

DT1 - État des lieux de l'éolien en France

Perspectives d'avenir

Pour atteindre les objectifs fixés par le Grenelle de l'Environnement (puissance installée fin 2020 : 19 000 mégawatts (MW) sur terre et 6 000 MW en mer), il faudra installer environ 1 600 MW d'éolien terrestre en moyenne annuelle, alors que 1 011 MW l'ont été en 2015. Il faut donc accélérer le rythme des installations. Les perspectives pour l'emploi dans ces conditions sont prometteuses : si les objectifs actuels sont tenus, l'éolien pourrait offrir 60 000 emplois en 2020 dans notre pays, dont 24 000 pour l'éolien maritime. L'éolien maritime participerait à cette dynamique, non seulement dans la construction des parcs, mais aussi dans leur maintenance. Il pourrait en particulier renforcer l'activité des ports à proximité des fermes maritimes.

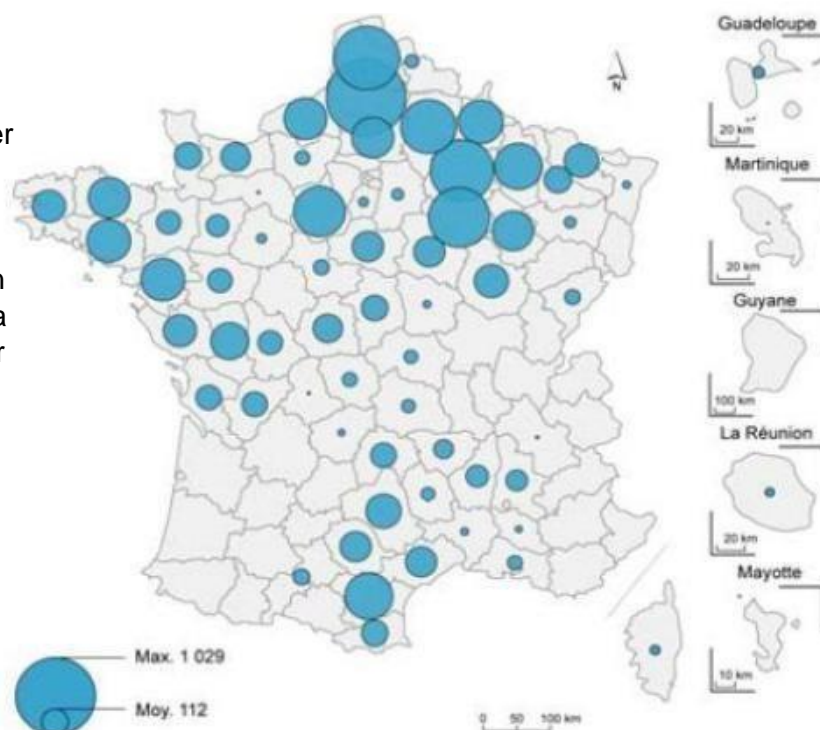
Evolution de la puissance éolienne raccordée cumulée par an (MW)



DT2 – État des lieux des puissances installées

Puissance éolienne totale raccordée par département au 30 septembre 2016
En MW

Le foisonnement est une technique qui consiste à implanter des éoliennes dans différents régimes de vent. Au niveau national, on diminue ainsi les risques de manque de production sur une zone géographique, en la compensant par la production sur une autre zone géographique.



Champ : métropole et DOM.

Source : SOeS d'après Enedis, RTE, EDF-SEI, CRE et les principales ELD

DT3 - Gisements éoliens

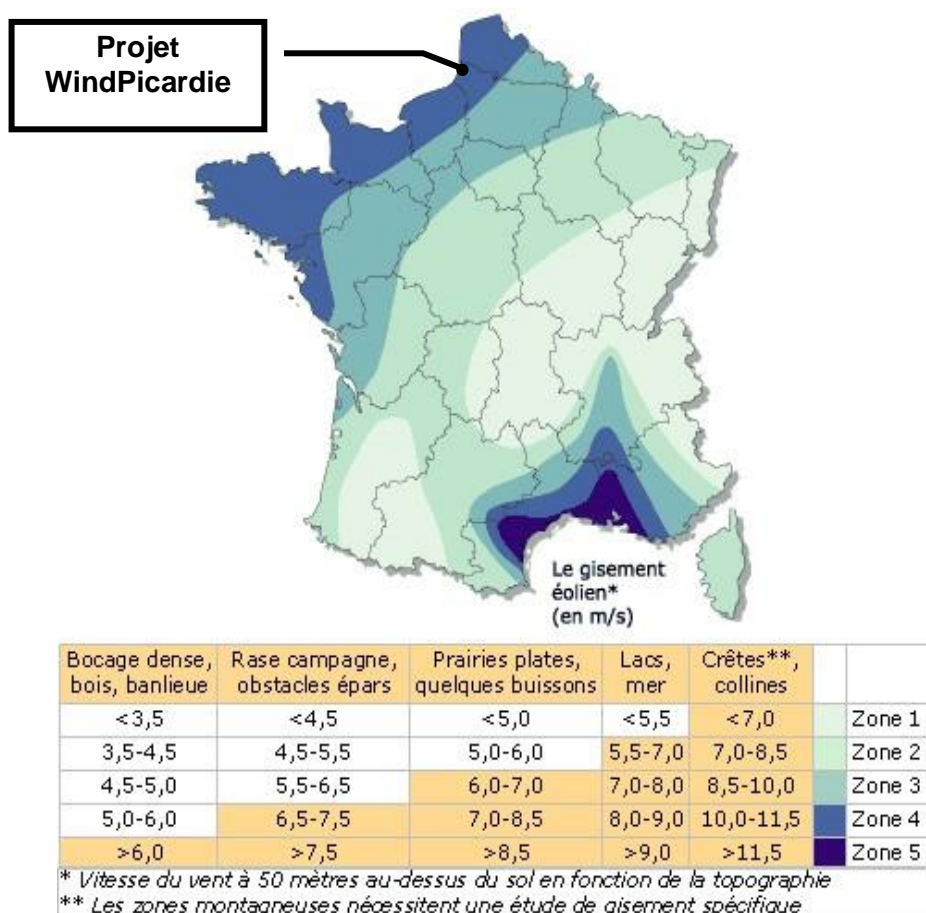
Le site doit en particulier être suffisamment venté. Dans l'idéal, les vents doivent être réguliers et suffisamment forts, sans trop de turbulences, tout au long de l'année. Des études des vents sur le site sont indispensables.

Facteurs à prendre en compte pour implanter un projet éolien :

- un parc éolien de 10 machines est installé sur environ 10 hectares ;
- le parc doit être suffisamment éloigné des habitations pour réduire les nuisances de voisinage ;
- le parc doit être facile à relier au réseau électrique haute ou moyenne tension ;
- l'apparition de vents plus violents est faiblement probable. Il n'est donc pas économiquement rentable de dimensionner les machines pour produire à des vitesses de vents supérieures à 25 m.s^{-1} ;
- les grands aérogénérateurs récents installés dans les parcs éoliens développent une puissance d'environ 2 MW, ce qui permet d'alimenter environ 2 000 foyers (hors chauffage).

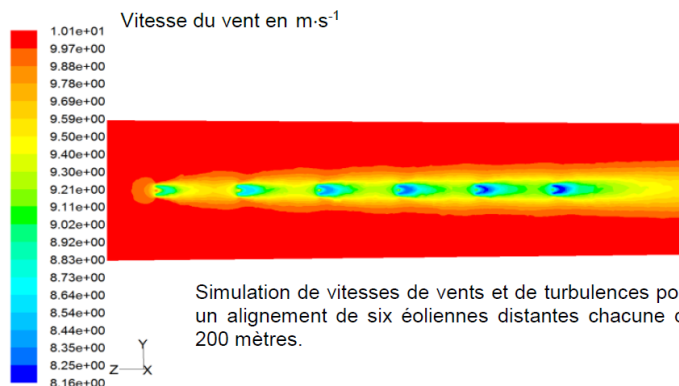
En 2012, chaque région a établi un schéma régional climat air énergie (SRCAE) pour planifier sa politique énergétique.

Évaluation du gisement éolien en France



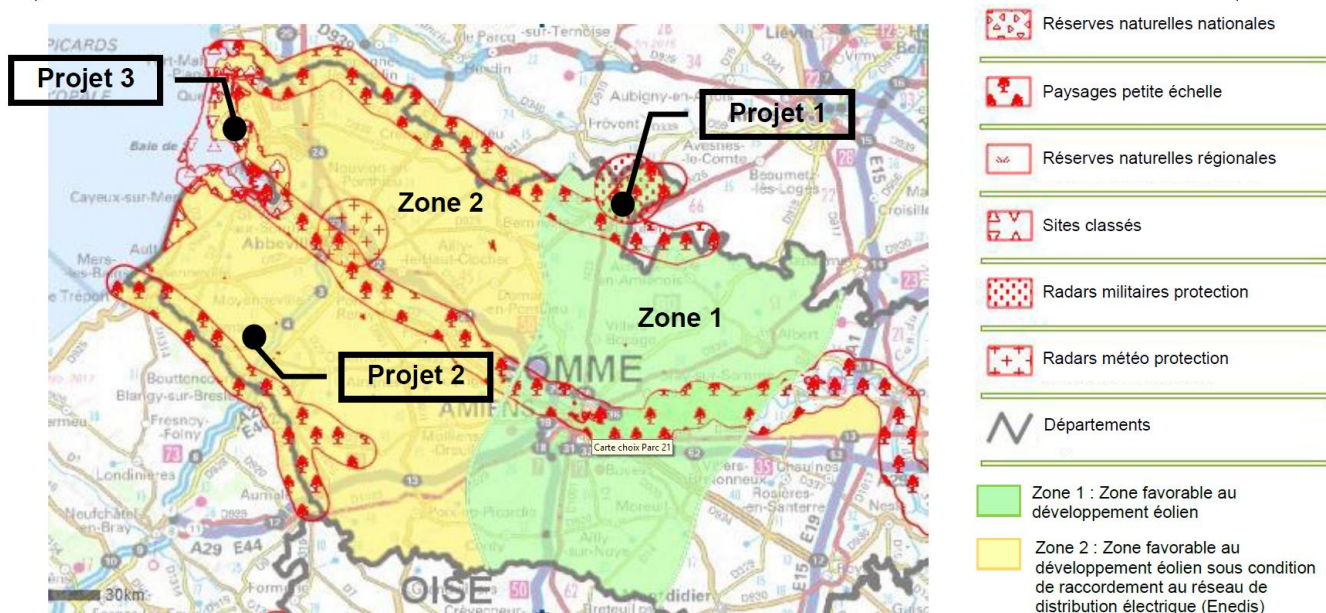
La France bénéficie d'un gisement éolien important, le deuxième en Europe, après les Îles britanniques. Les zones terrestres régulièrement et fortement ventées se situent sur la façade ouest du pays, de la Vendée au Pas-de-Calais, en vallée du Rhône et sur la côte languedocienne.

DT4 – Simulation de vitesse de vents et de turbulences d'un parc éolien



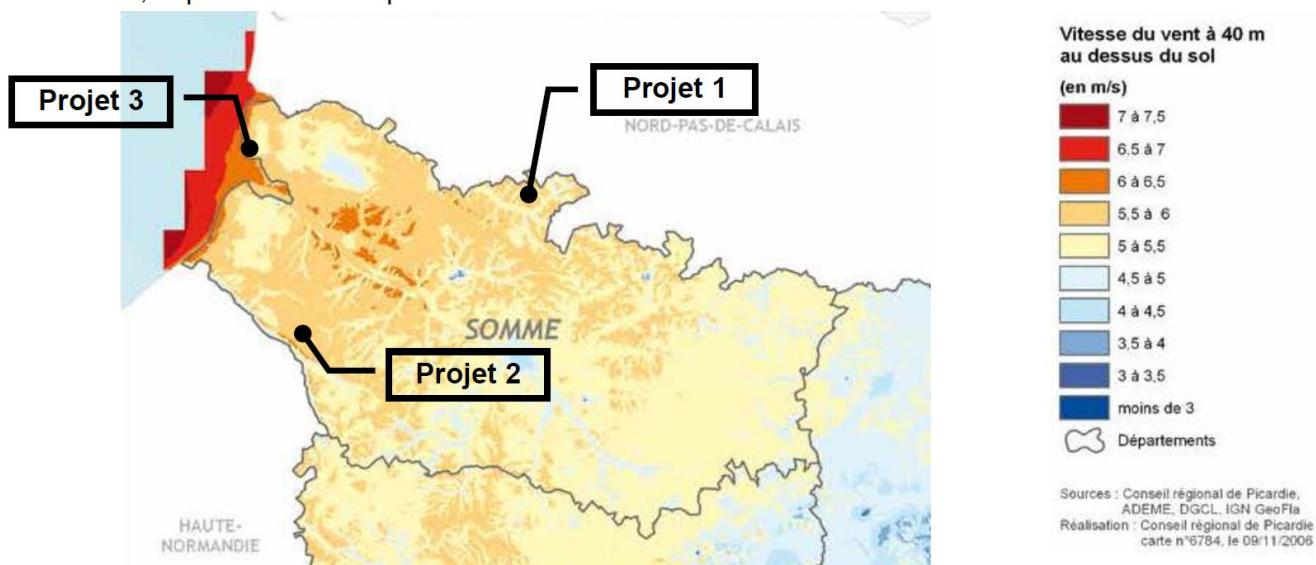
Le terme « turbulence » désigne la perturbation de la vitesse des vents.

DT5 – Localisation des projets éoliens



DT6 – Carte des moyennes annuelles de vents dans le département de la Somme (Ademe)

Ce document représente la carte de la vitesse moyenne des vents à 40 m de hauteur. À partir de cette carte, le potentiel éolien peut être calculé.



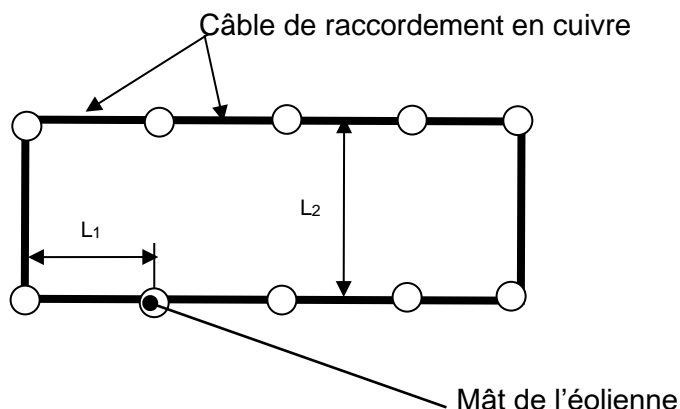
DT7 - Schéma d'implantation des aérogénérateurs dans le parc éolien

Vue de dessus du parc
de 10 éoliennes

Distance entre éoliennes

Cette distance est prise entre :

500 et 900 m dans la direction L_2
300 et 500 m dans la direction L_1



DT8 – Classes de vents (norme IEC-61400-1)

La classe de vents est l'un des principaux facteurs à prendre en compte lors de la planification d'un projet éolien.

Les éoliennes sont conçues différemment selon qu'elles sont destinées à être installées dans des zones faiblement ventées ou dans des zones fortement ventées.

Les éoliennes classe I sont les plus résistantes et sont destinées aux zones de vents forts.

Les éoliennes classe IV sont les moins résistantes et sont conçues pour les zones de vents faibles.

Les classes de vents sont principalement définies par deux critères :

- la vitesse moyenne du vent sur une année ;
- la vitesse de la plus forte rafale du site dans un intervalle d'occurrence (probabilité) d'une fois tous les 50 ans.

Classe I (vents forts)

- vitesse moyenne du vent sur un an : jusqu'à $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- plus forte rafale ayant lieu une fois tous les 50 ans : jusqu'à $70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Classe II (vents moyens)

- vitesse moyenne du vent sur un an : jusqu'à $8,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- plus forte rafale ayant lieu une fois tous les 50 ans : jusqu'à $59,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

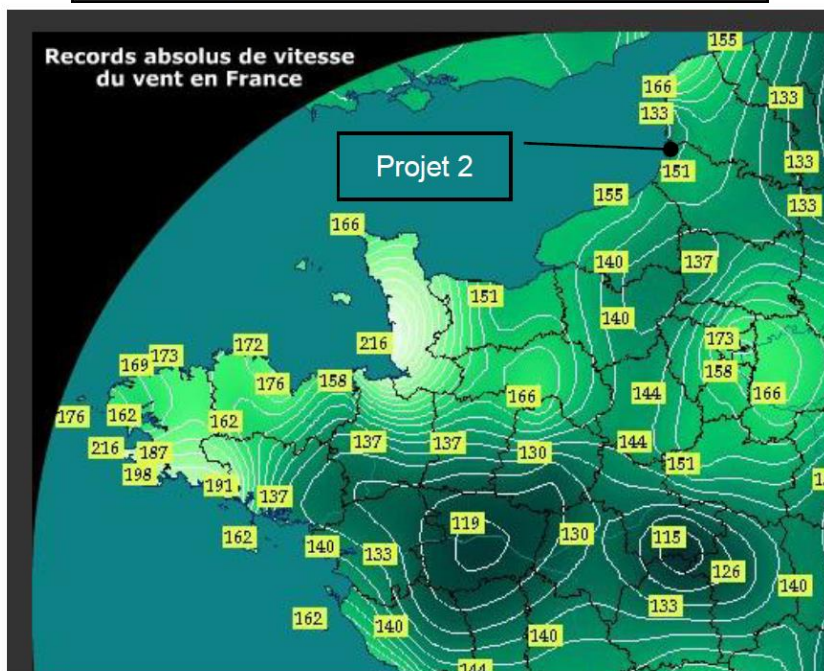
Classe III (vents faibles)

- vitesse moyenne du vent sur un an : jusqu'à $7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- plus forte rafale ayant lieu une fois tous les 50 ans : jusqu'à $52,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

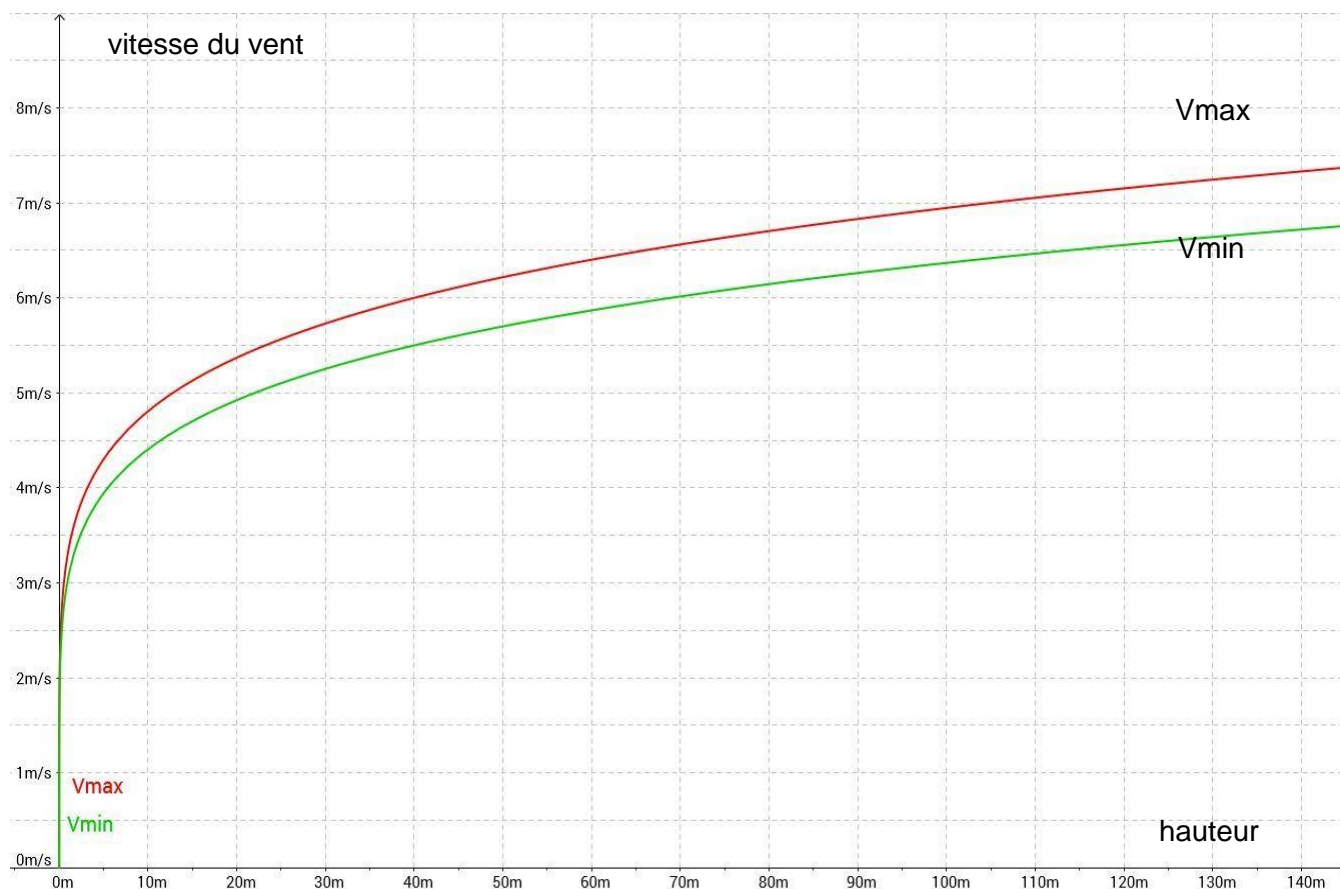
Classe IV (vents très faibles)

- vitesse moyenne du vent par an : jusqu'à $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- plus forte rafale ayant lieu une fois tous les 50 ans : jusqu'à $42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Les courbes des plus fortes rafales de vent en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
(site meteopassion.com)



DT9 - Extrapolation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur

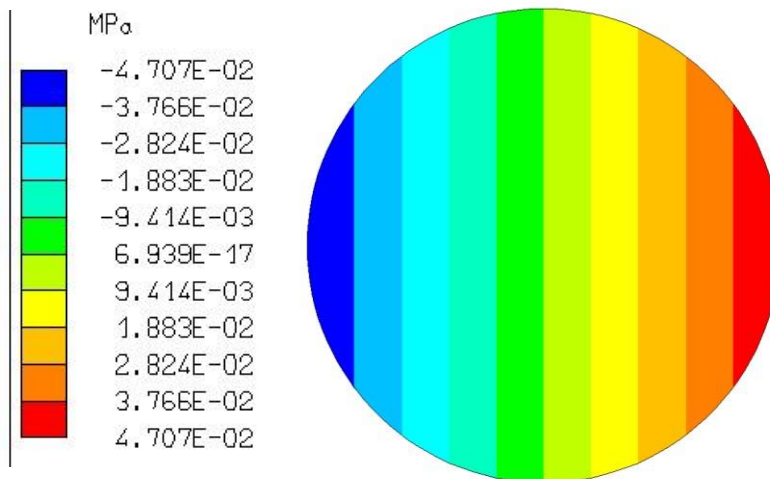


Extrapolation de la vitesse moyenne du vent à différentes hauteurs pour une vitesse de base à 40 m

DT10 – Gamme d'aérogénérateurs par classe de vent IEC

Référence	Diamètre rotor en m	Puissance nominale en MW	IEC classe III	IEC classe II
V110-2.0MW IEC IIIA	110	2	**	*
V100-2.0MW IEC IIB	100	2	N/A	**
V100-2.0MW IEC S	100	2	N/A	**
V100-1.8MW IEC IIIA	100	1,8	**	N/A
V90-2.0MW IEC IIIA	90	2	**	N/A
V90-1.8MW IEC IIA	90	1,8	**	**
Légende	N/A : Non adaptée		** : Adaptée aux conditions de vent standard	* : Adaptée selon le site

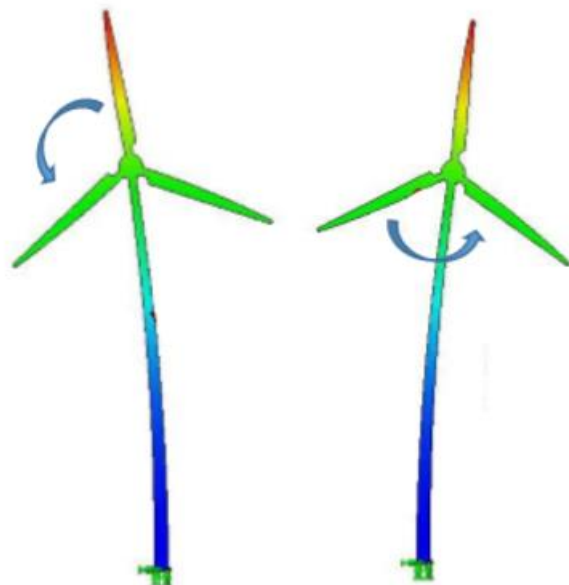
DT11 - Simulation de la répartition des pressions dues aux efforts aérodynamiques



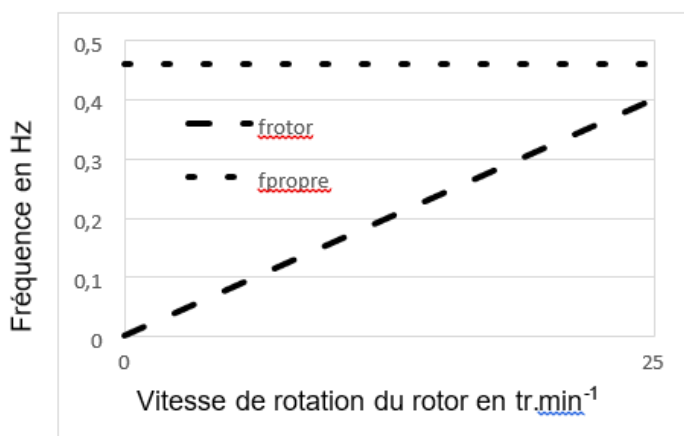
DT12 – Le phénomène de résonance

Simulation du comportement du mât lorsque celui-ci entre en résonance.

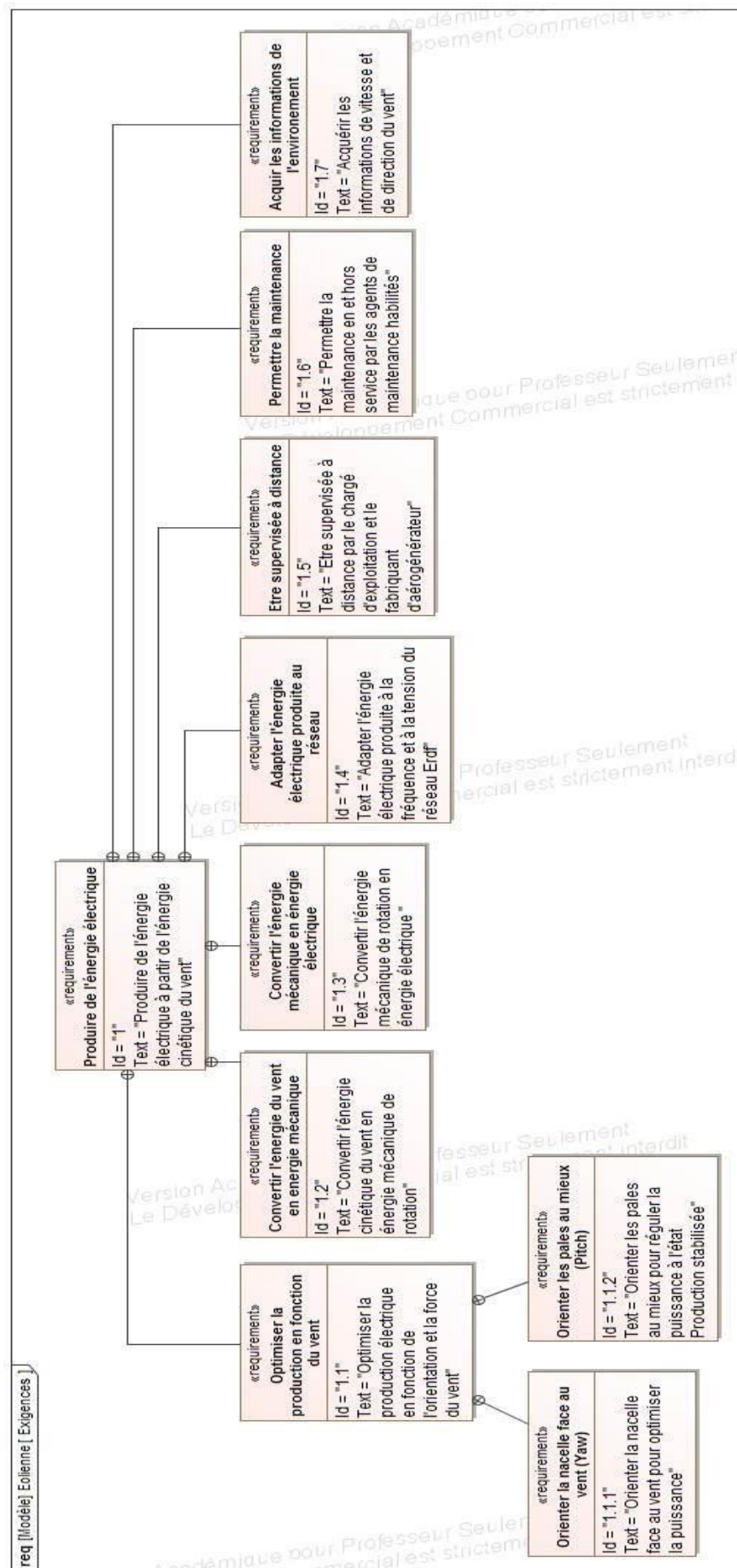
Nota : Les déplacements sont amplifiés pour être visibles

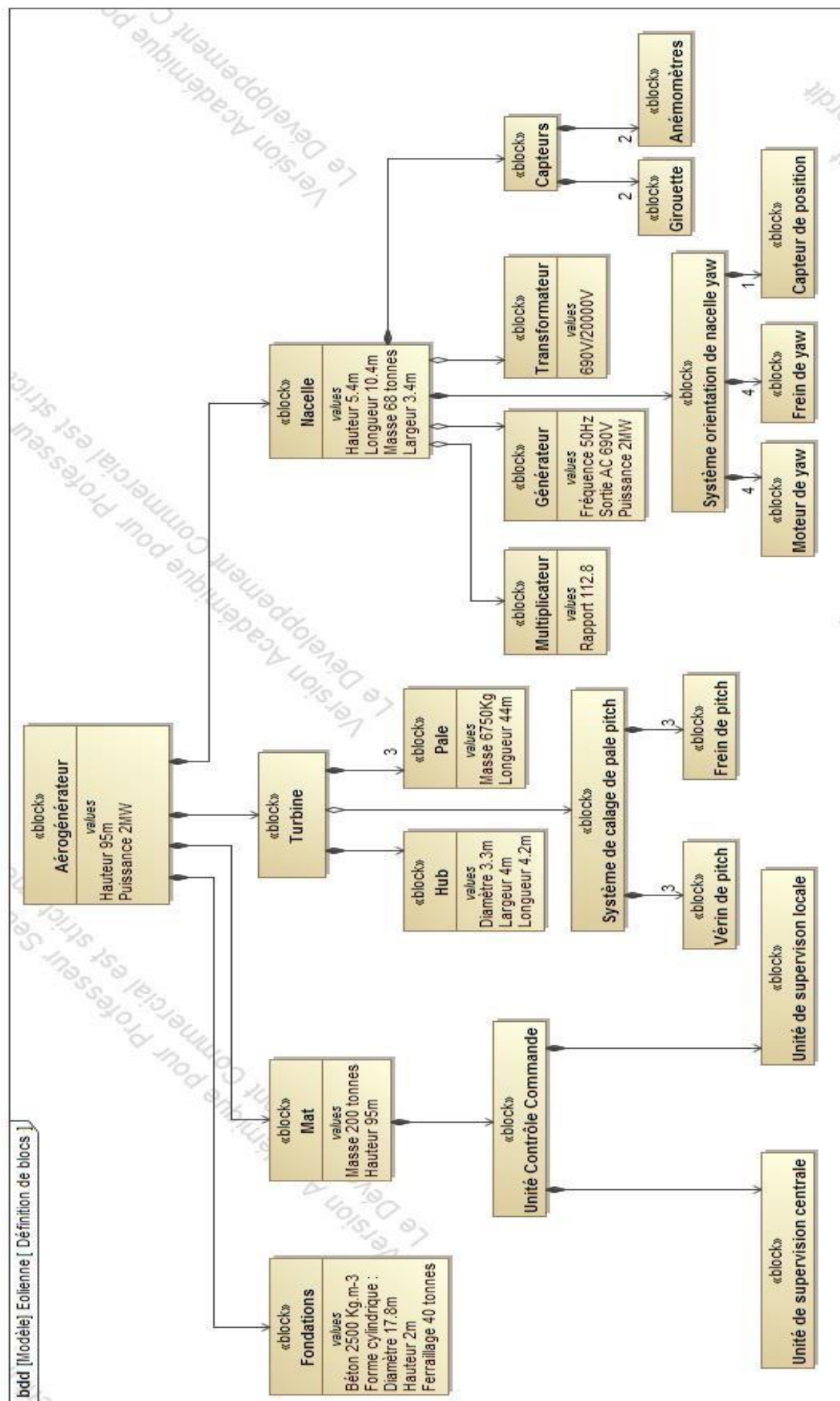


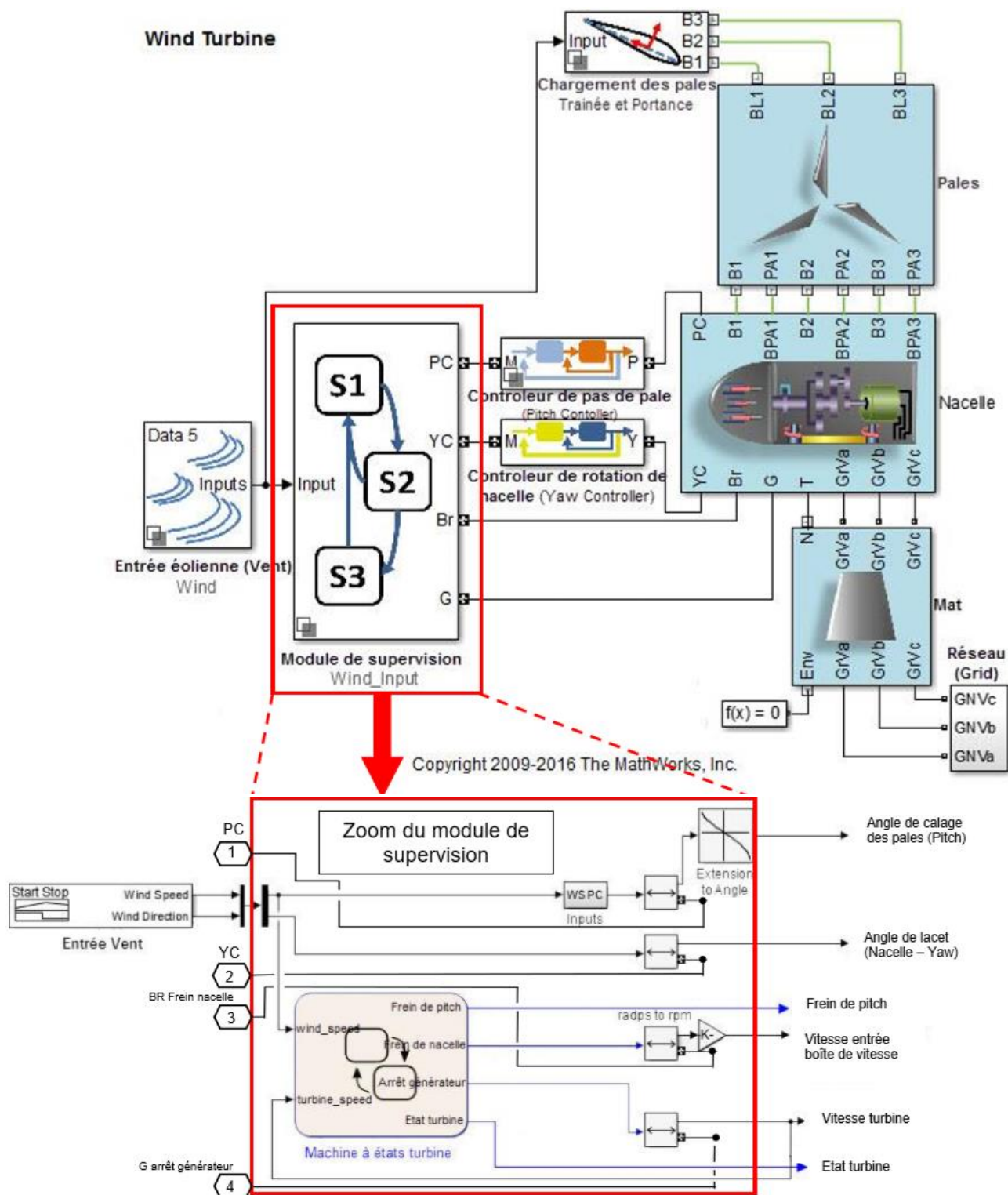
DT13 – Fréquence d'excitation de l'éolienne



Les résultats de simulation nous indiquent que la fréquence propre de la structure est de 0,46 Hz.







DT17 - Phases de fonctionnement de l'éolienne

Phase 0 : état éolienne parkée

En l'absence de vent suffisant ($V_{\text{vent}} < V_{\text{vent mini}}$) durant un temps T de 10 minutes, il est nécessaire d'arrêter complètement l'éolienne et de l'immobiliser, l'éolienne est dite parkée. Dans cette phase, les freins de nacelle et les freins de pitch seront activés et le générateur est arrêté.

Phase 1 : état production puissance variable

Lorsque les conditions de vent sont suffisantes ($V_{\text{vent}} > V_{\text{vent mini}}$), alors les freins de nacelle et les freins de pitch sont désactivés. L'éolienne va alors se mettre dans le sens du vent grâce au système de rotation de la nacelle (Yaw) et les pales vont s'incliner grâce au système de calage d'angle des pales (Pitch), de sorte à optimiser la puissance reçue. Durant cette phase, le générateur est en production à puissance variable.

Phase 2 : état production puissance nominale

La vitesse du vent est supérieure à la vitesse nominale, l'éolienne se met alors en phase de production à puissance nominale. Les freins de nacelle et de pitch sont toujours désactivés de sorte que l'éolienne s'accorde continuellement avec l'orientation et l'intensité du vent. Le générateur est en production nominale.

Phase 3 : état freinage éolienne

Lorsque les conditions de vent sont insuffisantes ou trop importantes, le frein de nacelle est laissé désactivé et l'asservissement de la nacelle fait en sorte que l'éolienne soit toujours face au vent. Les pales sont mises en position extrême (en drapeau si vent fort, à plat si pas de vent) puis le frein de pitch est activé. Le générateur est arrêté.

DT18 – Principaux éléments de la chaîne d'énergie et protection de survitesse

La fréquence de rotation du rotor est limitée par la fréquence de rotation du générateur qui dépend de la fréquence du réseau électrique.

Le générateur doit tourner à sa vitesse nominale (2 013 tr.min⁻¹) mais le système permet une vitesse maximale de 2 900 tr.min⁻¹ si cela dure moins de 2 minutes. C'est pourquoi les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. En cas de discordances des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt.

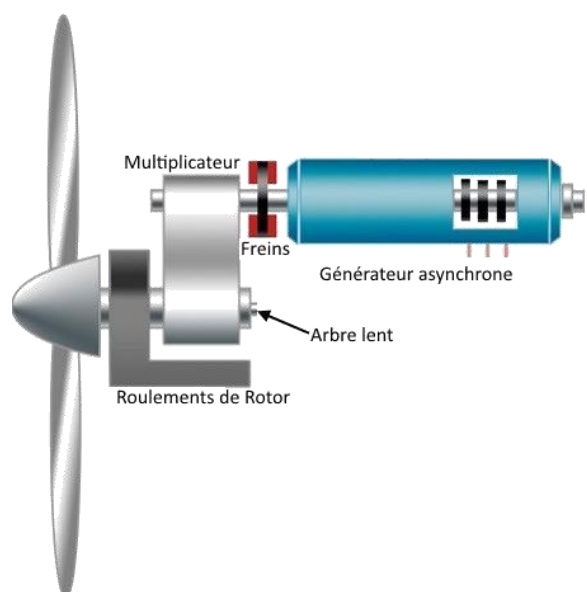
En cas de défaillance du système de contrôle, un système indépendant appelé «OG» (Overspeed Guard) permet également d'arrêter le rotor, par mise en drapeau des pales. Cette position minimise la prise au vent des pales.

Il s'agit d'un système à sécurité positive auto-surveillé.

Les dispositifs de freinage de l'aérogénérateur sont :

- frein aérodynamique : orientation des pales pour qu'elles offrent peu de prise au vent et davantage de résistance à la rotation ;
- frein hydraulique : frein à disque à commande hydraulique qui permet de maintenir à l'arrêt le rotor.

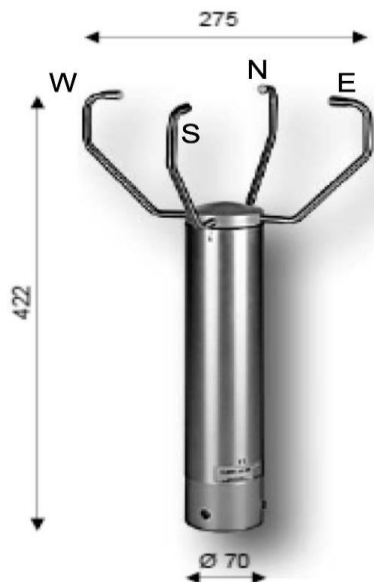
Protection survitesse		
Type de capteur Overspeed Guard	Inductif	
Niveau de déclenchement	Générateur	2 900 tr.min ⁻¹



DT19 – Anémomètre ultrasonique

L'anémomètre ultrasonique a été développé pour fournir des mesures de vitesse et direction de vent de haute qualité. Un anémomètre ultrasonique mesure la vitesse et la direction du vent en utilisant le temps de trajet d'ondes ultrasoniques dans l'air.

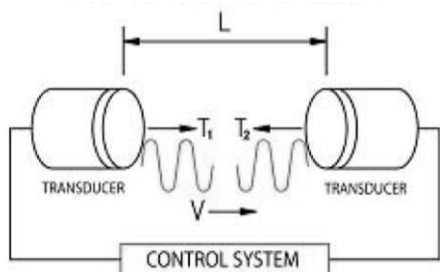
Spécifications



	Vitesse du vent	Direction du vent
Plage de mesure	0-60 m/s	0° à 360° (0° pour vent < 0.5 m/s)
Unités	m/s	degrés
Seuil de démarrage	0.01 m/s	0.5 m/s
Précision	± 0.2 m/s de 0 à 10 m/s 3 % de 10 m/s à 60 m/s	± 2°
Sensibilité (1)	0.01 m/s ou 0.1 m/s	1° ou 0.1°
Données disponibles	Vitesse instantanée Moyenne 2 minutes Moyenne 10 minutes Maximum Rafale Cumul de vent	Direction instantanée Moyenne 2 minutes Moyenne 10 minutes Maximum



La mesure s'effectue par le calcul de temps de déplacement du son mis entre les couples transducteurs (« transducer » en anglais) suivant les axes N-S et E-W. En effet, la vitesse et la direction du vent influent directement sur les temps de transmission entre l'émetteur et le récepteur.



La vitesse se calcule de la façon suivante :

$$V = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right\}$$

DT20 – Protocole CIBus

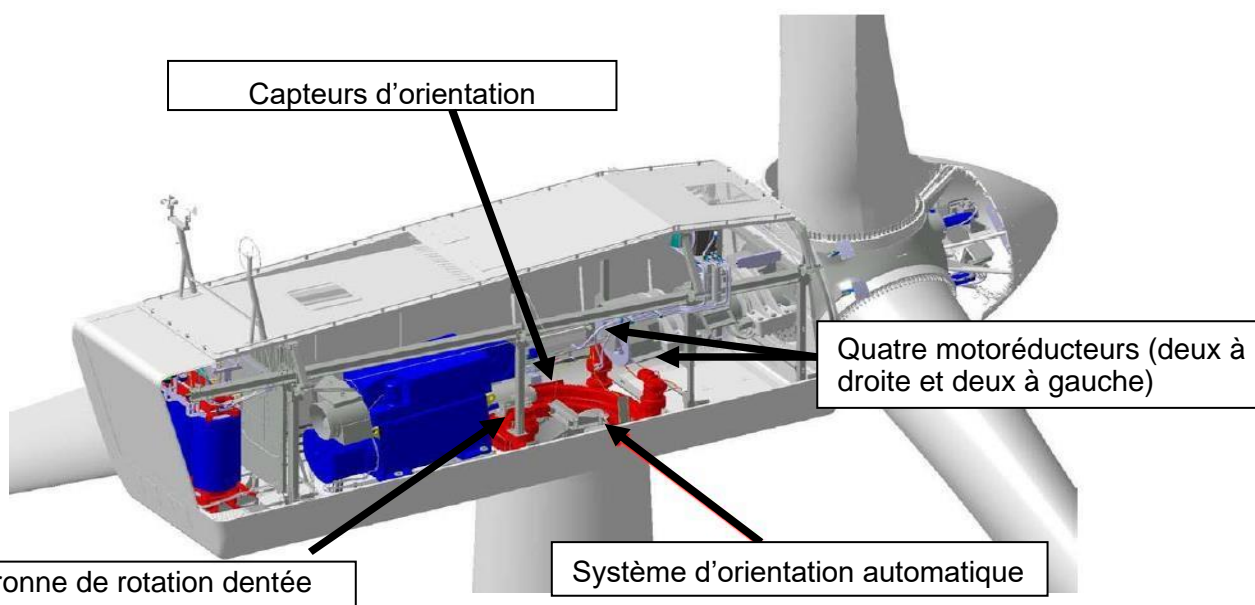
Réponse transmise par le capteur suite à une requête du centralisateur :

<SOH>Raa A<STX>Cx VSS DDFF1 DDFF2 DDFF3 ddDD ffffff DDFF4 VVVV<EOT><LRC>

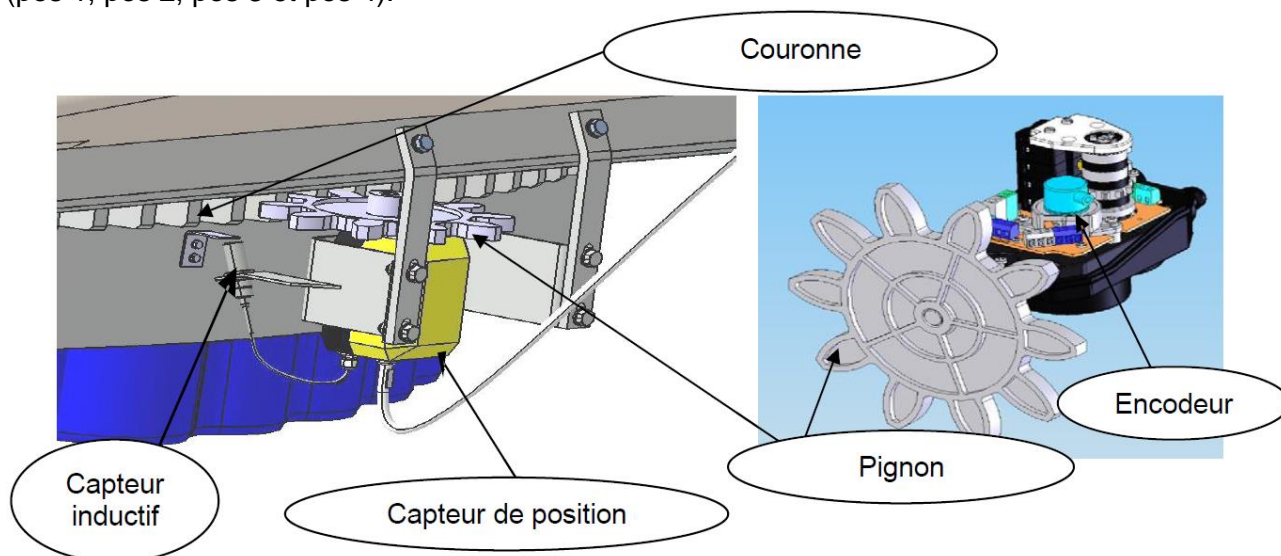
Raa Adresse physique du capteur dans le réseau CIBUS
A Identification de message de données minutes
Cx Identification logique de la mesure de vent
VSS Version du message du capteur vent / status public / status privé ; (V = 3)
DDFF1 Vent moyen 10 min
DDFF2 Vent instantané : maximum dans les 10 min précédentes
DDFF3 Vent moyen 2 min
ddDD Vent moyen 3 s : domaine de variation des directions dans les 10 min précédentes
fffff Vent moyen 3 s : domaine de variation des vitesses dans les 10 min précédentes
DDFF4 Vent instantané : maximum dans la minute précédente ;
VVVV Vent passé dans la minute précédente.

« DD » représente la direction du vent en dizaine de degrés

« FFi » représente la force du vent en dixième de m.s⁻¹



La couronne engrène sur le pignon qui entraîne l'encodeur en rotation.
En fonction des valeurs actuelles et des anciennes valeurs des signaux A et B, la supervision locale est capable de distinguer le sens du mouvement en fonction de positions successives (pos 1, pos 2, pos 3 et pos 4).



Technologie du disque optique de l'encodeur

Pour mesurer la position de la nacelle, la supervision locale utilise les pulsations (impulsions) d'un encodeur incrémental, intégré au capteur de rotation, qui envoie deux signaux : encodeur A et encodeur B. Les deux signaux sont déphasés. Le déphasage de 90° électrique des signaux A et B permet de déterminer le sens de rotation.

