

ANALYSE ECONOMIQUE DU PARC EOLIEN

Produits d'exploitation	
Energie fournie (MWh)	10 000
Tarif d'achat (€/MWh)	82
Chiffre d'affaires annuel des ventes d'énergie (k€)	820

Charges d'exploitation	
Coût annuel d'exploitation	120
Excédent brut d'exploitation (k€)	700

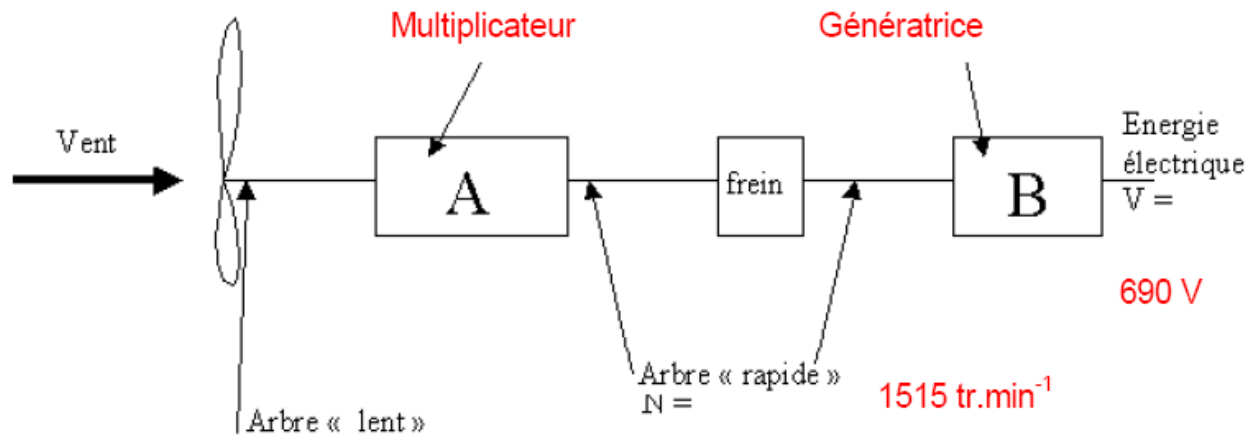
Coût de l'investissement (k€)	Temps de retour sur investissement	Conclusion
4260	$4260/700 = 6 \text{ ans}$	Le projet est rentable puisque le temps de retour sur investissement (6 ans) est inférieur à la durée de vie du matériel (20 ans)

Compte de résultat	Valeur (en k€)	Justification
Chiffre d'affaires	820	
Excédent brut d'exploitation	700	
Dotations aux amortissements	-213	$4260 / 20 = 213$
Résultat d'exploitation	487	$700 - 213 = 487$
Résultat financier	-35	$480 * 0,068$
Résultat exceptionnel	0	
Impôts sur les sociétés	-149	$(487 - 34) * 0,33 = 149$
Résultat net	303	$487 - 35 - 149 = 303$

Rentabilité économique	Calcul	Conclusion
7,1%	$303 / 4260 = 0,071$	La rentabilité de cet investissement est bonne. Mais cette rentabilité correcte n'a pu être obtenue qu'au prix d'une survalorisation du coût d'achat de l'énergie éolienne par E.D.F. qui, perd de l'argent sur chaque kWh acheté. La question est posée de la durabilité de telles mesures.

DIMENSIONNEMENT DE L'EOLIENNE

Analyse de la documentation technique



Caractéristiques de la production électrique :

Vitesse minimale du vent : 15 km/h

Vitesse maximale du vent : 90 Km/h

Puissance mécanique d'entrée :

$$P = 660 / 0,9 * 0,96$$

$$P = 753,5 \text{ Kw}$$

Dimensionnement du disque éolien

Surface du disque éolien :

$$C_p = 0,26$$

$$S = 2 P / (C_p * \rho * v^3)$$

$$S = 2 * 753 500 / (0,26 * 1,225 * 13,89^3)$$

$$S = 1766 \text{ m}^2$$

Diamètre du disque éolien :

$$S = \pi D^2 / 4$$

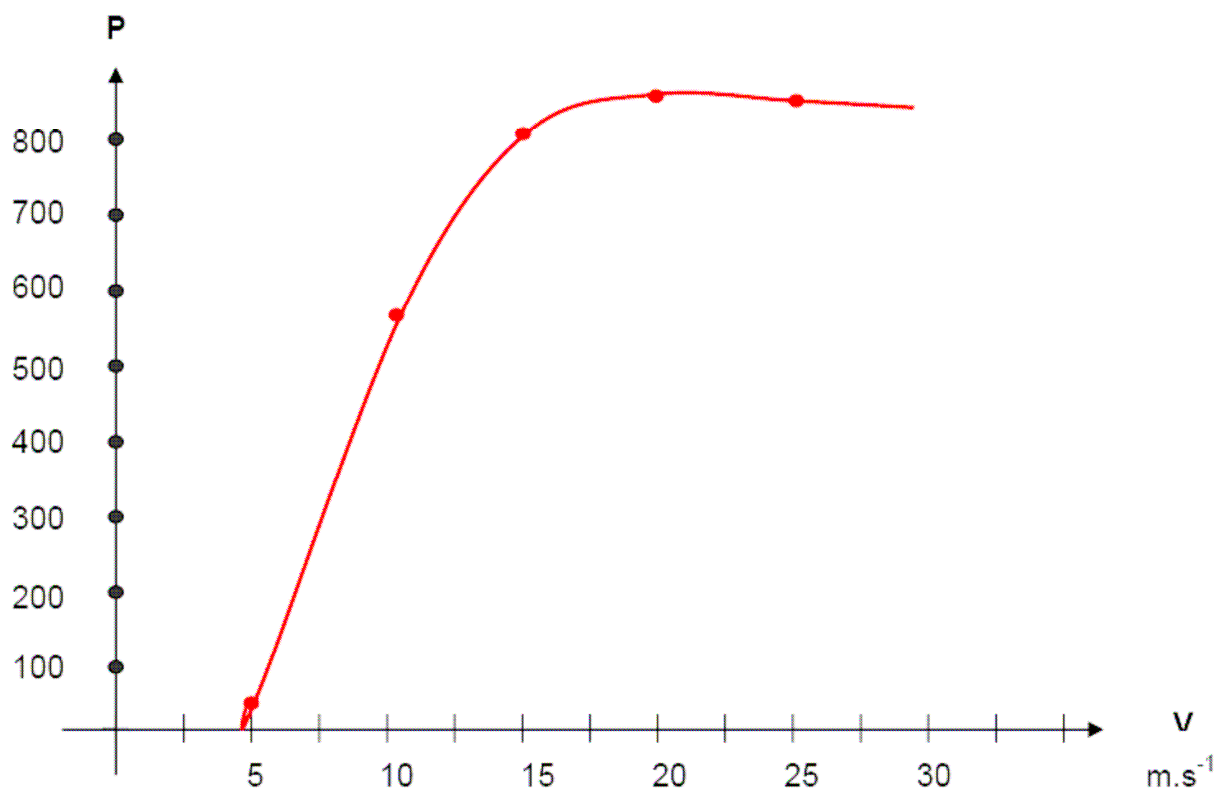
$$D = 47,42 \text{ m}$$

Caractéristiques de puissance

Calcul de la puissance mécanique :

Vent 5 m.s ⁻¹	P1 : 47 kW
Vent 10 m.s ⁻¹	P2 : 540 kW
Vent 15 m.s ⁻¹	P3 : 803 kW
Vent 20 m.s ⁻¹	P4 : 865 kW
Vent 25 m.s ⁻¹	P5 : 845 kW

Graphe de $P = f(V)$:



Commentaires :

A partir de 50 Km / h ($\approx 14 \text{ m.s}^{-1}$), la puissance délivrée par l'aérogénérateur reste quasiment constante quelle que soit la vitesse du vent.

COMPENSATION D'ENERGIE REACTIVE

C.1. A partir des caractéristiques techniques de la génératrice (voir présentation) :

CALCULER la puissance active (P_a) débitée par la génératrice.

$$P_a = 660\text{kW}$$

CALCULER les valeurs du rapport $\text{tg}\varphi = Q_a/P_a$ et de la puissance réactive absorbée par la génératrice (Q_a).

$$\cos\varphi = 0,88 \rightarrow \text{tg}\varphi = 0,54$$

$$Q_a = P_a \times \text{tg}\varphi = 356\text{kVAR}$$

C.2. Dans le respect de la réglementation en vigueur, on désire obtenir un rapport Q_a/P_a égal à 0,4. **DETERMINER** la puissance réactive Q_c qu'on doit fournir à la machine pour remplir cette condition.

$$\text{Energie réactive absorbée tolérée} : 660\text{kW} \times 0,4 = 264\text{kVAR}$$

$$\text{Energie réactive à fournir à la machine} : 356\text{kVAR} - 264\text{kVAR} = 92\text{kVAR}$$

C.3. Le constructeur équipe ses génératrices d'une batterie de condensateurs de 250 kVAR (voir DT D3). **DETERMINER** le rapport Q_a/P_a de l'ensemble génératrice / batterie de condensateurs ainsi constitué. **CONCLURE** sur le respect de la réglementation.

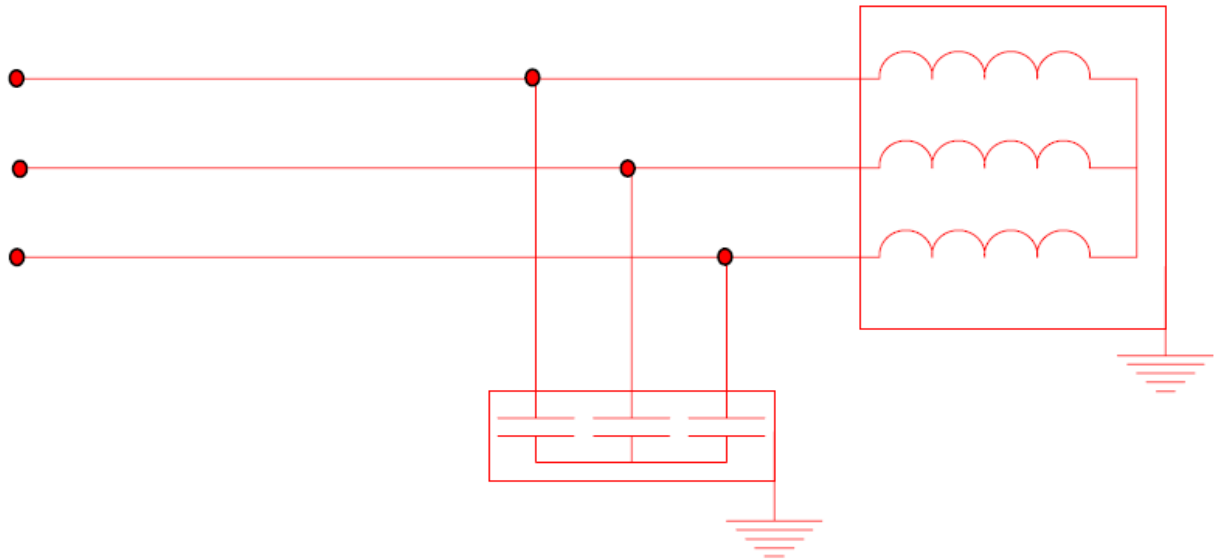
Energie réactive absorbée par l'ensemble génératrice/batterie de condensateurs :

$$356\text{kVAR} - 250\text{kVAR} = 106\text{ kVAR}$$

D'où $Q_a/P_a = 106 / 660 = 0,16 < 0,4$: la réglementation est respectée.

C.4. On insère en parallèle avec la génératrice, la charge capacitive triphasée de 250 kVAR prévue par le constructeur. La charge, supposée parfaite, est câblée en étoile.

DESSINER le schéma de principe multifilaire de l'ensemble ainsi câblé.



CALCULER l'intensité du courant IRES débité par l'ensemble machine asynchrone / charge capacitive.

Pour l'ensemble machine asynchrone / charge capacitive, la puissance apparente est : $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{660^2 + 106^2} = 668\text{kVA}$

$$S = \sqrt{3} * U * I_{res} \rightarrow I_{res} = 668\text{kVA} / (\sqrt{3} * 690\text{V}) = 559\text{A}$$

JUSTIFIER le couplage retenu par le constructeur d'un point de vue technologique.

Couplage étoile : Tension aux bornes des condensateurs plus faible (mais capacité plus grande qu'en triangle d'où augmentation du volume de la batterie).

INCIDENCE DE LA COMPENSATION D'ENERGIE SUR LE CHOIX DES CABLES.

C.5. La liaison entre l'ensemble génératrice asynchrone / batterie de condensateur et le transformateur élévateur est réalisée par un câble aluminium multipolaire à isolant élastomère synthétique de longueur 50 m. À partir du tableau définissant l'intensité admissible en régime permanent dans les liaisons basse tension (documents techniques DTD1).

CHOISIR et **COMPARER** la section à utiliser pour cette liaison suivant que la génératrice est équipée ou non de la batterie de condensateurs.

Si la génératrice n'est pas équipée de condensateurs, la puissance apparente est : $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{660^2 + 356^2} = 750\text{kVA}$

$$S = \sqrt{3} * U * I_{res} \rightarrow I_{res} = 750\text{kVA} / (\sqrt{3} * 690\text{V}) = 627\text{A}$$

La section de câble est de 500mm^2

Si la génératrice est équipée de condensateurs, $I_{res} = 559A$.

La section de câble est de $400mm^2$

ETUDE D'EQUIPEMENT.

C.6. La compensation d'énergie est réalisée par 4 « gradins de condensateurs », insérés dans le circuit en fonction la puissance délivrée au réseau par la génératrice (voir schéma électrique de l'éolienne DT D2).

C'est un dispositif de contrôle permanent du facteur de puissance qui pilote l'insertion des gradins. Il vise à maintenir un facteur de puissance proche de 0,98.

COMPLETER le tableau récapitulatif de la puissance réactive à fournir à la génératrice pour respecter les conditions ci-dessus. (On considèrera que le facteur de puissance de la génératrice asynchrone est constant sur la plage de vitesse considérée).

Puissance réactive absorbée :

$$\text{tg}\phi \times \text{Puissance utile délivrée}$$

Puissance réactive tolérée :

$$\text{tg}(\text{acos}0,98) \times \text{Puissance utile délivrée} \\ = 0,2 \times \text{Puissance utile délivrée}$$

Puissance réactive à compenser :

$$(\text{tg}\phi - 0,2) \times \text{Puissance utile délivrée}$$

Puissance utile délivrée (kW)	Puissance réactive nécessaire (kVAR)
100	33
200	67
300	101
400	135
500	168
600	202
660	250

A partir des caractéristiques des différents gradins disponibles (voir DT D4), **DETERMINER** la constitution des quatre gradins qui permettront de réaliser au mieux la compensation d'énergie souhaitée.

1 gradin de 120 kVAR

1 gradin de 60 kVAR

1 gradin de 40 kVAR

1 gradin de 30 kVAR

C.7. La mise sous tension des gradins de condensateur est réalisée par des contacteurs. Des inductances de chocs, dimensionnées de telle sorte que les courants d'appel soient limités sont insérées en série avec chaque bloc de condensateurs.

À partir des choix effectués précédemment, **INDIQUER** la référence des contacteurs permettant la mise sous tension des gradins à une température ambiante de $30^{\circ}C$ (voir DT D5).

$\theta < 40^{\circ}C$, $U=690V$

gradin de 30kVAR → contacteur LC1D32

gradin de 40kVAR → contacteur LC1D50

gradin de 60kVAR → contacteur LC1D80

gradin de 120kVAR → contacteur LC1D115

Schéma de câblage

