

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

## Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

### ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé

Les calculatrices électroniques de poche sont autorisées conformément à la réglementation en vigueur.



**Projet de parc éolien WindPicardie**

## Partie 1 : Implantation d'un parc éolien

---

### Enjeux environnementaux et énergétiques

- Question 1.1 | Obligations législatives : Grenelle de l'environnement ;  
Obligation environnementale : moins de pollution, meilleure qualité de l'air, lutter contre l'effet de serre ;  
Gisement d'emplois ;  
Utilise les ressources nationales, concourt donc à l'indépendance énergétique et à la sécurité des approvisionnements ;  
Démantèlement des installations et la gestion des déchets générés pourront se faire sans difficultés majeures et les sites d'implantation pourront être réutilisés pour d'autres usages.

### Gisements éoliens

- Question 1.2 | Implantation dans les zones les plus ventées : le littoral du nord-ouest de la France mais aussi les cotes de la Méditerranée (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).  
**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.

### Étude de la localisation d'un projet de parc éolien

- Question 1.3 | Voir DR1

### Étude de l'implantation des éoliennes dans le parc

- Question 1.4 | Le comportement du sillage d'une éolienne est une question très importante qu'il faut prendre en compte lors de la construction d'un parc éolien. En général, dans le sillage d'une éolienne, la vitesse du vent diminue et le niveau de turbulence augmente. Dans ces conditions, si une éolienne se trouve dans le sillage d'une autre, elle recevra un vent qui a déjà cédé une bonne partie de son énergie et sa production d'énergie sera affectée.

Voir DR2

- Question 1.5 |  $L_{tot} = 8 L1 + 2 L2$   
Coût mini =  $100\ 000 \times (8 \times 0,3 + 2 \times 0,5) = 340\ 000\text{€}$   
Coût maxi =  $100\ 000 \times (8 \times 0,5 + 2 \times 0,9) = 580\ 000\text{€}$

### Conclusions sur l'implantation des éoliennes dans le parc

- Question 1.6 | En fonction de l'implantation possible du parc éolien par rapport aux vents dominants, on pourra envisager de réduire les distances, le DT4 montre une baisse importante de la vitesse du vent et donc d'énergie non négligeable lorsque plusieurs éoliennes sont alignées et proches. On peut donc envisager de les rapprocher et économiser sur le coût du câble mais il faut respecter une distance minimum afin d'avoir une production électrique optimale.

## Partie 2 : L'aérogénérateur et son implantation

### Choix du modèle d'aérogénérateur en fonction de la vitesse moyenne ( $V_{\text{moy}}$ ) des vents

Détermination de  $V_{\text{moy}}$  à  $h = 40$  et  $95$  m dans le secteur du parc :

Question 2.1 | Voir DR3

Détermination du modèle d'aérogénérateur :

Question 2.2 | **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  $52,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
car on relève  $42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Référence: Classe III et 2 MW:  
**V110-2.0MW IEC IIIA et V90-2.0MW IEC IIIA**

### Vérification de la stabilité de la structure

Étude de la stabilité de l'éolienne au regard de l'effet de poinçonnage

Question 2.3 |  $M_{\{\text{nacelle, mât, pales}\}} = 68 + 200 + (3 \times 6.75) = 288,25$  Tonnes  
 $M_{\text{socle}} = 2500 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h = 2500 \cdot \pi \cdot (17,8/2)^2 \cdot 2 = 1245$  Tonnes  
 $M_{\text{acier}} = 40$  Tonnes  
 $M_{\text{Totale}} = M_{\text{socle}} + M_{\text{acier}} = 1245 + 40 = 1285$  tonnes  
 $M_{\text{Ens}} = M_{\{\text{nacelle, mât, pales}\}} + M_{\text{socle}} + M_{\text{acier}} = 1285 + 288,25 = 1573,25$  tonnes

Question 2.4 |  $F_{\text{vert}} = M_{\text{ens}} \times g = (288\,250 + 1245\,000 + 40\,000) \times 10 = 15732500$  N

Question 2.5 | Compression  
 $P = F/S = 15782500 / (\pi \cdot (17,8/2)^2)$  donc  **$p1 = 63434 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$**   
Voir DR4

Étude de la stabilité de l'éolienne au regard de l'effet de déversement

Question 2.6 |  **$p2 = 47000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$**   
Voir DR4

Conclusion sur la stabilité de la structure

Question 2.7 |  $p_{\text{Max}} = p1 + p2 = 63434 + 47000 = 110434 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$

Conclusion sur la vérification de la fondation.

Question 2.8 |  $s = R / p_{\text{Max}} = 200000 / 110434 = 1.81$   
Le coefficient est de 1.81, il est donc supérieur au minimum imposé par la société (1.5), la solution est donc conforme.

Prise en compte du phénomène de résonance

- Question 2.9 | On constate que le mât de l'éolienne va se mettre à osciller et cela peut aller jusqu'à la destruction du système (ex : pont de tacoma)
- Question 2.10 |  $f_{\text{rotor}} = 25/60 = 0,41 \text{ Hz}$
- Question 2.11 | Sur la plage de fonctionnement de 0 à 25 tr/min, la fréquence propre et la fréquence d'excitation ne se croisent pas. Il n'y a donc pas de risque que l'éolienne entre en résonance.

### Optimisation de la production d'un aérogénérateur

- Question 2.12 | Exigence : Orienter la nacelle face au vent (Yaw) ;  
Exigence : Orienter les pales au mieux (pitch)  
Variables d'entrée :  
Wind speed (vitesse vent) ;  
Wind direction (direction vent)  
Variables de sortie :  
  - Angle de calage de pale (pitch) ;
  - Angle de lacet ;
  - Frein de pitch ;
  - Vitesse entrée boîte de vitesse ;
  - Vitesse turbine ;
  - Etat turbine.

### Limitation de la vitesse de rotation du rotor

- Question 2.13 | Voir DR5

- Question 2.14 | Pour le multiplicateur :

$$R = \frac{N_{\text{sortie}}}{N_{\text{entrée}}} ; N_{\text{sortie}} = N_{\text{générateur}} ; N_{\text{entrée}} = N_{\text{rotor}} \text{ donc}$$

$$N_{\text{MaxRotor}} = \frac{N_{\text{Générateur}}}{R} = \frac{2900}{112.8} = 25.7 \text{tr. min}^{-1}$$

$$N_{\text{Rotor}} = \frac{N_{\text{Générateur}}}{R} = \frac{2013}{112.8} = 17.8 \text{tr. min}^{-1}$$

$N_{\text{Rotor}} = 17.8 \text{ tr/min}$  donc il faudra faire en sorte de freiner le rotor de l'éolienne grâce au système « OG » qui permet de détecter la survitesse. Le dispositif de freinage aérodynamique permet la mise en drapeau des pales et donc de ne pas dépasser la vitesse de 25,7 tr/min.

### Domaine de fonctionnement

- Question 2.15 | Voir DR6

- Question 2.16 | Voir DR5

- Question 2.17 | Voir DR7  
Surface balayée par l'éolienne :

$$R = 45 \text{ m donc } S = \pi.R^2 = 3.14 \times 45^2 = 6362 \text{ m}^2$$

Début production stabilisée :

$$V_{\text{vent}} = 13 \text{ m/s et } C_p = 0.23 \text{ donc}$$

$$P_{\text{éolienne}} = \frac{1}{2} \times \rho S V_{\text{vent}}^3 C_p = 0.5 \times 1.225 \times 6362 \times 13^3 \times 0.23 = 1.968 \text{ MW}$$

Les puissances sont sensiblement équivalentes.

Donc sur toute la plage de vent (13 à 25 m/s), la puissance produite est toujours la puissance nominale de l'éolienne soit 2MW.

L'aérogénérateur régule la puissance en faisant varier l'angle de calage des pales (Pitch)

### Conclusion sur le domaine de fonctionnement de l'éolienne.

Question 2.18 | Cette affirmation n'est vraie que pour des vitesses comprises entre  $V_{\text{vent mini}}$  et  $V_{\text{nom}}$  sinon ce n'est pas vrai car comme nous l'avons vu précédemment passé une certaine vitesse de vent ( $V_{\text{nom}}$ ), l'aérogénérateur régule sa vitesse de rotation afin de produire sa puissance maximale. Puis lorsque le vent est trop fort ( $V_{\text{vent}} > V_{\text{vent maxi}}$ ) alors l'éolienne s'arrête.

### Étude de la supervision

#### Mesures et transmission des informations relatives au vent

Question 2.19 | Voir DR8

Question 2.20 |  $V = (11,95^2 + 6,9^2)^{1/2} = 13,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
Tan  $\Theta = 11,95/6,9$  donc  $\Theta = 60^\circ$  par rapport au Nord

Question 2.21 | Voir DR9  
DD : 06 donc  $60^\circ$   
FF2 : 138 donc 13,8 m/s

#### Étude de la signalisation d'un défaut de positionnement de la nacelle

Question 2.22 | Voir DR10  
La position 3 pose problème.  
Solution : Changer le capteur

### Conclusion sur la supervision

Question 2.23 | Plusieurs systèmes sont mis en place au niveau de la supervision afin d'assurer une production optimale d'énergie.

## Documents réponses DR1 à DR10

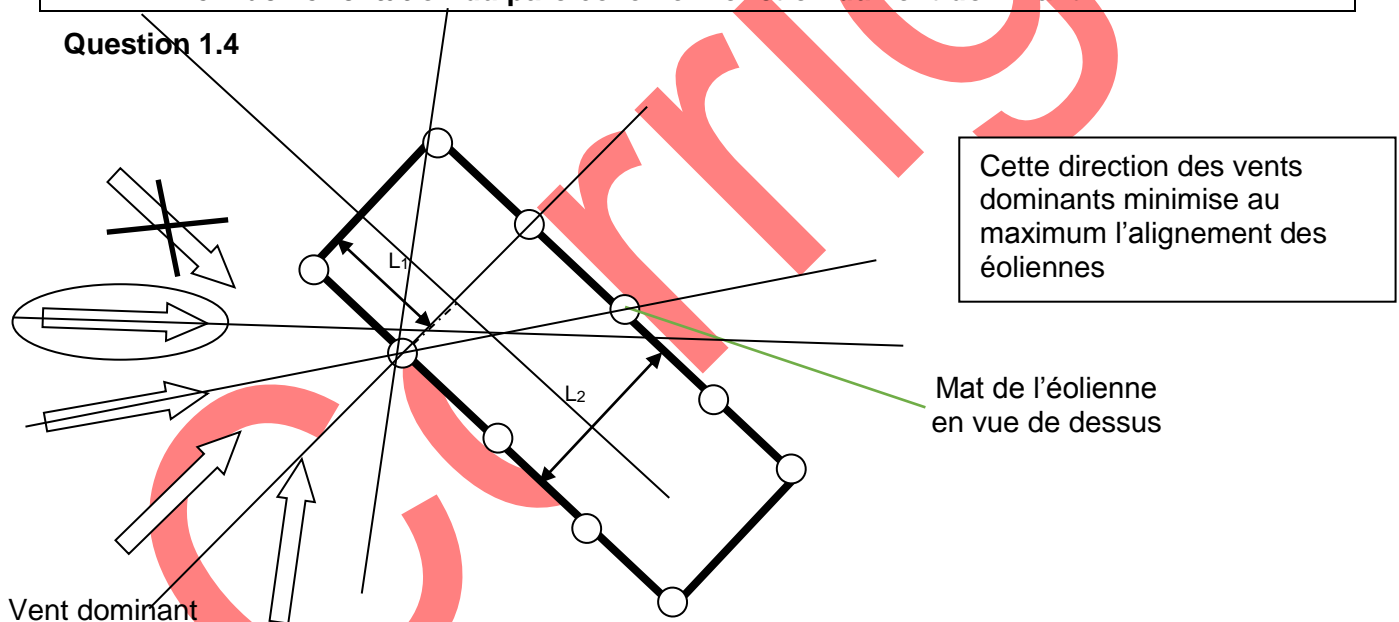
### DR1 – Contraintes des projets de parcs éoliens

#### Question 1.3

Contraintes		Projet 1	Projet 2	Projet 3
Réserves naturelles nationales				
Paysages petite échelle		x		
Réserves naturelles régionales				
Sites classés				x
Radars militaires protection		x		
Radars météo protection				
Raccordement réseau de transport électrique (Enedis)				
Raccordement réseau de transport électrique (Enedis)	Zone 1	x		
	Zone 2		x	x
Choix et justification :				
Projet 2 si raccordement au réseau de distribution électrique Enedis				

### DR2 – Choix de l'orientation du parc éolien en fonction du vent dominant

#### Question 1.4



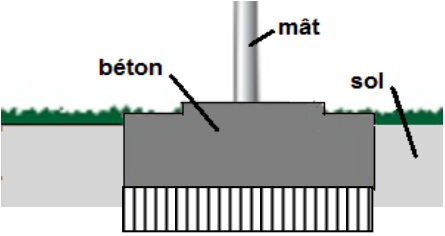
### DR3 – Vitesses des vents selon la hauteur

#### Question 2.1

	Projets à 40m	Extrapolation à 95m
Plage de vitesse des vents ( $m \cdot s^{-1}$ )	5,5 à 6	6,3 environ à 6,9

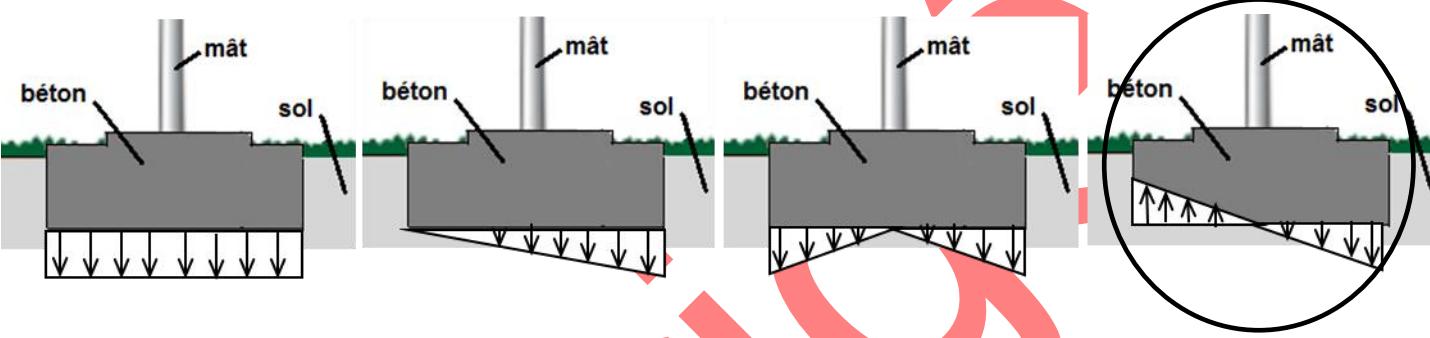
**DR4 – Profil de la répartition des différentes contraintes sur le sol.**

Question 2.5



Profil de contrainte dû au poids de l'ensemble

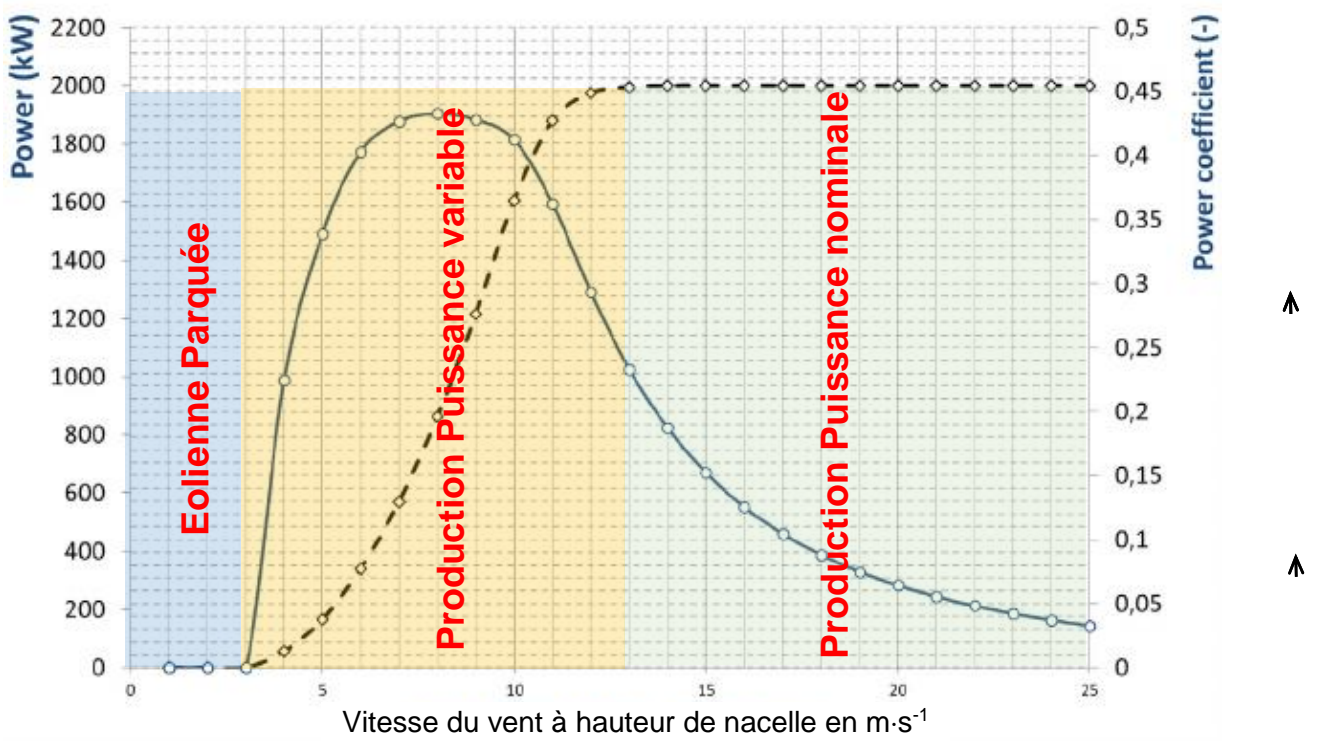
Question 2.6 : Profil de contrainte dû aux forces Frotor et Fmat



**DR5 – Courbes de puissance (P) et de coefficient de puissance (Cp) de l'éolienne**

Question 2.13 et 2.16

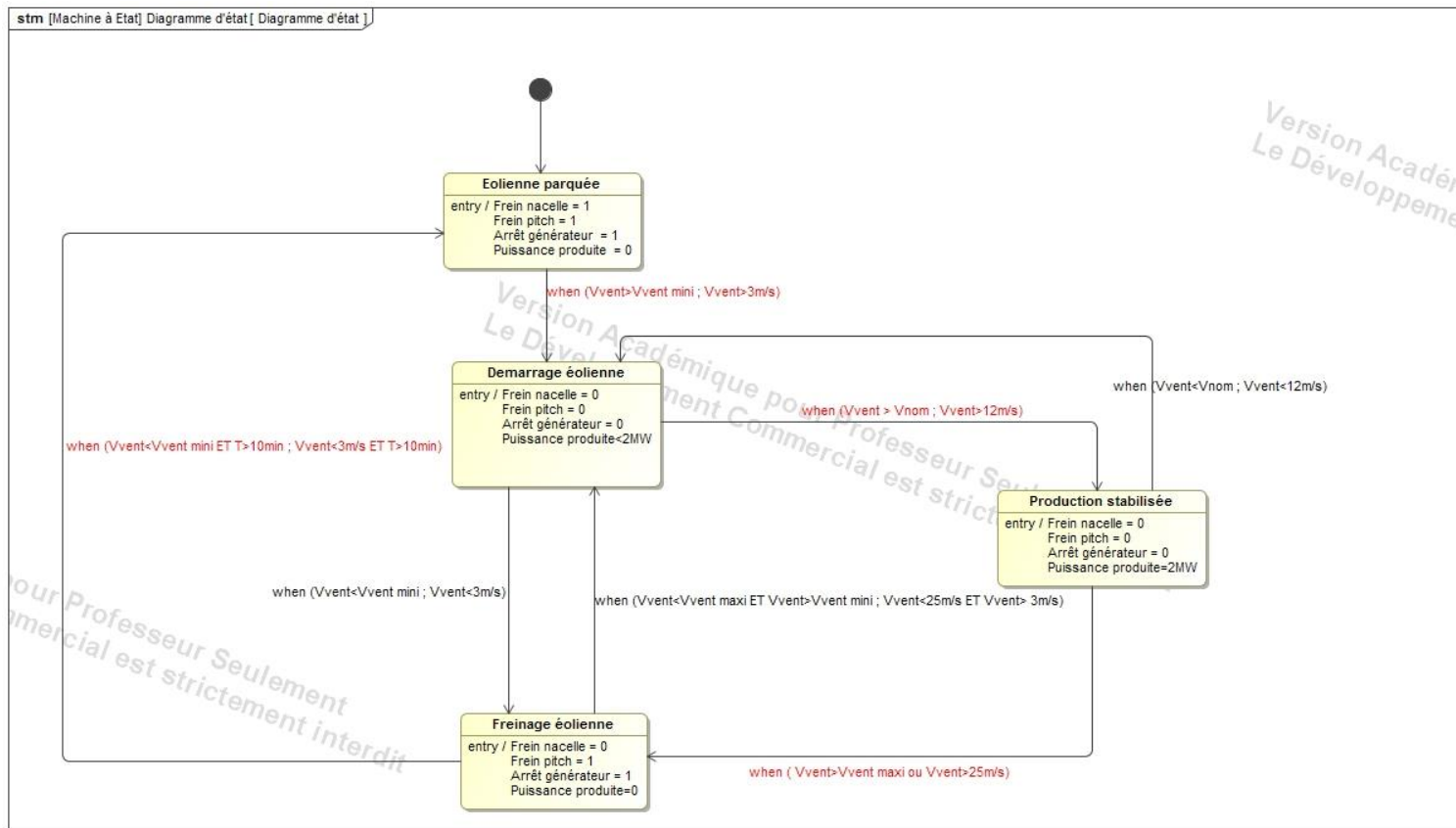
Power Curve



	$V_{vent\ mini}$	$V_{vent\ maxi}$	$V_{nom}$
Vitesse du vent en $m \cdot s^{-1}$	3	25	12 ou 13

## DR6 – Diagramme d'état de l'éolienne

### Question 2.15



## DR7 – Détermination de la puissance générée par l'aérogénérateur

### Question 2.17

$V_{vent}$ en $m.s^{-1}$	$\rho$ en $kg.m^{-3}$	$S$ en $m^2$	$C_p$	$P_{éolienne} = \frac{1}{2} \times \rho S V_{vent}^3 C_p$ en MW
$V_{vent}$ début plage : 13	1,225	6362	0,23	1,968
$V_{vent}$ fin plage : 25	1,225	6362	0,03	2

## DR8 – Vitesse et direction du vent

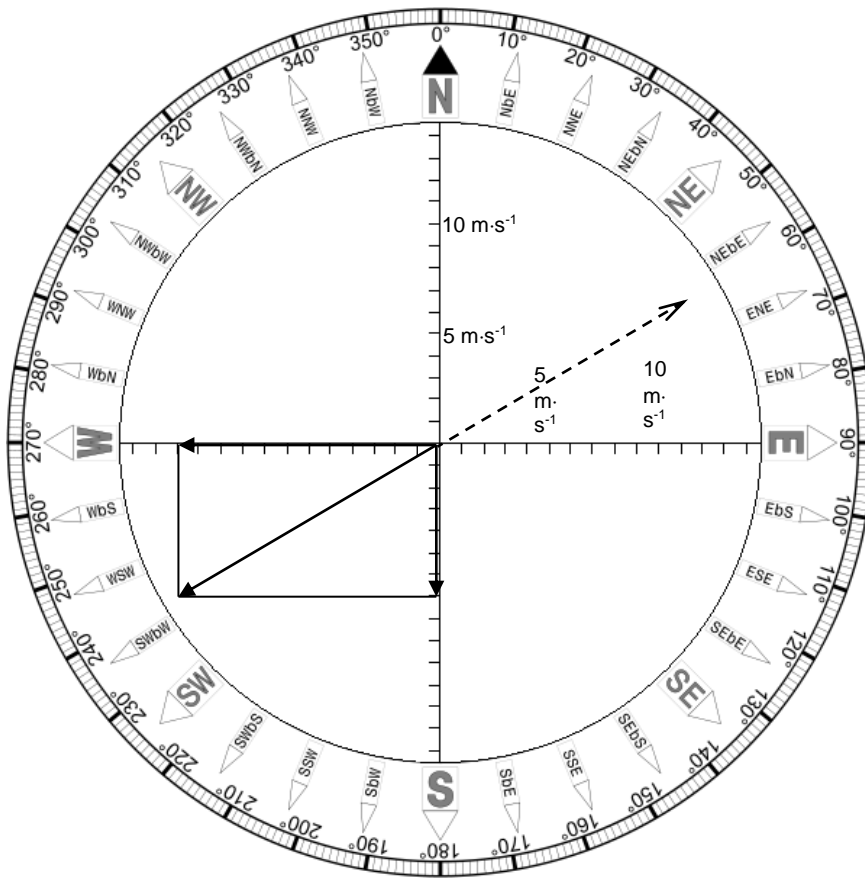
### Question 2.19

Vitesse du vent :

Mesure	T1 (en $\mu s$ )	T2 (en $\mu s$ )	Vitesse mesurée ( $m.s^{-1}$ )
Axe N-S (Positif du Nord vers le Sud)	576,53	600,42	$V_{NS} = 6,9$
Axe E-W (Positif de l'Est vers l'Ouest)	568,26	609,66	$V_{EW} = 11,95$



Rose des vents et vitesse résultante :



**DR9 – Trame de communication sous protocole CIBus**

**Question 2.21**

<SOH>	104	A	<STX>	C13	♥	05152	07167	06138	0408	142162	06168	0878	<EOT>	6
-------	-----	---	-------	-----	---	-------	-------	-------	------	--------	-------	------	-------	---

**DR10 – Table de vérité du capteur de position en sens anti-horaire**

**Question 2.22**

