

L'énergie

Détermination de l'autonomie énergétique d'un système

Travaux Dirigés 01 : *Phare de l'île Noire*

Identifier les solutions technologiques associées à la fonction ALIMENTER

Vérifier le dimensionnement de la batterie

Un panneau solaire peut-il recharger seul la batterie ?

Valider le choix d'un aérogénérateur pour recharger la batterie ?



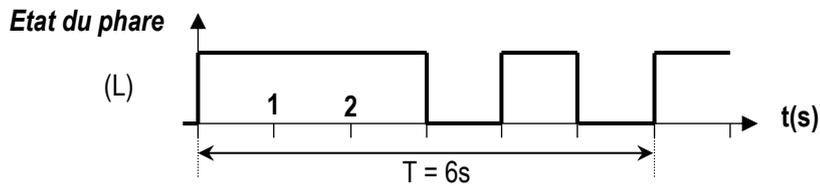
Filière **S**

Sciences
de
l'Ingénieur

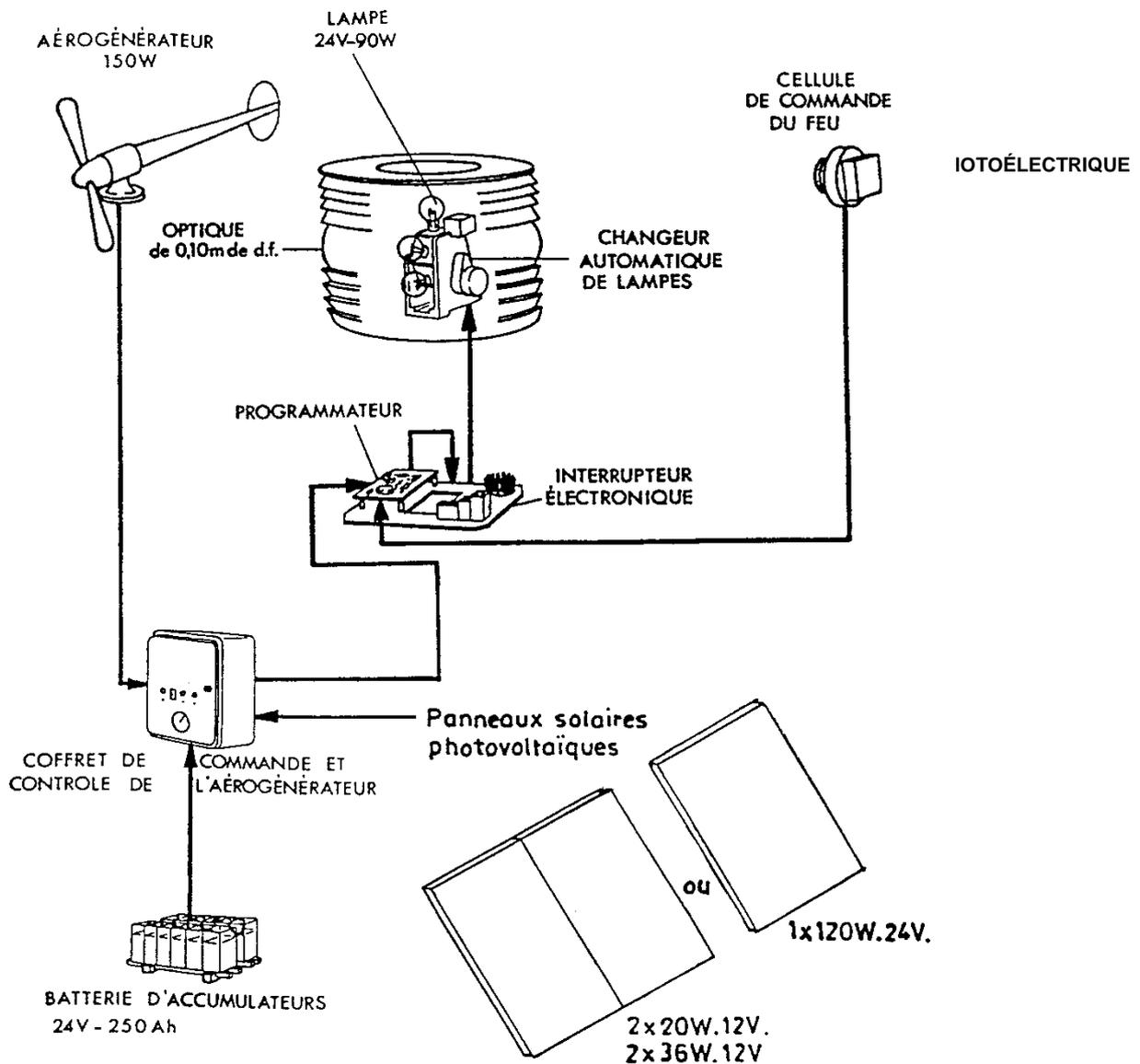
Présentation

Principe de fonctionnement

Le support de l'étude est le phare de l'île Noire situé dans la baie de Morlaix (Finistère). Ce phare est équipé à son sommet d'un système d'éclairage qui sert à guider les bateaux dans la nuit. Il constitue une aide à la navigation dans ces parages à la fois fréquentés et dangereux. Le signal lumineux émis par ce phare est intermittent et possède un rythme propre qui permet de l'identifier. Le rythme du phare est donné par la répartition des temps de lumière (L) et d'obscurité (O) :



Constitution du phare



DESCRIPTION DES CONSTITUANTS

La source lumineuse

La source lumineuse est une lampe halogène d'une puissance de **90 W**. Elle est alimentée sous une tension continue de **24 V**.

Un système optique est mis en place, ce qui permet d'augmenter l'intensité lumineuse de la lampe et la visibilité du phare. Ce système optique s'appelle « **lentilles de Fresnel** » du nom de son inventeur. Il est réalisé en polycarbonate.

La carte électronique de commande et de contrôle

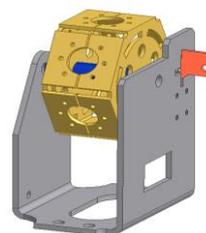
La commande du phare est électronique, le coffret et la carte de commande assurent plusieurs fonctions :

- **Détection de la luminosité minimale** : grâce à une détection par cellule photoélectrique de la lumière ambiante, le phare va s'allumer automatiquement, dès que la luminosité ne permet plus une visibilité suffisante (nuit, brouillard).
- **Définition du rythme du signal lumineux** : une mémoire programmée contient tous les rythmes normalisés. Le choix du rythme du signal lumineux se fait grâce à une roue codeuse.
- **Contrôle de l'état de la batterie** : le phare s'éteint en cas de décharge excessive de la batterie pour éviter de la détériorer. Elle interrompt également la charge de la batterie lorsque celle-ci est complètement chargée.
- **Contrôle de l'état de la lampe** : la détection de fonctionnement de la lampe permet de mettre en route le changeur de lampe si le filament est rompu.
- **Télesurveillance du fonctionnement général** : les informations de sécurité relatives à l'état du phare sont transmises vers un poste de surveillance à terre.

Le changeur de lampes

Le changeur de lampe est doté de six lampes au total, il est à commutation mécanique.

Si le courant s'interrompt dans la lampe, une nouvelle lampe est amenée au foyer de l'optique par la rotation du barillet.



La batterie d'accumulateurs

La batterie d'accumulateurs au plomb étanche réalise l'alimentation électrique autonome de la lampe. Elle permet de stocker l'énergie électrique produite par l'aérogénérateur et par le panneau solaire. Elle restitue en partie cette énergie la nuit pour l'alimentation de la lampe et du circuit électronique de commande et de contrôle du phare.

Caractéristiques :

- Tension nominale : **24 V continu**
- Capacité nominale : **250 Ah**



L'aérogénérateur

L'aérogénérateur est une machine qui a pour fonction de prélever une partie de l'énergie éolienne disponible pour la transformer en énergie électrique.

▪ L'hélice :

L'organe de prélèvement de l'énergie éolienne est une hélice à calage (angle d'incidence des pales...) variable. La variation de ce calage est commandée par l'action de la force centrifuge.

L'efficacité de fonctionnement du calage variable est telle que la vitesse de rotation ne varie pratiquement plus lorsque la vitesse du vent atteint puis dépasse la vitesse de vent nominale V_n , vitesse pour laquelle la machine fournit sa puissance nominale.

▪ L'alternateur :

Le générateur électrique est constitué d'une machine synchrone triphasée à aimants permanents. Il est couplé directement à l'hélice.

Caractéristiques :

- Vitesse de rotation nominale : **525 tr/min.**
- Puissance nominale : **150W**

▪ La régulation de la vitesse de rotation :

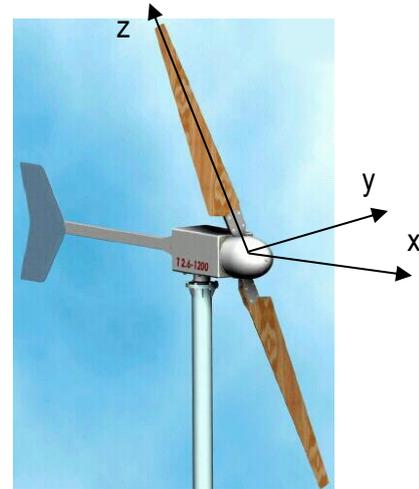
Après que la machine ait atteint sa vitesse de rotation nominale, le calage variable règle en permanence les pales de sorte que leur angle d'incidence soit à la limite du décrochage aérodynamique.

Cela signifie qu'à l'instant du décrochage, l'action du vent sur les pales est **négligeable**.

Pour l'aérogénérateur, la vitesse nominale du vent est de **7 m/s**

▪ Le gouvernail :

L'extrémité arrière du bâti porte le gouvernail d'orientation de l'aérogénérateur.



Le panneau solaire photovoltaïque

Le panneau solaire est constitué de cellules photovoltaïques qui convertissent **l'éclairement énergétique*** du soleil en courant continu. L'assemblage des cellules en série permet d'obtenir une tension compatible avec la charge de la batterie. Le courant produit par le panneau est directement proportionnel à l'ensoleillement reçu : le panneau solaire fonctionne comme un générateur de courant.

Les conditions d'installation du panneau solaire permettent la meilleure exposition au soleil tout au long de l'année : orientation sud, inclinaison égale à la latitude.

* **L'éclairement énergétique** définit la puissance du rayonnement solaire reçue par unité de surface. Il s'exprime en W/m^2 .



Partie 2 : Autonomie du phare

Cette étude a pour objectif de déterminer si la batterie est correctement dimensionnée.

Le nombre de jours consécutifs sans soleil ni vent détermine la capacité de stockage de la batterie, car pendant cette période, la batterie seule doit être capable de fournir l'alimentation en énergie du phare. Pour des raisons de sécurité, l'autonomie du phare doit correspondre à une consommation de dix jours sans recharge de la batterie.

La consommation en énergie du phare est :

- négligeable pendant les heures de la journée,
- essentiellement due à la puissance de la lampe pendant les heures de la nuit.

Question 2-1 : Calcul de la quantité d'électricité quotidienne consommée par le «feu»

2.1.1. Calculer l'intensité du courant I_{\max} qui traverse la lampe lorsqu'elle est allumée.

$I_{\max} =$

2.1.2. A partir de l'indication de l'état (allumé/éteint) du phare donné dans la présentation, calculer la valeur moyenne du courant I_{moy} dans la lampe pour un cycle.

$I_{\text{moy}} =$

2.1.3. En hiver, la durée de la nuit est d'environ 15 heures (de 17h à 8h). Calculer la quantité d'électricité Q_d consommée par le phare en une nuit.

Rappel : La quantité d'électricité Q est définie par la relation $Q = I \cdot t$

Q s'exprime en Ah, le courant I en Ampères et le temps t en heures.

$Q_d =$

Question 2-2 : Détermination de la capacité de stockage de la batterie.

Sur une période de 24 heures (un jour et une nuit), la batterie fournit au phare un courant moyen égal à **1,56 A**.

2.2.1. A l'aide du **document technique**, déterminer la capacité réelle de la batterie C correspondant à ce courant de décharge.

$C =$

2.2.2. Calculer T_a , le nombre de jours consécutifs de fonctionnement qu'autorise la batterie chargée.

$T_a =$

2.2.3. La batterie est-elle correctement dimensionnée (justifier la réponse) ?

Partie 3 : Recharge de la batterie par le panneau solaire seul

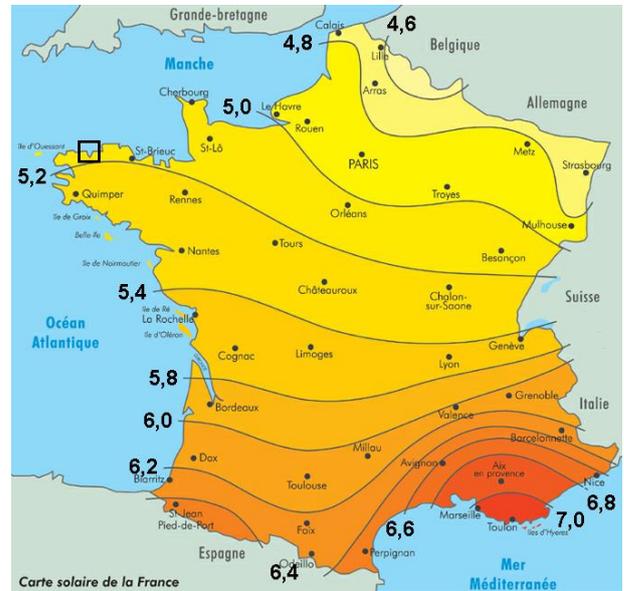
Cette étude a pour objectif de déterminer la capacité du panneau solaire à assurer seul la recharge de la batterie. Elle est menée pour le mois de juillet (période de l'année où l'énergie solaire est la plus abondante).

Question 3-1 : Calcul de la quantité d'électricité quotidienne produite par le panneau solaire

La carte ci-contre donne la mesure de l'irradiation* solaire reçue au niveau du sol en kWh/m² par jour (moyenne au mois de juillet). La localisation du phare est matérialisée par le carré noir.

* L'irradiation définit la quantité d'éclairement énergétique cumulé dans le temps : c'est l'énergie du rayonnement solaire reçue par unité de surface. Elle s'exprime en Wh/m².

Exemple : pour une irradiation de 1 kWh/m² par jour le panneau solaire reçoit un éclairement énergétique équivalent à 1 kW/m² pendant une heure.



3.1.1. A l'aide de la carte donnée ci-dessus, **déterminer** approximativement R_a l'irradiation moyenne reçue quotidiennement par le panneau solaire au mois de juillet.

$R_a =$

3.1.2. **En déduire** le nombre d'heures T_e d'exposition quotidienne du panneau à éclairement énergétique équivalent à 1 kW/m².

$T_e =$

3.1.3. A l'aide du document technique, **déterminer** la valeur du courant I_p fourni par le panneau exposé à un éclairement énergétique de 1 kW/m² pour une tension de 24 V.

$I_p =$

3.1.4. En utilisant les résultats précédents, **calculer** la quantité d'électricité Q_p produite par le panneau solaire en un jour.

$Q_p =$

Question 3-2 : Calcul de la quantité d'électricité quotidienne à fournir à la batterie pour assurer sa recharge.

Au mois de juillet, la quantité d'électricité Q_d consommée quotidiennement par le phare s'établit à 23 Ah en moyenne.

3.2.1. En tenant compte du rendement de la batterie η_b défini ci-dessous, **calculer** la quantité d'électricité Q_c à fournir à la batterie pour assurer sa recharge complète.

$Q_c =$

Le rendement en quantité d'électricité η_b définit le rapport entre le nombre d'ampèreheures Q_d restitués par la batterie lors de la décharge et la quantité d'électricité Q_c reçue lors de la charge :

$$\eta_b = \frac{Q_d}{Q_c}$$

Ce rendement est estimé à 85 % dans les conditions de fonctionnement de l'application.

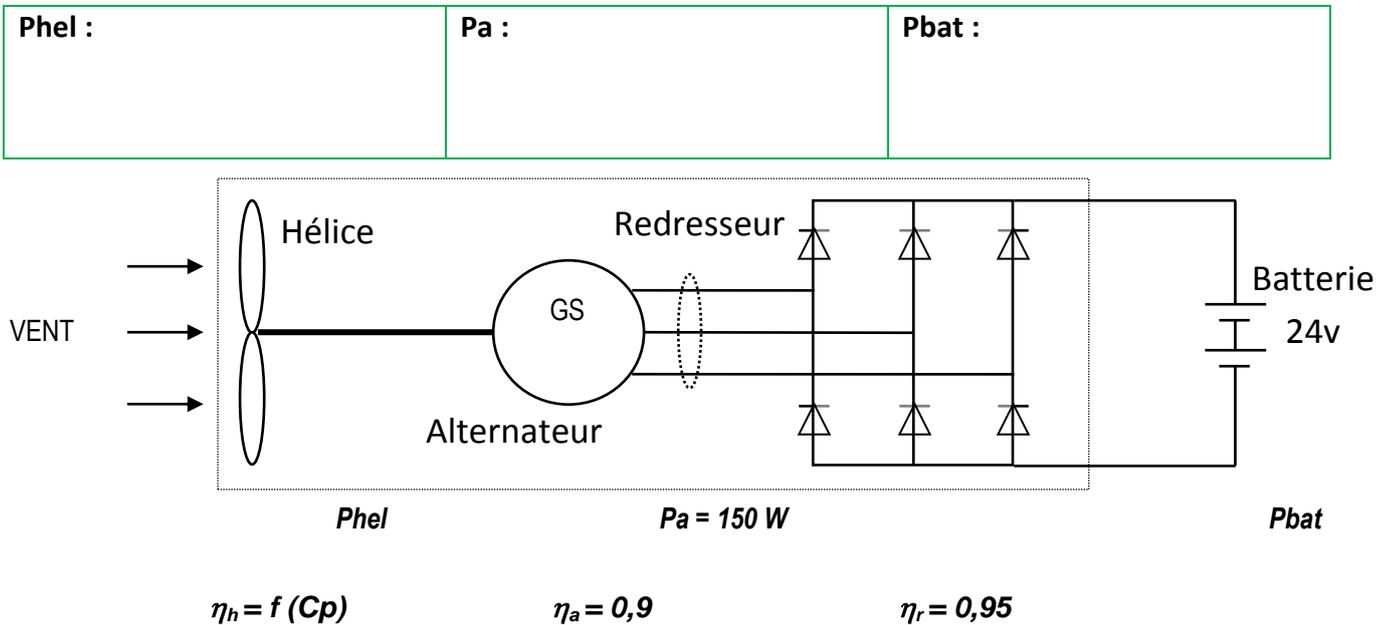
3.2.2. **Conclure** quant à la capacité du panneau solaire à recharger seul la batterie pendant le mois de juillet (le mois le plus ensoleillé de l'année).

Partie 4 : Recharge de la batterie par l'aérogénérateur seul

Cette étude a pour objectif de valider le choix de l'aérogénérateur.

Question 4-1 : Analyse fonctionnelle de la chaîne de conversion de l'énergie éolienne

Le schéma suivant présente la chaîne de conversion de l'énergie éolienne :



4.1.1. Sur le document réponse n°1, indiquer la nature de l'énergie (mécanique ou électrique) présente à la sortie de chaque élément de la chaîne de conversion. **Préciser** sa caractéristique principale en choisissant les réponses dans la liste suivante :

- Energie mécanique caractérisée par un mouvement : - de rotation - de translation
- Energie électrique caractérisée par une tension et un courant : - continu - alternatifs - aperiodiques – modulés en largeur d'impulsions.

Question 4-2 : Calcul du temps nécessaire à la recharge de la batterie par l'aérogénérateur seul

4.2.1. La puissance **Pa** de l'alternateur est de **150 W** (pour une vitesse de vent nominale **Vn** de **7 m/s**). **Calculer** la puissance **Pbat** fournie à la batterie dans ces conditions.

Pbat =

4.2.2. Calculer le courant **Ibat** de charge de la batterie en considérant la tension à ses bornes égale à 24V.

Ibat =

4.2.3. En tenant compte du rendement de la batterie $\eta_b = 0,85$, **calculer** le nombre d'heures **Tv** de vent (à vitesse nominale) nécessaires à la recharge de la batterie pour un jour d'hiver où la consommation quotidienne **Qd** du phare s'établit approximativement à **37 Ah**.

Tv =

Question 4-3 : Dimensionnement du disque éolien de l'aérogénérateur

4.3.1 A l'aide du schéma de la chaîne de conversion de l'énergie éolienne donné ci-dessus, **calculer** la puissance mécanique ***Phel*** fournie par l'hélice pour la vitesse nominale ***Vn***.

Phel =

4.3.2. A l'aide de la documentation technique n°2, **déterminer** la surface ***S*** que doit avoir le disque éolien (surface circulaire générée par la rotation des pales) qui, sous l'action d'un vent ***Vn***, permet de disposer de la puissance mécanique nominale ***Phel*** calculée précédemment.

S =

4.3.3. **Calculer** le diamètre ***D*** du disque éolien de l'aérogénérateur qui correspond à la surface générée par la rotation des pales.

D =

Question 4-4 : Caractéristique de puissance

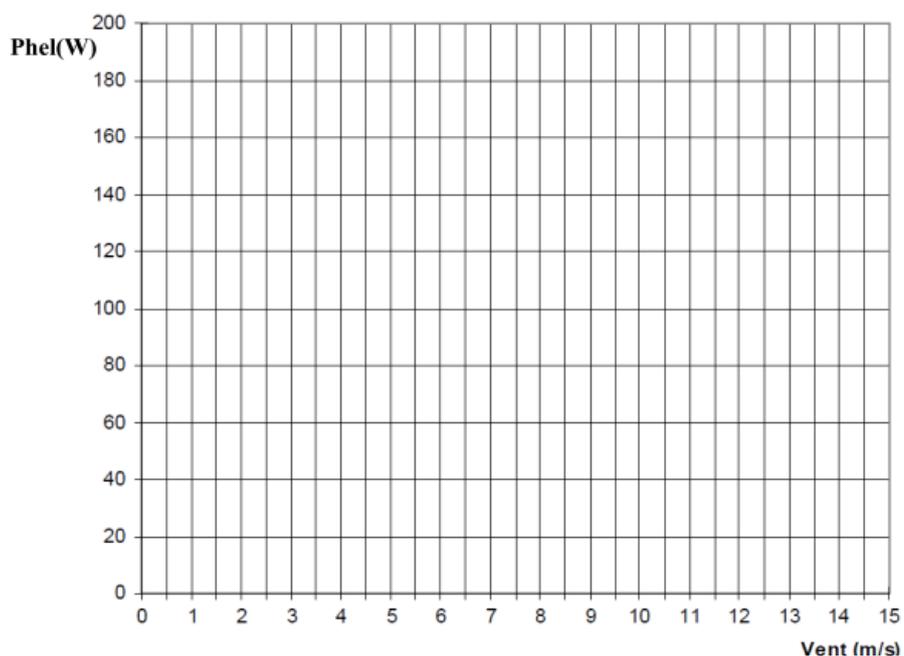
Pour la suite de l'étude, nous prendrons un diamètre de disque éolien ***D = 2m***.

A l'aide du **document technique n°2** :

4.4.1. **Déterminer** le coefficient de puissance et **calculer** la puissance mécanique disponible pour les vitesses de vent données dans le tableau ci-dessous.

Vitesse du vent (m/s)	2	3	4	5	7	9	12	15
Coefficient de puissance <i>Cp</i>								
Puissance mécanique <i>Phel</i> (W)								

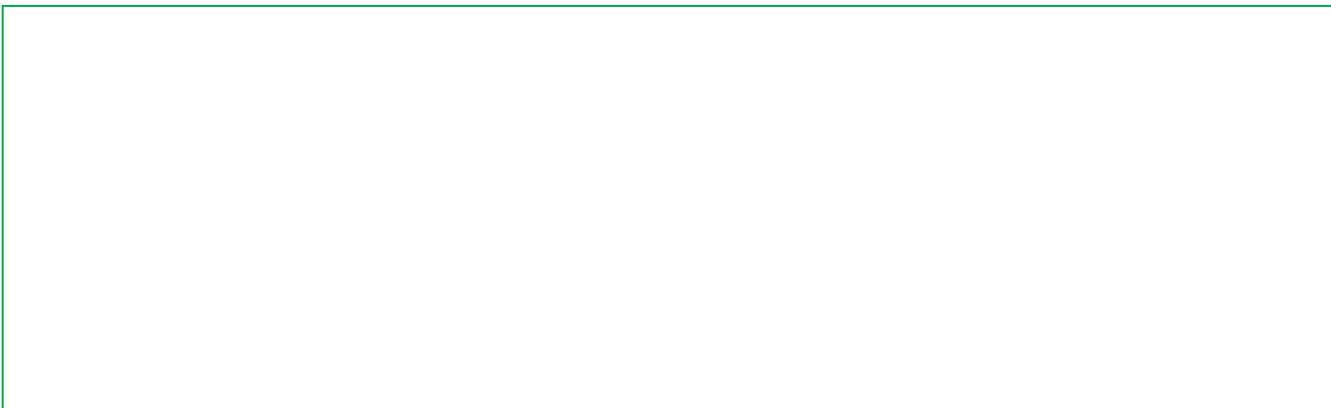
4.4.2. **Tracer** la courbe ***Phel = f(V)***.



4.4.3. En exploitant la courbe, **placer** sur celle-ci :

- **V_d** : Vitesse de démarrage
- **V_n** : Vitesse nominale

4.4.4. Commenter l'allure générale de cette courbe, notamment pour des vitesses de vent supérieures à **V_n** .



BATTERIE D'ACCUMULATEURS

Document Technique 1

La batterie est constituée de 12 accumulateurs montés en série. La tension à ses bornes est de 24V. Elle varie entre 21 V et 29 V selon l'état de charge.

Capacité

La capacité **C** de la batterie s'exprime en ampères-heures (Ah). C'est la quantité d'électricité que la batterie chargée peut restituer au cours d'une décharge complète. La capacité nominale **C₁₀** est définie pour une décharge complète à courant constant pendant 10 heures. Le courant constant débité est noté **I₁₀**.

Si **C₁₀ = 250 Ah** : la décharge durera 10 heures pour un courant de décharge **I₁₀** constant et égal à 25 A.

La capacité réelle de la batterie dépend du courant de décharge :

- Si le courant moyen de décharge est inférieur à **I₁₀**, la capacité de la batterie est supérieure à **C₁₀**.
- Si le courant moyen de décharge est supérieur à **I₁₀**, la capacité de la batterie est inférieure à **C₁₀**.

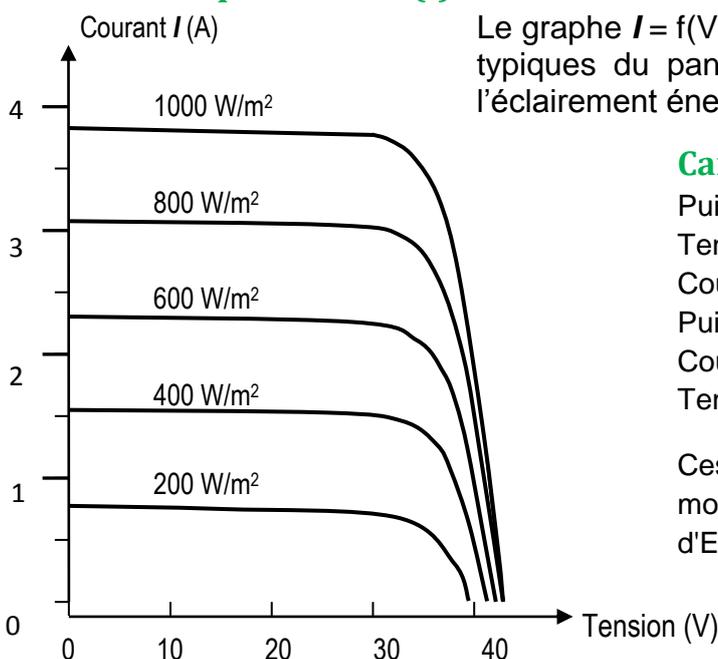
Le tableau suivant indique la **capacité de la batterie en fonction du courant de décharge** :

Courant de décharge (A)	25	12,5	7	5	3,9	3,1	1,6
Capacité (Ah)	250	300	335	360	370	375	390

PANNEAU SOLAIRE

Le panneau solaire est constitué de 72 cellules photovoltaïques montées en série qui lui permettent de charger des batteries de 24 V. Il produit un courant continu **I** proportionnel à l'éclairement énergétique reçu.

Caractéristique Courant (I) en fonction de la tension (V)



Le graphe $I = f(V)$ donné ci-contre indique les performances typiques du panneau solaire pour différentes valeurs de l'éclairement énergétique.

Caractéristiques électriques

Puissance typique **P_{typ}** : 120 W

Tension à la puissance typique **V_{typ}** : 33,7 V

Courant à la puissance typique **I_{typ}** : 3,56 A

Puissance minimale garantie **P_{min}** : 110 W

Courant de court-circuit **I_{sc}** : 3,8 A

Tension à circuit ouvert **V_{oc}** : 42,1 V

Ces données caractérisent la performance des modules types mesurées dans les Conditions d'Essai Standard (STC) :

- Éclairement énergétique de 1 kW/m²;
- Température de la cellule : 25 °C

Des essais en soufflerie permettent de définir, pour un profil de pale donné, un coefficient de puissance C_p , caractéristique de l'éolienne.

Ce coefficient C_p permet de déterminer la puissance disponible sur l'arbre de l'aérogénérateur par application de la relation suivante :

$$P_{hel} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot S \cdot V^3$$

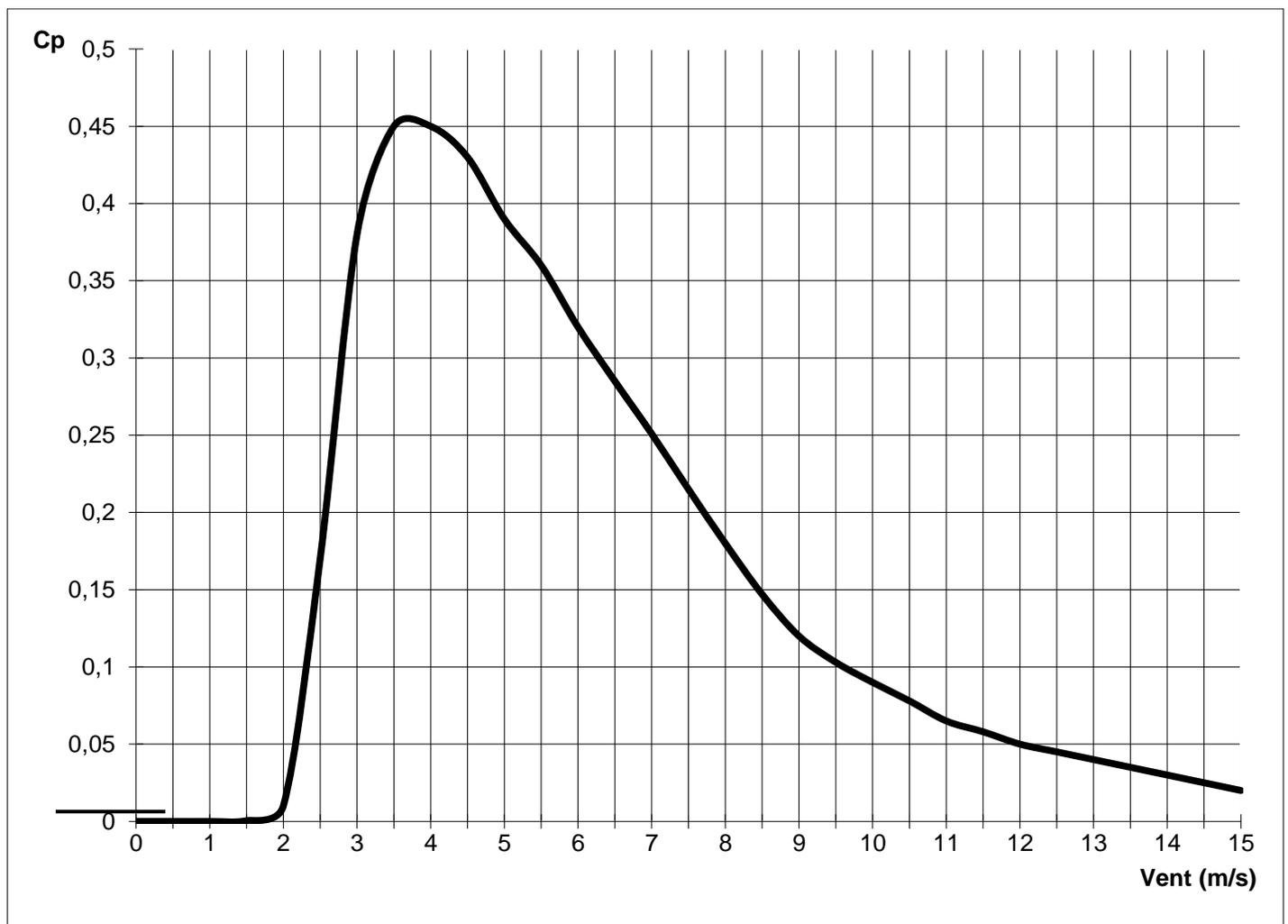
où : P_{hel} = puissance mécanique fournie (disponible sur l'arbre de l'aérogénérateur)

C_p = coefficient de puissance

ρ = masse volumique de l'air en $\text{kg/m}^3 = 1,225 \text{ Kg/m}^3$

S = surface du disque éolien en m^2 (surface circulaire générée par la rotation des pales)

v = vitesse du vent en m/s



Coefficient de puissance C_p en fonction de la vitesse du vent ($C_p = f(V)$)

