

BACCALAUREAT GENERAL

Session 2011

Série S Sciences de l'Ingénieur

EPREUVE ORALE DE CONTRÔLE

Coefficient : 9

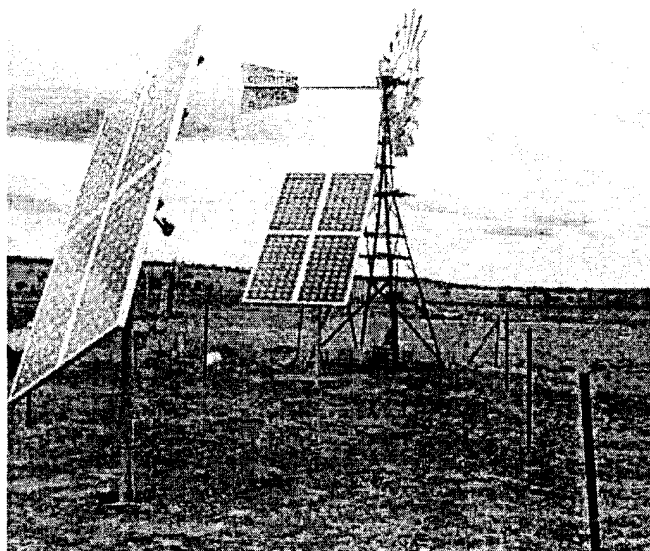
Préparation : 2 heures

Durée de l'épreuve : 30 min

Aucun document n'est autorisé.

Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante, conformément à la circulaire n°99-181 du 16 novembre 1999.

POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE



Composition du sujet :

- Un dossier TECHNIQUE (Pages 1/7 à 4/7)
- Un dossier GUIDE POUR LA PRESENTATION ET COMMENTAIRE DES RESULTATS (Pages 5/7 à 7/7)

Déroulement de l'épreuve :

A l'issue des 2 heures de préparation, le candidat expose le résultat de ses travaux pendant 15 minutes, en s'appuyant le cas échéant et si nécessaire sur les documents réponses qui ne seront pas évalués. Puis pendant 15 minutes, des questions relatives au contenu des travaux présentés, portant sur les connaissances nécessaires à la résolution des problèmes à résoudre sont posées au candidat.

Pompage photovoltaïque

1. PRESENTATION DU SUPPORT

1.1. INTRODUCTION

L'utilisation de ressources énergétiques locales et leur transformation sous forme électrique autorise la mise en place aisée du pompage électrique. C'est très souvent une ressource renouvelable qui est exploitée comme celle fournie par le soleil. Les contraintes techniques (mise en service, maintenance) et économiques (investissement initial, coût d'exploitation) incitent donc à utiliser des systèmes de pompage entièrement photovoltaïques. Cependant, l'énergie solaire étant difficile à capter en quantité importante, il y a tout intérêt à ce que le système soit, dans son ensemble, d'une grande efficacité énergétique.

L'énergie solaire lumineuse (par opposition à l'énergie solaire calorifique) est ainsi transformée en énergie électrique puis en énergie mécanique et enfin en énergie hydraulique. Pour réaliser ces trois transformations d'énergie successives, il est nécessaire d'utiliser trois convertisseurs de technologies différentes - **des cellules photovoltaïques, un moteur électrique, une pompe** - éléments centraux de l'installation de pompage au fil du soleil.

L'entreprise allemande Lorentz© conçoit et assemble ce type de constituants pour des installations de pompage utilisées dans le monde entier.

1.2. EXPRESSION DU BESOIN

L'étude développée ici traite le cas de l'alimentation en eau potable d'un troupeau d'environ **500 têtes de bétail** consommant chacune **40 litres par jour**. Ce troupeau occupe, en période estivale uniquement, des espaces isolés dans les environs de Perth, en Australie.

Le système de pompage doit pouvoir remonter l'eau sur **plusieurs dizaines de mètres**. L'eau pompée remplit alors un réservoir d'une capacité correspondant à **cinq jours**

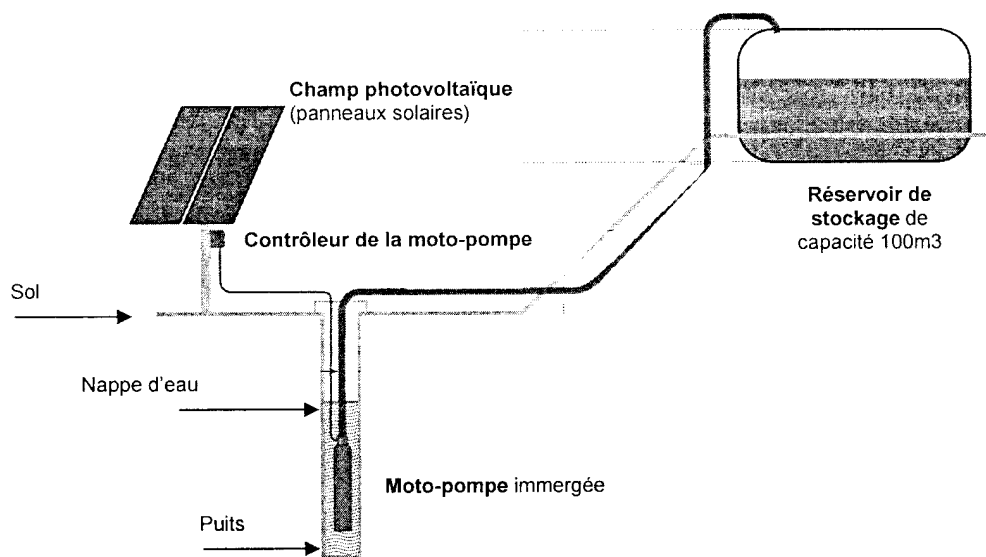
de consommation. Ce réservoir permet ainsi d'abreuver le bétail même si le système de pompage n'est pas en fonctionnement (nuit, ciel couvert, mauvais temps...). Il autorise également le pompage dès que l'ensoleillement le permet (d'où l'appellation de "pompage photovoltaïque **au fil du soleil**"). On préfère donc ici stocker le produit du pompage plutôt que de stocker l'énergie électrique nécessaire au pompage dans des accumulateurs électrochimiques au rendement médiocre. L'utilisation estivale correspond bien au besoin puisque c'est pendant la saison la plus ensoleillée que les bêtes boivent le plus.

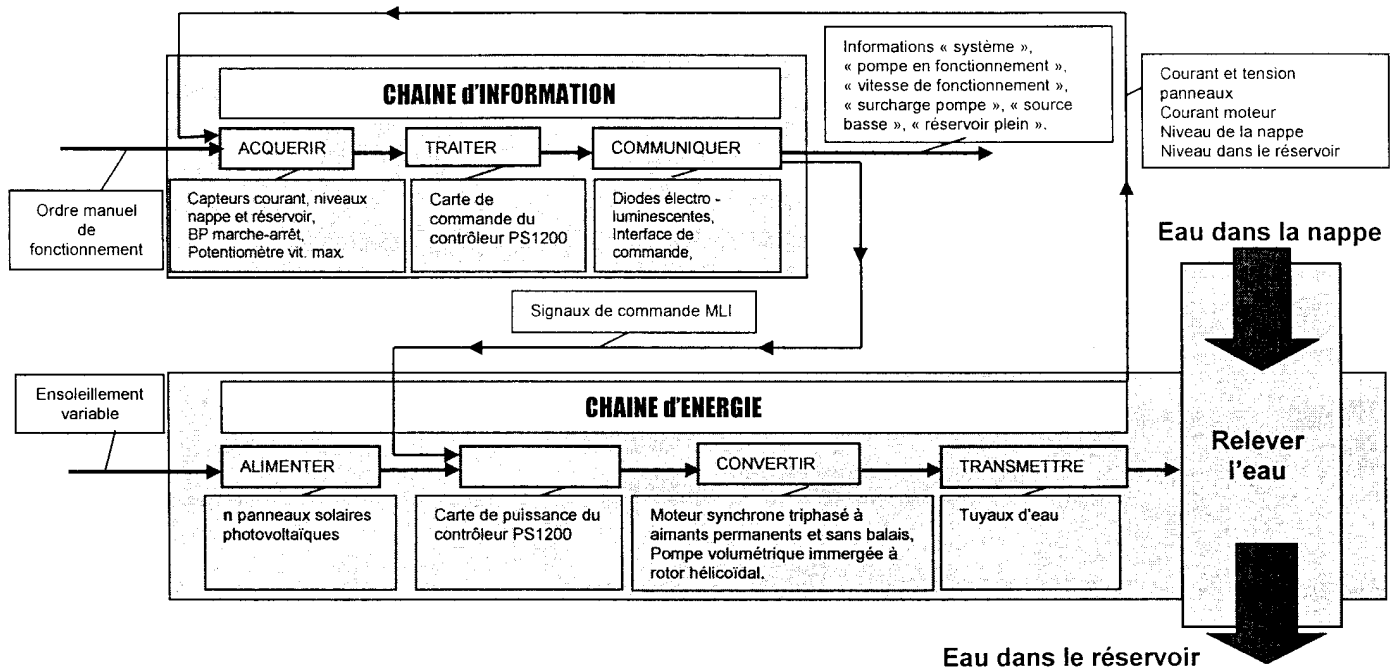
Afin d'optimiser l'utilisation du potentiel d'énergie solaire du site, il sera ajouté un système de suivi automatique du soleil par les panneaux (d'où l'appellation de "pompage photovoltaïque **au fil du soleil avec suivi**").

On se propose dans cette étude de vérifier que les solutions technologiques employées dans cette installation de pompage concourent de façon significative à l'optimisation de son efficacité énergétique et ce sans la complexifier inutilement. On étudiera donc plus particulièrement :

- l'utilisation de matériels au rendement élevé
- le positionnement des panneaux
- l'utilisation d'un module de recherche du point de fonctionnement à puissance maximale (MPPT)

Chaque partie peut-être traitée indépendamment par le candidat.





2. STRUCTURE ET FONCTION DE L'INSTALLATION

On propose ci-dessous la **description structurelle** de l'installation

➔ **Question 21 :** Indiquer quel élément technologique répond à la fonction "Convertir l'énergie mécanique de rotation en énergie hydraulique".

➔ **Question 22 :** Indiquer quelle est la fonction principale réalisée par les "Panneaux solaires" et quelle conversion ils réalisent.

3. ETUDE DE L'INFLUENCE DE MATERIELS DE POMPAGE AU RENDEMENT ELEVE

Les pompes, moteurs et contrôleurs commercialisés par Lorentz© sont des matériels au rendement élevé, donc adaptés au pompage photovoltaïque puisque la ressource énergétique est difficile à capter en quantité importante. L'objectif de cette étude est de déterminer l'énergie moyenne que doivent fournir les panneaux.

Détermination de la quantité d'énergie journalière nécessaire et sélection des constituants

➔ **Question 31 :** A partir du besoin, calculer le débit volumique journalier moyen Q (m^3/j) nécessaire en période estivale afin d'abreuver toutes les bêtes sachant que $1l = 1dm^3$.

Dans une installation de pompage, la différence de pression (exprimée en mètres de colonne d'eau) entre les orifices d'aspiration (au niveau de la pompe) et de refoulement (au niveau du réservoir) s'appelle la hauteur manométrique totale **HMT (m)**. Ici cette HMT vaut **71,4 m**.

Choix de la moto-pompe électrique

➔ **Question 32 :** Effectuer le choix de la pompe à l'aide de la table de dimensionnement du constructeur Lorentz© donnée sur le DT1. Préciser sa référence sur le schéma bloc du DR2.

➔ **Question 33 :** Toujours à partir de DT1 indiquer sur le schéma bloc du DR2 les rendements maximaux η_{max} de la "Pompe" et de l'ensemble "Contrôleur-Moteur". Ces rendements correspondent à un fonctionnement supposé au point nominal.

Calcul de l'énergie moyenne nécessaire

➔ **Question 34 :** Calculer l'énergie hydraulique équivalente nécessaire à l'élévation de cette quantité d'eau sur cette hauteur pendant une journée et l'indiquer sur le schéma bloc du DR1.

Pour cela on donne l'expression suivante : $E_{hydr}(W.h) = [(g \cdot \sigma) / 3600] \times Q \times HMT$ avec :
 g : constante de la gravité = $9,81m^2/s$, Q : débit volumique journalier = $20 m^3/jour$,
 σ : masse volumique de l'eau = $1000kg/m^3$.

Le dimensionnement d'un système se fait en tenant compte des rendements moyens des constituants car le système de pompage ne fonctionne pas constamment au point nominal. On considère $\eta_{moy} = 0,83 \times \eta_{max}$.

➔ **Question 35 :** Calculer l'énergie électrique moyenne $E_{elec_moy}(W.h)$ absorbée par le système de pompage en tenant compte du rendement moyen de l'ensemble {contrôleur + moteur + pompe} et l'indiquer sur le schéma bloc du DR2.

➔ **Question 36 :** Conclure sur l'influence du rendement des constituants sur l'énergie que devront fournir les panneaux.

4. ETUDE DE L'INFLUENCE DU POSITIONNEMENT DES PANNEAUX)

L'énergie électrique moyenne $E_{elec_moy}(W.h)$ absorbée par le système de pompage doit être fournie par un champ photovoltaïque constitué de n panneaux. Ce nombre n dépend de l'ensoleillement sur le site ainsi que du rendement des panneaux. Il est nécessaire de minimiser n pour réduire le coût d'investissement de l'installation. Pour cela on agit sur l'inclinaison du champ par rapport au sol (axe nord-sud) et sur son orientation selon la trajectoire du soleil (axe est-ouest).

Estimation du gain obtenu grâce au positionnement des panneaux

Le modèle de panneaux retenu ici est "Isoton© I-150 InDach". La puissance crête P_c d'un panneau est de **150Wc** (Watt crête). Cela correspond à la puissance qu'il fournit lorsqu'il est soumis aux conditions normalisées de fonctionnement.

➔ **Question 41 :** Calculer dans les cas 2 et 3 de rayonnements et d'orientations présentés dans le DR1, le nombre de panneaux n à mettre en œuvre dans le champ photovoltaïque. Remplir pour cela les lignes correspondantes du DR1.

➔ **Question 42 :** Valider ou non les prévisions du constructeur qui promet, en période d'ensoleillement maximal, jusqu'à 40-50% d'eau en plus (soit 40-50% d'énergie en plus) avec l'utilisation d'un suiveur est-ouest de la trajectoire du soleil par rapport au cas 1.

➔ **Question 43 :** Indiquer l'influence du positionnement des panneaux par rapport au soleil sur le nombre n de ces panneaux.

5. ETUDE DE L'INFLUENCE DE L'UTILISATION D'UN MODULE DE RECHERCHE DU POINT DE FONCTIONNEMENT A PUISSANCE MAXIMALE (MPPT)

Dans cette étude on se propose d'analyser par quel moyen le contrôleur règle de façon optimale la puissance transmise à la pompe et donc la quantité d'eau pompée.

Dans les anciens modèles de pompe immergée, les moteurs étaient de technologie à courant continu avec balais. L'association du point de vue électrique de ce moteur et des panneaux était assez facile à faire.

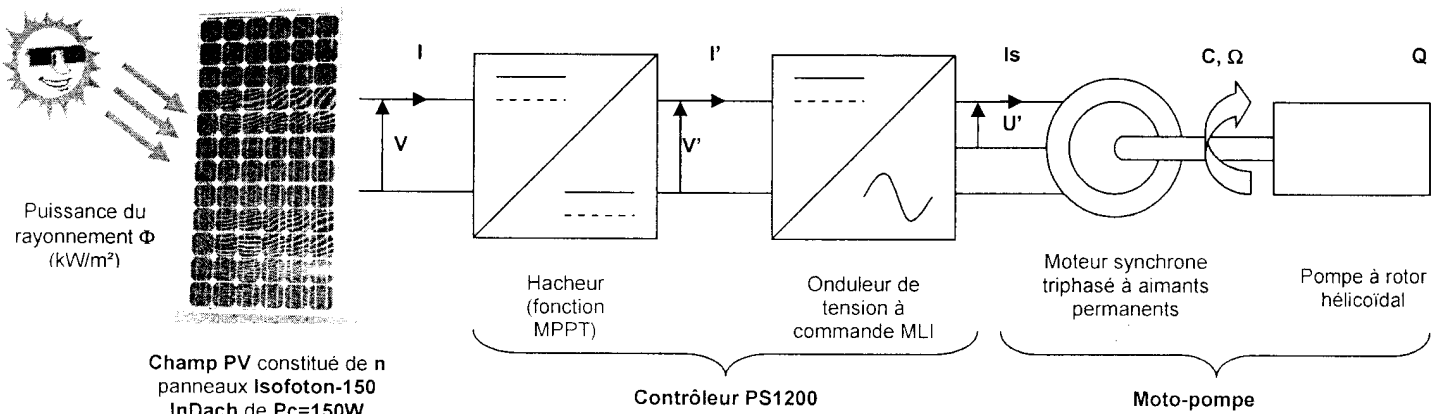
➔ **Question 51 :** Indiquer les raisons qui ont poussé le constructeur à remplacer le moteur courant continu avec balais par un moteur synchrone à aimant permanent sachant que l'ensemble des éléments de cette nouvelle pompe baigne maintenant dans l'eau du puits qui sert, par ailleurs, de fluide lubrifiant et caloporteur.

L'utilisation d'un moteur synchrone ne permet plus une connexion directe aux panneaux, d'où la présence au sein du contrôleur :

- d'un **hacheur** qui assure une conversion continu/continu de façon à extraire à tout instant du champ PV la puissance maximale P_{max} que celui-ci peut produire et à la fournir à l'entrée de l'onduleur, donc au moteur, et ce malgré les variations d'ensoleillement et de température. De par l'optimisation de ce transfert d'énergie électrique, on évite le surdimensionnement du champ PV en maximisant le rendement de l'ensemble.

- et d'un **onduleur** commandé en modulation de largeur d'impulsions (MLI) qui restitue aux bornes des enroulements du moteur un signal sinusoïdal. Le contrôle de la fréquence de ces tensions permet le réglage de la vitesse de rotation Ω du moteur, et donc de la pompe. Le contrôle des courants I_s dans les 3 phases permet de fonctionner au couple maximal.

Principe de la structure de conversion d'énergie du système de pompage :



5.1. DETERMINATION DES GRANDEURS ELECTRIQUES DE REGLAGE DE LA PUISSANCE TRANSMISE

Pour la pompe utilisée :

- le débit Q est proportionnel à la vitesse angulaire Ω du moteur, et est peu affecté par la variation de la hauteur manométrique totale (HMT),
- le couple C fourni par le moteur est seulement fonction de la HMT (indépendamment de la vitesse Ω du moteur, y compris au démarrage).

➔ **Question 511 :** Donner l'expression de la puissance transmise P_u à la pompe par l'arbre du moteur et indiquer comment elle évolue si la HMT est considérée constante.

➔ **Question 512 :** Donner l'expression de la puissance électrique absorbée P_{elec_abs} par le moteur et indiquer comment elle évolue en fonction de sa vitesse angulaire Ω .

L'onduleur fait varier la fréquence f_s (de 20Hz à 70Hz) des tensions d'alimentation du moteur pour l'amener à démarrer et à tourner à la vitesse nécessaire pour le débit Q souhaité.

Pour un moteur synchrone : $\Omega = \Omega_s = 2.\pi.f_s / p$ avec p le nombre de paires de pôles de la machine ($p = 1$ dans le cas étudié) et Ω_s la vitesse angulaire du champ tournant statorique en rad/s.

➔ **Question 513 :** Calculer les vitesses de rotation minimale $N_{min}(tr/mn)$ et maximale $N_{max}(tr/mn)$ du moteur.

Un potentiomètre de contrôle de vitesse permet à l'utilisateur de réduire la vitesse maximale jusqu'à 30% de sa valeur. Cela ne réduit pas les performances au démarrage. En cas de faible ensoleillement la pompe utilise tout simplement moins d'énergie en pompant moins d'eau.

➔ **Question 514 :** Indiquer s'il y a une raison d'exploiter cette possibilité dans le cas de cette installation. Justifier.

5.2. OPTIMISATION DU TRANSFERT DE PUISSANCE

Des vitesses élevées ne peuvent être atteintes, à couple constant, que si les panneaux sont capables de fournir la puissance correspondante. Le contrôleur ajuste donc en permanence la vitesse de rotation du moteur à la puissance disponible et essaye de trouver un point de fonctionnement qui maximise cette dernière. Il utilise la fonction de « recherche du point de puissance fournie maximale » (MPPT) implantée dans la commande du hacheur.

Le gain moyen de puissance crête P_c obtenu avec un fonctionnement du contrôleur en mode MPPT est estimé à 25% ce qui conduit à la détermination (cf. DR1) de la puissance crête P_c à installer de 1200Wc, soit seulement 8 panneaux ($n=8$).

➔ **Question 521 :** Vérifier que la puissance crête P_c du champ PV correspond à celle que le constructeur Lorentz© préconise sur sa table de dimensionnement donnée en DT1 (expliquer succinctement mais clairement le choix des valeurs pour réaliser la comparaison).

➔ **Question 522 :** Donner l'expression de la puissance électrique fournie par le champ photovoltaïque en fonction de I et de V ; puis, à partir de la caractéristique $I=f(V)$ normalisée du champ PV (tableau et courbe, DR2), calculer la valeur du point de puissance maximale P_{max} ; et enfin repérer par une croix sur la courbe le point de coordonnées $(I_{P_{max}}, V_{P_{max}})$ correspondant.

➔ **Question 523 :** En observant le point de fonctionnement (intersection) de l'exemple donné dans le plan (I, V) du DR2, indiquer si le transfert d'énergie entre les panneaux et la pompe s'effectue de façon optimisée et indiquer pourquoi.

La caractéristique de la pompe ne peut pas évoluer mais on peut faire varier les valeurs de V et I grâce au hacheur : V' , I' . La fonction MPPT agit alors en maintenant ainsi au maximum la tension de fonctionnement du champ.

➔ **Question 524 :** Le constructeur préconise un point de fonctionnement P'_{max} plus pertinent situé en $I'_{P_{max}} = 6,5A$ et $V'_{P_{max}} = 185V$.

Evaluer alors grossièrement le gain de puissance fournie (ΔP_f) dans ce cas et conclure quant à l'intérêt de ce mode de fonctionnement.

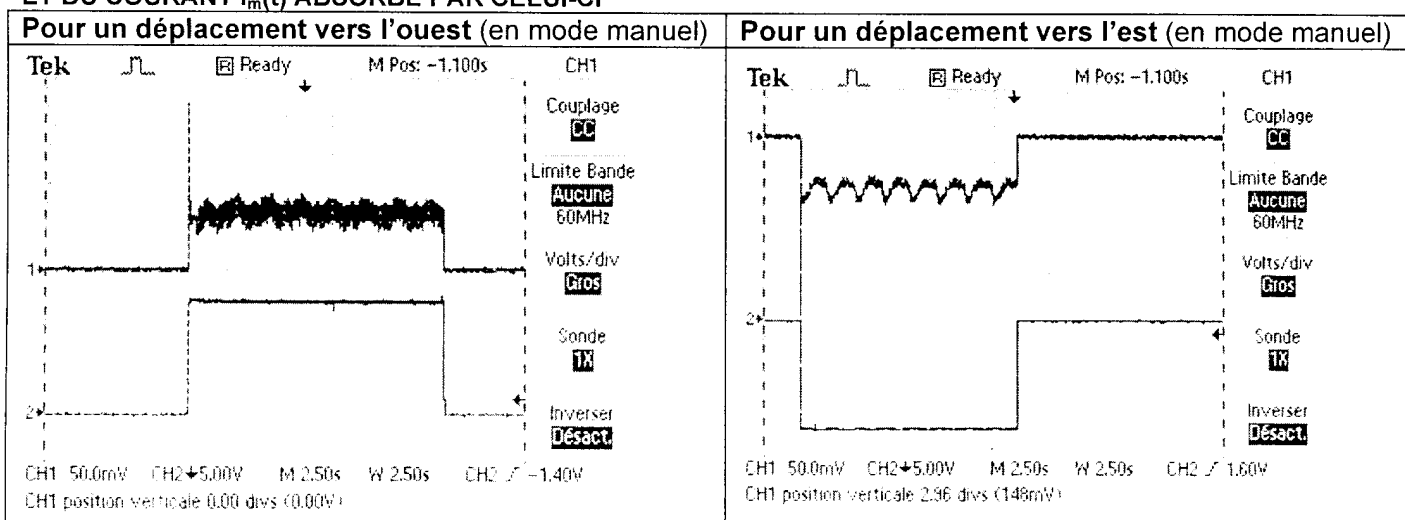
TABLE DE DIMENSIONNEMENT DU CONSTRUCTEUR "LORENTZ©"

Puissance du champ solaire	Hauteur manométrique	60 m		70 m		80 m		90 m		100 m	
		Montage du champ solaire	Fixe	Suiveur	Fixe	Suiveur	Fixe	Suiveur	Fixe	Suiveur	Fixe
350 Wc	Débit en m ³ /j	5,7	7,9	4,9	6,8	3,8	5,1	3,4	5	3,2	4,7
	Réf. pompe	HR-04				HR-03					
420 Wc	Débit en m ³ /j	6,1	8,3	5,7	7,6	4,7	6,9	4,5	5,4	4	5
	Réf. pompe	HR-04				HR-04H		HR-03			
480 Wc	Débit en m ³ /j	8,7	12,5	6,1	8,7	5,7	8,2	5,5	8	5	7
	Réf. pompe	HR-07				HR-04H					
660 Wc	Débit en m ³ /j	9,8	14,4	8,7	12,5	8	11,5	6,5	8,8	5,5	7,8
	Réf. pompe	HR-07				HR-04H					
720 Wc	Débit en m ³ /j	11	14	10	14	9,4	13,6	8,7	12,6	6	8,7
	Réf. pompe	HR-07				HR-04H					
840 Wc	Débit en m ³ /j	14	20	10	14	10	14	9,4	13,5	8	12
	Réf. pompe	HR-10		HR-07							
1000 Wc	Débit en m ³ /j	17	25	14	20	13	18	10	13,5	9	12,5
	Réf. pompe	HR-14		HR-10				HR-07			
1200 Wc	Débit en m ³ /j	18	26	15	21	14	20	11	13,5	10	12,5
	Réf. pompe	HR-14		HR-10				OHR-07			

Performance

PS1200	HR-03	HR-03H	HR-04	HR-04H	HR-07
Article	1228-X	1230-X	1235-X	1240-X	1245-X
Hauteur manométrique (m)	0-140	140-240	0-80	80-160	40-120
Débit max (m ³ /h)	0,5	0,5	0,8	0,8	1,2
Rendement max (%)	50	64	60	65	64
Fonctionnement solaire direct	Tension nominale 72-96VDC Tension en circuit ouvert max 200VDC				
Générateur solaire (Wp)	350-480	420-900	350-420	420-1200	420-1200
Fonctionnement sur batteries	Tension nominale 72-96VDC				

PS1200	HR-10	HR-14	HR-20	C-BF-04	C-DF-03
Article	1250-X	1255-X	1260-X	1220-X	1225-X
Hauteur manométrique (m)	30-80	0-60	0-40	0-25	0-15
Débit max (m ³ /h)	1,9	2,7	3,6	7,3	11,0
Rendement max (%)	64	65	64	40	40
Fonctionnement solaire direct	Tension nominale 72-96VDC Tension en circuit ouvert max 200VDC				
Générateur solaire (Wp)	420-1200	350-1200	430-1200	350-1200	840-1200
Fonctionnement sur batteries	Tension nominale 72-96VDC				

OSCILLOGRAMMES PRESENTANT LES RELEVÉS DE LA TENSION $U_m(t)$ APPLIQUÉE AUX BORNES DU MOTEUR ET DU COURANT $I_m(t)$ ABSORBÉ PAR CELUI-CI

Légende :

Voie 1 : Courant $I_m(t)$ relevé avec une pince ampèremétrique calibrée à 100mV/AVoie 2 : Tension $U_m(t)$

Nota bene : Relevés effectués en laboratoire dans les conditions nominales de fonctionnement reconstituées (panneaux montés sur suiveur). On remarque que le courant absorbé est très proche de celui absorbé à vide par le moteur.

TABLEAU DE CALCUL DU NOMBRE DE PANNEAUX N *Question 41*

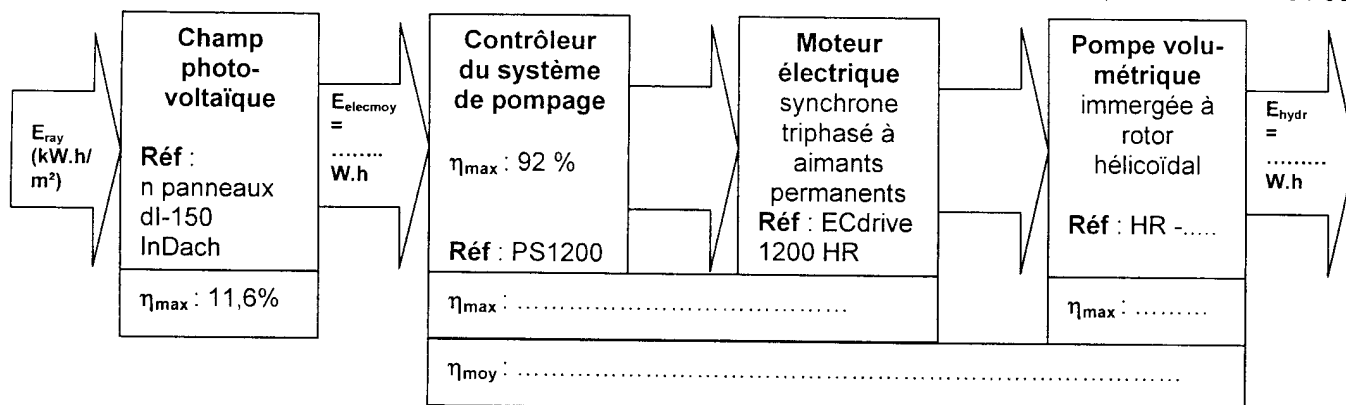
La base de données du logiciel RETScreen@V3 fournit pour la ville de Perth les données suivantes d'ensoleillement reçu par le champ photovoltaïque (PV) pendant la période estivale (allant de septembre à mars dans l'hémisphère sud).

PV : PhotoVoltaïque	① Mois où le rayonnement moyen quotidien reçu sur le champ est le moins élevé en période estivale	② Moyenne minimale * du rayonnement quotidien reçu par le champ PV (en kW.h /m ² /j)	③ Nombre d'heures d'éclairement quotidien (en h/j) (condition normalisée à 1kW/m ²)	④ Puissance crête Pc (en Wc) à fournir par le champ PV pour avoir une énergie quotidienne $E_{elec, moy} = 8kW.h/j$ dans les conditions normalisées	⑤ Puissance crête à installer majorée** de 40% (en Wc)	⑥ Nombre n de panneaux de 150Wc (d-150 InDach) pour constituer le champ PV
CAS 1 : champ PV posé au sol à l'horizontal	septembre	4,97	4,97	1610	2254	15
CAS 2 : champ PV incliné de 50° par rapport au sol	septembre	5,63	5,63			
CAS 3 : champ PV incliné de 50° et posé sur un suiveur est-ouest,	septembre	6,96	6,96			
CAS 4 : champ PV posé sur un suiveur est-ouest, incliné de 50° + fonction MPPT du contrôleur	septembre	6,96	6,96	1150	⑥ Minoration de la puissance crête à installer de 25% (fonction MPPT) par rapport à ⑤ : 1200	8

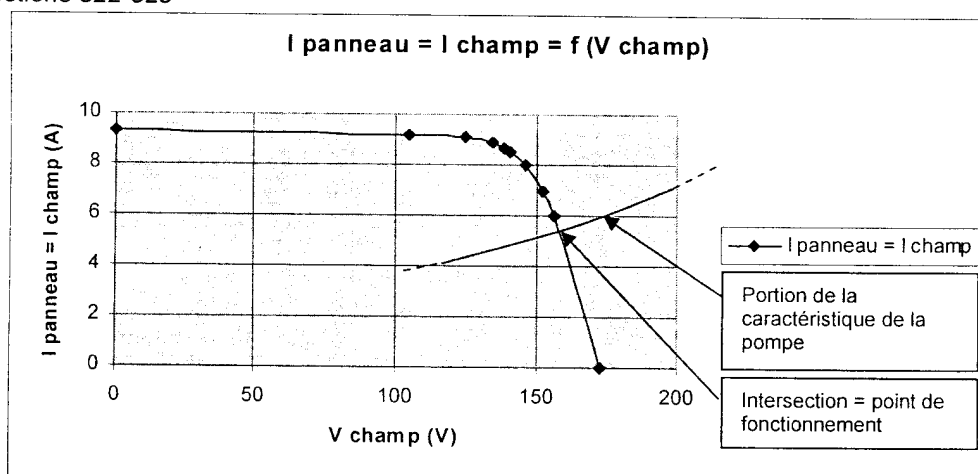
* : on utilise la valeur la plus faible du rayonnement pour dimensionner un système.

** : afin de prendre en compte les pertes diverses dues au conditionnement de l'énergie, au champ photovoltaïque, aux effets de la température sur le rendement des panneaux ainsi qu'une marge de sécurité (pour tenir compte des jours les moins ensoleillés dans le mois le moins ensoleillé).

SCHEMA-BLOC REPRESENTANT LE FLUX D'ENERGIE TRAVERSANT L'INSTALLATION Questions 32-33-34-35



CARACTERISTIQUE* INTENSITE-COURANT DU CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE (PANNEAUX EN SERIE) Questions 522-523



* Caractéristique obtenue dans les conditions normalisées d'essai : puissance du rayonnement de 1kW/m^2 , température = 25°C , AM = 1,5

$I_{panneau} = I_{champ}$ (A)	9.3	9.2	9.1	8.9	8.7	8.5	8	7	6	0
$V_{panneau}$ (V)	0	13.1	15.6	16.8	17.3	17.6	18.3	19	19.5	21.6
V_{champ} (V)	0	104.8	124.8	134.4	138.4	140.8	146.4	152	156	172.8

Ce document a été téléchargé sur le site ressource

www.gecif.net

Téléchargez librement sur Gecif.net :

- ✍ **des cours et des TP de Génie Electrique**
- ✍ **des exercices et des évaluations avec corrections**
- ✍ **des ressources Automgen, ISIS Proteus et Flowcode**
- ✍ **des QCM pour réviser les cours et vous entraîner**
- ✍ **des logiciels d'électronique pour les installer chez vous**
- ✍ **des dossiers techniques de systèmes originaux**
- ✍ **des fiches pratiques sur tous les domaines des sciences de l'ingénieur**
- ✍ **des sujets de BAC avec la correction officielle**
- ✍ **et bien plus encore sur Gecif.net !**