentes entre l'entrée et la sortie du convertisseur, la vitesse de rotation de la génératrice n'est pas liée à la fréquence du réseau. Ce découplage donne l'avantage que les perturbations créées par la turbine ne se transmettent pas au réseau, et vice-versa. Ce type de structure permet aussi de fournir de la puissance réactive sur le réseau, même lorsque que l'éolienne n'est pas en rotation.

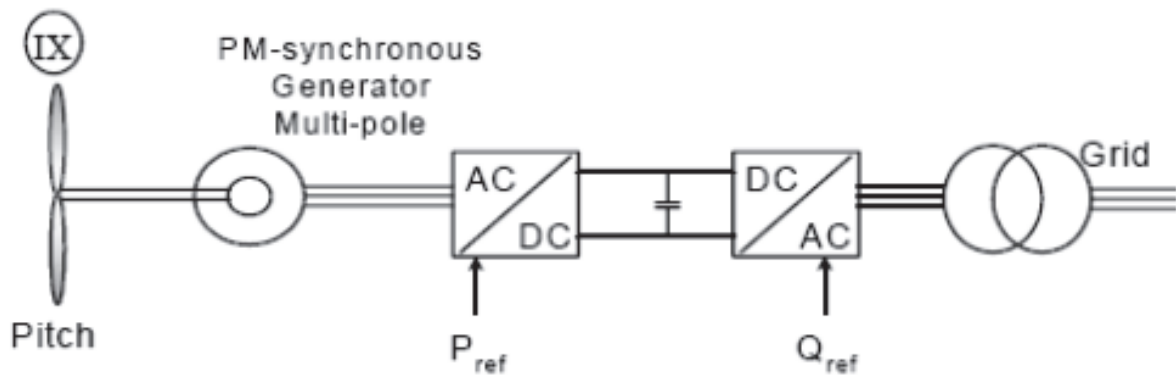


Figure 11: Topologie d'éolienne équipée d'une génératrice synchrone à aimants permanents (MSAP)<sup>11</sup>

<sup>11</sup>Hans-Peter Biner, Dominique Roggo / Cours 18.Électronique Industrielle et énergies renouvelables / 2013 / p.12

### 4.3 Conversion de l'énergie aérodynamique

La puissance fournie par le vent peut être connue en fonction de sa vitesse et de la surface traversée. Pour récupérer la totalité de cette puissance, il faudrait que la vitesse du vent soit nulle après avoir traversé la surface balayée par les pales de l'éolienne, mais celui-ci n'est que freiné et garde une vitesse résiduelle pour qu'il subsiste un écoulement.

#### 4.3.1 Puissance du vent

La puissance du vent à travers un disque peut être définie par la vitesse et la densité du vent et par le rayon du disque pris en compte.

$$P_{vent} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 \quad (1.2)$$

$P_{vent}$ : puissance du vent [W]

$\rho$ : densité de l'air sec [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] (1,225 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] à 1atm, au niveau de la mer, à 15°C)

$R$ : Rayon du rotor [m]

$v$ : vitesse du vent [ $\text{m}/\text{s}$ ]

#### 4.3.2 Vitesse spécifique

La vitesse spécifique  $\lambda$  définit le rapport entre la vitesse linéaire en bout de pales et la vitesse du vent

$$\lambda = \frac{R\Omega}{v} \quad (1.3)$$

$\lambda$ : vitesse spécifique [-]

$\Omega$ : vitesse de rotation de la turbine [ $\text{rad}/\text{s}$ ]

$R$ : Rayon du rotor [m]

$v$ : vitesse du vent [ $\text{m}/\text{s}$ ]

#### 4.3.3 Angle de calage

L'angle de calage  $\beta$ , comme expliqué au point 4.1 Types d'éoliennes - Axe horizontal, joue un rôle important dans la puissance du vent que peut récupérer une éolienne.

#### 4.3.4 Coefficient de puissance

Le coefficient de puissance  $C_p$  définit la quantité d'énergie maximale récupérable en fonction de la vitesse du vent, de l'angle de calage des pales et de la vitesse de rotation de la turbine.

La puissance mécanique récupérable peut donc être calculée comme suit:

$$P_{mec} = C_p(\lambda, \beta) * P_{vent} = C_p(\lambda, \beta) * \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 \quad (1.4)$$

Le coefficient de puissance d'une éolienne est mesuré par les fabricants et est fourni sous la forme de courbes.



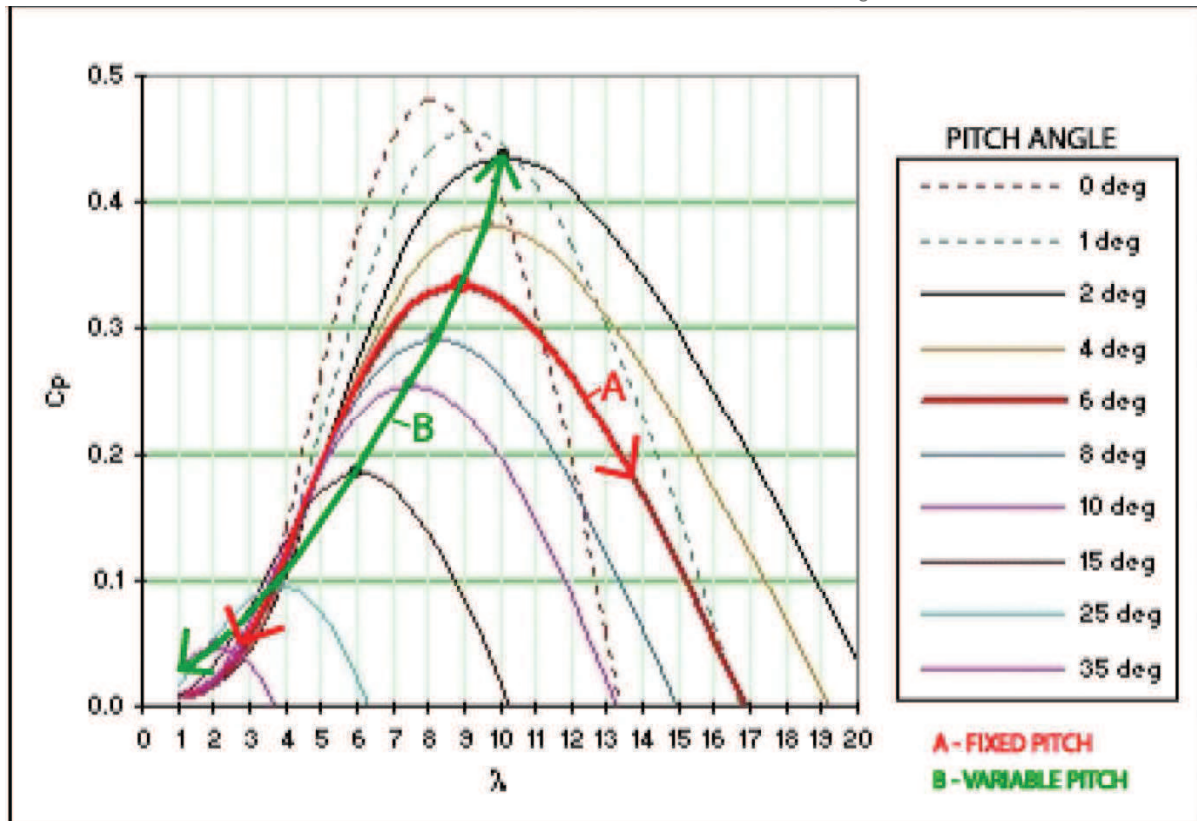


Figure 12: Exemple de courbe de coefficient de puissance  $C_p$  en fonction de la vitesse spécifique, à différents pas, pour une vitesse du vent fixe.<sup>12</sup>

En connaissant la vitesse du vent au niveau de la nacelle, il est possible de retirer la puissance maximale du vent grâce à une fonction déterminant les coefficients optimaux  $\lambda$  et  $\beta$ . Cette fonction est communément appelée MPPT: Maximum Power Point Tracker.

### Limite de Betz

La limite de Betz correspond au coefficient de puissance maximal théorique. L'allemand Albert Betz a démontré en 1919 que le  $C_p$  maximal vaut  $16/27$  soit environ 59.3%.

Le coefficient de puissance pour une éolienne à axe horizontal varie dans l'ordre de 35 à 50%, de 30 à 40% pour les Rotor Darrius et ne dépasse pas les 15% pour une éolienne à axe verticale Savonius.

<sup>12</sup> Hans-Peter Biner, Dominique Roggo / Cours 18. Electronique Industrielle et énergies renouvelables / 2013 / p.7

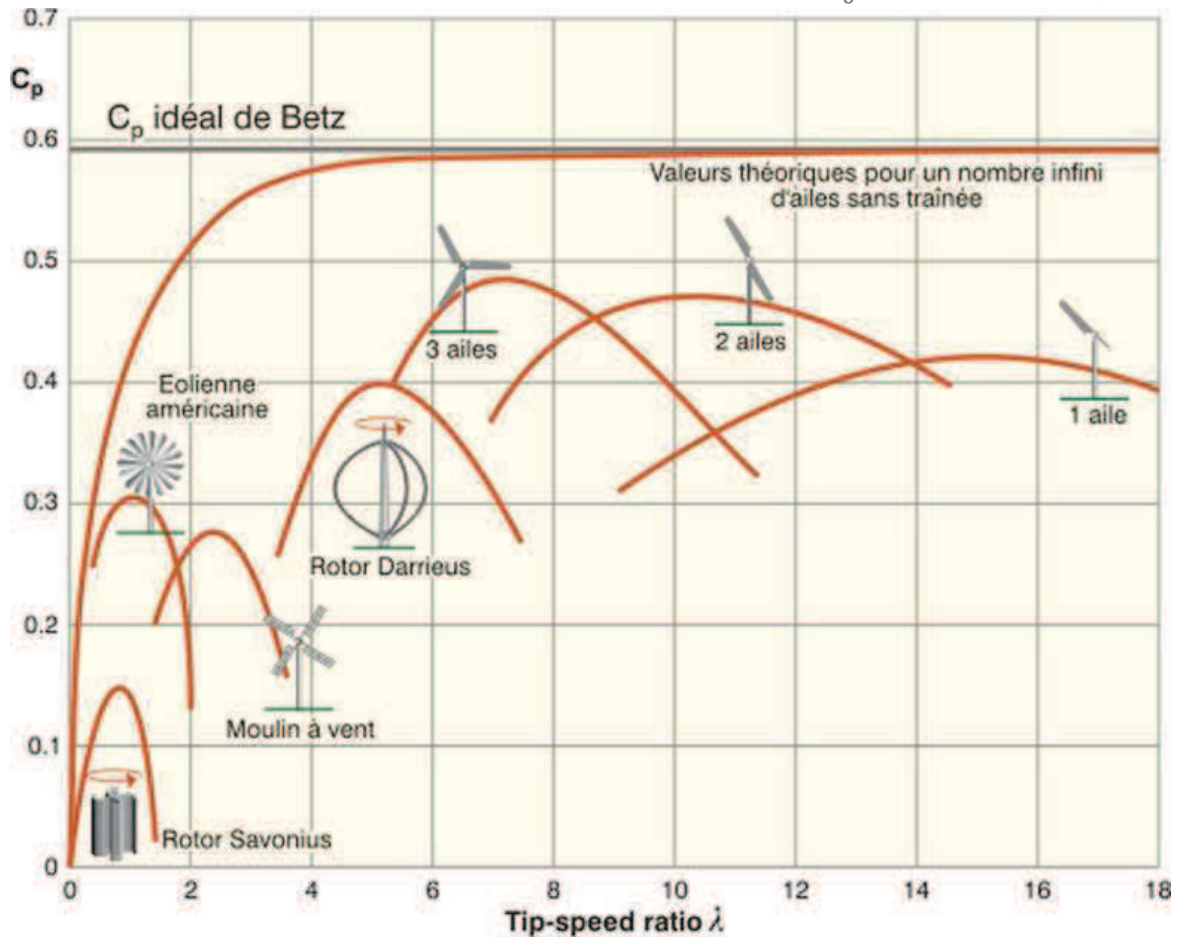


Figure 13:  $C_p$  de différent type d'éolienne en fonction de  $\lambda$ <sup>13</sup>

#### 4.3.5 Rendements

L'énergie mécanique récupérée étant convertie en électricité pour être injectée dans le réseau, il faut prendre en compte les rendements de chaque élément de conversion<sup>14</sup>.

- Réducteur:  $0.7 < \eta < 0.98$
- Alternateur:  $0.8 < \eta < 0.98$
- Redresseur:  $0.9 < \eta < 0.98$
- Transformateur:  $0.85 < \eta < 0.98$
- Pertes en lignes:  $0.9 < \eta < 0.99$

<sup>13</sup> Energie+ / Le rendement des éoliennes [en ligne]/ 2014 / <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16657/> Consulté le 07.07.2014

<sup>14</sup> Viki Eolienne / Etude théorique d'une éolienne [en ligne]/ 2014 / [http://eolienne.f4jr.org/eolienne\\_etude\\_theorique#rendements/](http://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique#rendements/) Consulté le 07.07.2014

### 4.3.6 Puissance électrique

La puissance électrique récupérable par une éolienne dépend donc de beaucoup de paramètres. Elle peut être décrite de la manière suivante:

$$P_{elec} = \eta_{tot} * C_p(v, \Omega, \beta) * \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 \quad (1.5)$$

$v$ : vitesse du vent [ $m/s$ ]

$\Omega$ : vitesse de rotation de la turbine [ $rad/s$ ]

$\beta$ : angle de calage des pales [ $^\circ$ ]

$\rho$ : densité de l'air sec [ $kg/m^3$ ] ( $1,225 [kg/m^3]$  à 1atm, au niveau de la mer, à 15°C)

$R$ : Rayon du rotor [ $m$ ]

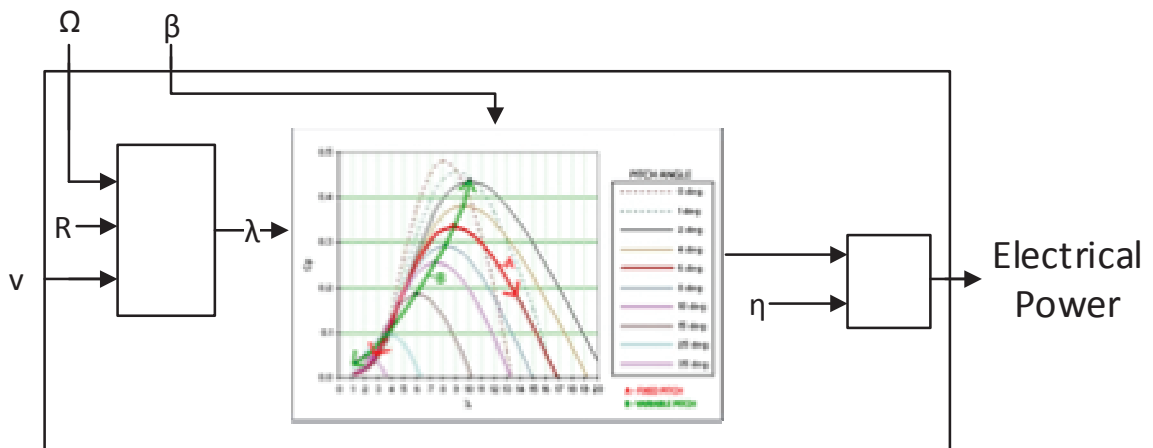


Figure 14: Paramètres influents la puissance électrique récupérable

## 5. Modèle d'éolienne 1.0

Depuis 2013, l'HES-SO dispose d'un modèle d'éolienne, qui est utilisé comme base de développement pour ce projet. Ce chapitre décrit son fonctionnement ainsi que sa conception.

### 5.1 Modélisation

La maquette a été conçue selon la topologie MSAP (se référer au chapitre 4.2.3), choisie à l'image des éoliennes de grandes puissances installées en Valais (Charrat: 3MW, Martigny: 2MW, Collonges: 2MW)<sup>15</sup>

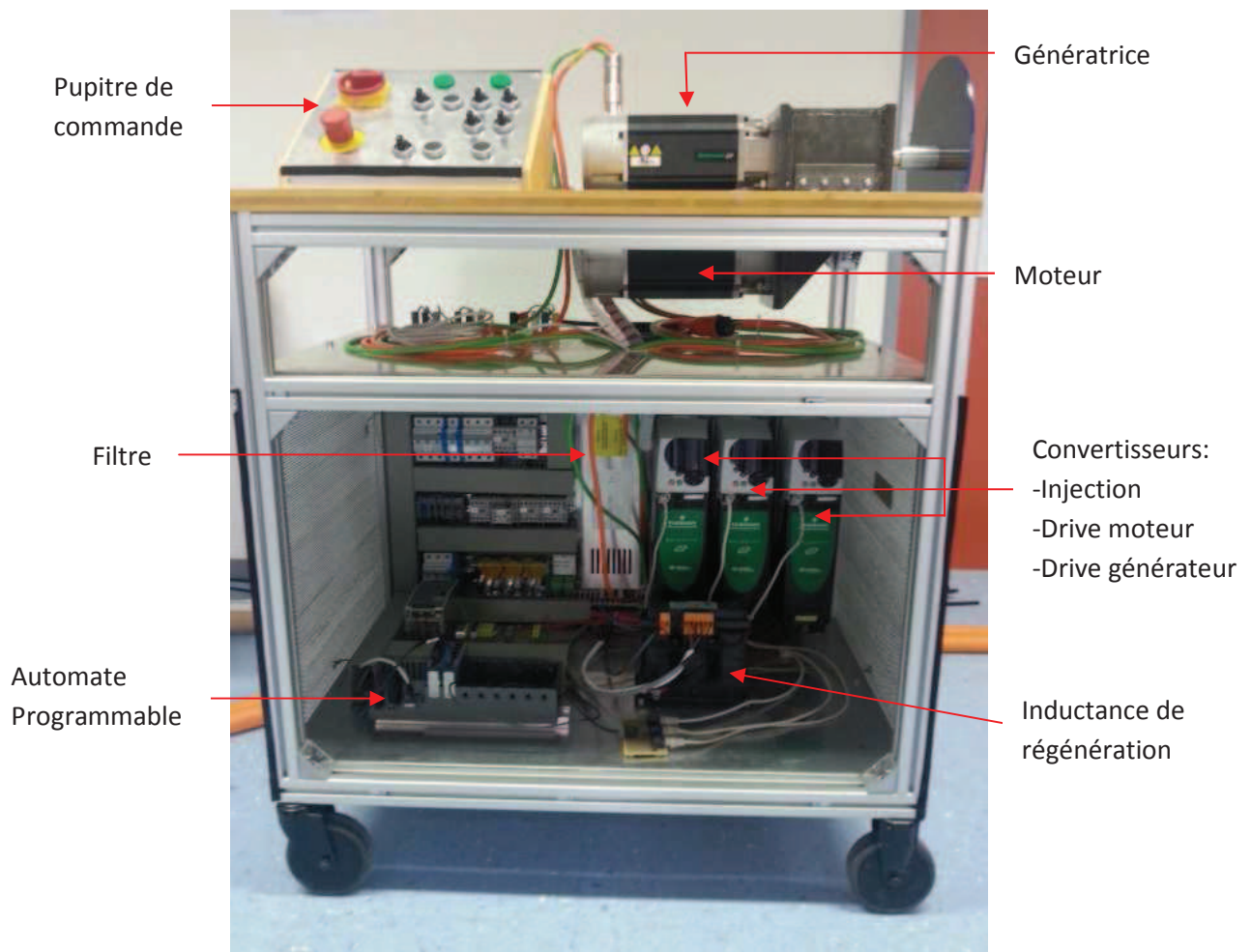


Figure 15: Modèle d'éolienne HES-SO

#### 5.1.1 Structure mécanique

Le châssis du modèle a été conçu en profilé aluminium. Ce type de montage a l'avantage d'être léger, rigide et facilement adaptable pour l'ajout de nouveaux composants.

<sup>15</sup>Eolien-Valais/ Historique [en ligne]/ <http://www.eolien-valais.ch/energie-eolienne/historique> (Consulté le 03.05.2014)

### 5.1.2 Pupitre de commande

Le pupitre de commande permet la mise sous tension du modèle et la gestion des commandes d'activation des variateurs de fréquence.

### 5.1.3 Automate programmable

Une IHM (Interface Homme-Machine) permet à l'utilisateur de la maquette de définir les consignes de la simulation et de visualiser les résultats en temps réel. Cette interface est programmée sur un automate National Instrument, de type NI 9074. Il sert d'intermédiaire pour le transfert des consignes et des mesures avec les convertisseurs de puissance, par le biais d'une liaison sériel RS485.

### 5.1.4 Moteur, génératrice et convertisseurs

La puissance mécanique récupérée par la génératrice provient du couple fourni par le vent rentrant en contact avec les pales. Cet effet est reproduit par un moteur couplé à la génératrice.

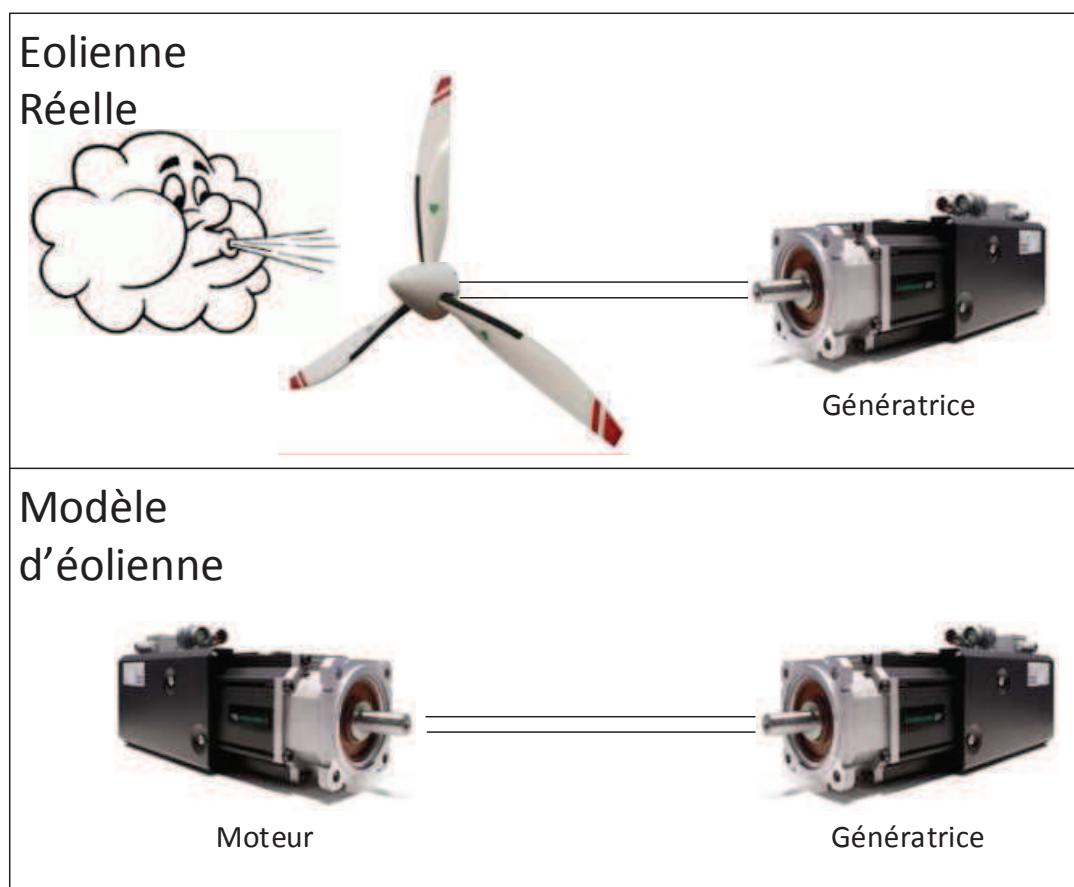


Figure 16: Modélisation de l'effet du vent

Un premier convertisseur est utilisé afin de réguler le couple fourni par le moteur. Sa consigne est calculée en fonction de la puissance à fournir à la génératrice du modèle. (se référer aux calculs des chapitres 4.1.1 *Axe Horizontal* et 4.3.4 *Coefficient de puissance*).

Le second convertisseur régule la génératrice de la même manière que sur une installation réelle, c'est à dire qu'il contrôle la vitesse de celui-ci. Cette régulation permet de modifier le coefficient  $\lambda$  afin de récupérer le maximum de puissance en fonction de la vitesse du vent.

Le troisième convertisseur, couplé au second par un bus DC, permet d'injecter l'énergie récupérée par la génératrice au réseau basse tension.

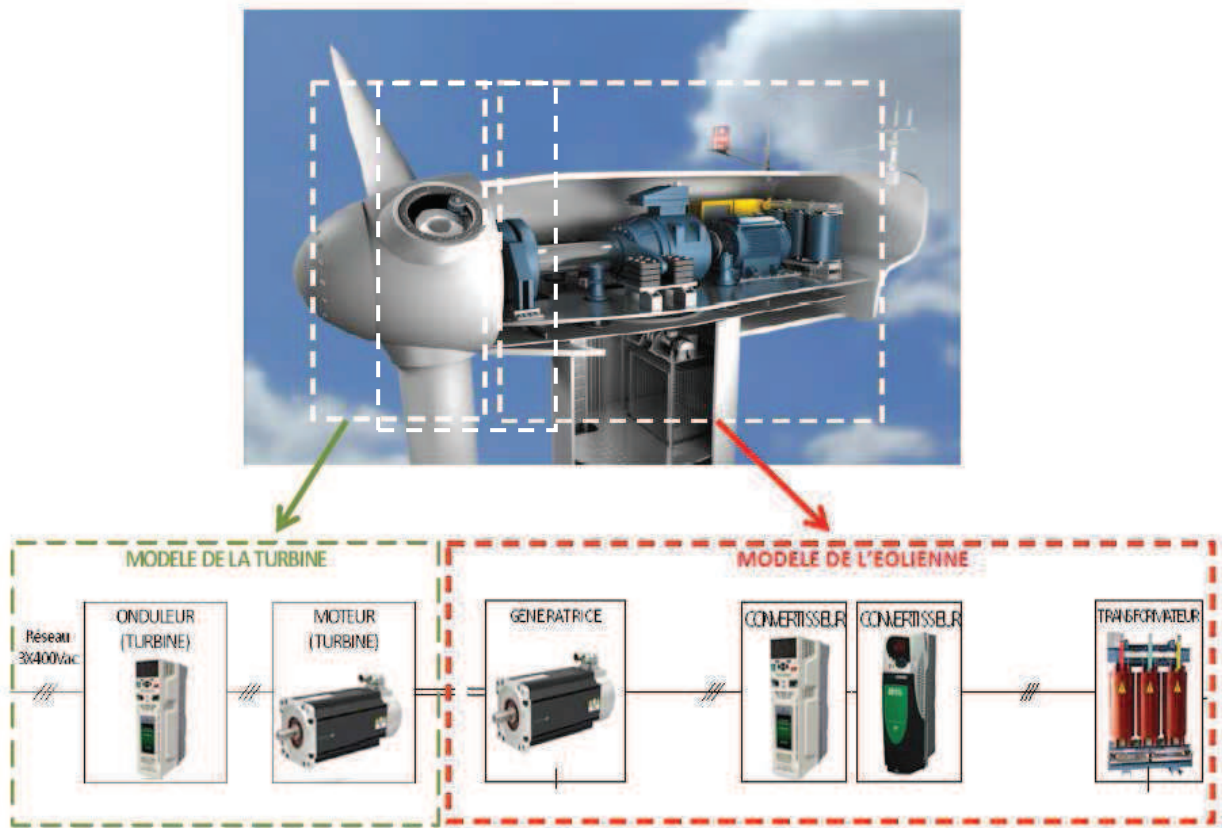


Figure 17: Principe de modélisation de l'éolienne<sup>16</sup>

Les convertisseurs 2 et 3, récupérant l'énergie mécanique et l'injectant dans le réseau, représentent un montage pont complet Back to Back.

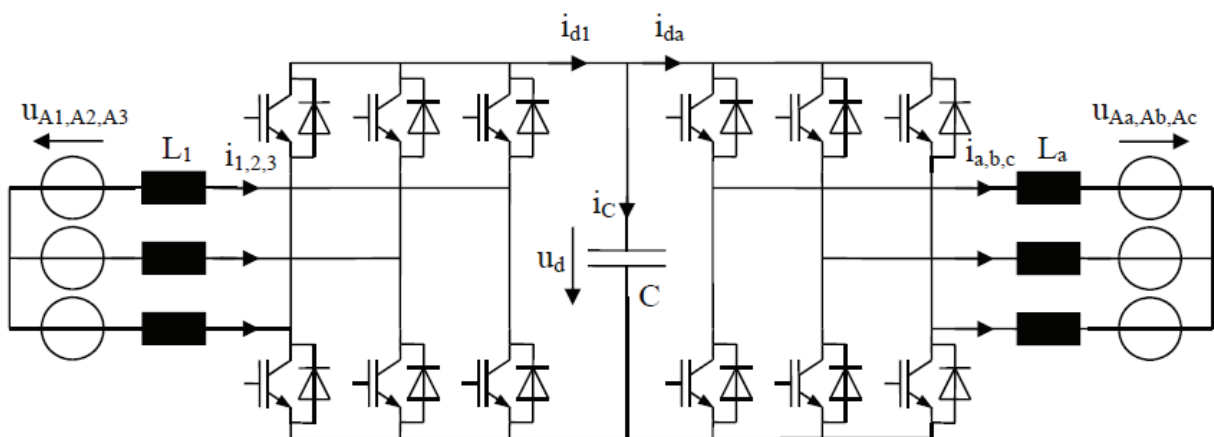


Figure 18: Convertisseur Back to Back<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Shadya Gabathuler / Rapport\_Final\_TD/ Sion, HES-SO Valais / 2013 / p.8

<sup>17</sup> Hans-Peter Biner, Dominique Roggo / Cours 12.Systèmes d'électronique de puissance / 2014 / p.10

Ce type de montage permet un flux d'énergie dans les deux sens, ce qui veut dire que soit l'énergie est fournie par la turbine (éolienne) puis est injectée au réseau électrique, soit l'énergie provient du réseau pour faire tourner la turbine comme un moteur.

A partir de la tension DC est recréé une tension sinusoïdale qui peut être injectée sur le réseau. Pour ce faire, une tension pulsée est générée par les IGBTs en sortie du convertisseur. Si les pulses sont étroites et éloignées, la tension moyenne résultante est faible et si elles sont larges et rapprochées la tension moyenne est à son maximal. Cette technique est appelée PWM: Pulse Width Modulation.

Pour obtenir un courant sinusoïdal, une inductance est placée en sortie du convertisseur. Selon la loi  $i = \frac{1}{L} \int u dt$  : plus l'inductance est élevée, plus la variation de courant est faible.

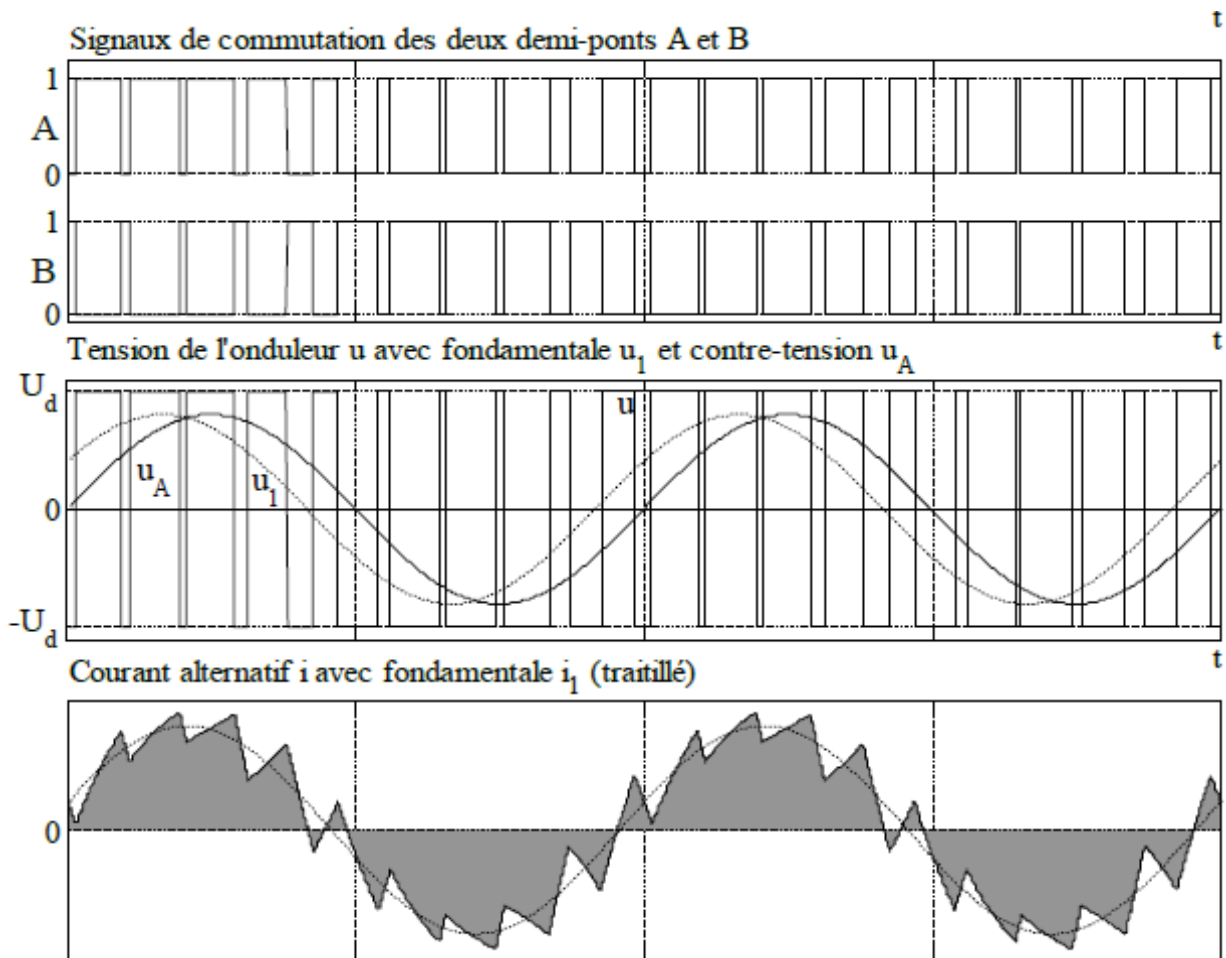


Figure 19: Allure des signaux en sortie d'un onduleur PWM<sup>18</sup>

La tension ainsi créée est composée d'une fondamentale et d'harmoniques du à l'allure rectangulaire de la tension. Afin de réduire les perturbations sur le réseau, un filtre doit être placé en sortie du convertisseur pour supprimer les harmoniques.

Le modèle ne comporte pas de transformateur. L'alimentation du moteur et l'injection de l'énergie se font par la même liaison au réseau électrique, le montage ne consomme donc que les pertes qu'il créer.

<sup>18</sup> Hans-Peter Biner, Dominique Roggo / Cours 12.Systèmes d'électronique de puissance / 2014 / p.11

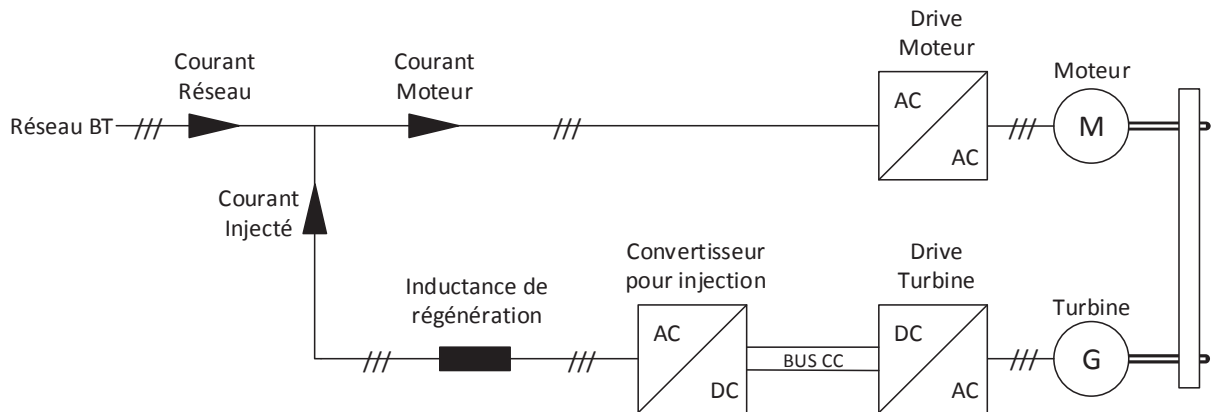


Figure 20: Principe de fonctionnement de la maquette

### 5.1.5 Puissances et mise à l'échelle

Les convertisseurs de puissances ainsi que les moteurs sont de marque Emerson, aussi connu sous le nom de Control Techniques en Europe.

La puissance nominale des moteurs synchrones à aimants permanents est de 1.73KW. Leur vitesse nominale est de 3000 tr/min.

Les convertisseurs pilotant les moteurs ont une puissance nominale de 1.5KW. Celle du convertisseur d'injection est de 4kW.

La puissance maximale du système est limitée à 1kW, avec un ratio de puissance modèle/réalité de 1:5000. Des éoliennes jusqu'à 5MW peuvent être simulées.



## 6. Modèle d'éolienne 2.0

---

A partir de la première version du modèle d'éolienne, un nouveau cahier des charges a été défini (cf. donnée du travail de diplôme placé en début du dossier). Pour atteindre les objectifs, des travaux d'analyse, de conception et de développement ont été réalisés.

### 6.1 Révision du concept de sécurité

Dans tout projet, la sécurité est un point primordial. Que ça soit de la sécurité des personnes travaillant sur une installation ou la protection contre la dégradation du matériel, des mesures doivent être prises afin d'assurer un niveau de sécurité maximal.

Le modèle développé dans ce projet a des buts didactiques et des buts de recherches, de nombreuses personnes auront donc accès à la maquette. La sécurité doit être optimale tant dans le domaine électrique que mécanique.

Ces fonctions ne sont pas entièrement réalisées dans l'état initial du modèle d'éolienne.

L'activation du bouton d'arrêt d'urgence entraîne la coupure du moteur, mais non celle de la génératrice, contrôlant la vitesse de rotation du système. La rotation n'est pas stoppée alors qu'un défaut d'arrêt d'urgence est présent.

Le disque représentant les pales d'une éolienne doit être remplacé par une hélice de modèle réduit. La vitesse maximal de l'axe entraînant cette hélice est très faible, étant due au réducteur placé sur l'arbre du moteur (environ 30 t/min), cependant un grand couple est présent au bout de cet axe, ce qui peut être dangereux en cas de contact avec les pales.

La façade frontale du charriot est ouverte, permettant l'accès aux variateurs et aux disjoncteurs. Afin de protéger les utilisateurs et le matériel, une cloison de sécurité doit être installée.

#### 6.1.1 Arrêt d'urgence

Afin de garantir une sécurité optimale, le bouton d'arrêt d'urgence doit être surveillé par un relais de sécurité homologué. Ce type de relais, en plus de la surveillance de l'état du bouton, permet de détecter les coupures de ligne et garanti l'ouverture de ses contacts dans un temps très court, généralement inférieur à 50ms.

Le relais doit ordonner la coupure du circuit de puissance au plus près des sources et des sorties du modèle, coupant ainsi la puissance des moteurs et le couple présent à leur arbre.

Le réseau 24V doit cependant rester alimenté afin préserver le fonctionnement de l'automate, permettant d'afficher l'origine du défaut et de donner un ordre de quittance au relais de sécurité.

Celle-ci n'est possible que sous certaines conditions:

- Remise en position initiale du bouton d'arrêt d'urgence.
- Contrôle des contacteurs de puissance en position de repos afin de vérifier que les contacts ne se sont pas soudés.
- Quittance de l'utilisateur par le biais de l'automate

## Réalisation

Le relais de sécurité a été commandé chez le fabricant Pilz et répond aux attentes détaillées ci-dessus. Le câblage a été modifié afin de garantir fonctionnement correct du relais et du bouton d'arrêt d'urgence.

*Annexe 1: Datasheet Relais de sécurité Pilz PNOZ S1*

### 6.1.2 Hélice

La représentation des pales de l'éolienne par une hélice de modèle réduit, de par sa forme, représente un danger quant aux contacts directs. Le placement d'une cage de protection n'étant pas esthétique, il a été décidé de se diriger vers un limiteur de couple.

## Réalisation

Un accouplement magnétique a été conçu, afin de pouvoir désolidariser l'hélice de l'arbre de la génératrice en cas de contact.



Figure 21: Accouplement magnétique assemblé



Figure 22: Accouplement magnétique séparé

La transmission de la force entre les deux parties de l'accouplement se fait par des aimants placés en bout de chaque axe. Si un blocage intervient sur l'hélice, celle-ci restera en contact avec l'arbre du moteur grâce à la liaison des aimants, mais sa rotation sera bloquée et elle glissera contre l'arbre moteur.

Un alésage dans l'axe de l'hélice permet de garder un bon alignement entre les pièces de l'accouplement.

Des plans mécaniques ont été dessinés et les pièces ont été réalisées par l'atelier mécanique de l'HES-SO.

*Annexe 2: Schémas mécanique de l'accouplement magnétique*

### 6.1.3 Cloison de protection

L'absence de façade créer un danger d'une part pour l'utilisateur et de l'autre pour le matériel. En effet les composants électriques sont facilement accessibles. Le risque pour l'utilisateur réside dans la proximité du circuit de puissance, alimentant les convertisseurs.

Du matériel fragile, comme l'automate programmable, est placé à proximité de la surface non-cloisonnée. Un choc provenant de l'extérieur du modèle, de provenance humaine ou matériel, pourrait fortement endommager les composants.

## Réalisation

Afin de garder une unité dans la construction du chariot, le matériel pour fabriquer une porte en plexiglas a été commandé chez le même fabricant (Item Suisse) que les profilés de la structure composant le modèle.

Le plexiglas offre des caractéristiques idéales. Sa résistance mécanique permet d'absorber de grands choc sans se fissurer, et sa transparence permet de visualiser l'état des convertisseurs de puissance ainsi que l'état des disjoncteurs.

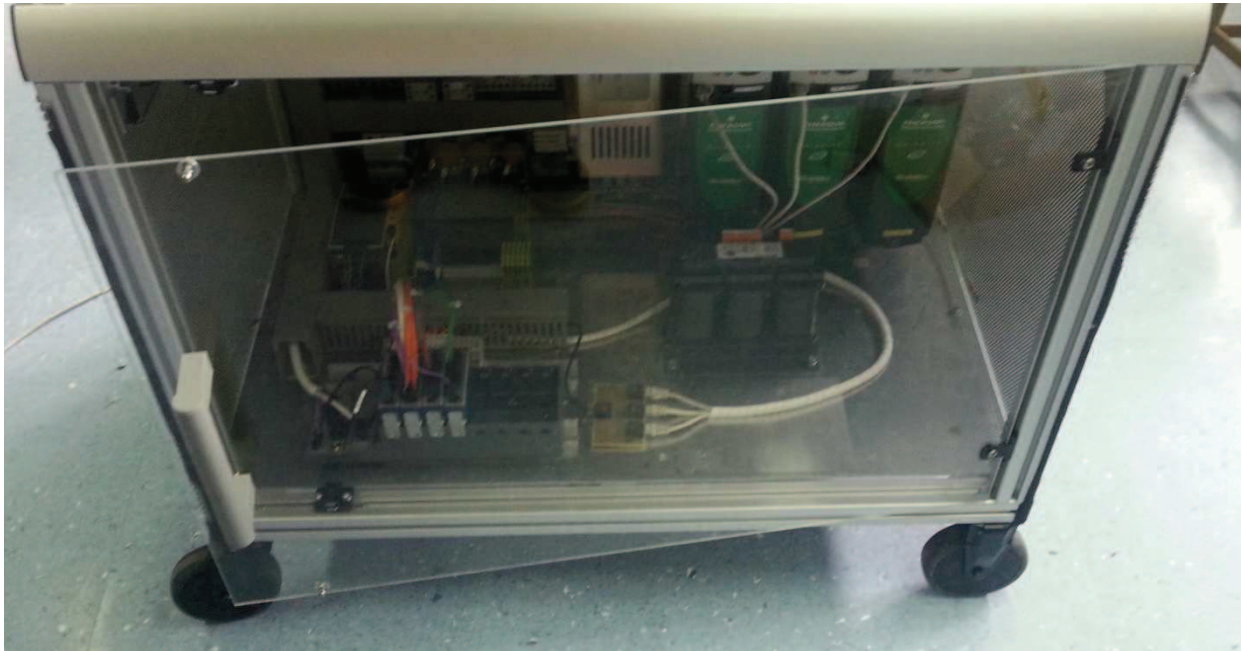


Figure 23: Porte de sécurité du modèle

## 6.2 Injection d'énergie dans le réseau

Une des fonctions du modèle d'éolienne est d'étudier les conséquences de l'injection d'énergie au réseau. Pour ce faire, les conditions d'injection doivent être au plus proche de la réalité.

Afin que les simulations soient cohérentes, le modèle doit se baser sur la structure des installations existantes. C'est pourquoi il a été décidé d'ajouter un transformateur sur le modèle d'éolienne. Son rapport de transformation sera de 1:1 et permettra de visionner les effets du à l'ajout d'une inductance dans le réseau d'injection.

Le réseau de sortie du modèle doit pouvoir être séparé du celui de l'alimentation. De cette manière, l'injection peut être effectuée dans différents type de réseaux, comme par exemple dans un réseau en îlotage.

### 6.2.1 Dimensionnement du transformateur

Le transformateur a été dimensionné en réalisant des essais sur la maquette avec un transformateur provisoire.

## Réalisation

D'une puissance nominale de 6 KVA, le transformateur a été placé après les filtres, du côté de l'injection au réseau, et le système a été simulé au maximum de ses capacités. La puissance a ensuite été mesurée en sortie du convertisseur réalisant l'injection. Cette puissance équivaut à celle que devra absorber au maximum le nouveau transformateur.

Convertisseur	Moteur	Génératrice	Injection
Tension AC [V]	324	281	406
Courant [A]	4.27	-3.88	-2.33
Puissance [kVA]	2.39	-1.89	-1.6
Cos( $\varphi$ ) [-]	0.92	0.91	1

Tableau 1: Mesures sur le modèle à pleine puissance (signes négatifs: puissance fournie au réseau par le convertisseur)

Lors de cet essai, le moteur a fourni une puissance de 2.41KW, alors que sa puissance nominale est définie 1.73kW, provoquant sa surchauffe. Un facteur de sécurité n'est donc pas à prendre en compte, car les consignes du moteur et de la génératrice devront être limitées afin de ne jamais pouvoir atteindre cette puissance en sortie du convertisseur. Le transformateur, commandé chez l'entreprise Wagner Grimm, a été dimensionné à 1.73kVA selon les spécifications du fabricant.

### Annexe 3: Spécifications du transformateur

Le délai de livraison du transformateur dépassant la date finale du projet de diplôme, les essais n'ont pas pu être réalisés.

## 6.2.2 Séparation des réseaux d'entrée et de sortie

Les réseaux d'alimentation et d'injection de la maquette doivent être séparés afin de donner plus de possibilités de simulations. L'injection peut être testée sur un réseau en îlotage ou dans le réseau basse tension. La séparation procure aussi l'avantage qu'en cas de perturbation sur le réseau d'entrée, celles-ci n'influent pas sur les résultats de la simulation.

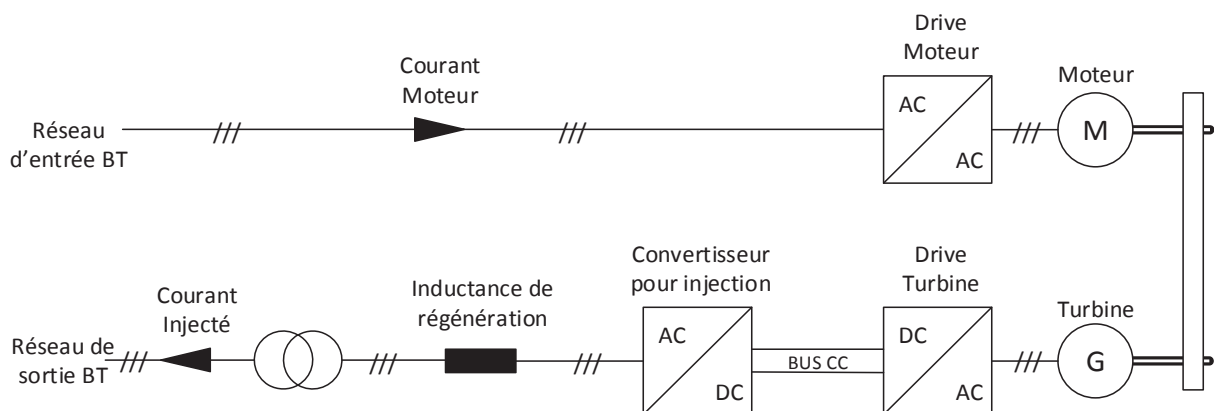


Figure 24: Principe de fonctionnement du modèle d'éolienne 2.0

## Réalisation

Des nouvelles bornes de connexion pour le réseau de sortie ont été placées sur le modèle. Si un seul réseau est disponible pour effectuer des simulations, l'entrée et la sortie peuvent être pontées. Dans ce cas, le réseau ne verra que les pertes produites par le système.

### 6.3 Modes de fonctionnement

Deux modes de simulations d'éoliennes sont possibles:

- Un mode basique où les commandes sont fournies manuellement par l'utilisateur. Les résultats doivent être présentés de manière claire et compréhensibles par un large public. La simulation est référencée à une éolienne prédéfinie.
- Un mode détaillé permettant de simuler différentes éoliennes existantes, à axe horizontal ou vertical. Chaque paramètre influant la production d'énergie relatif à l'éolienne simulée doit être contrôlable. La source de chacun de ces paramètres peut être définie manuellement ou récupérée en temps réel depuis des mesures effectuées sur une installation existante. Il doit être possible de rejouer des scénarios de vent passé, en accédant à la base de donnée des mesures effectuées sur l'éolienne. Ce mode permet l'étude de phénomènes détaillés, comme l'injection d'énergie. L'affichage doit donc être paramétrable en fonction des résultats à obtenir.

Lorsque le modèle n'est pas utilisé en simulation, une page de navigation doit afficher l'état et les statistiques d'installations productrices d'énergie renouvelable de tout type.

Des informations détaillées spécifiques aux installations simulées doivent pouvoir être accessibles.

En cas de défaut, l'installation doit être mise en sécurité quel que soit son état de fonctionnement. Afin de pouvoir revenir dans l'état précédant le défaut, celui-ci ne doit plus être présent et une quittance de l'utilisateur est nécessaire.

Le fonctionnement de la maquette a été séparé en 5 états possibles:

#### 6.3.1 Navigation

Cet état permet de sélectionner et d'afficher des mesures, en temps réel ou dans le passé, relatives à une installation productrice d'énergie renouvelable. Les informations à visualiser sont personnalisables selon les renseignements souhaités par l'utilisateur.

A partir de cette page, l'utilisateur peut basculer sur des informations détaillées spécifiques à chaque l'installation, ainsi que vers les modes de simulation *Manuel* et *Semi-Automatique* pour les stations de type éolien.

#### 6.3.2 Modes de simulation

Pour éviter tout risque de démarrage intempestif, les simulations doivent être enclenchées et stoppées par un bouton poussoir sur le pupitre opérateur.

L'injection est contrôlée manuellement, son enclenchement et son arrêt se font par une pression sur un bouton poussoir.

## Manuel

Mode sélectionné au démarrage de la maquette, il permet de simuler de manière didactique une éolienne, afin de se rendre compte de l'importance d'une bonne régulation pour retirer le maximal de la puissance contenue dans le vent.

Le modèle est basé selon les courbes d'une éolienne à axe verticale de 2kW, conçue par l'entreprise Swiss Wind Energy. Cette éolienne est installée sur le site de la société Dranse Energie, basée à Orsières. Un partenariat entre les deux entreprises et l'HES-SO, permet de récupérer les informations mesurées et de les utiliser dans un but de recherche.



Figure 25: Eolienne à axe verticale SWE<sup>19</sup>

Pour un poids de 100kg, cette éolienne mesure 2 mètres de diamètre et ses pales ont une longueur de 2.5m. Elle produit de l'énergie pour des vitesses de vent variant de 4 à 25 m/s.

Les consignes fournies au modèle sont relatives aux degrés de liberté d'une éolienne décrits au point 4.3.6 *Puissance électrique* et modifiables par le biais de potentiomètres.

- $v$ : vitesse du vent [m/s]
- $\Omega$ : vitesse de rotation de la turbine [rad/s]

Sur ce type d'éolienne, il n'est pas possible de régler l'angle de calage des pales.

<sup>19</sup>Swiss Wind Energy / Technical PDF: 130531\_SWE\_introduction\_mb\_rb\_wh / 2013

### **Semi-Automatique**

Mode de simulation permettant des essais spécifiques et un affichage détaillé des résultats. Tout type d'éolienne peut être simulé, en ayant préalablement chargé ses paramètres de fonctionnement dans l'automate.

Les consignes peuvent être fournies manuellement par le biais de potentiomètres (paramètre  $v$ ,  $\Omega$  et  $\beta$ ). Si une communication à distance avec l'installation simulée est possible, les consignes peuvent être définies à partir des mesures physiques effectuées en temps réel sur cette installation. Chaque source peut être modifiée indépendamment des autres. Si les mesures effectuées sur l'éolienne sont stockées et récupérables depuis une base de donnée, une fonction doit permettre de rejouer des scénarios. Ce type de simulation est utile car différents cas peuvent être testés sur des bases connues et identiques pour divers essais.

#### **6.3.3 Défaut**

En cas de défaut provenant d'un convertisseur ou du relais de sécurité, l'état dans lequel se trouve la maquette est automatiquement quitté pour se mettre en sécurité.

Deux niveaux de sécurité sont possibles, les actions résultantes de ces défauts sont décrites si dessous.

#### **Arrêt d'urgence**

Une coupure d'arrêt d'urgence, détectée par le relais de sécurité, coupe le circuit de puissance afin de supprimer tout risque mécanique ou électrique.

#### **Convertisseur**

Si un défaut provient d'un convertisseur de puissance, les ordres de fonctionnement des variateurs doivent être stoppés, ainsi qu'un blocage des simulations en cours. Le défaut ne mettant pas en danger les personnes, il n'est pas nécessaire de couper le circuit de puissance.

Dans les deux cas, avant de revenir dans le mode précédent le défaut, celui-ci doit être supprimé et une quittance est nécessaire.

La page doit permettre l'indentification du défaut et décrit de manière précise comment le supprimer.

#### **6.3.4 Accès au paramètre Détails de l'installation**

Page informative fournissant les caractéristiques complète d'une installation d'énergie renouvelable préalablement chargée dans l'automate.



### 6.3.5 Implémentation de la machine d'état

Les différents états de fonctionnement du modèle étant connus et défini, il est facile de les implémenter dans l'automate sous forme d'une machine d'état.

#### Réalisation

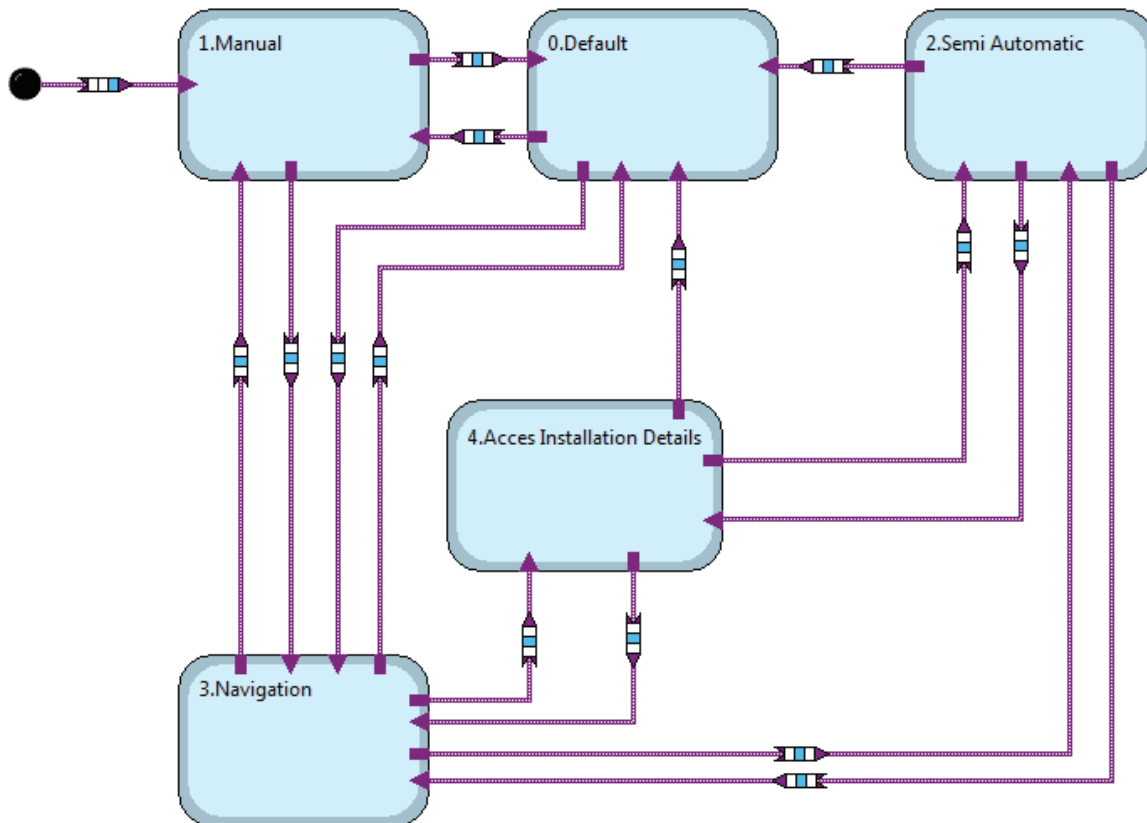


Figure 26: Machine d'état Labview

Dans la première phase de la machine d'état, la maquette entre automatiquement dans le mode *Manuel*.

Les transitions pour accéder et pour sortir de l'état défaut sont décrites dans le chapitre 6.3.2 *Développement - Défaut*.

Les ordres de changement de mode entre *Manuel* et *Navigation* sont donnés par un bouton poussoir du pupitre de commande, alors que les ordres de transitions entre les autres états sont donnés par des contrôles dans les interfaces Labview.

Dans les modes *Manuel* et *Semi-Automatique* il faut que les simulations soient arrêtées avant d'avoir l'autorisation pour changer d'état.

## 6.4 Concept d'automation

### 6.4.1 Centralisation des données

Afin d'obtenir une gestion optimale de la maquette, tous les signaux de commande et de mesure doivent être centralisés sur un automate National Instrument.

L'ensemble des signaux du modèle dialogue entre les dispositifs suivants:

- Convertisseurs de puissance
- Relais de sécurité
- Pupitre de commande
- PC de gestion
- Automate programmable

#### Réalisation

La communication entre l'automate et les convertisseurs est séparée en deux moyens de transmission: un bus sériel RS485 et des liaisons câblées en 24V. La communication entre l'automate, le pupitre de commande et le relais de sécurité se fait entièrement par liaison câblée, avec une tension de 24V. Le protocole TCP/IP est utilisé pour la communication avec l'ordinateur.

#### *Liaison câblée 24V*

Des cartes d'entrées et des cartes de sorties ont dû être ajoutées à l'automate, afin de fournir les autorisations de fonctionnement aux convertisseurs, de gérer le relais de sécurité, les commandes et la signalisation du pupitre.

Une carte de sortie à relais est déjà présente, une carte d'acquisition analogique 0-10V et une carte d'entrées/sorties 24V ont été commandées.

*Annexe 4: Mode d'entrées analogiques NI 9201*

*Annexe 5: Mode d'entrées et de sorties numériques NI 9375*

L'acquisition des données dans l'automate à disposition est réalisé par une FPGA. Cette technologie permet de réaliser plusieurs tâches en parallèle, ce qui est impossible sur un microcontrôleur. Le transfert des signaux entre la FPGA et le microcontrôleur doit être implémentée dans le programme.

#### *Liaison RS485*

Les ordres de marche et de reset des convertisseurs sont fournis par la liaison câblée en 24V.

Par la liaison sériel transite les consignes et les mesures des différents convertisseurs.

La base du programme pour la transmission de données via ce bus a déjà été créé dans la version 1.0 du modèle. Il a fallut l'adapter pour transmettre les signaux voulus.

#### *Liaison TCP/IP*

Le protocole TCP/IP est utilisé pour la communication entre l'automate et l'ordinateur.

## 6.4.2 Structure du programme

Le programme, implémenté sous Labview, fonctionne sous deux bases différentes:

- Automate National Instrument
- PC de gestion

Le programme déployé sur l'automate programmable sert de base de fonctionnement au modèle. Il doit assurer de multiples fonctions:

- Sécurité
- Communication des consignes et de mesures
- Signalisation
- Calcul des paramètres de simulation
- Gestion de la machine d'état

Le programme déployé sur l'ordinateur permet de récupérer en temps réel des informations provenant d'une base de données, comme des mesures effectuées sur une éolienne ou sur une station météo, et de télécharger les paramètres relatifs à l'éolienne à simuler. Il doit aussi assurer la fonction d'IHM.

## Réalisation

### *Programme automate*

Les fonctions implémentées dans l'automate sont calculées par un microprocesseur, donc réalisées les unes après les autres. Cependant temps de cycle de l'automate étant très rapide, environ 10ms, on peut considérer qu'elles sont réalisées en parallèle.

Durant un cycle l'automate va acquérir les valeurs aux bornes de ses cartes d'entrées, récupérer les mesures et l'état des convertisseurs, contrôler qu'aucun défaut n'est présent, calculer les nouvelles valeurs de consignes du système, définir la signalisation du pupitre puis transférer les nouvelles consignes aux convertisseurs.

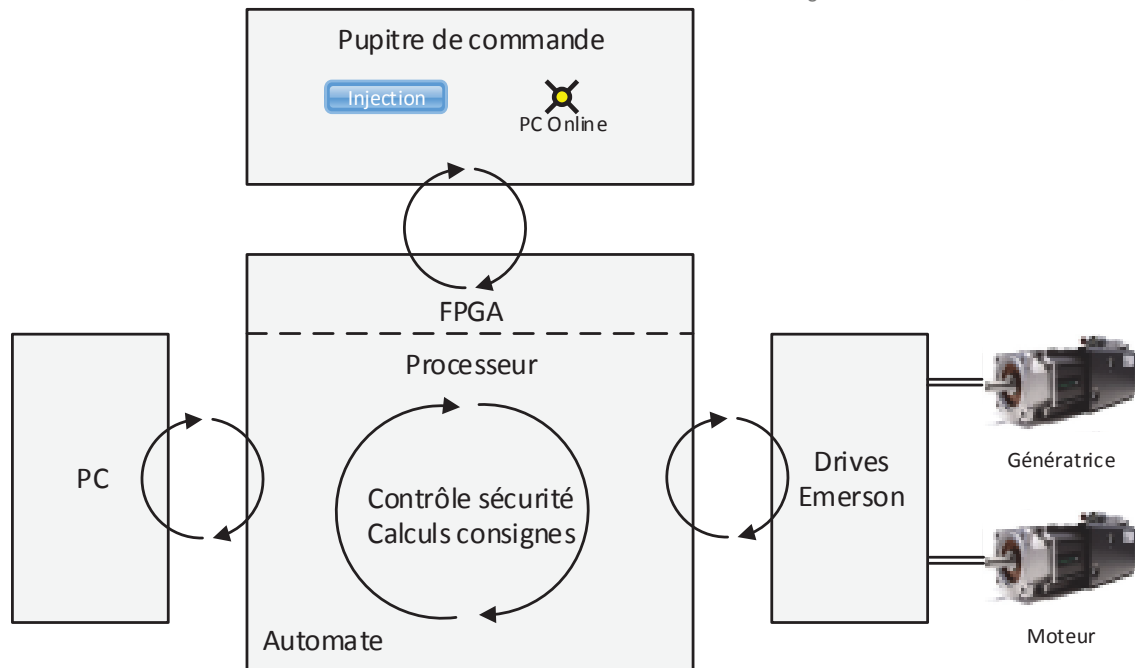


Figure 27: Représentation simplifiée des tâches réalisées par l'automate durant un cycle

### Contrôles de sécurité

La fonction de sécurité contrôle l'état de l'arrêt d'urgence, du relais de sécurité et des convertisseurs afin de détecter un éventuel défaut. Si un défaut est présent, l'installation est transférée dans l'état *0.Default* (chapitre 6.3.5) et un message d'information est créé indiquant sa source. Lorsque le défaut n'est plus présent, l'installation doit être quittancée avant de reprendre son fonctionnement initial.

Une LED rouge du pupitre de commande permet l'indication de la présence d'un défaut. Elle clignote si il est présent et est allumée si une quittance est nécessaire.

### Acquisition entrées/sorties

L'acquisition de données via les cartes d'entrées et de sortie de l'automate est réalisé par une FPGA. Les informations récupérées ne sont pas directement utilisables dans le programme. Avant cela, il faut les convertir pour que le microprocesseur puisse les analyser. Une fonction est dédiée à cette effet.

### Liaison PC

Les variables utilisées dans le programme ne sont accessibles que dans l'automate. Le transfert entre celui-ci et le PC se fait par le moyen de variables partagées, ouvrant un port de communication sur la liaison Ethernet à chaque fois qu'elles sont appelées. Afin de ne pas surcharger la liaison et de ne pas provoquer de retard dans la transmission, les variables à transférer doivent être regroupées dans un "cluster" pour être envoyées toutes en une seule fois, en créant qu'un seul port de communication.

### Liaison convertisseurs Emerson

La fonction de base, réalisant la connexion avec les variateurs, et les blocs permettant de spécifier les paramètres à transférer étaient déjà développés dans la première version du modèle d'éolienne. Il a fallu définir les informations à récupérer et les consignes à fournir au moteur, à la génératrice et au convertisseur s'occupant de l'injection d'énergie au réseau basse tension.

Comme décrit au chapitre 5.2.4 *Moteur, générateur et convertisseur*, le moteur à besoin d'une consigne de couple et le générateur une consigne de vitesse. Le convertisseur gérant l'injection nécessite une autorisation pour son enclenchement.

Sur chaque variateur sont récupérées les informations de tension, de courant et de puissance (active et réactive), ainsi que la fréquence, le couple et la vitesse. Connaître les valeurs en tout point du modèle permet de vérifier leurs exactitudes par rapport aux consignes fournies et aux résultats attendus. Ces mesures permettent également de calculer des informations tels que les rendements et les facteurs de puissance de chaque élément du circuit. Les messages de défaut sont également transmis via la liaison sériel.

### Signalisation

Afin de situer l'état de fonctionnement du modèle, une signalisation sur le pupitre de commande est nécessaire. Les conditions d'activations de ces indicateurs sont décrites ci-dessous:

- Default: LED rouge clignotante si un défaut est présent et LED rouge continue si le défaut a disparu et qu'une quittance est nécessaire.
- Manual: LED verte indiquant que le modèle se trouve dans l'état manuel.
- Simulation: LED verte si une simulation est en cours.
- Injection: LED verte si l'injection d'énergie au réseau est activée.
- PC Online: LED verte indiquant que le l'automate est en liaison avec le programme de l'ordinateur.
- Initialization: Si la maquette reste hors tension pendant une longue durée (quelques semaines), les variateurs peuvent perdre leurs paramètres et un recalibrage est nécessaire. Indique qu'une initialisation des convertisseurs est en cours. Cette fonction n'a pas été développée durant le temps de ce projet.

### Modèle d'état

Pour fonctionner, la machine d'état a besoin d'un bloc assurant la gestion de ses entrées et sorties afin de détecter les ordres de transitions d'un état à un autre.

### Calcul des paramètres

Cette fonction, calculant les consignes à fournir aux convertisseurs, n'a pas pu être réalisée durant le temps du travail de diplôme. Cependant, voici une description de la manière dont elle aurait du être implémentée.

En se basant sur l'équation de la puissance électrique au chapitre 4.3.6 *Puissance électrique*, sur l'équation du moment au chapitre 4.1.1 *Axe horizontal* et sur les courbes de  $C_p$  de l'éolienne à simuler, il est possible de calculer tout les paramètres nécessaires à la simulation.

$$\begin{aligned} P_{mec} &= C_p(v, \Omega, \beta) * \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 \\ P_{mec} &= M * \Omega \\ P_{elec} &= P_{mec} * \eta_{tot} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Les paramètres  $v, \Omega, \beta$  sont obtenus soit à partir des potentiomètres, soit depuis des mesures réalisées sur une installation réelle. Les courbes du coefficient de puissance  $C_p$  et le rayon de l'éolienne, sont des paramètres statiques chargés dans le programme avant le début de la simulation.

La densité de l'air est considérée constante à  $1.225[\text{kg}/\text{m}^3]$  pour 1 atmosphère au niveau de la mer et à  $15^\circ\text{C}$ .

Ces paramètres connus, la puissance mécanique peut être trouvée, donc le couple à fournir au moteur est défini.

Si la simulation est basée sur une installation réelle, il ne faut pas oublier de prendre en compte le rapport de puissance.  $v, \Omega, \beta$  sont des composantes de l'éolienne, alors que le moment est spécifiquement calculé pour le moteur de la maquette.

### Programme PC

#### Importation et extrapolation de variables récupérées depuis une base de donnée

La signature de la convention entre l'HES-SO, Dranse Energie et Swiss Wind Energy ayant pris du retard durant du projet de semestre, il a été décidé de récupérer les mesures de vitesse de vent sur la station météo de l'école.



Figure 28: Station météo de l'HES-SO

La base de données récupérant les mesures est programmée en langage SQL. Le programme ainsi développé doit servir de base pour l'acquisition de données provenant de différentes éoliennes. La période de temps entre les mesures effectuées sur les éoliennes peuvent fortement varier d'une installation à l'autre. La période de mesure de la station météo est d'environ 10 secondes, ce qui est

insuffisant pour fournir une variation linéaire des consignes de simulations. Une extrapolation est donc nécessaire.

Un programme réalisant cette fonction a été développé durant le projet de semestre. Les deux mesures du vent les plus proches d'une heure spécifiée en paramètre sont récupérées et une extrapolation linéaire est réalisée entre ces mesures.

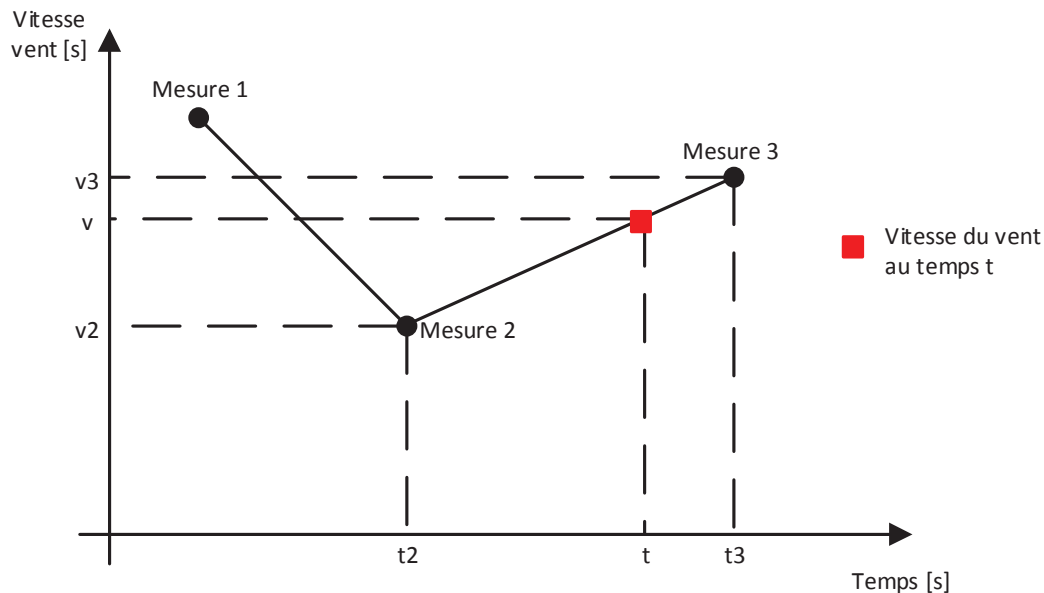


Figure 29: Principe de l'extrapolation linéaire

$$v = v_2 + \frac{(v_3 - v_2)}{(t_3 - t_2)}(t - t_2) \quad (1.7)$$

Si l'heure souhaitée est antérieure à l'heure de la première mesure effectuée par le système ou supérieure à l'heure de la dernière mesure, l'extrapolation n'est pas possible car un des paramètres est inconnu.

Dans le premier cas, c'est la première mesure effectuée qui sera retournée. Dans le deuxième, le calcul sera effectué en décalant la mesure d'une période d'acquisition dans le passé. De cette manière, la variation d'une mesure à la suivante sera linéaire.

Si les deux valeurs ont été correctement acquises, l'extrapolation est effectuée selon la formule 1.4. Des rampes d'accélération et de décélération peuvent être implémentées dans la configuration des variateurs de fréquence. Celles-ci permettent de limiter les fortes variations d'accélération dues aux transitions entre les différentes phases d'extrapolations (exemple à la transition séparant les phases entre les mesures 1 et 2 et entre les mesures 2 et 3 de la figure 29).

### Importation de données Excel

Les spécifications des éoliennes à simuler, comme leurs dimensions, les valeurs nominales, les exploitants, etc, sont récupérables à partir de fichiers Excel. Un programme copie les valeurs des cases du fichier Excel et les insert dans un tableau interne à Labview. Les informations sont ensuite transférée dans des variables, afin d'avoir les références permettant les simulations.

Afin d'être lu par le programme Labview, le fichier Excel doit être enregistré sous le formant CSV Comma Delimited.

## Annexe 6: Template pour le chargement des spécifications d'une éolienne à axe verticale

### Interface homme machine

Une des fonctions de l'ordinateur est de servir d'IHM. Par son biais l'utilisateur peut visualiser l'état du modèle et ses signaux, tel que les consignes et les mesures. Les pages à afficher sont relatives aux modes de fonctionnement. Leur contenu a été décrit au chapitre 6.3 *Modes de fonctionnement*. Ces interfaces n'ont pas été réalisées durant la durée du projet de diplôme.

### 6.4.3 Pupitre de commande

Les fonctions décrites dans le chapitre 6.4 *Concept d'automation* ont permis de définir les commandes et les affichages nécessaires sur le pupitre de commande hardware du modèle.

#### Commandes

##### Interrupteur général

Cet interrupteur permet la mise sous tension général du modèle d'éolienne. Il est homologué pour servir de coupure d'arrêt d'urgence et permet la pose d'un cadenas.

##### Bouton d'arrêt d'urgence

Se référer au point 6.1.1 Arrêt d'urgence

##### Potentiomètre vitesse du vent

Commande permettant à l'utilisateur de définir manuellement la consigne de vitesse du vent. L'information analogique est transmise à l'automate par un signal variant de 0 à 10V. Le potentiomètre peut être tourné sur un angle de 300°.

##### Potentiomètre vitesse de rotation de la turbine

Commande permettant à l'utilisateur de définir manuellement la consigne de vitesse de rotation de la turbine. L'information analogique est transmise à l'automate par un signal variant de 0 à 10V. Le potentiomètre peut être tourné sur un angle de 300°.

##### Potentiomètre angle de calage des pales

Commande permettant à l'utilisateur de définir manuellement la consigne d'angle de calage des pales de l'éolienne. L'information analogique est transmise à l'automate par un signal variant de 0 à 10V. Le potentiomètre peut être tourné sur un angle de 300°.

##### Bouton poussoir Reset

Bouton poussoir fournissant un signal de quittance traité par l'automate.

##### Bouton poussoir Changement de mode

Bouton poussoir permettant de passer entre les modes de fonctionnement Manuel et Navigation.

##### Bouton poussoir Injection

Bouton poussoir donnant l'ordre de commencer ou d'arrêter l'injection d'énergie au réseau de sortie.



Cette commande donne l'avantage de pouvoir étudier précisément l'effet de l'injection au réseau, car le moment de l'injection est défini par l'utilisateur.

#### Bouton poussoir Simulation

Bouton poussoir donnant l'ordre de commencer ou d'arrêter une phase de simulation. Cette fonction a pour but de supprimer la possibilité de démarrages intempestifs.

### Signalisation

#### Sous tension

LED 230V reliée en directe à l'interrupteur général informant de la présence de tension sur modèle.

#### PC connecté

Indique que le PC est connecté à l'automate programmable.

#### Initialisation

Indique que le modèle est en cours d'initialisation. Si cette lampe est allumée, toutes les fonctions du modèle sont désactivées jusqu'à la fin de l'initialisation.

#### Défaut

Si la lampe clignote, cela veut dire qu'un défaut est présent et qu'il faut le supprimer avant de pouvoir quittancer l'installation. Si la lampe est allumée, cela veut dire qu'un défaut est apparu, mais qu'il n'est plus présent. Une quittance est nécessaire pour reprendre le fonctionnement normal.

#### Injection

Indique que l'injection d'énergie au réseau est active.

#### Simulation

Indique qu'une simulation est active.

#### Mode de fonctionnement

Si la lampe est allumée, l'installation se trouve dans le mode de fonctionnement manuel.

## 6.5 Intégration au Grilab

Le design du modèle a été repensé afin de s'intégrer au mieux au Gridlab. Pour se faire, les modifications ont été basées sur l'installation de simulation du réseau haute tension de la Lienne.

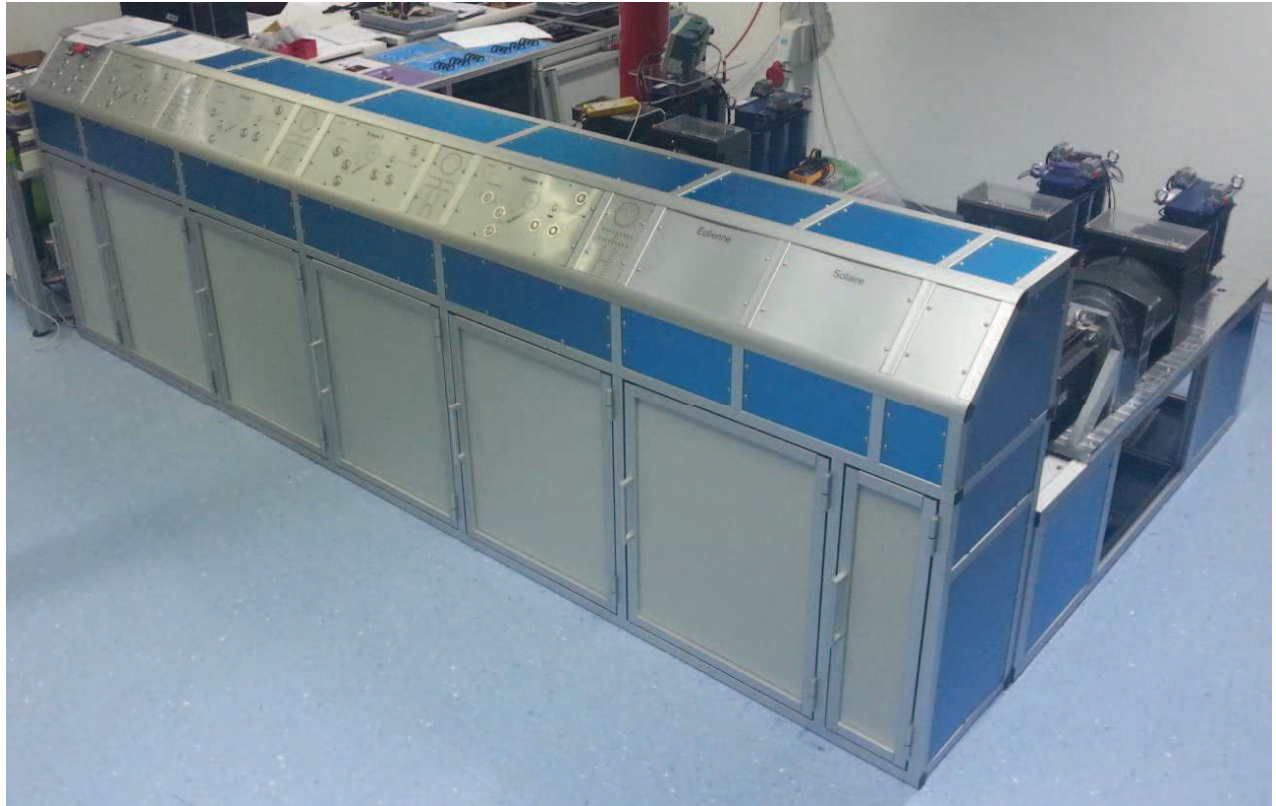


Figure 30: Modélisation du réseau haute tension de la Lienne

### Réalisation

#### Structure

Le châssis du modèle a été construit en profilés aluminium de la marque Item. Ils offrent la possibilité de créer des structures modulables et facilement modifiables.

Une modélisation de la nouvelle structure a été créée afin visualiser le résultat final de l'installation ainsi que pour dimensionner les profilés à commander.

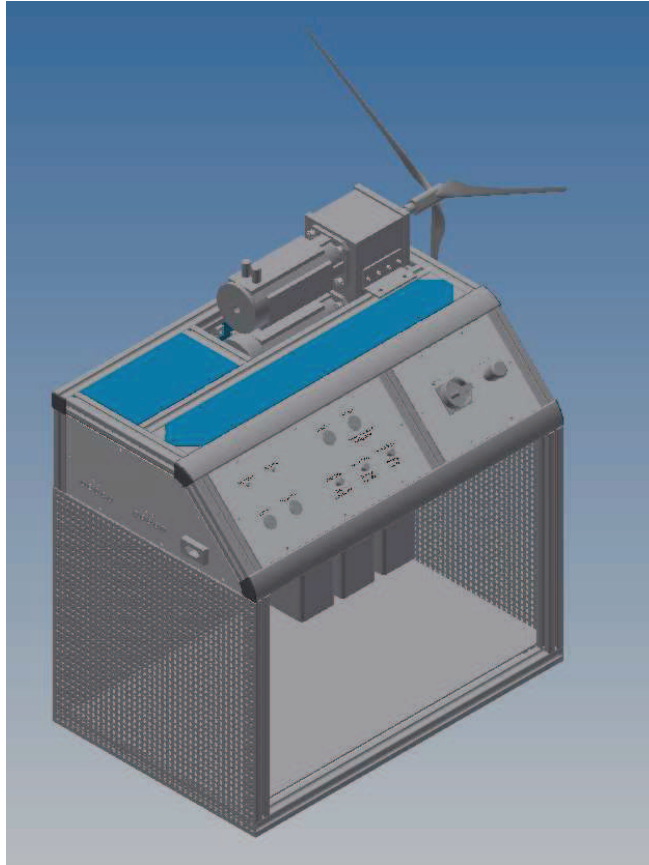


Figure 31: Modélisation du modèle d'éolienne 2.0

### Pupitre de commande

Les boutons et les LEDs composant le pupitre de commande ont été choisis en référence au matériel existant sur l'installation de simulation de la Lienne. La plaque frontale est composée d'une plaque plastique gravée, permettant d'identifier les fonctions des composants, et d'une tôle en aluminium rigidifiant la surface.



Figure 32: Pupitre de commande

## Résultat

L'élochage des plaques de protections en aluminium n'a pas été réalisé durant le travail de diplôme, car les délais de livraisons étaient trop longs. De simples plaques d'aluminium ont été choisie en attendant le placement des tôles définitives.



Figure 33: Modèle d'éolienne 2.0

## 6.6 Modification de câblages

Pour réaliser les modifications décrites dans la partie 6. *Modèle 2.0*, le câble du modèle a du être adapté.

### Réalisation

En première partie, les schémas électriques de l'installation ont été mis à jour.

#### *Annexe 7: Schémas électriques*

Une fois les schémas réalisés, le câblage a été modifié en conséquence.

## 6.7 Coût des modifications

Les coûts approximatifs occasionnés pour ce travail sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Fournisseur	Description	Coût [CHF]
Schlierholz Eloxal AG	Eloxage de plaques d'aluminium	90
Distrelec	Divers matériel électrique	590
Item	Profilés aluminium et porte plexiglas	510
Schurter	Boutons poussoirs illuminés	170
Pilz	Relais de sécurité	160
Natinal Instrument	Modules d'acquisitions automate	1120
Wagner Grimm	Transformateur 1.73 kVA	660
Total		3300

**Tableau 2: Liste des commandes et des coûts**

Les demandes d'offres et les commandes sont détaillées en annexe.

*Annexe 8: Demandes d'offres*

*Annexe 9: Commandes*

## 6.8 Améliorations

Afin que le modèle soit fonctionnel, des améliorations sont nécessaires. En effet, la programmation n'a pas pu être terminée dans les délais du travail de diplôme.

Les consignes des variateurs, calculées en fonction des courbes CP des éoliennes, ainsi que l'IHM doivent être implémentés afin d'obtenir un bon fonctionnement du modèle.

Le transformateur et les plaques éloxées n'ont pas été livrées avant la fin du projet. Une fois le matériel en possession de l'école, celui-ci devra être intégré à la maquette.

Des améliorations du programme peuvent être développées, afin de fournir de nouvelles fonctionnalités et plus de facilité d'utilisation du modèle:

### Initialisation automatique

Si le modèle est inutilisé durant plusieurs mois, les convertisseurs peuvent perdre leurs paramètres de fonctionnement. Dans ce cas un "Autotunig" doit être réalisé par le convertisseur, afin de retrouver les paramètres de régulation des moteurs. Une fonction peut être définie afin de réaliser automatiquement cette recherche.

### Recherche de période venteuse

A partir des mesures stockées sur une base de données, il serait intéressant de pouvoir rechercher une période de vent spécifique, comme des forts vent ou des vents constants pendant une longue période.

### MPPT

Les consignes peuvent être fournies manuellement ou à partir de mesures physiques. Un mode permettant de calculer automatiquement les paramètres de fonctionnement de l'éolienne, selon le principe du MPPT, serait utile d'être implémenté.

## 7. Conclusion

---

Ce projet était très complet car il touchait à de nombreux domaines différents.

Pour réaliser le modèle d'une installation, il faut tout d'abord connaître en détails ses principes de fonctionnement. Pour ce faire une recherche complète sur le domaine éolien, et plus précisément sur les aérogénérateurs, a été effectuée.

Une fois la base théorique connue, une prise de connaissance de la première version du modèle a été effectuée. L'analyse de son état et de sa composition a permis de comprendre son fonctionnement, l'utilité de ses composants et les possibilités de simulations qu'elle offrait.

Les spécifications du modèle étant connues, il a été possible de définir les modifications à réaliser pour atteindre les nouveaux objectifs. Elles ont été séparées en partie distinctes:

- l'ajout d'un transformateur sur le circuit d'injection d'énergie
- la centralisation des signaux sur l'automate
- la redéfinition de la sécurité du modèle
- l'acquisition en temps réelle de mesures provenant d'une éolienne
- la définition et l'implémentation d'un programme de simulation
- l'intégration du modèle au Gridlab

Les composants nécessaires à l'adaptation de la maquette ont été commandés pour un coût total d'environ 3300 CHF. Le délai de livraison du transformateur dépassant la date de fin du travail de diplôme, celui-ci devra être intégré au modèle à la suite de ce projet.

Les objectifs nécessitant des modifications physiques du modèle ont été réalisés, offrant ainsi une base opérationnelle pour le développement du programme.

Le structure principale de la programmation a été implémentée, cependant pour permettre la réalisation complètes de simulations, un développement supplémentaire du programme est nécessaire.

Date: \_\_\_\_\_

Signature: \_\_\_\_\_

## 8. Bibliographie

---

CONTROL TECHNIQUE, "Guide abrégé Unidrive SP", Manuel Technique, 2007

CONTROL TECHNIQUE, "Guide d'installation Unidrive SP REGEN", Manuel Technique, 2007

CONTROL TECHNIQUE, "Guide abrégé Unidrive SP", Manuel Technique, 2007

NATIONAL INSTRUMENT, "NI cRIO-9074-National Instrument", Manuel Technique, 2014

SWISS WIND ENERGY, "130531\_SWE\_introduction", Manuel Technique, 2013

OFEN, "Concept d'énergie éolienne pour la Suisse", Rapport Energétique ,2004

Nicholas Pousset, "Cours d'initiation au logiciel Labview", Tutoriel, 2008

Salma El Aimani, "Modélisation de différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension", Thèse de Doctorat, 2004

## 9. Annexes

---

**Annexe 1: Datasheet Relais de sécurité Pilz PNOZ S1**

**Annexe 2: Schémas mécanique de l'accouplement magnétique**

**Annexe 3: Spécifications du transformateur**

**Annexe 4: Mode d'entrées analogiques NI 9201**

**Annexe 5: Mode d'entrées et de sorties numériques NI 9375**

**Annexe 6: Template pour le chargement des spécifications d'une éolienne à axe verticale**

**Annexe 7: Schémas électriques**

**Annexe 8: Demandes d'offres**

**Annexe 9: Commandes**



# Annexe 1

## **Datasheet Pilz PNOZ S1**

## jusqu'à PL c selon l'EN ISO 13849-1 PNOZ s1



Bloc logique de sécurité pour la surveillance de boutons-poussoirs de arrêt d'urgence et de protecteurs mobiles

### Homologations

	PNOZ s1
	◆
	◆
	◆

### Caractéristiques de l'appareil

- ▶ sorties relais :
  - 2 contacts de sécurité (F) instantanés
- ▶ 1 sortie statique
- ▶ Raccordements possibles pour :
  - poussoir d'arrêt d'urgence
  - interrupteur de position
  - poussoir de réarmement
- ▶ 1 bloc d'extension de contacts PNOZsigma raccordable par connecteur
- ▶ LED de visualisation pour :
  - tension d'alimentation
  - Etat d'entrée canal 1
  - Etat d'entrée canal 2
  - Etat de commutation des contacts de sécurité
  - circuit de réarmement
  - Erreur
- ▶ Borniers débrochables (au choix avec raccordement à ressort ou à vis)

- ▶ boutons-poussoirs de arrêt d'urgence
- ▶ protecteurs mobiles

### Caractéristiques de sécurité

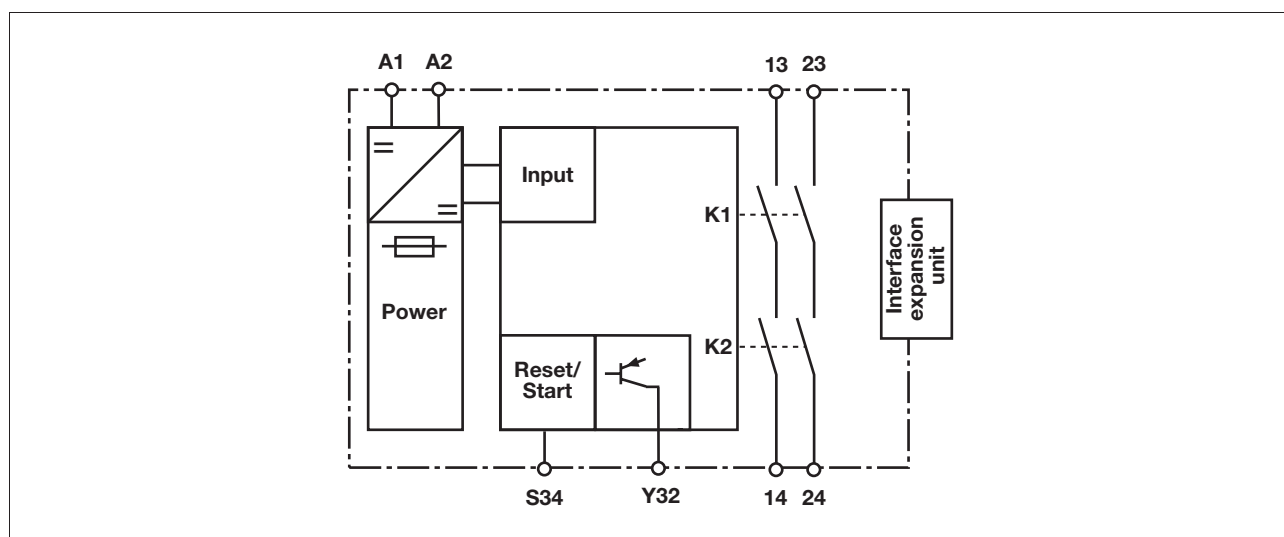
Le relais satisfait aux exigences de sécurité suivantes :

- ▶ La conception interne est redondante avec une autosurveillance.
- ▶ Le dispositif de sécurité reste actif, même en cas de défaillance d'un composant.
- ▶ L'ouverture et la fermeture correctes des relais internes sont contrôlées automatiquement à chaque cycle marche/arrêt de la machine.
- ▶ L'appareil est équipé d'une sécurité électronique.

### Description de l'appareil

Le bloc logique de sécurité satisfait aux exigences des normes EN 60947-5-1, EN 60204-1 et VDE 0113-1 et peut être utilisé dans des applications avec des

### Schéma de principe

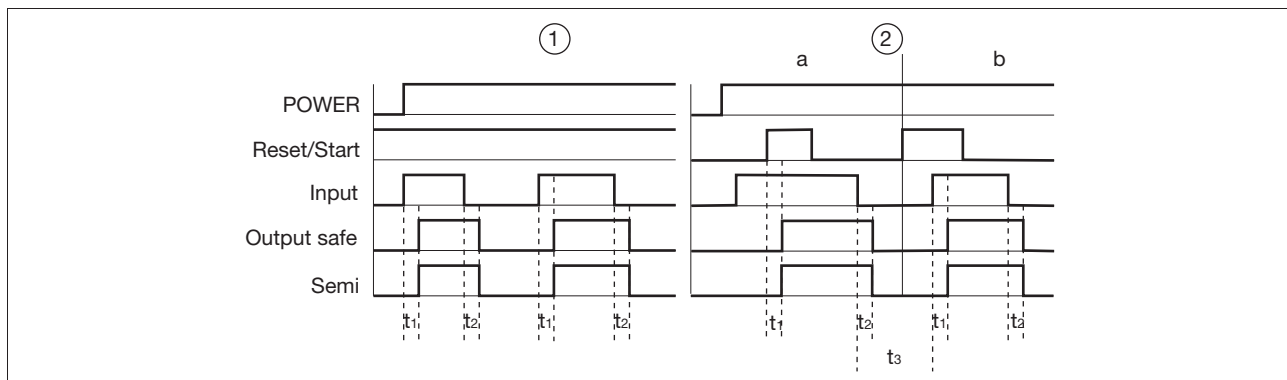


## jusqu'à PL c selon l'EN ISO 13849-1 PNOZ s1

### Description du fonctionnement

- ▶ Commande par 1 canal : pas de redondance dans le circuit d'entrée, les mises à la terre dans les circuits de réarmement et d'entrée sont détectées.
- ▶ Réarmement automatique : l'appareil est activé dès que le circuit d'entrée est fermé.
- ▶ Réarmement manuel : l'appareil est activé lorsque le circuit d'entrée est fermé et après que le circuit de réarmement se soit fermé.
- ▶ Augmentation et renforcement possibles du nombre de contacts de sécurité instantanés par le câblage des blocs d'extension des contacts ou de contacteurs externes ; 1 bloc d'extension de contacts PNOZsigma raccordable par connecteur.

### Diagramme de temps



### Légende

- ▶ Power : Tension d'alimentation
- ▶ Reset/Start : circuit de réarmement S34
- ▶ Input : circuit d'entrée A1-A2
- ▶ Output safe : contacts de sécurité 13-14, 23-24
- ▶ Semi : Sortie statique Y32
- ▶ ①: réarmement automatique
- ▶ ②: réarmement manuel
- ▶ a : le circuit d'entrée se ferme avant le circuit de réarmement
- ▶ b : le circuit de réarmement se ferme avant le circuit d'entrée
- ▶  $t_1$  : temps de montée
- ▶  $t_2$  : temporisation à la retombée
- ▶  $t_3$  : Temps de remise en service

### Raccordement

#### Important :

- ▶ Respectez impérativement les données indiquées dans le chapitre « Caractéristiques techniques ».
- ▶ Les sorties 13-14, 23-24 sont des contacts de sécurité.
- ▶ Protection des contacts de sortie par des fusibles (voir les caractéristiques techniques) pour éviter leur soudage.
- ▶ Calcul de la longueur de câble max.  $I_{max}$  sur le circuit d'entrée :

$$I_{max} = \frac{R_{lmax}}{R_l / km}$$

$R_{lmax}$  = résistance max. de l'ensemble du câblage (voir les caractéristiques techniques)

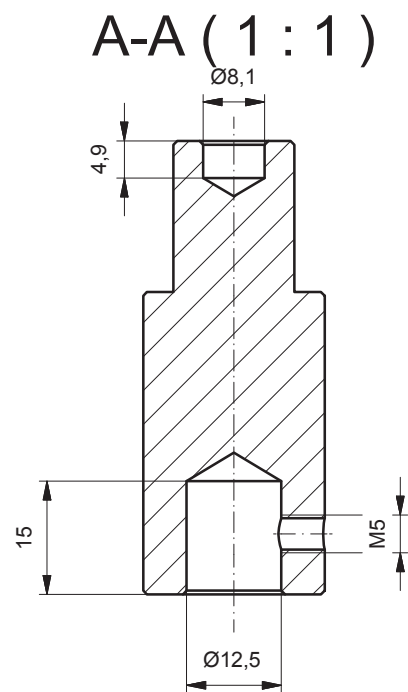
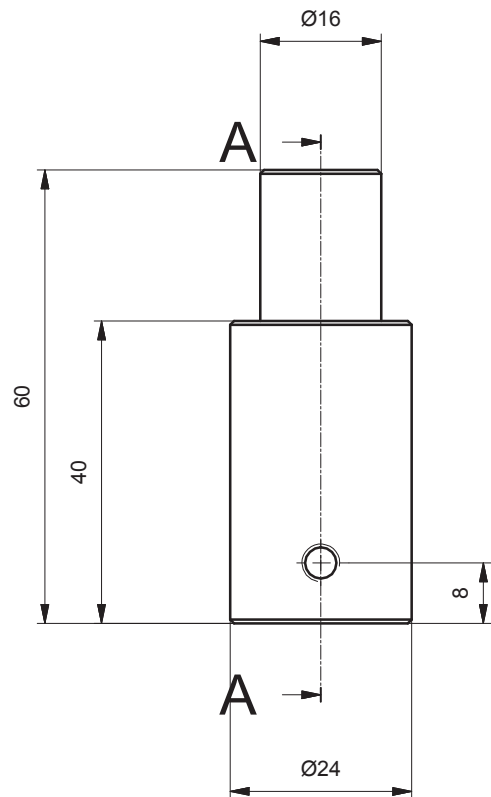
$R_l / km$  = résistance du câblage/km

- ▶ Utilisez uniquement des fils de câblage en cuivre résistant à des températures de 60/75 °C.

# Annexe 2

## Schémas mécaniques

- **Accouplement Moteur**
- **Accouplement Hélice**
- **Assemblage accouplement**



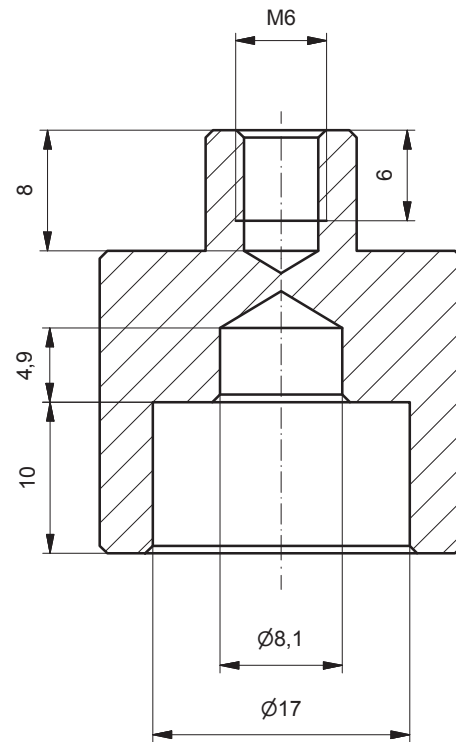
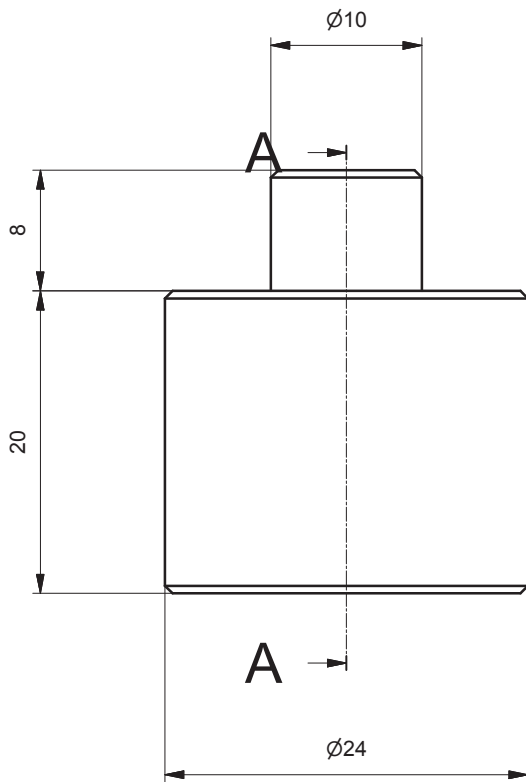
Chanfrins 1 mm

Transmission partie 1	Dessiné Gezeichnet	zacharie.lagger	25.06.2014	Echelle Massstab
Transmission partie 1	Contrôlé Geprüft			1:1

Fichier E:\INVENTOR\_Models\_Eolienne\IP800\_Transmission\_1.idw  
Datei

**Hes·so** VALAIS  
WALLIS

# A-A ( 2 : 1 )



Chanfrins 1 mm

Transmission Partie 2

Transmission Partie 2

Dessiné  
Gezeichnet

zacharie.lagger

25.06.2014

Echelle  
Massstab

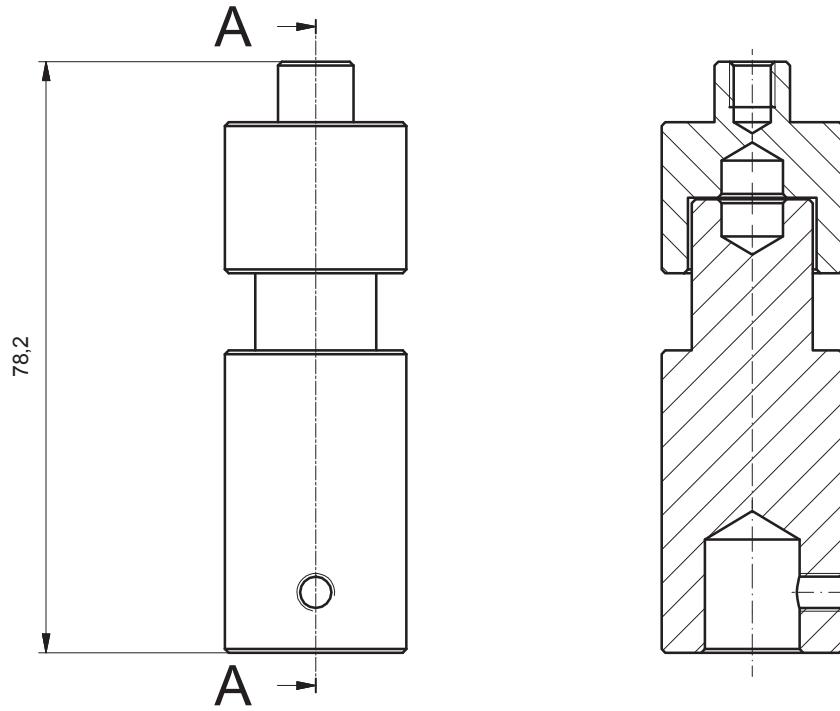
Contrôlé  
Geprüft

2:1

Fichier E:\INVENTOR\_Models\_Eolienne\P801\_Transmission\_2.idw  
Datei

**Hes-so** VALAIS  
WALLIS

# A-A ( 1 : 1 )



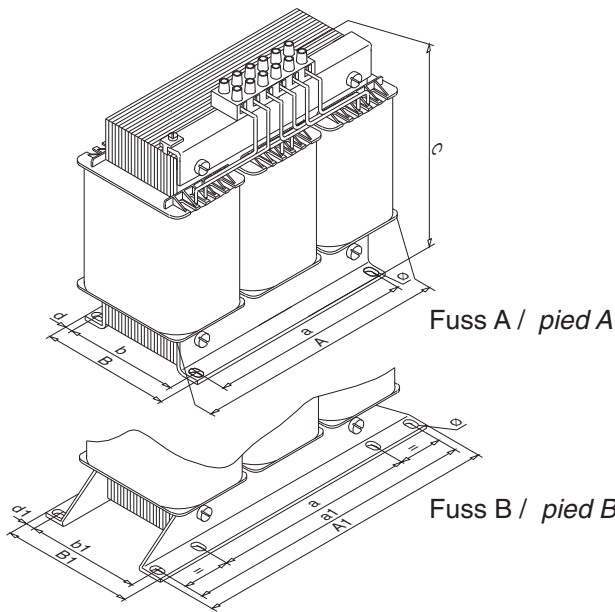
Dessiné Gezeichnet		25.06.2014	Echelle Massstab
Contrôle Geprüft			1:1

Fichier E:\INVENTOR\_Models\_Eolienne\P800\_transmission.idw  
Datei

# Annexe 3

**Spécifications transformateurs  
Wagner Grimm**





**Code -4-400-0-1** (Fuss A / pied A)  
 Befestigung mit Fusswinkel, Anschlüsse auf Klemmen, vakuumimprägniert und rot lackiert (RAL 3004)  
*Fixations équerres, sorties sur bornes, imprégnation sous vide plus peinture rouge (RAL 3004)*

**Code -4-3400-0-1** (Fuss B / pied B)  
 Befestigung mit breiten Fusswinkeln (Löcher von oben zugänglich), Anschlüsse auf Klemmen, vakuumimprägniert und rot lackiert (RAL 3004)  
*Fixations équerres débordantes (trous accessibles d'en haut), sorties sur bornes, imprégnation sous vide plus peinture rouge (RAL 3004)*

Normen: EN 61558  
 UL 506 (Bitte lassen Sie sich beraten.)  
 Normes: EN 61558  
 UL 506 (Demandez des renseignements s.v.p.)

Technische Änderungen vorbehalten  
 Sous réserve de modifications

Leistung in VA / puissance en VA			Abmessungen in mm / dimensions en mm													Klemmen <sup>2)</sup> bornes <sup>2)</sup>	Gewicht poids kg	
Blech tôles	Blech tôles	Kerngrösse type de noyau	A	B	C	a	b	Ø	d	A1	B1	a1	b1	d1				
<b>M400-50A</b>	M111-35N																	
42	52	3UJ 48a/17	96	46	110	<sup>1)</sup>	34	4.8	6	-	-	-	-	-	-	-	9 × 1	1.2
60	75	3UJ 48b/26	96	55	110	<sup>1)</sup>	43	4.8	6	-	-	-	-	-	-	-	9 × 1	1.5
100	126	3UJ 60a/21	120	54	134	90	40	4.8	7	148	70	136	50	10	9 × 2.5	1.9		
145	182	3UJ 60b/31	120	64	134	90	50	4.8	7	148	80	136	60	10	9 × 2.5	2.6		
240	300	3UJ 75a/26.5	150	67	159	113	50	5.8	8.5	178	75	166	55	10	11 × 2.5	4.2		
375	465	3UJ 75b/41.5	150	82	159	113	65	5.8	8.5	178	90	166	70	10	11 × 2.5	5.8		
465	580	3UJ 90a/31.5	179	76	189	136	57	7	9.5	219	101	201	71	15	11 × 4	7.3		
720	900	3UJ 90b/51.5	179	96	189	136	77	7	9.5	219	121	201	91	15	11 × 4	10.0		
1050	1310	3UJ 114a/40	228	91	229	176	72	7	9.5	267	110	249	80	15	14 × 4	14.0		
1550	1950	3UJ 114b/64	228	115	229	176	96	7	9.5	267	134	249	104	15	14 × 4	21.0		
1750	2150	3UJ 132a/46	263	107	263	200	79	10	14	316	139	292	99	20	18 × 4	22.0		
2640	3300	3UJ 132b/72	263	133	263	200	105	10	14	316	165	292	125	20	18 × 4	30.0		
2500	3200	3UJ 150a/52	299	123	293	224	95	10	14	352	144	328	104	20	21 × 4	36.0		
3600	4500	3UJ 150b/77	299	148	293	224	120	10	14	352	169	328	129	20	21 × 4	47.0		
3900	4800	3UJ 168a/58	335	139	333	248	111	10	14	388	150	364	110	20	18 × 6	48.0		
5600	7000	3UJ 168b/92	335	173	333	248	145	10	14	388	184	364	144	20	18 × 6	69.0		
4800	6000	3UJ 180a/63	359	154	353	264	126	10	14	412	156	388	116	20	20 × 6	60.0		
5500	6900	3UJ 180b/78	359	169	353	264	141	10	14	412	171	388	131	20	20 × 6	70.0		
6700	8400	3UJ 180c/93	359	184	353	264	156	10	14	412	186	388	146	20	20 × 6	80.0		
7600	9500	3UJ 210a/73	419	174	403	316	144	12	15	480	184	450	134	25	23 × 6	95.0		
10200	12800	3UJ 210b/103	419	204	403	316	174	12	15	480	214	450	164	25	23 × 6	120.0		
12000	15000	3UJ 210c/133	419	234	403	316	204	12	15	480	244	450	194	25	23 × 6	150.0		
12000	15000	3UJ 240a/83	478	194	453	356	158	15	18	552	216	516	166	30	26 × 6	140.0		
14000	18000	3UJ 240b/110	478	221	453	356	185	15	18	552	243	516	193	30	26 × 6	170.0		
17000	22000	3UJ 240c/140	478	251	453	356	215	15	18	552	273	516	223	30	26 × 6	205.0		

- 1) Nur zwei Befestigungslöcher in der Mitte der Fusswinkel  
*Seulement deux trous au milieu des équerres*
- 2) Maximale Anzahl × Querschnitt der Klemmen  
*Nombre maximal de bornes × section admissible des bornes*

Ein- und Ausgangsspannung  
 nach Wunsch  
*Tensions primaires et  
 secondaires selon convenance*

08/2013

# Annexe 4 + 5

## Spécifications modules National Instrument

- **Module d'entrées analogiques  
NI 9201**
- **Module d'entrées/sorties numériques  
NI 9375**



Ingénieurs commerciaux  
Suisse  
056 200 51 51  
ni.switzerland@ni.com

## NI 9201

### Module d'entrées analogiques de la Série C, 8 voies, $\pm 10$ V, 500 kéch./s, 12 bits

- 8 entrées analogiques, gamme d'entrée de  $\pm 10$  V
- Fréquence d'échantillonnage totale de 500 kéch./s
- Résolution de 12 bits, entrées asymétriques, connecteurs par bornier à vis ou Sub-D
- Échangeable à chaud, protection contre les surtensions, isolation
- Certificat d'étalonnage NIST
- Température de fonctionnement de  $-40$  à  $70$  °C



## Description

Le NI 9201 est un module de la Série C à 8 voies d'entrées analogiques, doté d'une fréquence maximale totale de 500 kéch./s. Le NI 9201 représente une bonne combinaison de nombre de voies et de vitesse, peu onéreux, pour un système multifonction économique.

Comme la majorité des modules de la Série C, le NI 9201 est protégé contre les pics de tension jusqu'à 2300 Veff. Cela signifie qu'aucune surtension dangereuse dans les limites d'isolation spécifiées ne peut endommager d'autres modules du système, ni le châssis ou n'importe quel équipement informatique connecté. En plus de la protection absolue par l'isolation, il dispose d'une protection jusqu'à 100 V contre les surtensions pour la connexion du signal errant ou des sorties inattendues vers les voies.

Il existe deux options de connecteurs pour le NI 9201 : un connecteur par bornier à vis 10 broches pour une connectivité directe, et un connecteur Sub-D 25 broches. Le connecteur standard Sub-D 25 broches fournit un câblage faible coût à un large éventail d'accessoires de NI ou d'autres fournisseurs. De nombreux fournisseurs proposent également des services de fabrication de câbles Sub-D personnalisés et peuvent fournir des câbles dotés d'un brochage qui correspond aux besoins exacts de l'application.

NI recommande l'accessoire de connexion NI 9932 avec maintien de câble pour le module NI 9201. Le NI 9934 (ou un autre connecteur Sub-D 25 broches) est nécessaire pour utiliser le module NI 9201 à connecteur Sub-D. Le NI 9934 inclut un connecteur par bornier à vis avec maintien de câbles ainsi qu'un capot Sub-D pour contacts à souder, permettant de créer des câbles personnalisés.

## Spécifications

### Documents sur les spécifications

- Spécifications
- Fiche technique

### Résumé des spécifications

#### Généralités

Produit	NI 9201
Famille de produit	E/S industrielles

## Annexe 4: Module d'entrées analogiques NI 9201, page 2

Format	CompactDAQ , CompactRIO
Numéro de référence	779372-01 , 779013-01
Types de mesure	Tension
Type d'isolation	Isolation terre-voie
Conformité RoHS	Oui
Entrée analogique	
Voies	8
Voies asymétriques	8
Résolution	12 bits
Fréquence d'échantillonnage	500 kéch./s
Bande passante	690 kHz
Tension d'entrée analogique maximum	10 V
Gamme de tension maximum	-10 V , 10 V
Précision de la gamme de tension maximum	0.015 V
Échantillonnage simultané	Non
Compteurs/timers	
Nombre de compteurs/timers	0
Physical Specifications	
Connecteur d'E/S	Borniers à vis
Température de fonctionnement	-40 °C
Température de fonctionnement	70 °C
Température de stockage	-40 °C
Température de stockage	85 °C



Ingénieurs  
commerciaux  
Suisse  
056 200 51 51  
ni.switzerland@ni.com

## NI 9375

### Module d'entrée numérique 24 V, 16 voies, et module de sortie numérique 24 V, 16 voies

Entrées numériques en courant absorbé 7  $\mu$ s  
Sortie numérique en courant injecté 500  $\mu$ s, 16 voies  
Compatible avec des niveaux d'entrée 12 V et 24 V  
Gamme de sortie de 6 à 36 V (en fonction de la tension fournie)  
Échangeable à chaud  
Température de fonctionnement de -40 à 70 °C



### Description

---

Le NI 9375 est un module qui combine entrée numérique et sortie numérique fonctionnant avec le NI CompactDAQ ou le CompactRIO. Chacune des 16 lignes d'entrée numérique dédiées est compatible avec des niveaux de logique 12 V et 24 V. Toutes les 16 lignes de sortie numérique dédiées sont compatibles avec des signaux de 6 V à 30 V signals, en fonction de l'alimentation externe. Bien que les lignes d'entrée et de sortie numériques partagent le même moteur de cadencement, il convient de savoir que la ligne de sortie numérique a un délai maximum de propagation de 500  $\mu$ s (consultez le manuel pour plus de détails). Le NI 9375 fournit une isolation jusqu'à 60 V entre les groupes de voies d'entrée et de sortie, avec une isolation voie vers terre jusqu'à 1000 Veffs. Il fonctionne avec des niveaux logiques et des signaux industriels, pour une connexion directe à un large éventail de commutateurs industriels, de capteurs et d'autres matériels.

### Accessoires

- Le NI 9375 à connecteur Sub-D nécessite un kit de connexion Sub-D 37 broches pour montage frontal, tel que le kit d'accessoires NI 9923, ou une solution câblée comprenant un câble et un bloc de terminaison. Ces deux options sont détaillées sous l'onglet Prix de ce module.
- Le module NI 9375 à bornier à ressort n'a pas besoin d'un kit supplémentaire de connexion, mais vous trouverez des blocs de connexion sous l'onglet Prix et le module NI 9974.
- Une alimentation externe de 6 V à 36 V est nécessaire pour la sortie numérique. Si la tension et le courant de l'alimentation disponible sont adéquats, la même alimentation peut servir pour ce module et les châssis CompactRIO ou NI CompactDAQ. La tension fournie impose la tension de sortie du module.

### Contenu du NI 9375

- Module NI 9375
- Manuel de l'utilisateur imprimé

[Mon Profil](#) | [RSS](#) | [Confidentialité](#) | [Conditions d'utilisation](#) | [Contacter NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved. | [Envoyer cette page](#)

# Annexe 6

**Template Excel pour  
l'acquisition de données d'une  
éolienne à axe vertical**

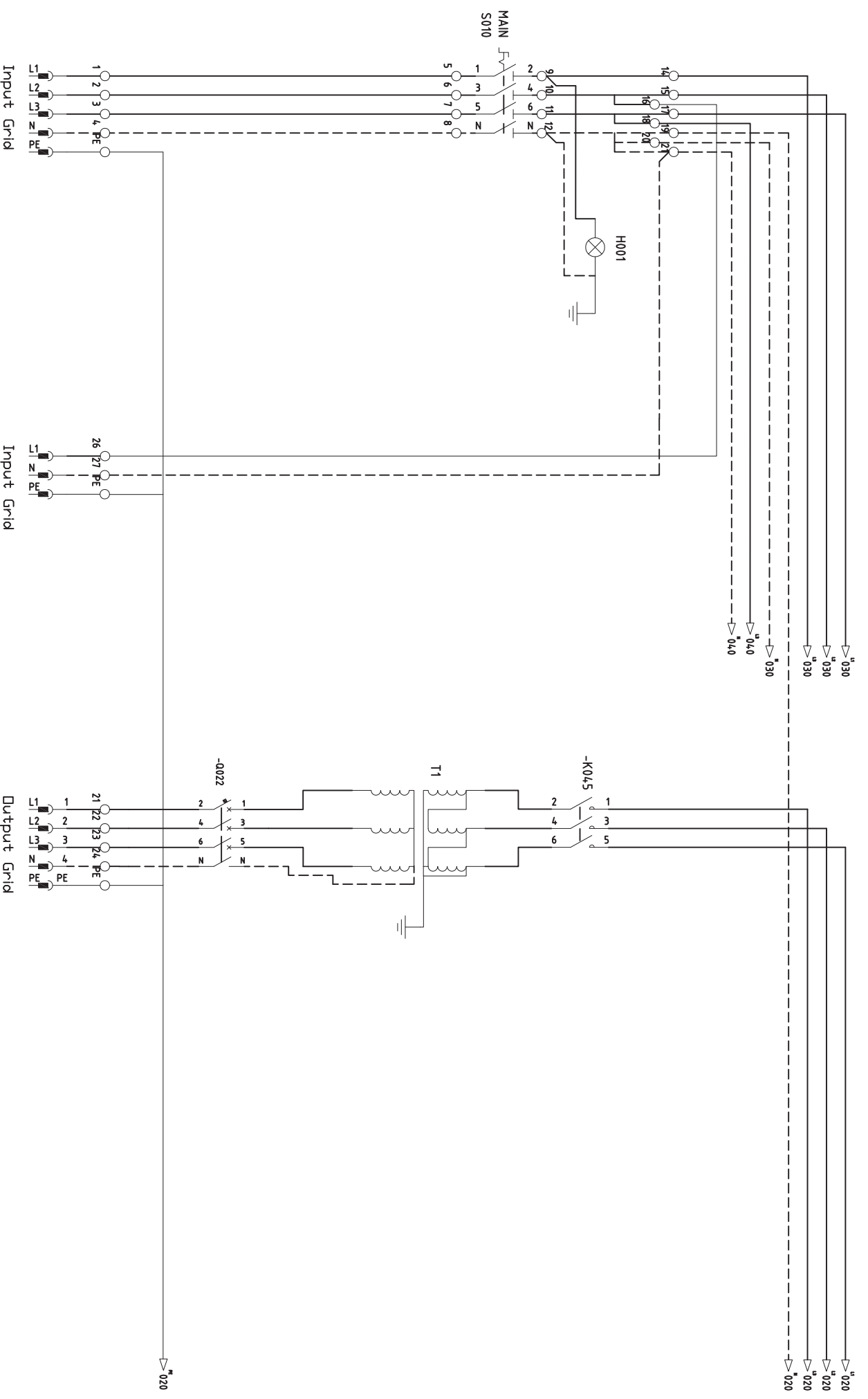
Parameter Name	Value	Format	Comments
Installation Type	1	Int32	Do not change this value
Installation Name		String	
Location		String	Name of the village/city
Latitude		Int32	Swiss National System
Longitude		Int32	Swiss National System
Manufacturer 1		String	
Manufacturer 2		String	
Manufacturer 3		String	
Manufacturer 4		String	
Manufacturer 5		String	
Manufacturer 6		String	
Manufacturer 7		String	
Manufacturer 8		String	
Manufacturer 9		String	
Manufacturer 10		String	
Owner 1		String	
Owner 2		String	
Owner 3		String	
Owner 4		String	
Owner 5		String	
Owner 6		String	
Owner 7		String	
Owner 8		String	
Owner 9		String	
Owner 10		String	
Peak Power		Double	Unit: [kW]
Scale factor		Int16	>1
Blades Lenght		Double	Unit: [m]
Diameter		Double	Unit: [m]
Wind speed min		Double	Unit: [m/s]
Wind speed max		Double	Unit: [m/s]
Turbine speed max		Double	Unit: [t/min]
Pitch angle min		Double	Unit:[°]
Pitch angle max		Double	Unit:[°]
Pitch control active		Int16	0 = true /1 = false
Number of blades		Int16	
Production start Year		String	
Annotation		String	
Picture_Link		Path	

# Annexe 7

## Schémas électriques

- **Alimentations**
- **Convertisseur d'injection**
- **Drives Moteur + Générateur**
- **Relais de sécurité + Automate**



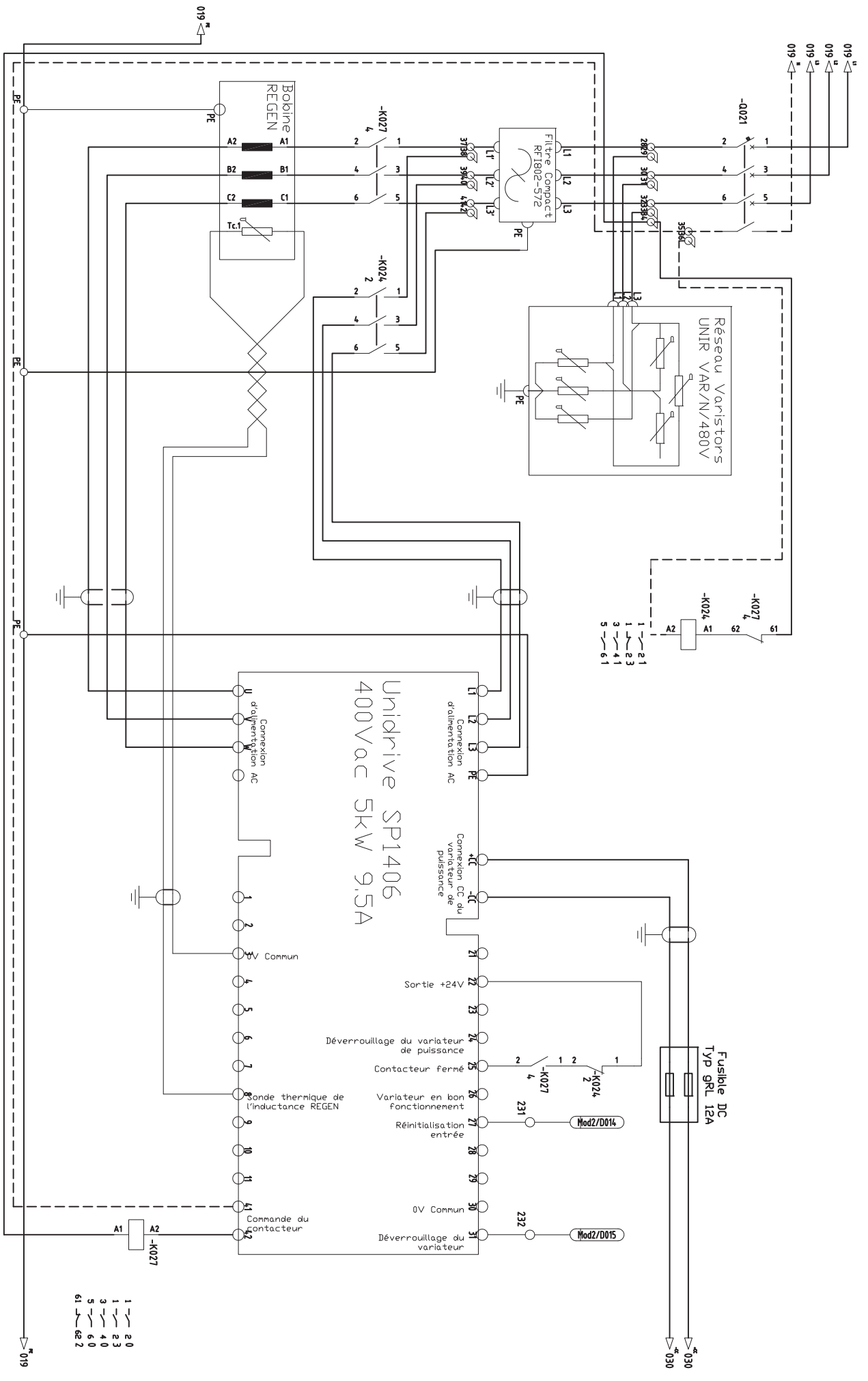


Dates :		Contrôlé par :		Approuvé par :	
05.06.2013		Gabathus		Control Technique	
02.07.2013		Gabathus			
03.07.2014		Laguer Zacharie			
0		1		2	
3		4		5	
6		7		8	
9					

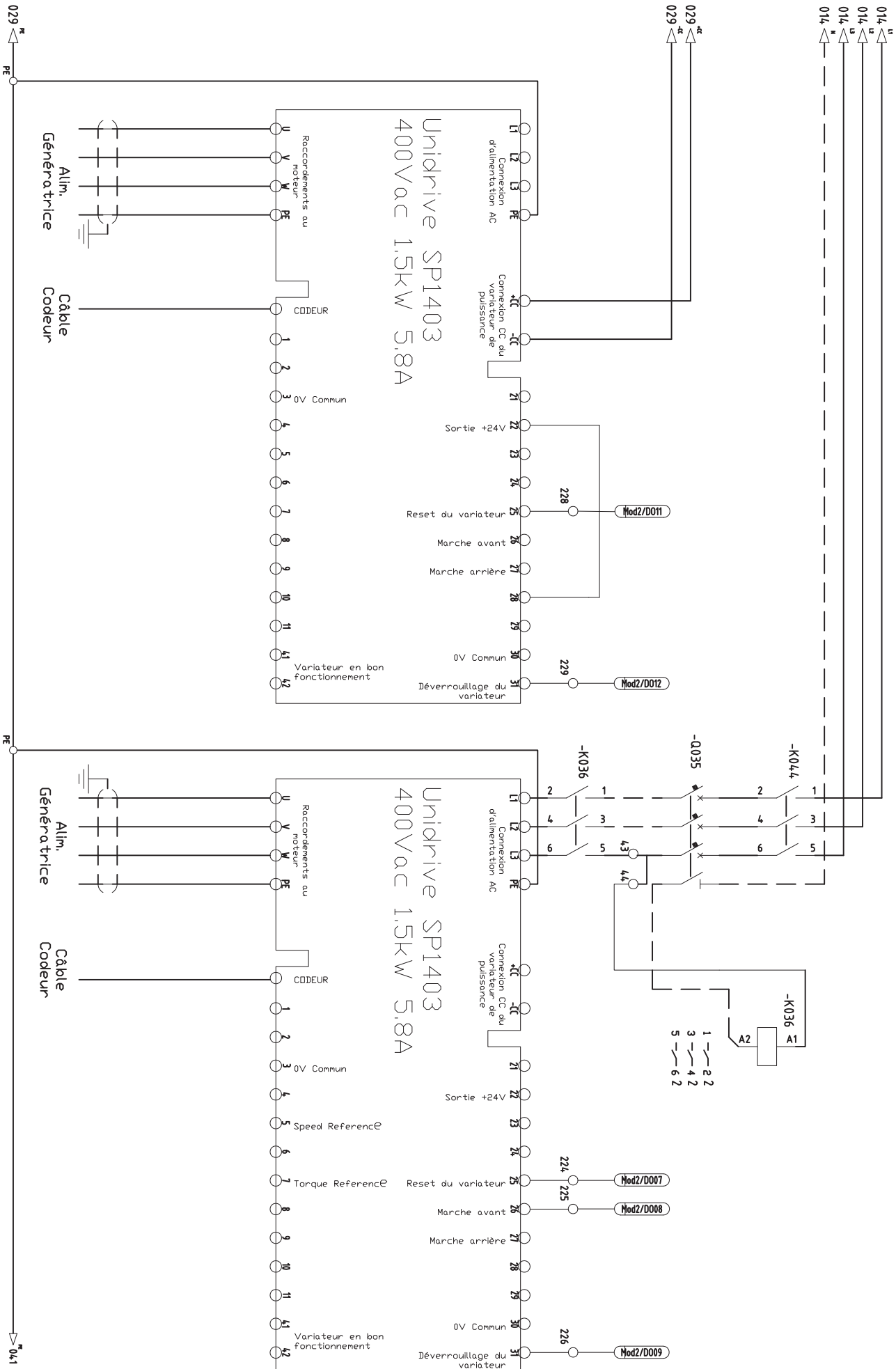
**PROJET: Modèle d'éolienne**

Titre 1: Schéma Electrique  
Titre 2: Reseau et transformateur

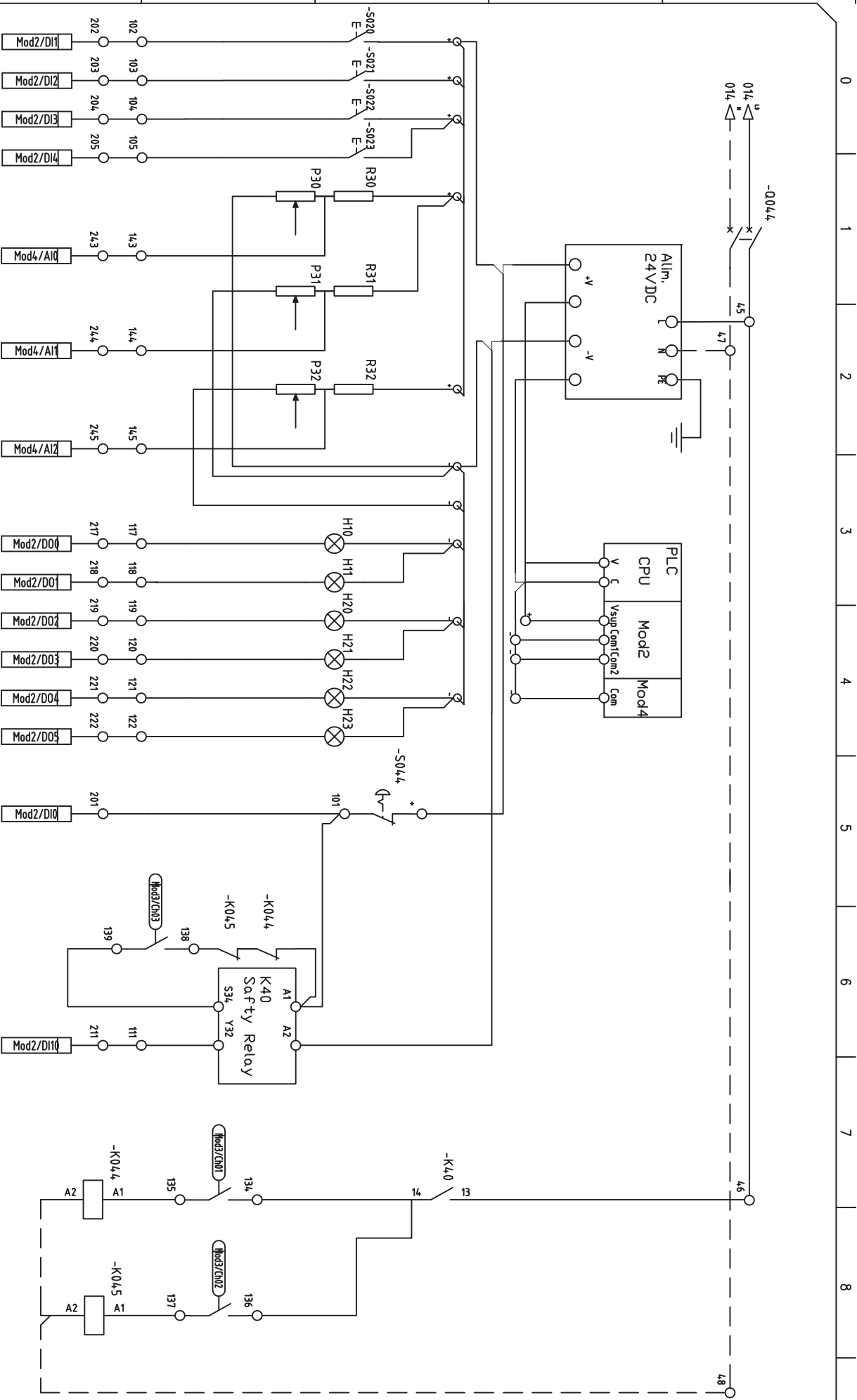
Hes-so/Valais Wallis  
Haute Ecole d'Ingénierie



Dates :		Contrôlé par :		Approuvé par :	
05.06.2013	Gabathus	Gabathus	Control Technique		
02.07.2013	Gabathus				
03.07.2014	Laguer Zacharie				
<b>PROJET: Modèle d'éolienne</b>			Titre 1: Schéma Electrique		
			Titre 2: Alimentation REGEN		
<b>Hes-so/Valais Wallis</b>			Haute Ecole d'Ingénierie		
<b>Page: 02 / 02</b>					



Dates :		Contrôlé par :		Approuvé par :	
05.06.2013		Gabathus		Control Technique	
02.07.2013		Gabathus		Titre 1: Schéma Electrique	
03.07.2014		Laguer Zacharie		Titre 2: Alimentation Drives	
0	1	2	3	4	5
PROJET: Modèle d'éolienne			Hes-so/Valais Wallis		
Haute Ecole d'Ingénierie			Page: 03 / 03		



Dates :		Contrôlé par :		Approuvé par :	
05.06.2013		Gabathus		Gabathus	
02.07.2013		Gabathus		Gabathus	
03.07.2014		Lager Zacharie		Lager Zacharie	
0		1		2	
3		4		5	
6		7		8	
9					

**PROJET: Modèle d'éolienne**

Hes-so/Valais Wallis  
Haute Ecole d'Ingénierie

# Annexe 8

## Offres

- **Schlierholz Eloxal AG**
- **Wagner Grimm**



Zacharie Lagger &lt;zacharie.lagger@gmail.com&gt;

---

## Demande d'offre éloxage

2 messages

---

**Zacharie Lagger** <zacharie.lagger@gmail.com>

10 juin 2014 10:38

À : niederwangen@bwb-group.com

Bonjour,

Pouvez-vous me transmettre une offre pour les 4 pièces ci-jointes?

Épaisseur de la tôle d'aluminium: 2mm

Couleur: Bleu ciel Numéro 11

Meilleures salutations

--

Zacharie Lagger  
HES-SO Valais Wallis  
Route du Rawyl 47  
1950 Sion  
079 246 80 95

---

### 4 pièces jointes

 **P702\_Cache\_Petit.pdf**  
116K **P703\_Cache\_Grand\_Sup.pdf**  
120K **P705\_Cache\_Grand\_Arriere.pdf**  
119K **P706\_Cache\_Cote.pdf**  
119K

---

**Rossi Massimo** <Massimo.Rossi@bwb-group.com>

10 juin 2014 13:03

À : "zacharie.lagger@gmail.com" &lt;zacharie.lagger@gmail.com&gt;

Bonjour Monsieur Lagger

Nous vous remercions de votre demande de prix et avons le plaisir de vous soumettre le traitement demandé pour le prix forfaitaire de CHF 80.-, TVA, transport et emballage exclus

----- Pour vous servir le plus vite possible envoyer s.v.p. tous les e-mail à l'adresse :  
[niederwangen@bwb-group.com](mailto:niederwangen@bwb-group.com)

Meilleures salutations

**Massimo Rossi**  
Directeur de production



OBERFLÄCHENTECHNIK

**Schlierholz Eloxal AG**

Freiburgstrasse 576  
CH-3172 Niederwangen

T: +41 31 970 01 60

F: +41 31 970 01 69

[massimo.rossi@bwb-group.com](mailto:massimo.rossi@bwb-group.com)

[www.bwb-group.com](http://www.bwb-group.com)

**Von:** Zacharie Lagger [<mailto:zacharie.lagger@gmail.com>]

**Gesendet:** Dienstag, 10. Juni 2014 10:39

**An:** Schlierholz Eloxal AG

**Betreff:** Demande d'offre éloxage

[Texte des messages précédents masqué]

---

**4 pièces jointes**



**P702\_Cache\_Petit.pdf**

116K



**P703\_Cache\_Grand\_Sup.pdf**

120K



**P705\_Cache\_Grand\_Arriere.pdf**

119K



**P706\_Cache\_Cote.pdf**

119K

HES-SO  
M. Zacharie Lagger  
ch. du Château-Bloch 10  
1219 Le Lignon**Offre de vente N°: 100-212614****Date: 10.06.2014**

Votre numéro de client 502988  
Votre demande Par E-Mail du 06.06.2014  
Date de saisie 10.06.2014  
Votre interlocuteur Livia Suter  
Représentant Esther Stocker

Monsieur

Nous vous remercions de votre demande et nous avons le plaisir de vous soumettre l'offre suivante.

Pos.	Article Désignation	Quantité	Prix unitaire Dimension prix	Valeur brute
10	<b>900015</b> Article d'offre Form: 3UJ 132a/46-5-403-0-1 Transformateur triphasé avec enroulements séparés Typ: DE 1700 Puissance: 1.7 kVA Fréquence: 50/60 Hz Primaire: 3 x 400 V Secondaire: 3 x 400 V à tension vide, 2.5 A Groupe de connexion: Dyn Raccordements: Bornes Norme: EN 61558-2-1 Tension d'essai: 2.5 kV Exécution: Sans boîtier IP00, imprégné sous vide et pression Couleur: RAL 3004 rouge Dimensions: Fiche du catalogue 3.1, dimension + 30 mm Poids total: env. 22 kg  Livraison: env. 3 semaines	1 Stk	661.00 CHF	661.00 CHF



**Offre de vente N°: 100-212614****Date: 10.06.2014****Page 2 / 2**

<i>Pos.</i>	<i>Article Désignation</i>	<i>Quantité</i>	<i>Prix unitaire Dimension prix</i>	<i>Valeur brute</i>
-------------	--------------------------------	-----------------	---	---------------------

<i>Supplément TVA</i>	8.0% TVA exclus
<i>Offre valable jusqu'au</i>	31.07.2014
<i>Condition de paiement</i>	30 jours net
<i>Condition de livraison</i>	Départ usine

Supplément pour cuivre:

Dans le prix indiqué est le cuivre inclus sur la base CHF 8.00 / kg.

Si le prix journalier du cuivre lors de la date de la facturation s'élève à +/- CHF 0.50 de la base, la différence sera débitée ou créditée.

Les prix mentionnés sont uniquement valables pour la fabrication des produits selon les informations dans cette offre, test final intern de 100% inclus (exclus des tests de chage).

Des changements ultérieurs ou des documents supplémentaires (dessins, protocoles etc.) ont besoin d'une nouvelle offre. En cas de commande nous vous informons que les coûts supplémentaires, résultés des changements, seront facturés.

Conditions contractuelles générales:

- La marchandise livrée reste la propriété de Wagner+Grimm AG jusqu'au règlement du paiement.
- Le prix mentionné est valable les prix mentionnés sont valables aux coûts de fabrication, de marchandise de ce jour et de nos conditions de vente (voir [www.wagnergrimm.ch](http://www.wagnergrimm.ch)).
- Nous espérons que ces renseignements vous conviendront et dans l'attente d'une réponse nous vous présentons nos meilleures salutations

Wagner + Grimm AG

# Annexe 9

## Commandes

- Schlierholz Eloxal AG
- Wagner Grimm
- Distrelec
- Item
- Wagner Schurter

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)  
Route du rawyl 47  
Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575  
CH-1950 Sion 2

## Schlierholz Eloxal AG

Freiburgstrasse 576  
**CH-3172 Niederwangen**

### Commande

Numéro **COS14000**

Secteur Power and control  
Rubrique 310000  
Référence cos

Tel: +41 31 970 01 60  
Fax: +41 31 970 01 69  
Email: niederwangen@bwb-group.com

Veillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 10 juin 2014**

Quantité	Référence article	Désignation	Prix unitaire	Total CHF
1		Selon demande d'offre du 10 juin 2014, par Mr.Lagger Zacharie	80.00	80.00
Power & Control				
Paielement		30 jours net	Sous-total	80.00
Délais de livraison		Dès que possible	Rabais	0.0%
<b>Adresse de livraison</b>		Hes-so//Valais Haute Ecole Spécialisée Costa christian, Resp. achats Route du Rawyl 47 CH-1950 Sion 2	TVA	8.0% 6.40
Personne de contact		Zacharie Lagger	Total CHF	<b>86.40</b>
E-mail		zacharie.lagger@gmail.com		

Avec nos remerciements

Important

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

Christian Costa, Resp. achats

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## Wagner + Grimm AG

Werkstrasse 4, Postfach 662

CH-6102 Malters

### Commande

Numéro COS14000

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: +41 499 70 00

Fax: +41 497 22 60

Email: info@wagnergrimm.ch

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 11 juin 2014**

Quantité	Référence article	Désignation	Prix unitaire	Total CHF
1	100-212614	Selon la demande d'offre de M. Zacharie Lagger, du 06.06.2014, Offre de vente N°: 100-212614	661.00	661.00
Power & Control				
Paielement		30 jours net	Sous-total	661.00
Délais de livraison		Dès que possible	Rabais	0.0%
<b>Adresse de livraison</b>		Hes-so//Valais Haute Ecole Spécialisée Costa christian, Resp. achats Route du Rawyl 47 CH-1950 Sion 2	TVA	8.0% 52.90
Personne de contact		Zacharie Lagger	Total CHF	<b>713.90</b>
E-mail		zacharie.lagger@gmail.com		

Avec nos remerciements

Important

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

Christian Costa, Resp. achats

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## Distrelec AG

Grabenstrasse 6

CH-8606 Nänikon

### Commande

Numéro COS14000

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: 044 944 99 22

Fax: 044 944 99 88

Email: cos@hevs.ch

Veillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

Sion, le 10. juin 2014

Quantité	Référence article	Désignation	Prix unitaire	Total CHF
50	514093	Toron Rouge 0.75mm2, 50m	0.79	39.50
1	501335	Canal passe câble 40x60	24.10	24.10
1	103068	Cordon de mesure de sécurité noir, 25cm	5.01	5.01
1	103070	Cordon de mesure de sécurité bleu, 25cm	5.01	5.01
1	103112	Cordon de mesure de sécurité brun, 25cm	5.01	5.01
1	103072	Cordon de mesure de sécurité vert, 25cm	5.01	5.01
1	103111	Cordon de mesure de sécurité gris, 25cm	5.01	5.01
1	500365	Prise 400V, 3LNPE, T25, noir	15.70	15.70
3	268002	Bouton de potentiomètre OKW	6.05	18.15
4	342223	Amortisseur Paulstra	44.90	179.60
6	507728	Support de terminaison	1.83	10.98
5	507763	Cloison bornes	0.62	3.10
2	148210	Barrette de pont, 5 pôles	2.34	4.68
85	507749	Bornes de traversée grises	1.02	86.70
3	507750	Bornes de traversée bleues	1.20	3.60
1	507758	Borne de terre	4.06	4.06
9	507776	Bande de 10 étiquettes de marquage	0.77	6.93
1	102092	Connecteur de laboratoire	4.06	4.06
1	231100	Led verte 230V	32.40	32.40
1	252330	Led verte 24V	14.80	14.80
1	252329	Led jaune 24V	14.80	14.80
1	509004	Prise T13 noire	10.80	10.80
3	742684	Potentiomètre 10kOhms, Vishay	14.30	42.90
Power & Control				
Paiement		30 jours net	Sous-total	541.91
Délais de livraison		Dès que possible	Rabais	0.0%
Adresse de livraison		Hes-so//Valais Haute Ecole Spécialisée Costa christian, Resp. achats Route du Rawyl 47 CH-1950 Sion 2	TVA	8.0% 43.40
Personne de contact		Zacharie Lagger	Total CHF	<b>585.31</b>
E-mail		zacharie.lagger@gmail.com		

Avec nos remerciements

Important

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

Christian Costa, Resp. achats

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## Item Industrietechnik Schweiz G

Diessenhoferstasse 14

**CH-8252 Schaltt**

### Commande

**Numéro COS14000**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: +41 52 647 31 31

Fax: +41 52 647 31 99

Email: info@item24.ch

Veillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 10.juin.14**

Quantité	Référence article	Désignation	Prix unitaire	Total CHF
1	0.0.026.03	Profilé 8 40x40, naturel, 900mm	23.13	23.13
1	0.0.026.03	Profilé 8 40x40, naturel, 760mm	19.53	19.53
1	0.0.026.03	Profilé 8 40x40, naturel, 327mm	8.40	8.40
1	0.0.026.03	Profilé 8 40x40, naturel, 226.3mm	5.82	5.82
2	0.0.409.14	Profilé 8 R40/80-45°, 900mm	32.45	64.90
6	0.0.026.30	Coupe profilé	3.45	20.70
3	0.0.486.28	Equerre V40 Zn	7.37	22.11
1	0.0.411.24	Equerre 8 40x40 Zn, gris	4.55	4.55
18	0.0.388.08	Fixations automatiques 8, zinguées	3.93	70.74
48	0.0.630.28	Multiblock 8 PA, gris	2.90	139.20
4	0.0.409.15	Embout 8 R40/80-45°, noir	1.70	6.80
2	0.0.026.01	Embout 8 40x40, noir	0.69	1.38
2	0.0.373.82	Charnière St	6.01	12.02
2	0.0.196.48	Aimant 8, noir	7.04	14.08
1	0.0.492.09	Plexgilas 4x809x556mm	23.85	23.85
1	0.0.475.48	Découpe plexiglass	6.75	6.75
1	0.0.494.86	Poingée X 160 PA, gris	8.19	8.19
20	8.0.002.45	Vis Chc tête bombée, M6x18	0.30	6.00
25	0.0.480.50	Ecrou V 8 St M6, Zingué	0.48	12.00
Power & Control				
Paielement		30 jours net	Sous-total	470.15
Délais de livraison		Dès que possible	Rabais	0.0%
Adresse de livraison		Hes-so//Valais Haute Ecole Spécialisée Costa christian, Resp. achats Route du Rawyl 47 CH-1950 Sion 2	TVA	8.0% 37.60
Personne de contact		Zacharie Lagger	Total CHF	<b>507.75</b>
E-mail		zacharie.lagger@gmail.com		

Avec nos remerciements

Important

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

Christian Costa, Resp. achats

**mbH**

# Hes-so//Valais

Haute Ecole d'Ingénierie (HEI)

Route du rawyl 47

Tél. (027) 606 85 11 Fax 606 8575

CH-1950 Sion 2

## SCHURTER AG

Werkhofstasse 8-12

**CH-6002 Luzern**

### Commande

**Numéro COS14000**

Secteur Power and control

Rubrique 310000

Référence cos

Tel: +41 41 369 31 11

Fax: +41 41 369 33 33

Email: [contact@schurter.ch](mailto:contact@schurter.ch)

Veillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir :

**Sion, le 4. juillet 2014**

Quantité	Référence article	Désignation	Prix unitaire	Total CHF
1	1241.6400	MCS 30 RI, anneau led: vert 24V	40.00	40.00
3	1241.6401	MCS 30 RI, anneau led: rouge 24V	40.00	120.00
Power & Control				
Paielement		30 jours net	Sous-total	160.00
Délais de livraison		Dès que possible	Rabais	0.0%
<b>Adresse de livraison</b>		Hes-so//Valais Haute Ecole Spécialisée Costa christian, Resp. achats Route du Rawyl 47 CH-1950 Sion 2	TVA	8.0% 12.80
Personne de contact		Zacharie Lagger	Total CHF	<b>172.80</b>
E-mail		<a href="mailto:zacharie.lagger@gmail.com">zacharie.lagger@gmail.com</a>		

Avec nos remerciements

Important

- numéro de commande à rappeler sur la facture merci

Christian Costa, Resp. achats