

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Energies Renouvelable

Réf:

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

***ETUDE PRATIQUE ET DE SIMULATION  
D'UN SYSTEME DE POMPAGE BANC D'ESSAI HM 310  
(L'UNIVERSITE DE BISKRA)***

Présenté par :  
**Merzoug Hacene**  
Soutenu le : 6 Juin 2013

Devant le jury composé de :

Melle. Rahoua Naima  
Dr. Terki Amel  
Melle. Rechid Naima

MAA  
MAB  
MAA

Président  
Encadreur  
Examineur

**Année universitaire : 2012 / 2013**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Energies Renouvelable

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

***ETUDE PRATIQUE ET DE SIMULATION  
D'UN SYSTEME DE POMPAGE BANC D'ESSAI HM 310  
(L'UNIVERSITE DE BISKRA)***

**Présenté par :**

*Merzoug Hacene*

**Avis favorable de l'encadreur :**

*Terki Amel*

*signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

**Melle. Rahoua Naima**

*Signature*

**Melle. Rechid Naima**

*Signature*

**Cachet et signature**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière Electrotechnique  
Option : Energies Renouvelable

## *Thème :*

***ETUDE PRATIQUE ET DE SIMULATION***

***D'UN SYSTEME DE POMPAGE BANC D'ESSAI HM 310***

***(L'UNIVERSITE DE BISKRA)***

Proposé par : Terki Amel

Dirigé par : Terki Amel

# REMERCIEMENTS

*Il est de nous devoir de remercier*

*Infiniment notre dieu*

*A notre encadreur*

*Madame : Terki Amel*

*On tient à remercier le président de jury ,*

*Melle Rehid Naima*

*D'avoir accepté de présider notre travail.*

*Ainsi que le membre du jury,*

*Rahoua Naima d'avoir accepter*

*de juger notre modeste mémoire.*

*Sans oublier Dr. Bouziane Toufik,*

*Chef Département*

*Qui nous a aidés à élaborer ce travail*

*Sans oublier les ingénieurs du laboratoire du*

*Electrotechnique de Biskra*

*Fouzia, Abed el daim, Yousef et Naimi*

*Qui nous a aidés a élaboré ce travail*

*Et tous les enseignants du*

*Département électrotechnique ainsi*

*Les étudiants de promotion*

*2012-2013.*

## **RESUME**

La conversion direct de l'énergie solaire au moyen de générateur photovoltaïque est l'une des formes d'exploitation de l'énergie solaire, elle possède des avantage de souplesse et d'adaptation aux diverses applications.

L'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage d'eau est particulièrement bien adaptée aux zones rurales ou l'eau fait cruellement défaut. La demande croissante en eau dans ces zones, destinée à l'alimentation en eau potable ainsi qu'à l'irrigation, fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des modules solaires comme source d'énergie au groupe « Motopompe ».

Le travail présenté est relatif à l'étude pratique et de simulation numérique d'un système de pompage (banc d'essai G.U.N.T HM 310) utilisant un moteur a courant alternatif, alimenté par en premier lieu par un réseau électrique puis par un générateur photovoltaïque et entraînant une pompe centrifuge qui est couramment utilisée dans ce genre d'application à cause de sa fiabilité et sa maintenance réduite.

## **ملخص**

التحويل المباشر للطاقة الشمسية بواسطة المولدات الكهروضوئية هو أحد أشكال الاستغلال الأمثل للطاقة الشمسية، فهو يمنحنا عدة مزايا منها المرونة والتكيف مع مختلف التطبيقات.

إن استعمال الطاقة الشمسية في ضخ المياه تعتبر وسيلة ناجعة ومفيدة في المناطق النائية أين نجد الطلب المتزايد على المياه سواء الصالحة للشرب أو السقي مما يحتم علينا استعمال ألواح الطاقة الشمسية.

إن العمل المقدم يتناسب مع الدراسة التطبيقية والمحاكات الرقمية لنظام ضخ المياه (banc d'essai G.U.N.T HM 310) الذي يستعمل محرك لاتزامني مغذى أولا من الشبكة الكهربائية ثم بواسطة مولد كهروضوئي الذي بدوره يدير مضخة سطحية مستعملة في هذا النوع من التطبيقات نظرا لمرودها العالي وانخفاض تكلفة صيانتها.

L'énergie électrique joue un rôle très important dans le développement économique et social d'un pays, sa consommation énergétique est devenue un critère de son niveau de développement.

L'Algérie, à l'instar des pays en voie de développement, est confrontée au problème d'alimentation électrique des zones isolées et montagneuses.

La conversion directe de l'énergie solaire au moyen de générateur photovoltaïque est l'une des formes d'exploitation de l'énergie solaire, elle possède des avantages de souplesse et d'adaptation aux diverses applications.

L'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage d'eau est particulièrement bien adaptée aux zones rurales où l'eau fait cruellement défaut. La demande croissante en eau dans ces zones, destinée à l'alimentation en eau potable ainsi qu'à l'irrigation, fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des modules solaires comme source d'énergie aux groupes « Motopompe ».

Le banc d'essai est équipé pour cela de tous dispositifs de mesure nécessaires, l'étudiant acquiert des capacités générales en matière de préparation et de séries d'essai ainsi que des connaissances de maniement des débitmètre et manomètre.

Grâce à l'équipement comprenant un circuit d'eau fermé, le banc d'essai est indépendant du réseau de distribution de l'eau. Il peut être utilisé de manière mobile dans des salles de classe, de formation ou de séminaire.

Toutes les valeurs de mesure nécessaires sont enregistrées par des sondes de mesure et représentées sur des affichages numériques. L'analyse des résultats des essais est assistée par ordinateur.

Le banc d'essai **HM 310** sert à étudier le comportement d'une pompe centrifuge.

Les essais suivants peuvent être réalisés:

- Mesures de débit.
- Mesures de pression
- Mesures de température
- Détermination de caractéristiques de pompes
- Mesures de vitesse de rotation
- Mesures de couple
- Calcul de la puissance hydraulique et mécanique
- Calculs de rendement

Le travail présenté est relatif à l'étude pratique et de simulation numérique d'un système de pompage photovoltaïque (banc d'essai G.U.N.T HM 310) utilisant un moteur à courant alternatif, alimenté par un générateur photovoltaïque et entraînant une pompe centrifuge qui est couramment utilisée dans ce genre d'application à cause de sa fiabilité et sa maintenance réduite.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

Tout d'abord, une description du processus, en donnant la structure générale du banc d'essai avec les appareils de mesure utilisés.

Le deuxième chapitre que nous nous proposons de faire présente deux aspects :

- La vérification des performances du banc d'essai et tracé des courbes pour cas d'une alimentation avec réseaux électriques.
- La vérification des performances du banc d'essai et tracé des courbes pour cas d'une alimentation avec générateur photovoltaïque.

Les résultats obtenus pour chaque essai sont présentés, interprétés et comparés. Une étude des différents éléments du banc a précédé ce travail.

Le dernier chapitre porte sur l'étude comparative de simulation des deux modèles du système de pompage, celui alimenté par réseaux électriques et celui alimenté par générateur photovoltaïque. Ils permettent en fait de valider les résultats obtenus dans la partie expérimentale. Le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

Introduction

**Figure.I.1.Banc d'essai HM 310 in laboratoire énergie renouvelable**

Le banc d'essai HM 310 sert à étudier le comportement d'un système de pompage. Plusieurs essais suivants peuvent être réalisés tel que : Mesures de débit, Mesures de pression, Mesures de température, Mesures de vitesse de rotation, Mesures de couple, Calculs de rendement, ... etc.

Grâce à l'équipement comprenant un circuit d'eau fermé, le banc d'essai est indépendant du réseau de distribution de l'eau. Il peut être utilisé de manière mobile dans des salles de classe, de formation ou de séminaire.

Le banc d'essai est équipé de tous dispositifs de mesure nécessaires, l'étudiant acquiert des capacités générales en matière de préparation et de séries d'essai ainsi que des connaissances de maniement des débitmètre et manomètre.

### I.1-Description de l'appareil

Le banc d'essai se caractérise par les caractéristiques suivantes :

- L'ensemble du banc d'essai est monté sur un chariot de laboratoire.
- Quatre roulettes permettant la mobilité et un rangement facile de l'installation
- Deux roulettes avec frein pour un arrêt sûr
- Les dimensions permettent de passer les portes usuelles
- Tiroir verrouillable pour conserver les documents
- Le banc d'essai possède un circuit d'eau fermé avec réservoir d'eau
- Aucun raccord nécessaire sur le réseau de distribution d'eau
- Système de tuyauteries résistantes à la corrosion en cuivre
- Tous les transducteurs de mesure et accessoires de tuyauteries sont conformes à la norme industrielle actuelle
- Tous les éléments de commande électriques et les affichages sont logés dans une armoire de commande
- Interrupteur principal et bouton arrêt d'urgence
- Affichages numériques pour toutes les valeurs de mesure
- Interrupteur de démarrage, régleur de vitesse et affichage de vitesse pour le moteur à courant triphasé
- Saisie des signaux analogiques et transmission au PC via une interface USB [3]

### I.2-Structure générale du banc d'essai

- 1 -Réservoir d'eau
- 2 -Raccord de la sonde de température (face arrière)
- 3 -Armoire de commande
- 4 -Moteur avec mesure de la vitesse et du couple
- 5 -Vanne d'arrêt côté refoulement
- 6 -Pompe centrifuge
- 7 -Transducteur de mesure de la pression absolue côté refoulement
- 8 -Cache de mesure avec capteur de pression différentielle

- 9 -Transducteur de mesure de la pression absolue côté aspiration
- 10- Mesure du débit magnéto-inductive
- 11 -Débitmètre à corps flottant
- 12 -Vanne d'arrêt côté aspiration. [3]

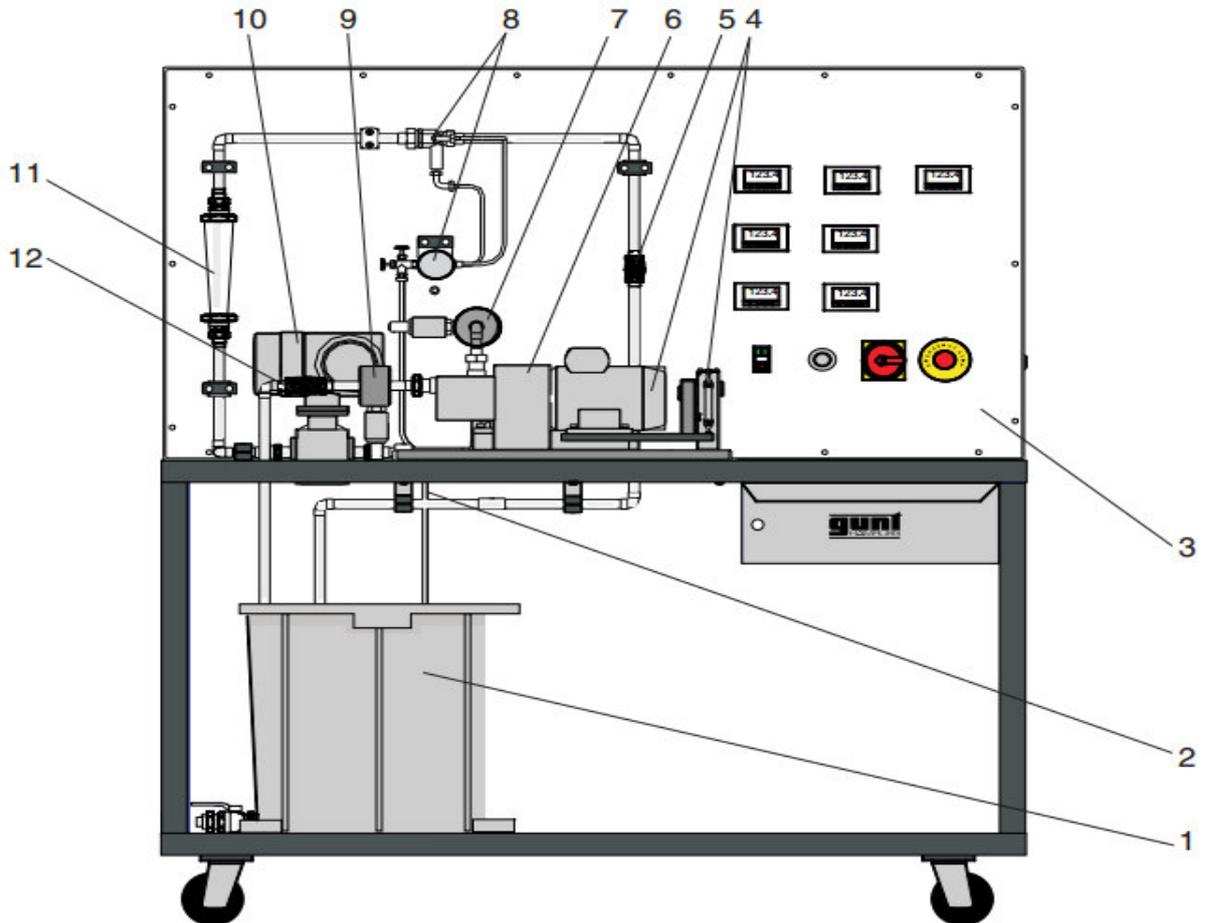


Figure I.2 : Vue d'ensemble de l'installation

### *1.3-Description du processus*

Le banc d'essai HM310 sert à étudier la caractéristique de refoulement des pompes centrifuges et à réaliser les exercices de mesure de technique de processus. Les éléments principaux de l'installation : la source (réseaux électrique ou générateur photovoltaïque), onduleur, moteur asynchrone et une petite pompe centrifuge avec un entraînement à vitesse de rotation régulée. Le débit de refoulement peut être mesuré soit avec un débitmètre magnéto-inductif, un débitmètre à corps flottant ou un capteur de pression différentielle par le biais d'un cache de mesure. Pour mesurer les pressions sur les côtés de l'aspiration et du refoulement, différents transducteurs de mesure de pression absolue sont disponibles.

La température de l'eau peut être mesurée avec une sonde de mesure de résistance Pt100.

Le débit peut être réglé à l'aide de vannes d'arrêt dans les conduites d'aspiration et de refoulement [3]

#### I.4-System diagramme

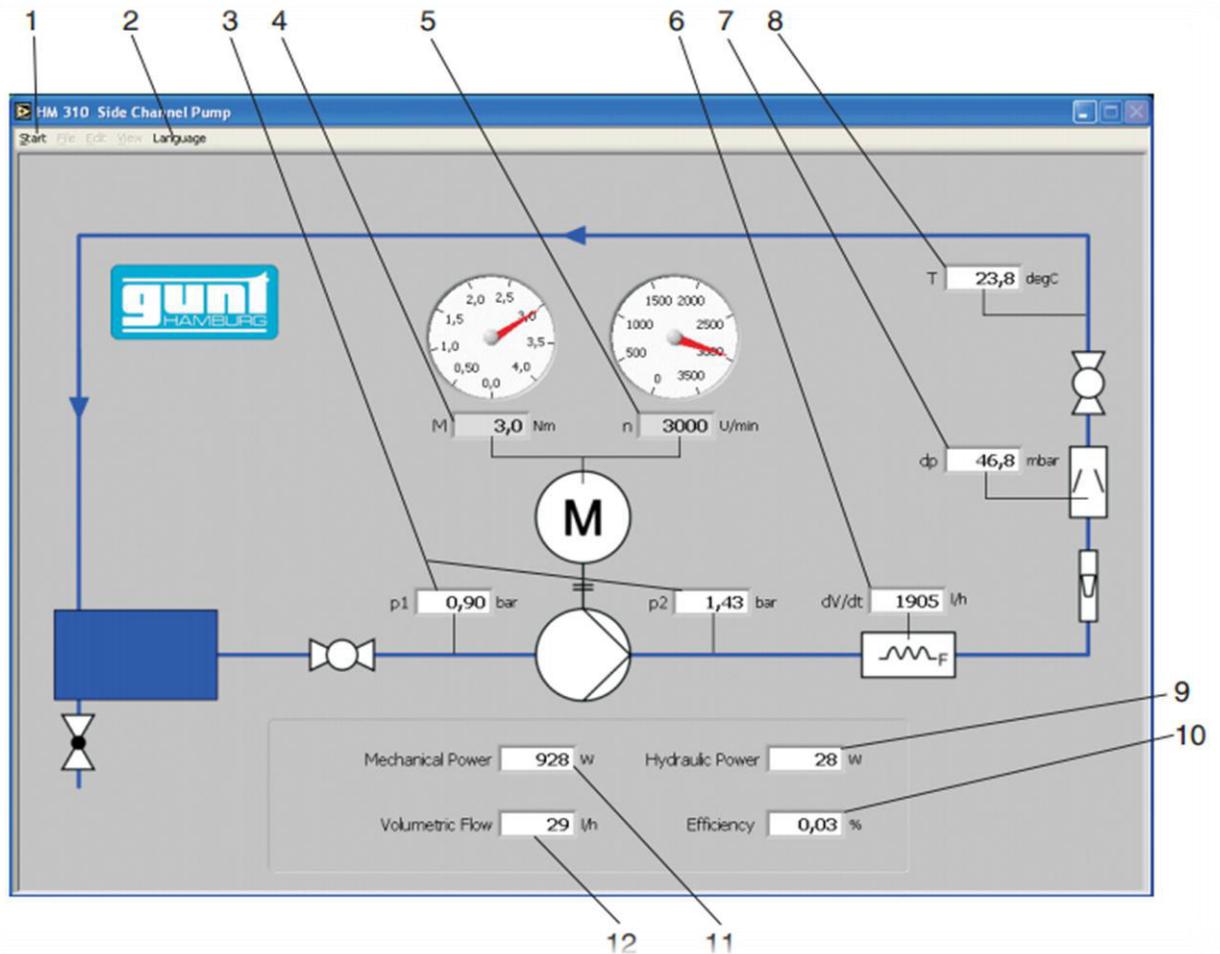


Figure .I.3: System diagramme

Dans le diagramme système, le diagramme du processus est représenté de manière claire.

Via la rubrique du menu “ Start ” (1), on accède à la rubrique “ system diagramme ”.

Les pressions (3)  $p_1$  et  $p_2$ , le couple (4), la vitesse de rotation (5), le débit sur l'appareil de mesure magnéto-inductif (6), la pression différentielle via le cache de mesure (7), la température de l'eau (8), la puissance hydraulique (9), le rendement(10), la puissance mécanique (11) et le débit sur le cache de mesure (12) sont affichés en ligne. Dans le menu

“ Language ” (2), une langue peut être sélectionnée. [3]

### I.5-Les appareils de mesure

#### I.5.1-Débitmètres

Nous précisons seulement que les mesures de débit à l'aval des pompes peuvent être obtenues à l'aide d'un appareil déprimogènes. Ces appareils ont l'inconvénient de créer des pertes de charge. Pour les conduites de petit diamètre, on utilise les compteurs type woltman ou similaires.

Les débitmètres électromagnétiques et à ultrasons sont plus douteux, mais ils nous donnent des mesures suffisamment précises sans avoir les inconvénients des appareils déprimogènes.[2]

##### I.5.1.1-Débitmètre magnéto- inductive



Figure .I.4 . Débitmètre magnéto- inductive

Pour les mesures du débit, le système d'exercices dispose d'un capteur électronique. Il est adapté à la mesure du débit des liquides dans des tuyauteries fermées. La grandeur de mesure est la vitesse du débit. Les plages de mesure typique sont  $v= 0.01... 10$  m/s

Le principe de mesure est magnéto inductif selon la loi de Faraday. Une tension est induite dans un conducteur qui se déplace dans un champ magnéto inductif.

La substance à mesurer s'écoulant dans le capteur de débit correspond ici au conducteur déplacé. C'est pourquoi, pour ce type de mesure, une conductibilité minimale du fluide en circulation est une condition préalable. Le champ magnétique est généré par un courant continu.

La tension induite est proportionnelle à la vitesse du débit et est prélevée via deux électrodes de mesure. Le débit est calculé à partir de cette valeur au moyen de la section de tube connue. Après une déformation, un signal de courant standardisé et proportionnel au débit est disponible au niveau de la sortie.

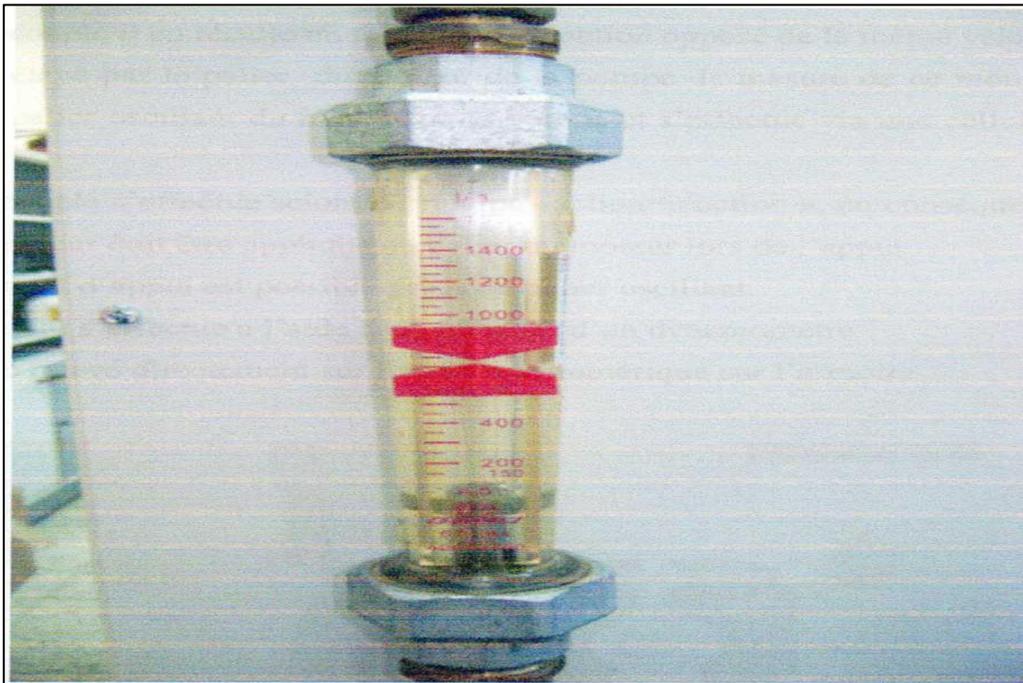
capteur a l'avantage d'empêcher les pertes de pression en raison de résistances à l'écoulement puisqu'au un élément mécanique déplacé ne participe et que la section du tube du système reste inchangée Voir (Figure .I.4). [2]

#### 1.5.1.2-Débitmètre à corps flottant

Le débitmètre à corps flottant fonctionne avec l'eau comme fluide de travail.

A l'aide de la vanne d'arrêt, la résistance à l'écoulement peut être réglée et en conséquence, les caractéristiques de débit du parcours peuvent être modifiées.

Un avantage particulier de parcours est que toutes les modifications du débit peuvent être observées immédiatement à l'aide du corps flottant au travers des dysfonctionnements ou des réactions d'une régulation. Voir (Figure. I.5) [3]



**Figure.I.5. Débitmètre à corps flottant**

#### 1.5.2-Réglage de la vitesse de rotation

La vitesse de rotation du moteur d'entraînement peut être réglée en continu ceci s'effectue à l'aide du bouton de réglage sur l'armoire de commande

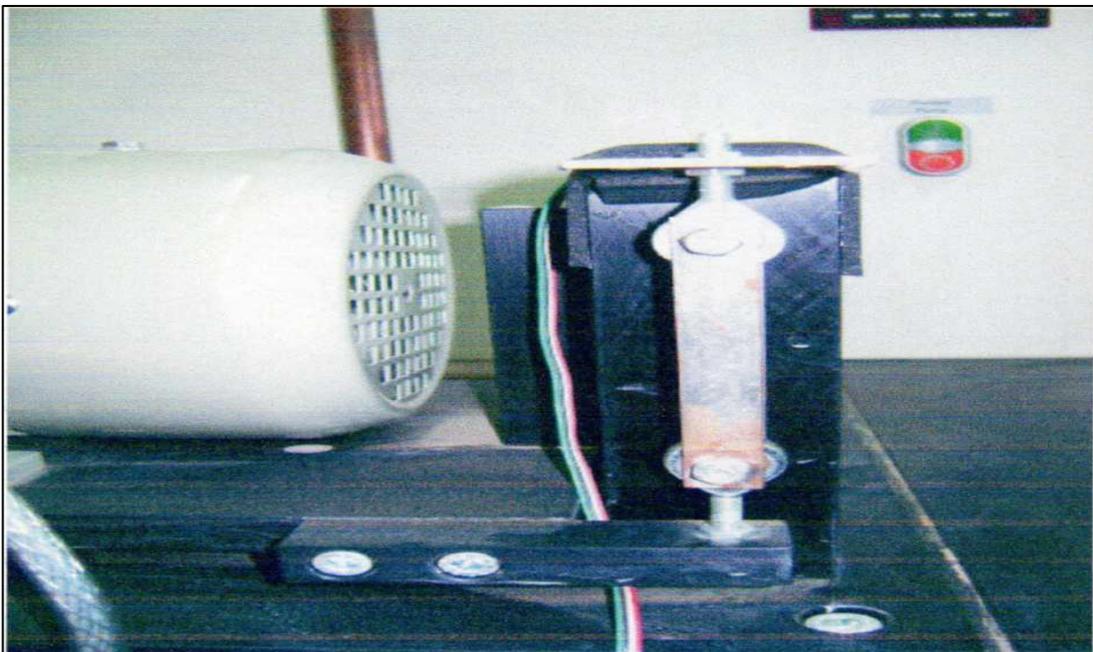
La vitesse de rotation est affichée directement sur l'armoire de commande en rom .elle est réglée depuis l'armoire de commande et reste constante avec différents charges.

La vitesse de rotation est saisie sur les deux moteurs électriques sous le recouvrement au niveau de l'accouplement à l'aide d'un détecteur de proximité inductif .une des deux moitiés de l'accouplement comprend une vis qui entre en contact avec le capteur à chaque rotation. Le capteur se trouve directement sous l'accouplement

La vitesse de rotation du moteur d'entraînement peut être réglée en continu ceci s'effectue à l'aide du bouton de réglage sur l'armoire de commande

La vitesse de rotation est affichée directement sur l'armoire de commande en rom .elle est réglée depuis l'armoire de commande et reste constante avec différents charges [2]

### 1.5.3-Mesure du couple



**Figure.I.6. saisie du couple**

La saisie du couple s'effectue selon le principe (action / réaction). Lorsque le moteur de pompe délivre un couple il en résulte un moment de réaction opposé de la même valeur Celui-ci doit être étayé par le palier du moteur de la pompe, la mesure de ce moment d'appui est possible grâce au palier oscillant du moteur de la pompe et s'effectue via une cellule de mesure de force et un levier

La saisie du couple s'effectue selon le principe (action=réaction), en conséquence, le moment développé par le moteur doit être appliqué au palier du moteur lors de l'appui. La mesure du moment d'appui est possible grâce au palier oscillant. La mesure du moment s'effectue à l'aide d'un levier et d'un dynamomètre. Le couple peut être relevé directement sur l'affichage numérique sur l'armoire Voir (Figure.I.6) [2]

### 1.5.4- L'armoire de commande

L'armoire de commande comprend tous les instruments d'affichage et de commande électriques ainsi que le port USB :

L'unité centrale du banc d'essai est l'armoire de commande. Son panneau frontal comprend les appareils de mesure et de commande suivants :

- 1 –Affichage de pression numérique 1
- 2 - Affichage de pression numérique 2
- 3- Affichage de température numérique.
- 4- Affichage du débit numérique
- 5-affichage de la pression différentielle numérique
- 6- affichage de la vitesse de rotation numérique
- 7 –affichage du couple numérique en Nm.
- 8-Interrupteur pour le moteur de pompe.
- 9-Régleur de vitesse du moteur de pompe.
- 10-Interrupteur principal.
- 11-Bouton d'arrêt d'urgence.

**ATTENTION !** Cet affichage doit être remis à zéro avant le début des essais sur la vitesse de rotation  $n=0$  avec le bouton-poussoir RST [9]



Figure. I. 7. L'armoire de commande

### 1.5.5- Capteur de pression 652

Les transmetteurs de pression de la série 652 sont prévus pour la surveillance de niveau ou de débit dans le domaine du chauffage et du processeur industriel en général.

Une construction spéciale et très robuste permet une grande surcharge unilatérale, qui en fonction des plages de mesure peut aller jusqu'à 20 bar

- Grande sûreté contre les surpressions 10/20 bar sur P1
- 3 signaux standards de sortie pouvant être directement utilisés par les systèmes de contrôle-commande
- Mécanique au fonctionnement simple, robuste d'une grande sécurité de fonctionnement
- Adaptés pour liquides et gaz légèrement agressifs
- Rapport prix/performances attractif [4]



Figure.I.8.Capteur de pression 652

### 1.5.6- Capteur de pression 691

Les capteurs de pression de la série 691 se caractérisent par une technologie céramique unique et qui trouve son application depuis plus de 20 ans sur des millions de pièces fabriquées. Les signaux de la cellule de mesure sont amplifiés, calibrés et mis à disposition sous forme de sortie standard en tension ou en courant. Suivant les applications,

divers raccords de pression et connecteurs électriques spécifiques peuvent être proposés. Les transmetteurs de pression de la série 691 reposent sur une technologie céramique unique et éprouvée. Ils disposent d'une grande diversité de variantes de raccordement de pression et de connectique, ainsi que de plages de mesure de pression étagées à partir de 100 mbar.

- Peu sensible à la température
- Résistance thermique élevée
- Pas de fluage mécanique Applications individuelles grâce au système modulaire [4]



Figure.I.9. Capteur de pression 691

### 1.6- Caractéristique technique

- Dimensions principales du banc d'essai :
  - Longueur 1600 mm
  - Largeur 750 mm
  - Hauteur 1750 mm
- Alimentation électrique :
  - 230 V / 50 Hz

Autres tensions en option, voir plaque signalétique

- Pompe :
  - Type Pompe centrifuge
  - Débit de refoulement max. 1920 *l/h*
  - Hauteur de refoulement max. 60 *m*
  - Vitesse nominale de rotation 2800 *rpm*
- Moteur d'entraînement :
  - Moteur à courant triphasé à vitesse de rotation
  - réglée avec convertisseur de fréquence
  - Plage de régimes 0 ... 2810 *rpm*
  - Puissance 0,55 *Kw*
- Mesure du couple :
  - Moteur de la pompe monté sur palier oscillant
  - avec bras de levier et cellule de pesée
  - Charge nominale 3,75 *kg*
  - Bras de levier 50 *mm*
  - Tension d'alimentation + 10 *V*
  - Signal de sortie sur l'affichage 0 ... 10 *V*
  - Plage du couple 0 ... 4 *Nm*
- Mesure de la vitesse de rotation :
  - Plage de régimes 0 ... 3500 *rpm*
  - Capteur de vitesse de rotation
  - Détecteur de proximité inductif *PNP*
- Mesure de pression :
  - Capteur de pression absolue avec transducteur de mesure
  - Plage de mesure
  - Côté aspiration 0 ... 1,6 *bar (abs)*
  - Côté refoulement 0 ... 10 *bar (abs)*
  - Sortie 0...10 *V*
- Mesure du débit :
  - Débitmètre magnéto-inductive
  - Diamètre nominal DN 20 *mm*
  - Plage de mesure 0 ... 2100 *l/h*
  - Alimentation 85 ... 260 *V* 45...65 *Hz*

- Sortie réglable 0 ... 20 mA  $\approx$  0...10 V
- Mesure de température :
  - Sonde de mesure Pt 100 avec un câblage à trois fils
  - Plage de mesure 0...100 °C
  - Affichage numérique 4 1/2 caractères,
  - Sortie 0...10 V [1]

### Conclusion

Dans ce chapitre expose une description du processus en présentant la structure générale du système de pompage (Banc d'essai HM310).

Ainsi que les appareils de mesure utilisés, avec leurs principe de fonctionnement.

Ceci nous permet d'introduire la partie expérimentale, le contexte du deuxième chapitre

### Introduction

Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. La puissance à la sortie du générateur photovoltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire la demande de charge, aussi l'autonomie du système est-elle assurée par un système de stockage d'énergie. En général ces installations comprennent quatre éléments [2].

- ❖ Un ou plusieurs modules PV.
- ❖ Le système de régulation.
- ❖ Une ou plusieurs batteries.
- ❖ L'onduleur.
- ❖ Moteur asynchrone.

Dans ce chapitre nous décrivons la conception d'un système de conversion photovoltaïque « stand-alone », sans tenir compte du stockage, et le principe de fonctionnement de chaque élément le constituant.

Identifier une pompe et de déterminer ses caractéristiques à savoir le débit refoulé, la hauteur d'élévation, la puissance absorbée et le rendement. Ces caractéristiques sont fournies par le constructeur (la pompe équipant le banc d'essai).

Dans cet intérêt on va faire les essais de performance sur la pompe centrifuge et sur la boucle d'essai du banc **HM 310** du constructeur de la matérielle pédagogie Gunt disponible au niveau de laboratoire énergie renouvelable du département électrotechnique l'université Mohammed khaidr Biskra pour construire les courbes caractéristiques (H - Q), (P<sub>ab</sub> - Q), (I<sub>l</sub> - Q).

### II.1-Générateur photovoltaïque

#### II.1.1-Modèle Electrique D'une Cellule Photovoltaïque Réelle

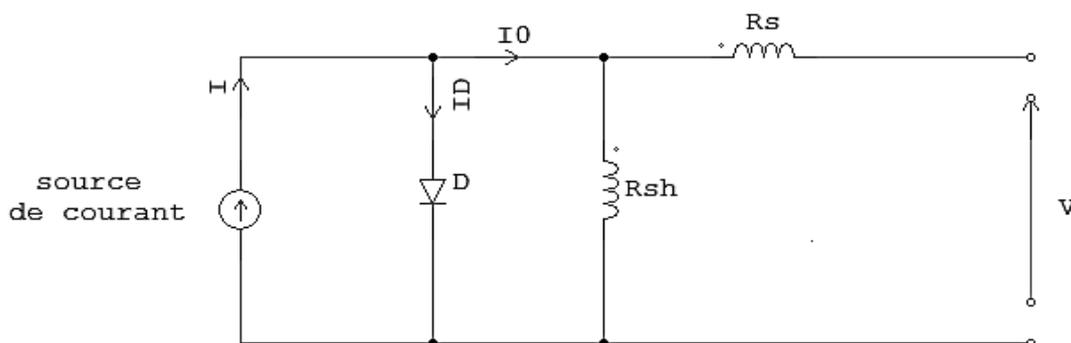


Figure .II.1. Modèle équivalente d'une cellule photovoltaïque [7]

Le modèle électrique réel d'une cellule solaire se compose d'une diode, de deux résistances et d'un générateur de courant. La relation entre la tension  $V$  (Volts) et le courant (Ampères) est donné par la formule (Figure .II.1)

$$I = I_L - I_D \left[ \exp\left(\frac{V + R_S I}{A}\right) - 1 \right] \quad (\text{Equa.II.1})$$

$$\text{Avec : } A = \frac{n * k * T}{q} \quad (\text{Equa.II.2})$$

Où  $q$  est la charge de l'électron ( $1.9 * 10^{-19}$  coul),  $n$  le facteur de qualité de la diode et  $K$  la constante de Boltzmann. ( $1.08 * 10^{23}$ ).  $R_S$  et  $R_{Sh}$  sont les résistances série et parallèle d'une cellule photovoltaïque.

$I_L$ ,  $I_D$  et  $I$  sont le courant photonique, le courant inverse de saturation de la diode et le courant de fonctionnement, qui dépendent du rayonnement solaire incident et de la température des cellules. E. Matage propose le modèle à quatre paramètres qui néglige la résistance shunt, puisque elle est très grande comparée à la résistance série. Avec cette supposition l'équation (II.1) peut être réécrite.[7]

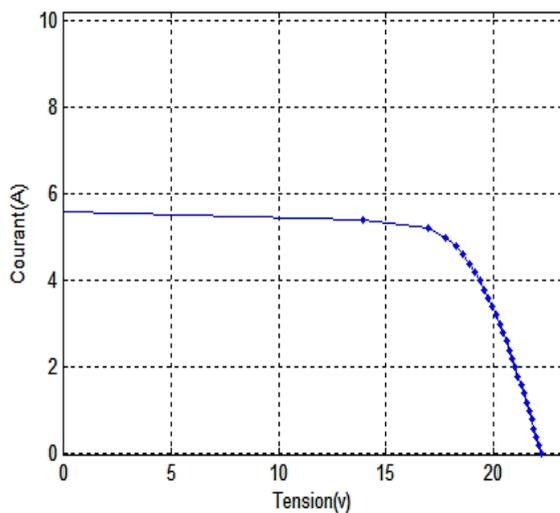


Figure .II.2. Caractéristique de courant - tension d'un module photovoltaïque [7]

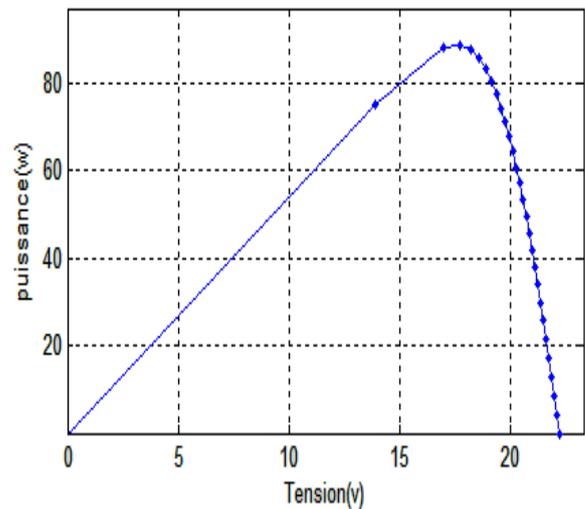


Figure .II.3. Caractéristique de puissance - tension d'un module photovoltaïque [7]

### II.1.2-Le Module Photovoltaïque

Afin d'augmenter la tension d'utilisation, les cellules PV sont connectées en série. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge de 22 volts et les modules auront donc généralement 36 cellules. De plus, la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique. Le tout est appelé un module photovoltaïque

Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la

tension et l'intensité d'utilisation. Toutefois, il importe de prendre quelques précautions car l'existence de cellules moins efficaces ou l'occlusion d'une ou plusieurs cellules (dus à de l'ombrage, de la poussière, etc.) peuvent endommager les cellules de façon permanente.

Pour décrire la caractéristique I-V du générateur photovoltaïque qui contient plusieurs modules connectés en série et en parallèle (Figure .II.4 ,5), il faut:

$I_g = N_p * I$  et  $V_g = n_s * N_s * V$ , avec  $n_s$ ,  $N_s$ ,  $N_p$  sont le nombre de cellules en série dans un module et de modules en série et en parallèle dans le générateur ( $n_s = 36$ ) .[6]

### II .1.2.1-Association en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série (voir figure II.4).



Figure .II.4. Schéma de 4 modules en série de l'université de Biskra

### II .1.2.2-Association en parallèle



Figure .II.5. Schéma de 4 modules en Parallèle de l'université de Biskra

En additionnant des modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche.

### II.1. 3-Les caractéristiques du module

$I_{max}$	5.07 A
$V_{max}$	17.52 V
$V_{oc}$	22.2 V
$I_{cc}$	5.61 A
$E$	1000 W/m <sup>2</sup>
$T$	25°C



Figure .II.6. Module monocristallin

### II.2-Le convertisseur continu-alternatif (DC-AC)

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif « onduleurs autonomes »

La conception de l'ensemble du système photovoltaïque de façon à extraire le maximum de puissance du générateur photovoltaïque, quelles que soient les perturbations d'éclairement et de la température, l'alimentation sous la tension alternative des appareils à partir des panneaux solaires nécessitent l'utilisation d'un onduleur assurant la conversion DC/AC. Il peut être conçu à base de transistors de puissance ou à thyristors utilisés comme commutateurs de puissance. [5]

La fréquence de commutation de semi-conducteurs détermine la fréquence de la tension de sortie. L'onduleur autonome impose lui-même la forme et la fréquence de l'onde de sortie.

Dans le système de pompage photovoltaïque, la connexion entre le générateur photovoltaïque et la pompe entraînée par un moteur à courant alternatif est faite par un onduleur. Ce dernier permet de réaliser un transfert optimal de puissance entre le générateur et le groupe moto- pompe sous les conditions variables de la puissance produite et de la demande en puissance. Ce transfert est contrôlé par variation de fréquence.

Selon le mode de commutation, on peut distinguer [5]

- Onduleur à onde rectangulaire

- Onduleur à créneaux de largeur variable.
- Onduleur à modulation de largeur d'impulsion (MLI).

Le choix de l'une des solutions est tributaire des aspects suivants : coût, fiabilité, performances, disponibilité des composants, etc.

Dans notre système, nous pouvons utiliser un onduleur de tension en MLI triphasée, spécialement pour l'alimentation des récepteurs triphasés, tel qu'un groupe motopompe à tension et à fréquence variable.

### II.2.1-Différents types d'onduleurs

Il existe deux types d'onduleurs qui se différencient par la nature de la fréquence de sortie, soit fixe ou soit variable, qui sont [8]:

#### II.2.1.1-Onduleur à fréquence fixe

Son utilisation dans les systèmes de pompage nécessite l'interposition des batteries d'accumulateurs entre le générateur photovoltaïque et l'onduleur, ainsi la tension de fonctionnement du système est fixée par le système de stockage.

#### II.2.1.2-Onduleur à fréquence variable

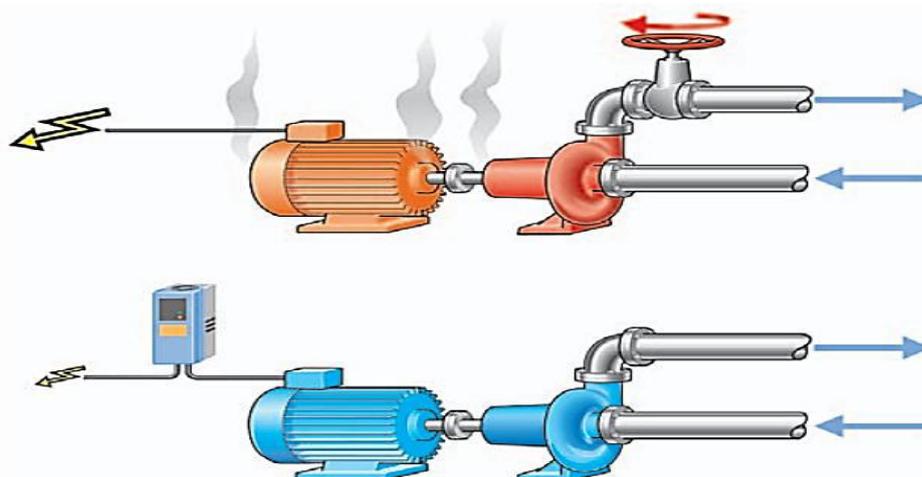
Pour le fonctionnement au fil du soleil, assurant l'adaptation aux points de fonctionnement optimaux et utilisant des moteurs optimisés en rendement, cet onduleur s'adapte précisément aux systèmes de pompage photovoltaïques. Il délivre des signaux d'amplitude crête constante, mais de fréquence variable proportionnelle à la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque. La tension crête des impulsions est fixée par le circuit de contrôle de l'onduleur.

### II.2.2-Onduleur Toshiba VF-S11

Onduleur Toshiba c'est un onduleur à fréquence variable en utilisée pour commande de variation de la moteur «3ph».

Figure .II.7. Onduleur Toshiba VF-S11





**Figure .II.8. Principe de l'économie d'énergie grâce au contrôle de la vitesse par des variateurs de fréquence**

La plupart des moteurs électriques utilisés dans les systèmes de HVAC et les applications hydrauliques sont des moteurs à cage d'écureuil, aussi appelés moteurs à induction ou asynchrones. Leur popularité repose sur un prix relativement raisonnable, une faible maintenance et une grande fiabilité. La seule possibilité de jouer sur la vitesse de ces moteurs consiste à modifier le variateur de fréquence. Les variateurs de fréquence, appelés aussi convertisseurs de fréquence sont basés sur le principe suivant : un dispositif électronique assure une régulation progressive ou continue fréquence du courant alternatif côté entrée: et c'est ici qu'intervient le principe des de la vitesse des moteurs électriques. Toutefois, les variateurs de fréquence actuels offrent en plus d'autres caractéristiques utiles elles que des fonctions de régulation et de protection pour d'autres composants au sein du système

La relation entre les variables telles que pression, débit, vitesse de rotation de l'arbre de transmission et consommation électrique peut se traduire par des lois dites d'affinité. Celles-ci s'appliquent aussi bien aux ventilateurs et pompes axiales que radiales.

Ces lois montrent clairement que le débit est directement proportionnel à la vitesse alors que la pression est proportionnelle au carré de la vitesse. Le point le plus important dans la perspective des économies d'énergie est le fait que la consommation électrique est proportionnelle au cube de la vitesse. Cela signifie que même une faible réduction de la vitesse entraîne déjà d'importantes économies de courant électrique.[6]

### II.3-La Machine Asynchrone

Une machine asynchrone est une machine à courant alternatif dont la vitesse du rotor et la vitesse du champ magnétique tournant sont différents. La machine asynchrone est dite machine à induction car l'énergie transférée du stator au rotor ou inversement se fait par induction électromagnétique.



Figure .II.9. Machine asynchrones 3 phases

La machine asynchrone comporte une partie fixe dite stator et une partie tournant autour de l'axe de symétrie dite rotor. Elle comporte un enroulement triphasé au stator dont les axes magnétiques sont déphasés de  $120^\circ$ . La structure du rotor peut être réalisée soit par un système triphasé à rotor bobiné ou à cage d'écureuil.

Dans notre travail, le moteur asynchrone utilisé est caractérisé par :

- ❖ la présence d'un seul bobinage triphasé alimenté par une source extérieure au stator.
- ❖ la présence d'un « bobinage » massif en court-circuit au rotor.

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant (créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau) et des courants induits dans l'enroulement rotorique (lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant). Cette interaction électromagnétique des deux parties de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant diffère de celle du rotor.[5]

### II.4-Commande Scalaire

Plusieurs commandes scalaires existaient selon que l'on agit sur le courant ou sur la tension.

Elles dépendent surtout de la topologie de l'actionneur utilisé (onduleur de tension ou de courant). L'onduleur de tension étant maintenant le plus utilisée en petite moyenne puissance, c'est la commande en  $V/f$  ( $V$  sur  $f$ ) qui est la plus utilisée.[8]

#### II.4.1-Contrôle en $V/f$ de la machine asynchrone

Son principe est de maintenant  $V/f = \text{constant}$  ce qui signifie garder flux constant.

Le contrôle du couple se fait par l'action sur le glissement.

En effet, d'après le modèle établi en régime permanent, le couple maximum s'écrit :

$$C_{max} = \frac{3p}{2N_r} \left( \frac{v_s}{\omega_s} \right)^2 \quad (\text{Equa.II.3})$$

$$K_t = 3 * p * L_m * \text{phir}_{ref} / (2 * L_r) \quad (\text{Equa.II.4})$$

$$K_i = (J * W^2) / K_t \quad (\text{Equa.II.5})$$

$$K_p = (2 * J * W - f) / K_t \quad (\text{Equa.II.6})$$

On voit bien que le couple est directement proportionnel au carré du rapport de la tension sur la fréquence statorique

En maintenant ce rapport constant et en jouant sur la fréquence statorique, on déplace la courbe du couple électromagnétique (en régime quasi –statique) de la machine asynchrone voire (figure.II.10)

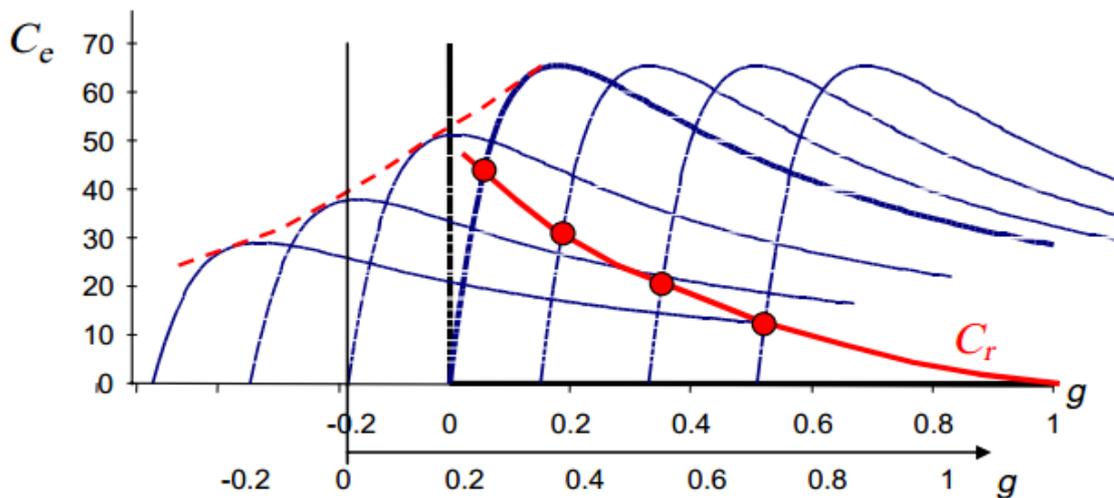


Figure.II.10.déplacement de la caractéristique couple-vitesse en fonction de la fréquence d'alimentation

En fait, garder le rapport constant revient à garder le flux constant. Quand la tension atteint sa valeur maximale, on commence alors à décroître ce rapport qui provoque une diminution du couple que peut produire la machine. On est en régime de « dé fluxage ». Ce régime permet de dépasser la vitesse nominale de la machine, on l'appelle donc aussi régime de survitesse

(partie  $\Omega > \Omega_s$  de la figure.II.110)

A basse vitesse, de la chute de tension ohmique ne peut pas être négligée .on compense alors en ajoutant un terme de tension  $V_0$ (Figure.II.11)

### II.4.2-La commande V/f a les avantages et les inconvénients suivants

#### Les Avantages

- facilité d'adaptation du variateur de vitesse au moteur.
- supporte aisément les variations de charge dans toute la plage de vitesses.
- le couple moteur reste plus ou moins constant en fonction de la vitesse.

#### Les Inconvénients

- plage de régulation de la vitesse limitée à 1/20.
- à faible vitesse, pas de compensation par rapport au glissement et à la gestion de la charge.

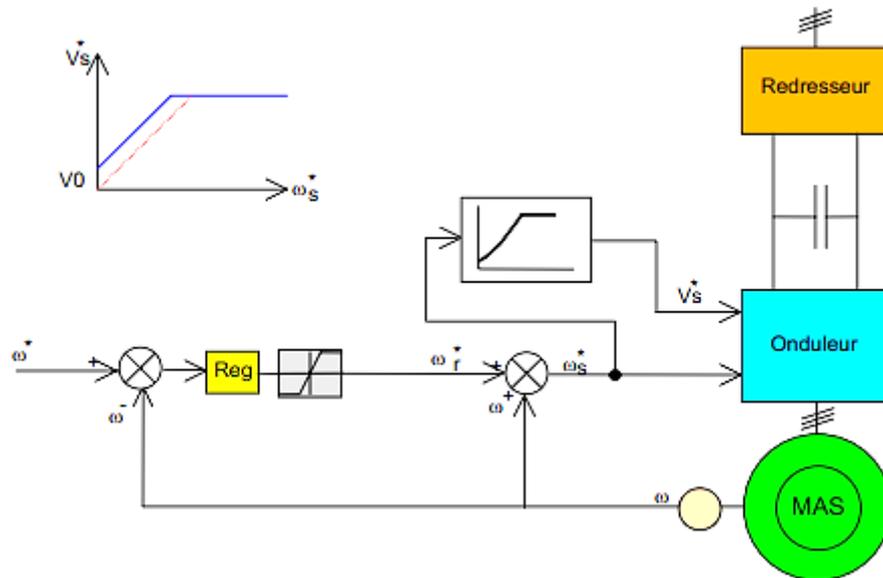


Figure.II.11.Contrôle scalaire de la tension

Le schéma de commande ci-dessus (Figure.II.11) présente la manière de réguler la vitesse de la machine en reconstituant la pulsation statorique à partir de la vitesse et de la pulsation rotorique .cette dernière .qui est l'image du couple de la machine est issue du régulateur va fournir plus de couple (donc plus de glissement) afin d'assurer cet équilibre .la pulsation statorique est donc modifiée pour garder cet équilibre.la tension est calculée de manière à garantir Le mode de contrôle en V/f de la machine.

### II.5-Pompes centrifuges



Figure .II.12.pompe centrifuge MT 180

Les pompes centrifuges font partie des pompes rotodynamiques et fonctionnent à aspiration normale. Elles sont largement répandues et sont principalement utilisées pour véhiculer de l'eau. Leurs domaines d'application sont entre autres la construction navale, l'industrie et la distribution de l'eau. Elles sont de construction compacte et de structure relativement simple. L'eau est véhiculée par des forces centrifuges, générées par le mouvement de rotation de la roue de la pompe. Les pompes normalisées sont standardisées. Il en découle un prix d'achat et un coût de maintenance favorables. Les travaux de maintenance et de réparation surviennent normalement au cours du cycle de vie d'une pompe, celle-ci n'étant pas considérée comme un simple composant à remplacer dans de nombreux cas. Le jeu de pièces MT 180 fait partie de la démarche pratique GUNT pour le montage, l'entretien et la réparation, conçue pour les écoles de formation professionnelle et les centres de formation en entreprise. Le lien étroit entre les contenus pédagogiques théoriques et pratiques est très accessible. Ce jeu de pièces convient parfaitement à un travail de projet étendu, orienté sur la méthode. Il soutient et favorise le travail autonome de l'élève et se prête à un enseignement en petit groupe.

Le MT 180 permet de monter et d'entretenir une pompe centrifuge.

Sous l'effet de la rotation de la roue, le liquide emmagasiné entre les aubes de la roue est projeté de la région axiale vers le diffuseur à cause de la force centrifuge ,

de ce fait une dépression est créée à l'entrée de la pompe d'où l'effet d'aspiration du liquide et en même temps une compression à la sortie de la roue, cela suffit pour établir le mouvement continu de l'écoulement. A la sortie de la roue, le liquide est récupéré dans une volute reliée à l'orifice de refoulement où l'énergie cinétique est transformée en énergie potentielle, on dispose ainsi à l'orifice de refoulement un débit sous une pression qui se traduit par une hauteur manométrique de refoulement [9].

### II.6-Régulateur solaire à trois fonctions(Tristar)

Le régulateur Tristar de Morningstar à trois fonctions assure faiblement la charge des batteries solaires et la régulation de la charge ou de la dérivation. Le régulateur ne fonctionne que dans l'un de ces modes à la fois ; on peut utiliser un ou plusieurs régulateurs pour obtenir plusieurs fonctions.

Le Tristar fait appel à une technologie et à la production automatisée de pointe pour offrir des caractéristiques nouvelles et avantageuses, à prix concurrentiel. Le compteur Tristar optionnel est

le plus perfectionné et le plus informatif sur le marché. Le régulateur est homologué UL et conçu pour les systèmes solaires domestiques et l'utilisation professionnelle.[7]



Figure .II.13.Le régulateur Tristar de Morningstar

### II.7-Les batteries solaires

Les batteries solaires Energy Bull, sont pourvues de plaques planes épaisses qui assurent une excellente aptitude aux cyclas-gés et prolongent la durée de vie de la batterie (même à température élevée).De plus, l'utilisation d'alliages spécifiques à faible taux d'antimoine, limite la consommation d'eau et l'autodécharge. Grâce à leur couvercle de sécurité (qui évite toute fuite d'acide), ces batteries peuvent être installées en site isolé ou sur un véhicule. Elles fonctionnent en décharge lente, c'est pourquoi les capacités (indiquées dans le tableau ci-dessous) sont pour des décharges en 100 heures (C100). .il présent de nombreux atouts

- Une excellente durée de vie.
- Une grande fiabilité et d'excellentes qualités.
- Un faible taux de décharge.

- Un grand nombre de charge et de décharge.
- Un produit CE.[6]

Figure.II.14.Batterie solaire 12 V



### II.8-Partie expérimentale

L'expérience se fait en deux grands axes : le premier est l'alimentation du système de pompage (Banc d'essai HM310) par le réseau électrique voir figure.II.16. L'alimentation par un générateur photovoltaïque est le deuxième axe à manipuler.

En premier lieu, on alimente le banc d'essai avec le réseau électrique par une tension sinusoïdale 220 V 50Hz. On fixe la vitesse à une valeur et on fait varier le débit jusqu'à avoir la valeur nulle. En tenant en compte de la valeur de la température qui influence le moteur ainsi que le rendement total. On relève les résultats obtenus de l'expérience sous une vitesse fixe des paramètres suivants (Pression d'aspiration, pression refoulement, température, hauteur manométrique, couple résistance, rendement, puissance mécanique, puissance hydraulique)

On fait varier la vitesse et on répète les mêmes mesures précédentes. Pour les différentes vitesses choisies.

Les résultats et les courbes qui sont obtenus sont illustrés dans les tableaux et les figures ci-dessous.

Le deuxième axe : en changeant l'alimentation de réseaux électriques par une alimentation photovoltaïque, avec des modules mis en série et en parallèle qui donne une puissance 4,5(KW)

Ce couplage permet de donner une tension permanente et stable de 220 (V).

La même démarche est prise dans cette manipulation que celle du premier axe (alimentation par réseau électrique).

Enfin les résultats obtenus dans les deux axes sont présentés, comparés et interprétés.

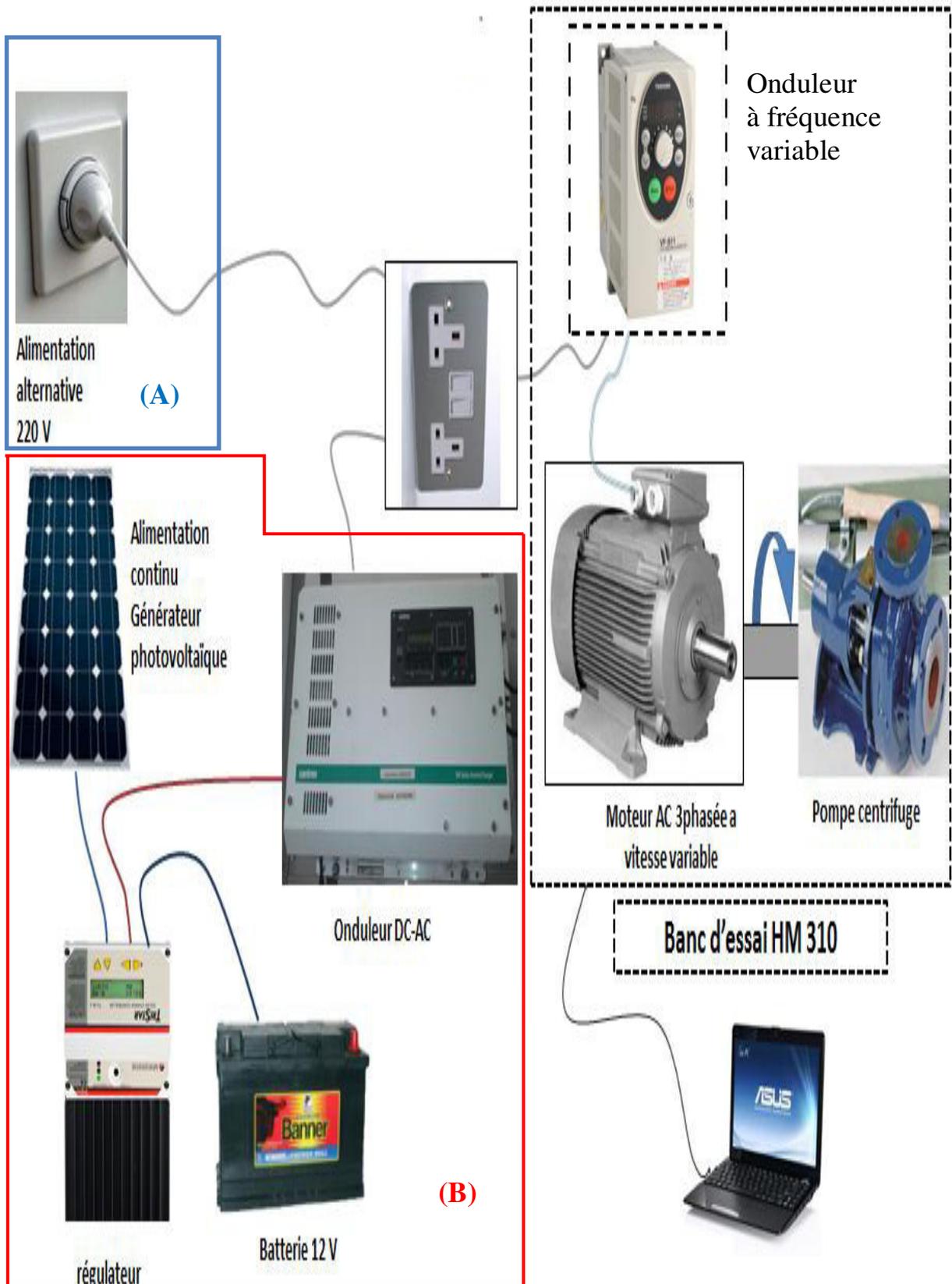


Figure II.16. Système de pompage pour les deux cas : A alimentation RE  
B alimentation PV

II.8.1- les résultats obtenus avec alimentation par réseau électrique (RE) 220V 50 Hz

Tous les mesures ont été présent avec une valeur de  $T=28,5C^{\circ}$ .

$P_1$ : Valeur de pression donnée par l'appareil de mesure au à d'aspiration (vacuomètre)  
« bar ».

$P_2$ : Valeur de pression donnée par l'appareil de mesure au de refoulement (Manomètre)  
« bar ».

$HMT$ : La hauteur (mce)

$Q$  : débit (l/h)

$N$  : Valeur de vitesse de rotation de moteur donnée par l'appareil de mesure (tr/min)

$P_{mec}$  : Valeur de puissance mécanique donnée par le programme de banc d'essai(w)

$P_{hyd}$  : Valeur de puissance hydraulique donnée par le programme de banc d'essai(w)

$\eta$ : Valeur du rendement de donnée par le programme de banc d'essai(%)

$C_r$  : Valeur de couple résistance donnée par l'appareil de mesure(N.m)

Tableaux 1 : résultats du 1<sup>er</sup> essai

$N$ (t/min)	$P_1(Par)$	$P_2(Par)$	$H(mce)$	$Q(l/h)$	$P_{mec}(w)$	$P_{hyd}(w)$	$\eta(\%)$	$C_r$ (N.m)
800	0,93	1,17	0,24	0	8	0	0	0,1
	0,93	1,16	0,23	40	8	0,6	3	0,1
	0,93	1,15	0,22	72	8	1	6	0,09
	0,92	1,13	0,21	100	8	1	8	0,09
	0,92	1,11	0,19	140	8	1	11	0,09
	0,92	1,09	0,17	180	8	1	13	0,09
	0,92	1,08	0,16	203	8	1	14	0,09
	0,92	1,03	0,11	286	7	1	13	0,09
	0,92	0,97	0,05	386	7	1	9	0,08

Tableaux 2 : résultats du 2<sup>eme</sup> essai

$N$ (t/min)	$P_1$ (Par)	$P_2$ (Par)	$H$ (mce)	$Q$ (l/h)	$P_{mec}(w)$	$P_{hyd}(w)$	$\eta$ (%)	$Cr$ (N.m)
1000	0,93	1,34	0,41	0	13	0	0	0,12
	0,92	1,32	0,4	43	12	0,8	4	0,12
	0,92	1,26	0,34	120	12	1	10	0,11
	0,92	1,19	0,27	228	11	2	16	0,1
	0,92	1,17	0,25	249	10	2	17	0,1
	0,92	1,11	0,19	345	10	2	17	0,1
	0,91	1,03	0,12	450	9	2	16	0,09
	0,91	1,02	0,11	477	9	1	15	0,09
	0,91	0,99	0,08	502	9	1	12	0

Tableaux 3 : résultats du 3<sup>eme</sup> essai

$N$ (t/min)	$P_1$ (Par)	$P_2$ (Par)	$H$ (mce)	$Q$ (l/h)	$P_{mec}(w)$	$P_{hyd}(w)$	$\eta$ (%)	$Cr$ (N.m)
1500	0,93	1,85	0,92	0	33	4	0	0,21
	0,93	1,77	0,84	103	32	4	8	0,2
	0,93	1,64	0,71	222	30	5	15	0,19
	0,92	1,57	0,65	295	28	5	20	0,18
	0,92	1,49	0,57	366	27	6	22	0,17
	0,9	1,23	0,33	616	22	5	25	0,14
	0,89	1,06	0,17	778	20	4	19	0,12

Tableaux 4 : résultats du 4<sup>eme</sup> essai

$N$ (t/min)	$P_1$ (Par)	$P_2$ (Par)	$H$ (mce)	$Q$ (l/h)	$P_{mec}(w)$	$P_{hyd}(w)$	$\eta$ (%)	$Cr$ (N.m)
2000	0,92	2,37	1,45	0	66	8	0	0,4
	0,92	2,28	1,36	215	65	8	13	0,3
	0,92	2,15	1,23	317	62	11	19	0,3
	0,91	1,91	1	495	54	14	26	0,26
	0,9	1,67	0,77	669	48	15	31	0,22
	0,88	1,34	0,46	902	40	12	30	0,19
	0,86	1,15	0,29	1046	38	8	22	0,18

Les courbes caractéristiques de pompe pour chaque hauteur d'aspiration sont représentées comme suivant :

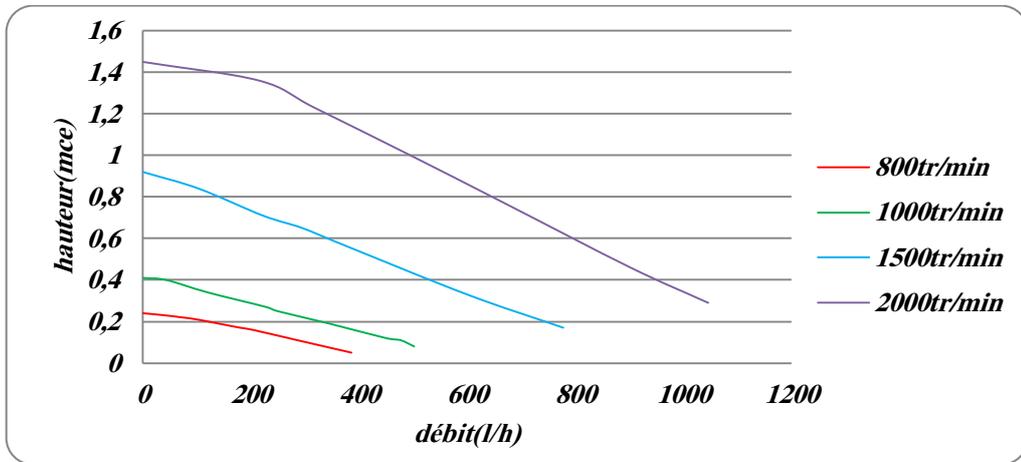


Figure .II.17. Caractéristique hauteur-débit d'un banc d'essai alimenté par RE

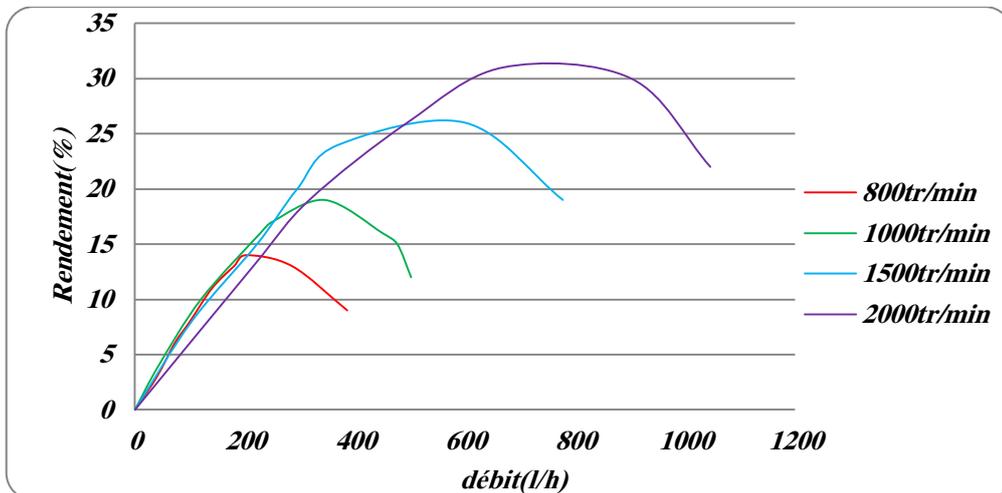


Figure .II.18. caractéristique rendement-débit d'un banc d'essai alimenté par RE

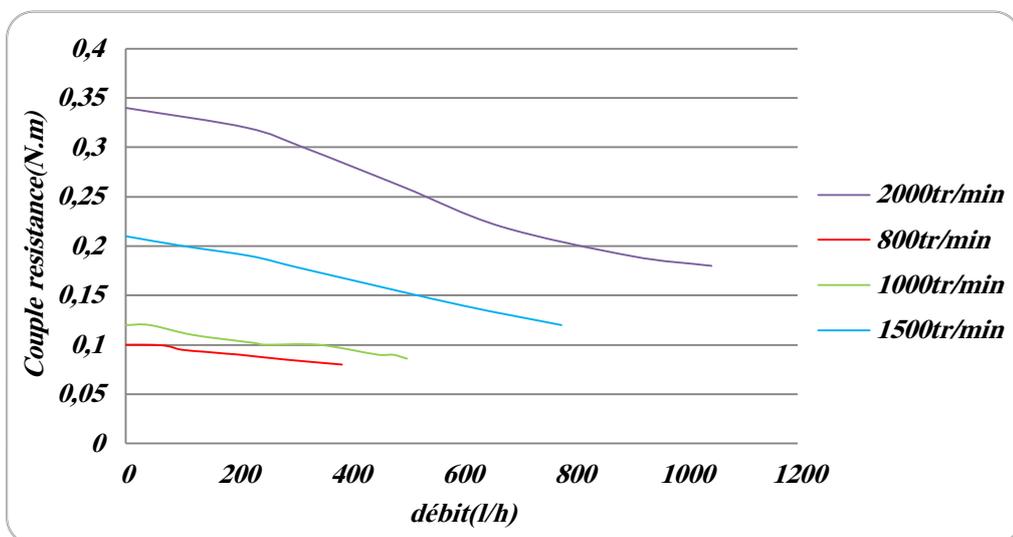


Figure .II.19. caractéristique couple résistance-débit d'un banc d'essai alimenté par RE

II.8.2-Les résultats obtenus avec alimentation photovoltaïque

Tous les mesures ont été prisent avec une valeur de  $T=28,5C^{\circ}$

Tableaux 5 : résultats du 5<sup>eme</sup> essai

$N$ (tr/min)	$P_1$ (Par)	$P_2$ (Par)	$H$ (mce)	$Q$ (l/h)	$P_{mec}(w)$	$Phyd(w)$	$\eta$ (%)	$Cr$ (N.m)
800	0,92	1,19	0,27	0	6	0	0	0,07
	0,92	1,13	0,21	100	5	1	13	0,06
	0,92	1,11	0,19	140	5	1	15	0,06
	0,92	1,08	0,16	194	5	1	18	0,06
	0,92	1,05	0,13	248	4	1	22	0,05
	0,92	1,02	0,1	296	4	1	21	0,05
	0,92	1	0,08	341	4	1	17	0,05

Tableaux 6 : résultats du 6<sup>eme</sup> essai

$N$ (t/min)	$P_1$ (Par)	$P_2$ (Par)	$H$ (mce)	$Q$ (l/h)	$P_{mec}(w)$	$Phyd(w)$	$\eta$ (%)	$Cr$ (N.m)
1000	0,93	1,35	0,42	0	9	0	0	0,09
	0,92	1,27	0,35	110	9	1	13	0,08
	0,92	1,21	0,29	200	9	2	18	0,08
	0,92	1,14	0,22	306	7	2	25	0,07
	0,91	1,06	0,15	402	6	2	26	0,06
	0,91	0,99	0,08	500	6	1	18	0,06

Tableaux 7 : résultats du 7<sup>eme</sup> essai

$N$ (t/min)	$P_1$ (Par)	$P_2$ (Par)	$H$ (mce)	$Q$ (l/h)	$P_{mec}(w)$	$Phyd(w)$	$\eta$ (%)	$Cr$ (N.m)
1500	0,93	1,84	0,91	9	28	0	0	0,18
	0,93	1,74	0,81	100	27	2	9	0,17
	0,93	1,64	0,71	225	25	5	18	0,16
	0,92	1,44	0,52	418	22	6	29	0,14
	0,92	1,36	0,44	497	20	6	31	0,13
	0,9	1,24	0,34	606	18	6	30	0,12
	0,89	1,09	0,2	756	18	4	24	0,1

Tableaux 8 : résultats du 8<sup>ème</sup> essai

$N$ (t/min)	$P_1$ (Par)	$P_2$ (Par)	$H$ (mce)	$Q$ (l/h)	$P_{mec}(w)$	$P_{hyd}(w)$	$\eta$ (%)	$Cr$ (N.m)
2000	0,92	2,28	1,36	0	54	8	0	0,32
	0,92	2,07	1,15	370	52	11	23	0,3
	0,91	1,88	0,97	520	48	14	29	0,26
	0,9	1,62	0,72	701	44	15	33	0,22
	0,88	1,3	0,42	932	36	12	31	0,19
	0,86	1,15	0,29	1047	30	8	29	0,18

Les courbes caractéristiques de pompe pour chaque hauteur d'aspiration sont représentées comme suivant :

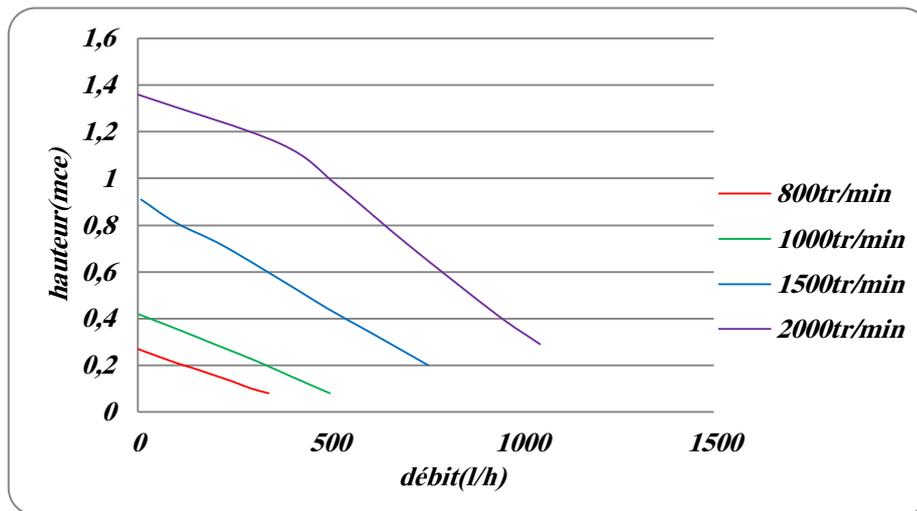


Figure .II.20. Caractéristique hauteur-débit d'un banc d'essai alimenté par PV

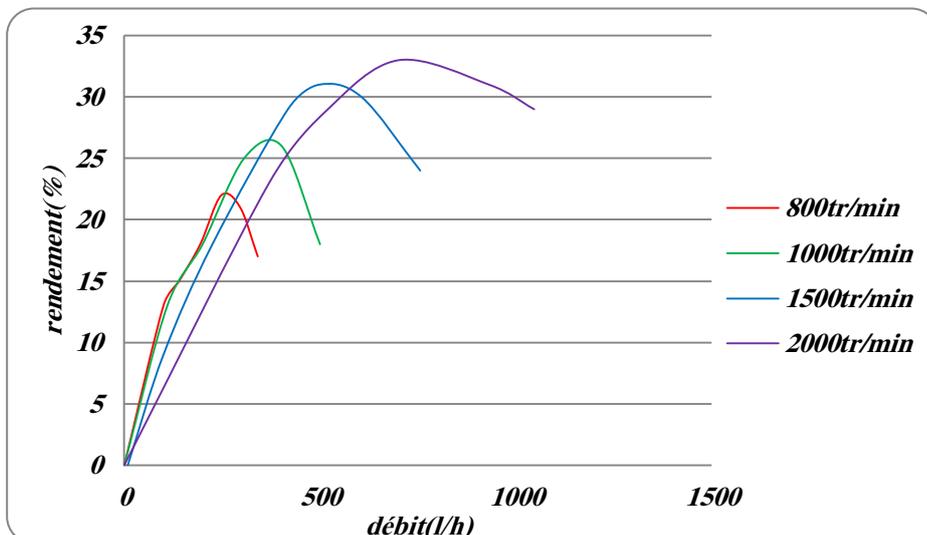


Figure .II.21. caractéristique rendement-débit d'un banc d'essai alimenté par PV

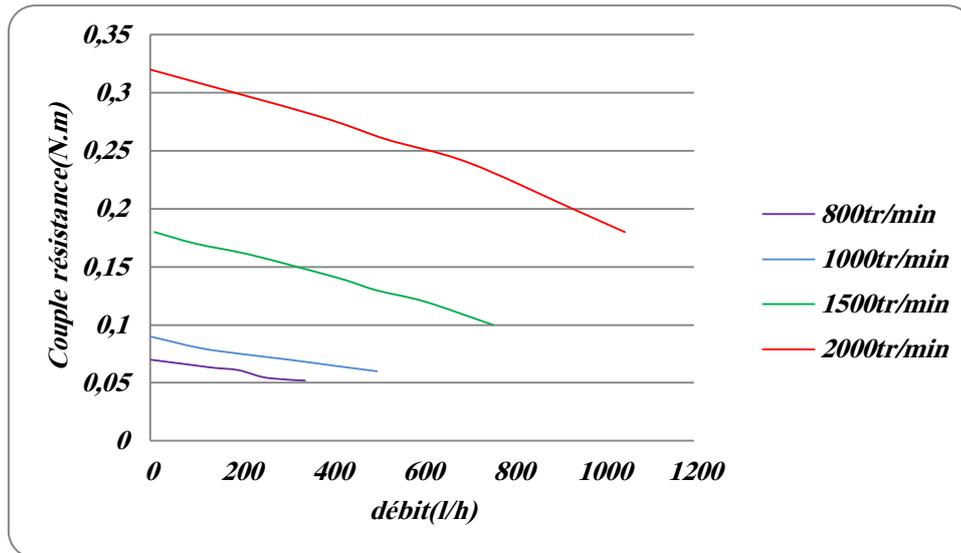


Figure .II.22.caractéristique couple résistance-débit d'un banc d'essai alimenté par PV

Les courbes de type (H-Q) figure (III.20, 17) représentent l'évolution de la hauteur manométrique total développée par la pompe en fonction du débit.

On constate que pour un débit nul (robinet vanne de refoulement fermé) on obtient le point barbotage, en augmentant le débit, la hauteur manométrique diminue jusqu'à une valeur  $H_{min}$  pour un  $Q_{max}$  (robinet vanne complètement ouvert), pour différentes valeurs de vitesse.

Les courbes de type ( $\eta$ -Q) figure (III.18, 21) représentent l'évolution du rendement de la pompe en fonction du débit, on constate que pour un débit nul le rendement est nul, on augmente le débit, jusqu'à avoir  $Q_{max}$  qui correspond à une valeur  $\eta$

On remarque, que pour un débit nul le couple résistant prend la valeur max en augmentant le débit le couple diminue à une valeur  $Q_{min}$  qui correspond à un couple max, pour différentes valeurs de vitesse.

On remarque aussi quand la vitesse augmente le couple suit son évolution.

Les résultats trouvés avec les 2 cas : alimentation par RE et celle par générateur photovoltaïque montrent se rapproche, Ce qui prouve l'efficacité de l'alimentation par le générateur photovoltaïque.

Par exemple :

RE : pour la vitesse 2000 tr/min on obtient 1.45 mce

PV : pour la vitesse 2000 tr/min on obtient 1.35 mce

On constate que pour un débit nul le rendement est nul et pour une valeur ( $\eta_{max}$ ) pour un  $Q_{nominal}$  puis la valeur baisse jusqu'à qu'elle une valeur  $\eta$  pour un  $Q_{max}$

Pour le rendement de l'alimentation GPV meilleur par rapport à l'alimentation au réseau (légère différence).

*Par exemple :*

RE : N= 1500tr/min  $\longrightarrow$  27%

PV : N=1500tr/min  $\longrightarrow$  31%

Pour un débit nul on obtient un couple max (couple diminue afin une valeur  $Q_{\min}$ ) « Figure .II.19, 22 »

Pour les deux alimentations, on remarque que les valeurs se rapprochent.

*Par exemple :*

PV : N=1500tr/min  $\longrightarrow$   $C_{\max} = (0.18 \text{ N.m})$

RE : N=1500tr/min  $\longrightarrow$   $C_{\max} = (0.21 \text{ N.m})$

Pour les deux alimentations, on remarque que les valeurs se rapprochent.

### **Conclusion**

Le deuxième chapitre traite un aspect purement pratique : c'est une comparaison entre deux cas : le premier, est le système de pompage (banc d'essai HM 310) alimenté par un réseau électrique, le deuxième cas, son alimentation est par un générateur photovoltaïque. Les résultats obtenus sont présentés, comparés et Interprétés. Il est montré que les résultats entre les deux axes d'étude se rapprochent. Ce qui prouve l'efficacité d'utilisation d'une source photovoltaïque.

Pour valider les résultats pratiques, on a simulé le modèle du système par matlab/Simulink avec les deux cas, en vue de voir le comportement idéal du système. Cette simulation sera le sujet du troisième chapitre.

### Introduction

Dans ce chapitre on a simulé le système de pompage photovoltaïque. Ce système qui contient plusieurs éléments (Générateur photovoltaïque, variateur de vitesse (redresseur et onduleur), moteur asynchrone, pompe centrifuge), est alimenté en premier lieu par un réseau électrique puis par un générateur photovoltaïque. Ce dernier est interconnecté avec onduleur monophasé. Les résultats obtenus sont présentés, comparés et interprétés.

### III.1-Générateur photovoltaïque

L'objectif est de réaliser un générateur photovoltaïque servira à étudier les caractéristiques (I-V et P-V) ainsi que leurs comportements. à savoir l'éclairement dans le plan des panneaux (ES).

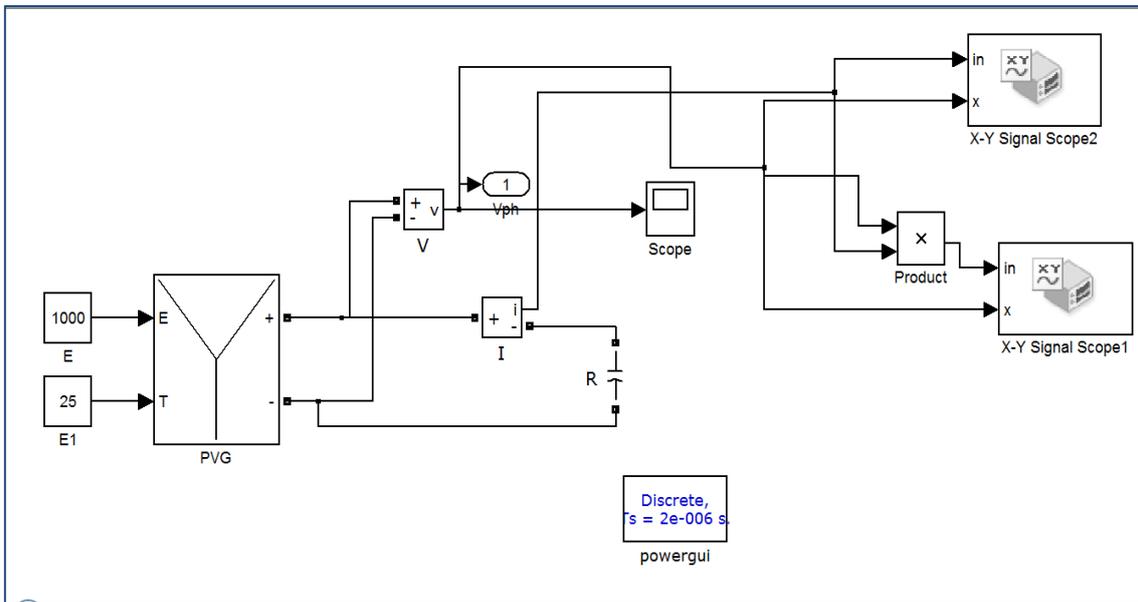


Figure .III.1. Générateur photovoltaïque en Simulink

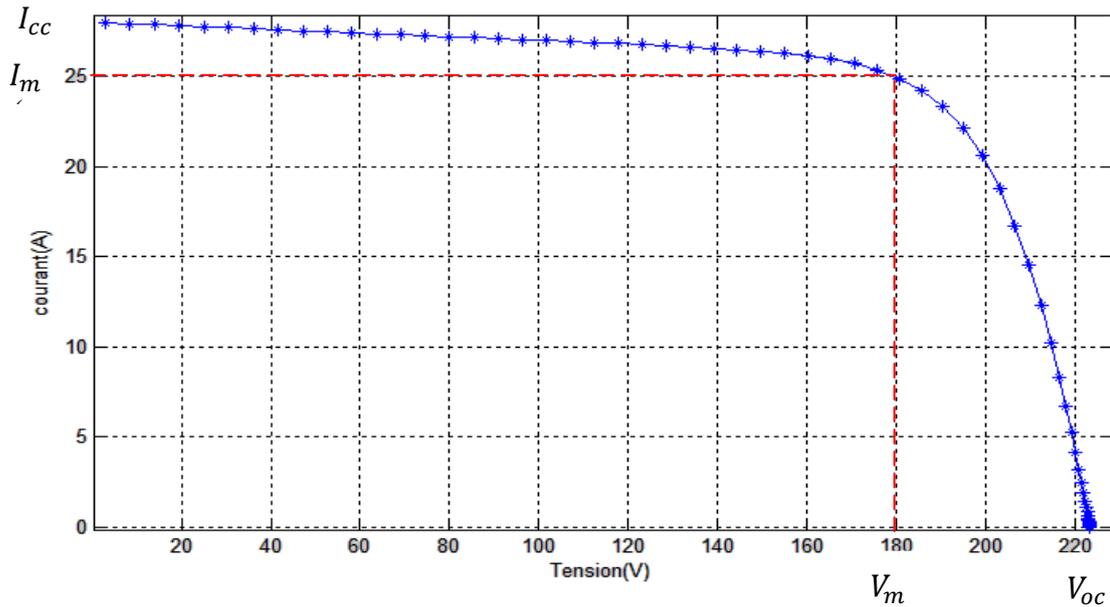


Figure.III.2. Caractéristique de courant -tension d'un générateur photovoltaïque

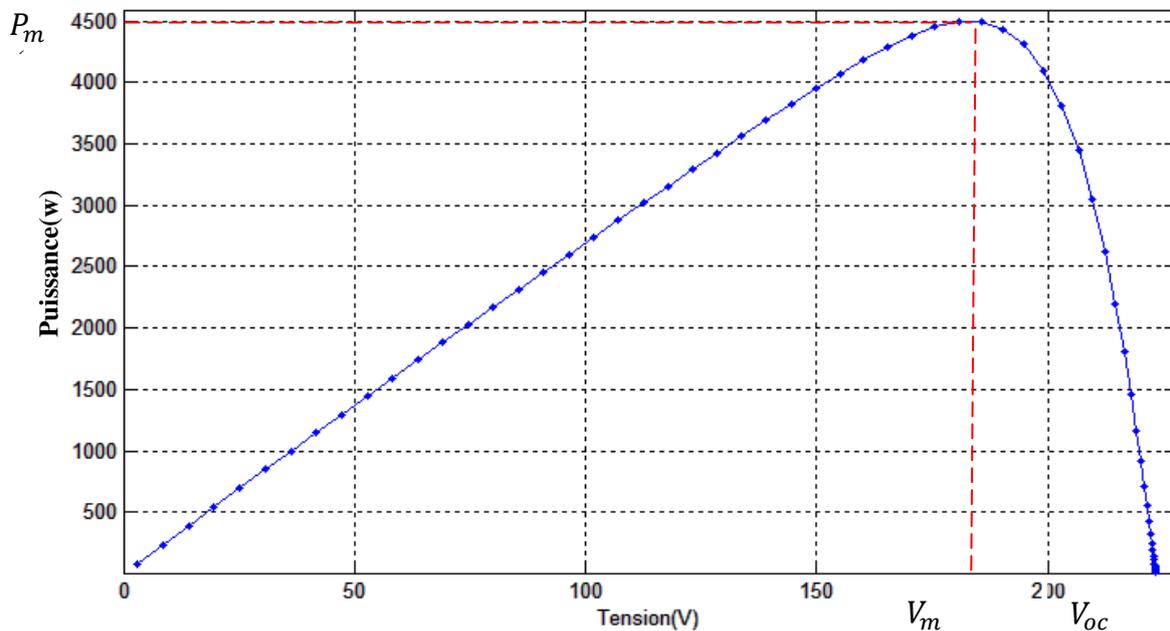


Figure. III. 3. Caractéristique de puissance -tension d'un générateur photovoltaïque

- ✘ Le meilleur point de fonctionnement du système correspond au point de cette courbe où la puissance, produit de la tension et la tension du courant, est maximisée. Il se situe au milieu de la caractéristique (figure.III.2,3)

### III.1.1-Influence de l'éclairement

lorsque nous avons maintenu une température constante à différents éclairnements (Figure .III.4), on remarque que l'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que l'augmentation de la tension de circuit ouvert

l'influence de l'éclairage est proportionnelle avec la puissance

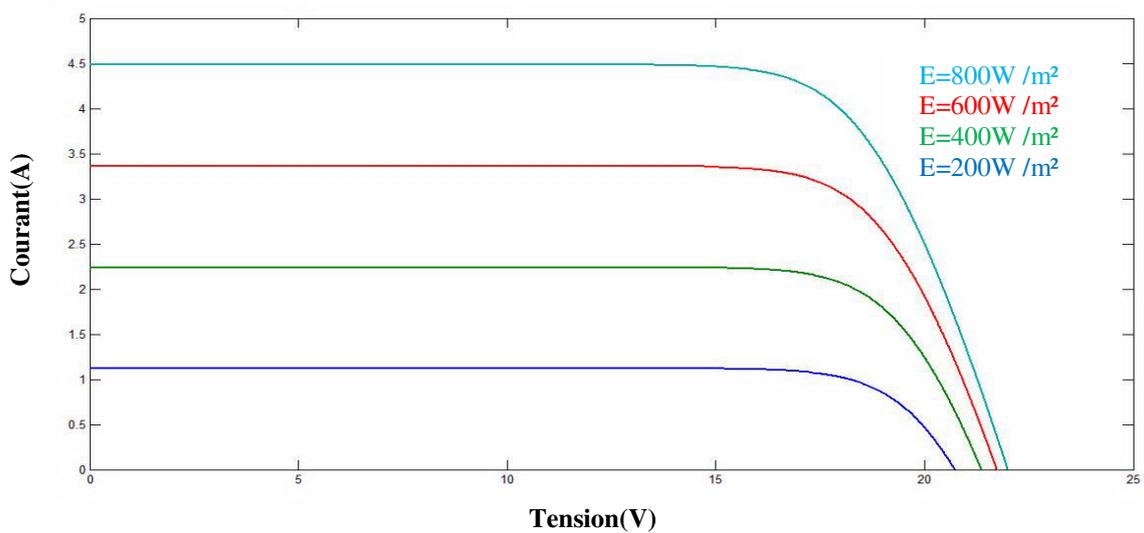


Figure .III.4. Influence simultanée de l'éclairage et sur la caractéristique I(V)

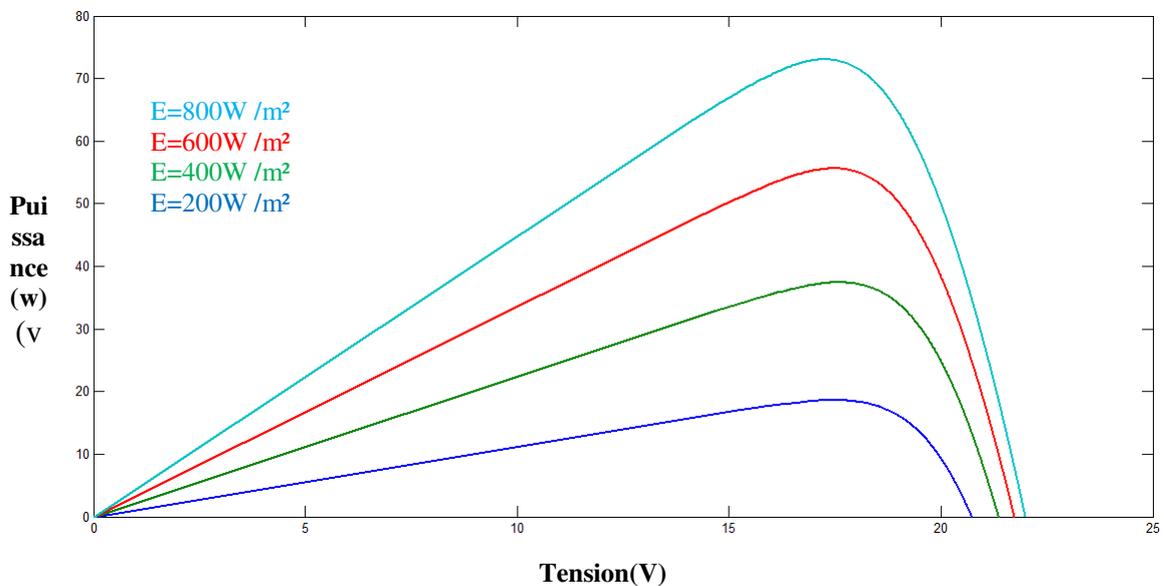


Figure .III.5. Influence simultanée de l'éclairage sur la caractéristique I(V)

### III.1.2-Influence de la température

Nous avons effectué une simulation où nous avons maintenu un éclairage constant pour différentes températures Figure .III.6. La courbe caractéristique va présenter des allures différentes selon la température. La tension à vide va diminuer avec la température, à l'inverse du courant de court-circuit. La variation de tension à vide est pratiquement compensée par la variation du courant de court-circuit, et la puissance nominale fournie par une module va donc varier très légèrement avec la température de jonction.

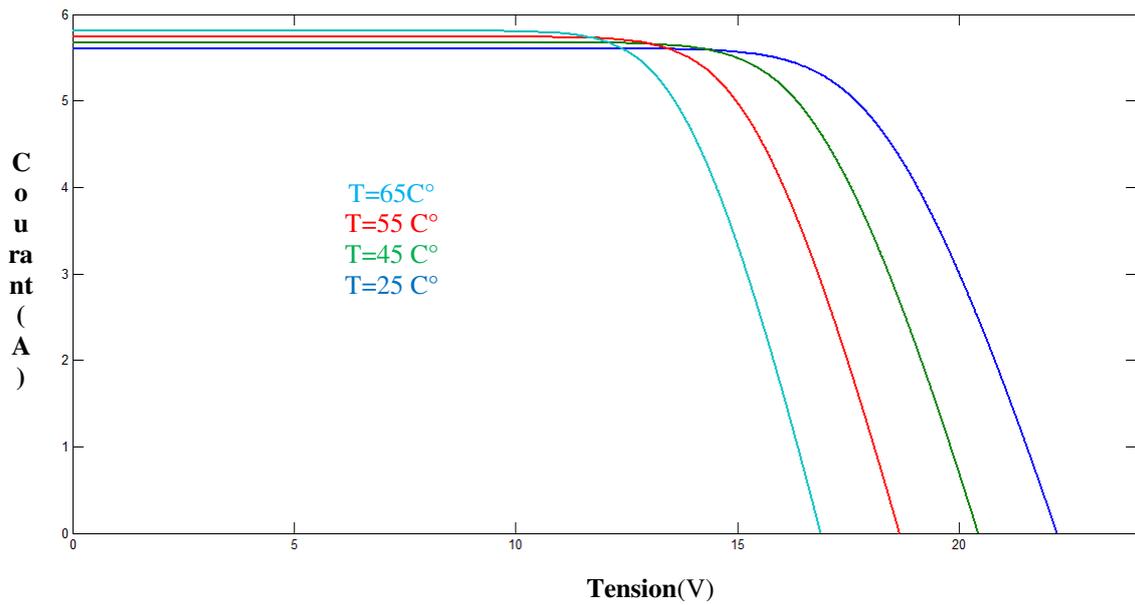


Figure .III.6. Influence simultanée de la température sur la caractéristique I(V)

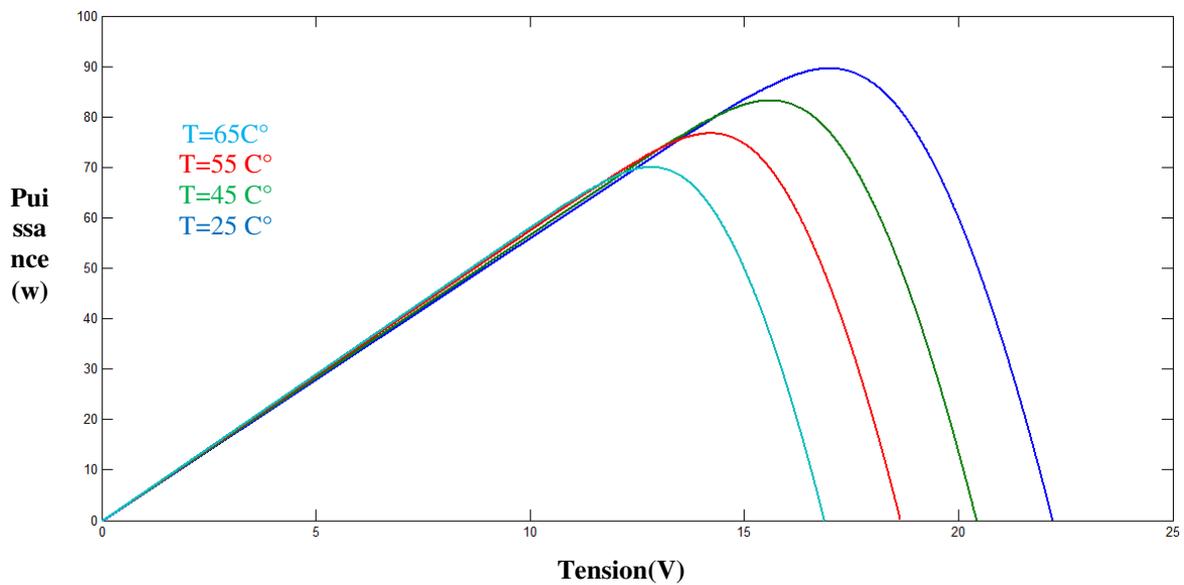


Figure .III.7.1 Influence simultanée de la température sur la caractéristique P(V)

### III.1.3- Influence de l'éclairement et la température

La variation de la température et de l'éclairement en même temps, nous permet de conclure qu'il y a une petite variation de la tension du circuit-ouvert ( $v_{CO}$ ) qui n'est pas remarquable, par contre il y a une grande variation du courant ( $i_{CC}$ ) comme le montre la Figure .III.8

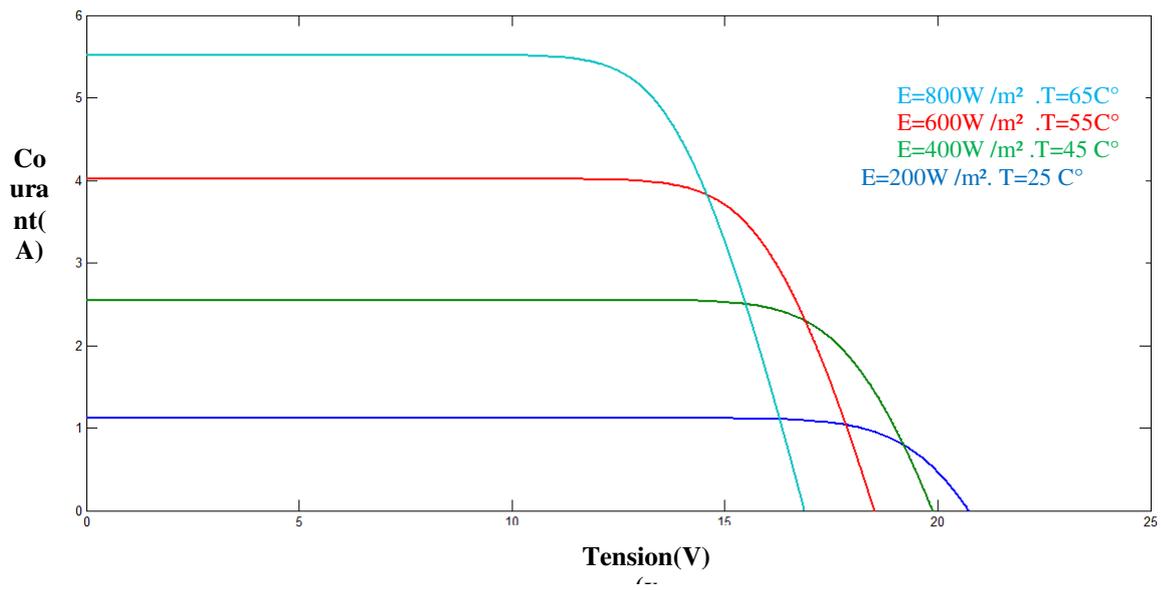


Figure .III.8.Influence simultanée de l'éclairement et la température sur la caractéristique I(V)

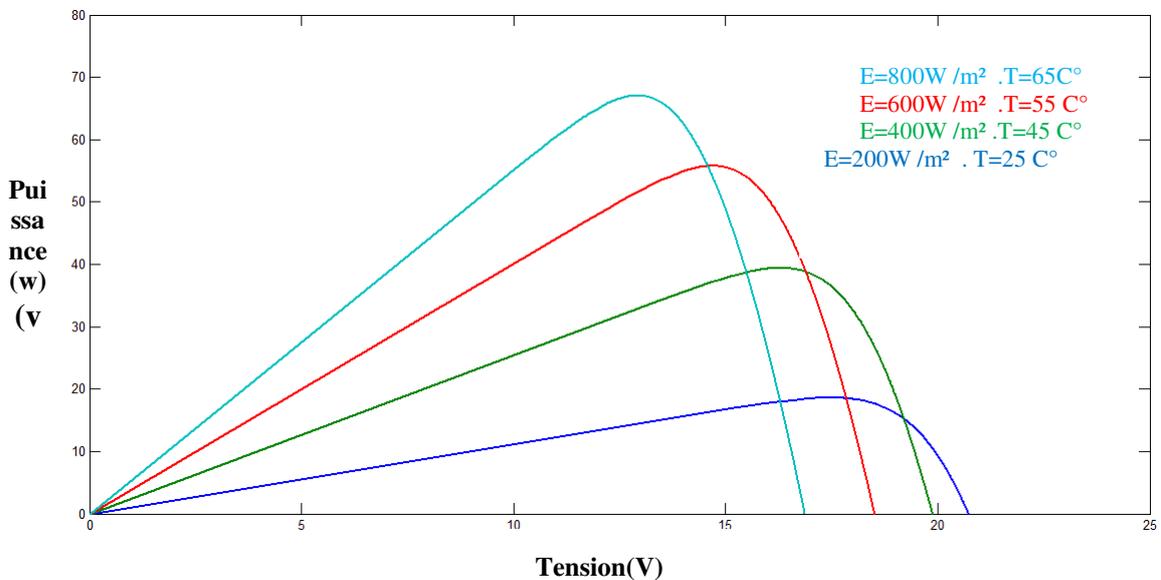


Figure .III.9.Influence simultanée de l'éclairement et la température sur la caractéristique P(V)

### III.2-Moteur asynchrone

La machine asynchrone (MAS), appelée aussi machine d'induction, fait appel à un principe simple de champs tournant qui lui permet un fonctionnement sans contacts électriques glissants. Ceci conduit à une machine très robuste, à l'entretien aisé, qui convient aujourd'hui très bien dans les applications en vitesse variable on vue étudie ce moteur en simulation

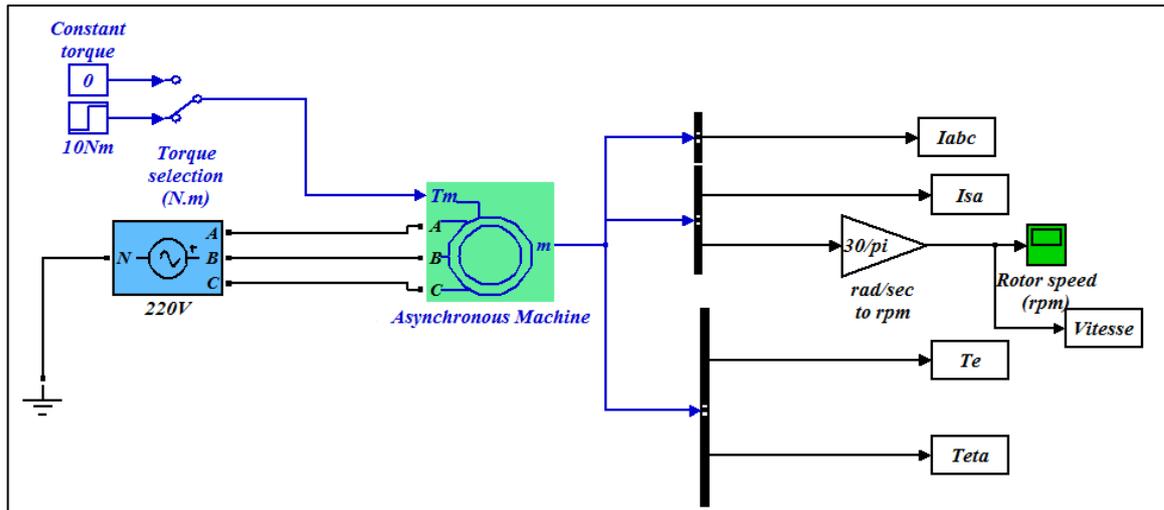
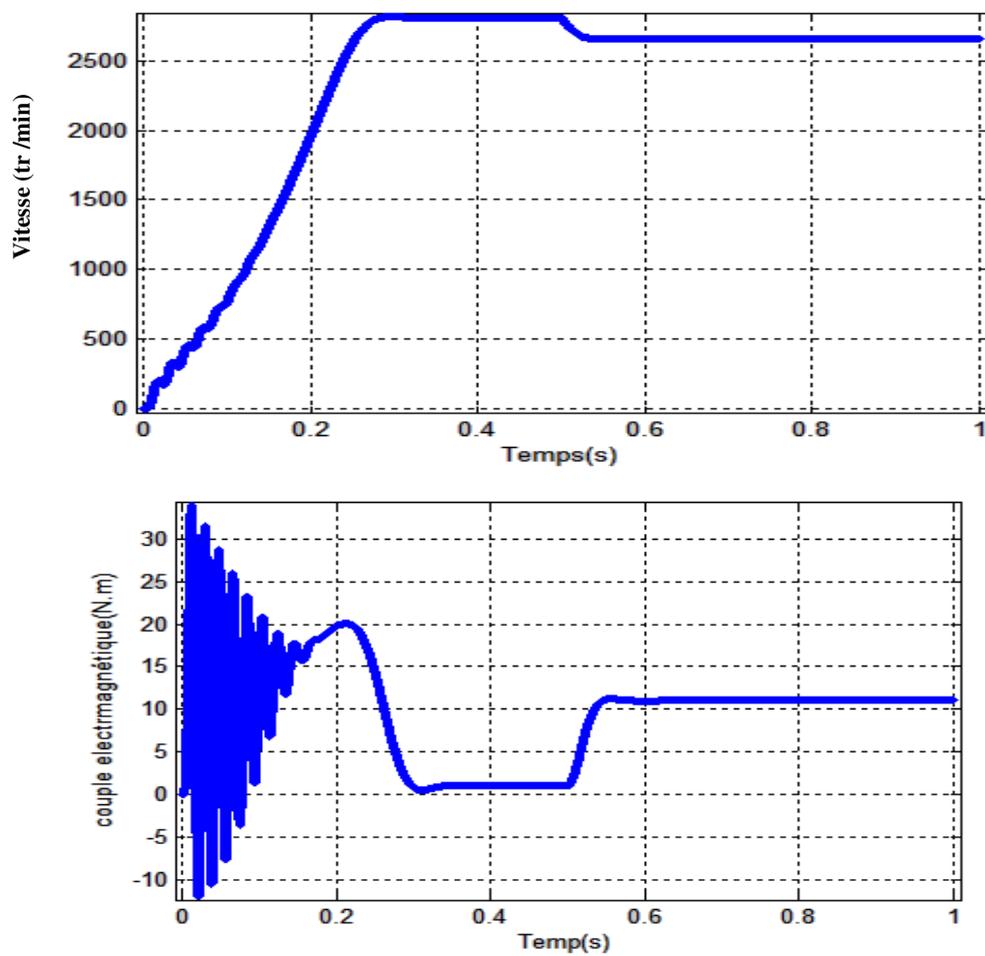


Figure .III.10. Moteur asynchrone 3 phrasées en Simulink



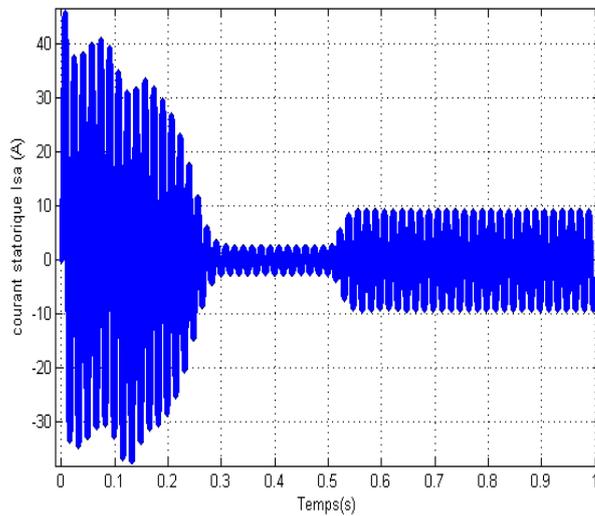


Figure.III.11. Résultat de simulation de la MAS, démarrage à vide suivi de l'introduction du charge couple de charge.

**III.2.1-Interprétation des résultats de simulation**

Les courbes de la figure (III.11) représentent les résultats de simulation du démarrage à vide de la MAS suivi de l'application du couple de charge à  $t=0,5s$ . De ces courbes, on aperçoit que le temps d'établissement est de 0,3s pour toutes les grandeurs.

La vitesse atteint la valeur de synchronisme 3000tr/min, machine bipolaire, sans dépassement et se stabilise au régime permanent. Après l'introduction du couple de charge à  $t=0,5s$  la vitesse se dégrade au-dessous de sa valeur nominale.

Le couple admet une forte valeur (fort appel de courant au démarrage, bref mais important) avec des oscillations puis se rétablit et atteint la valeur du couple de charge  $C_r=10Nm$ .

Le passage triphasé-biphasé est bien illustré sur la courbe du courant, où le courant  $I_s$  qui, en régime établi est continu, enveloppe le courant de phase  $I_{sa}$ , qui, est lui pulsant avec  $\omega_s$ .

**III.3-Couplage de moteur avec les convertisseurs de tension**

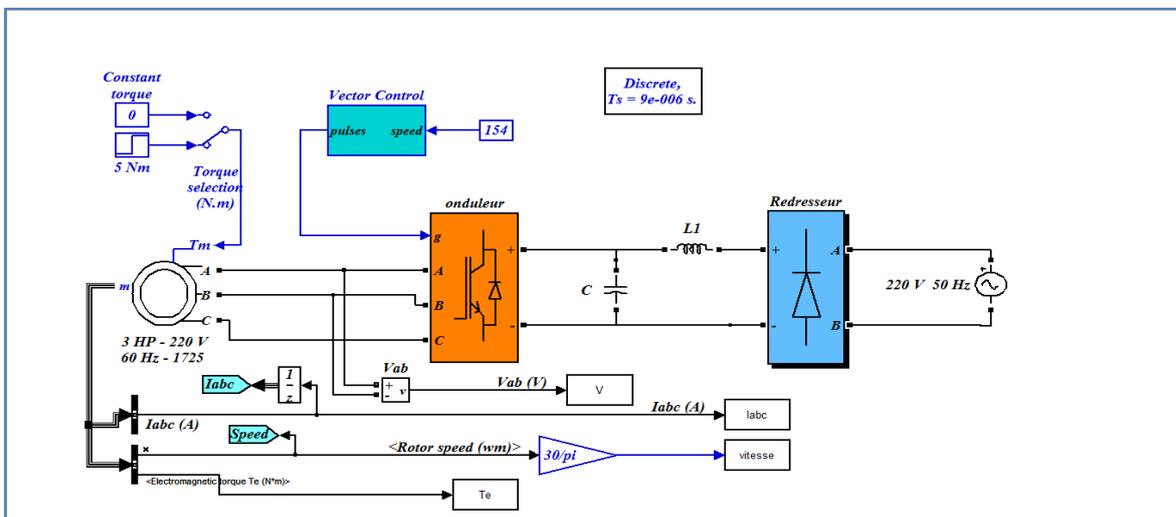


Figure .III.12.Couplage moteur avec variateur de vitesse et régulateur de vitesse en Simulink

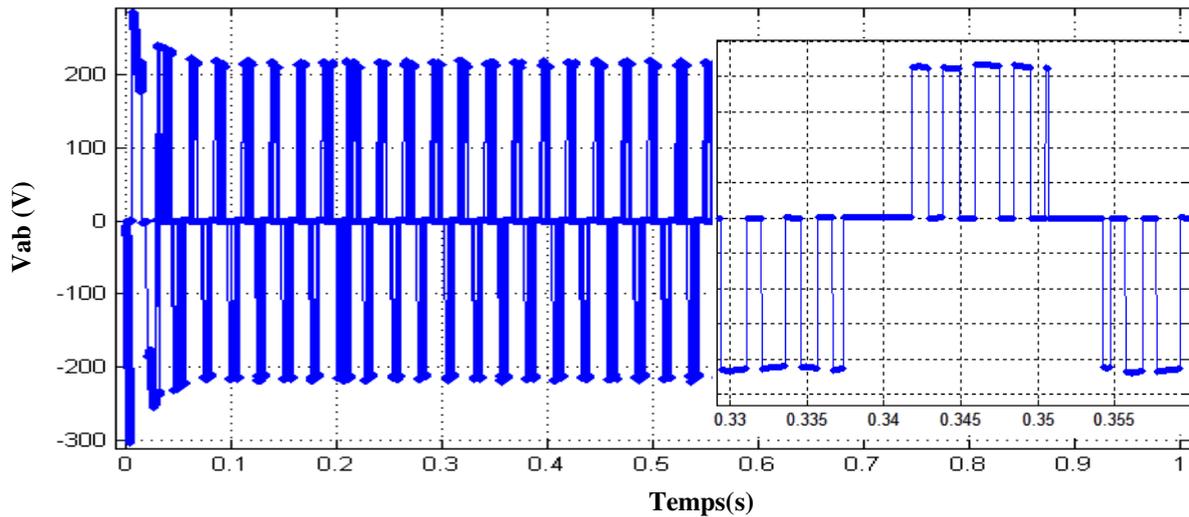


Figure .III.13.tension de charge d'onduleur en fonction de temps

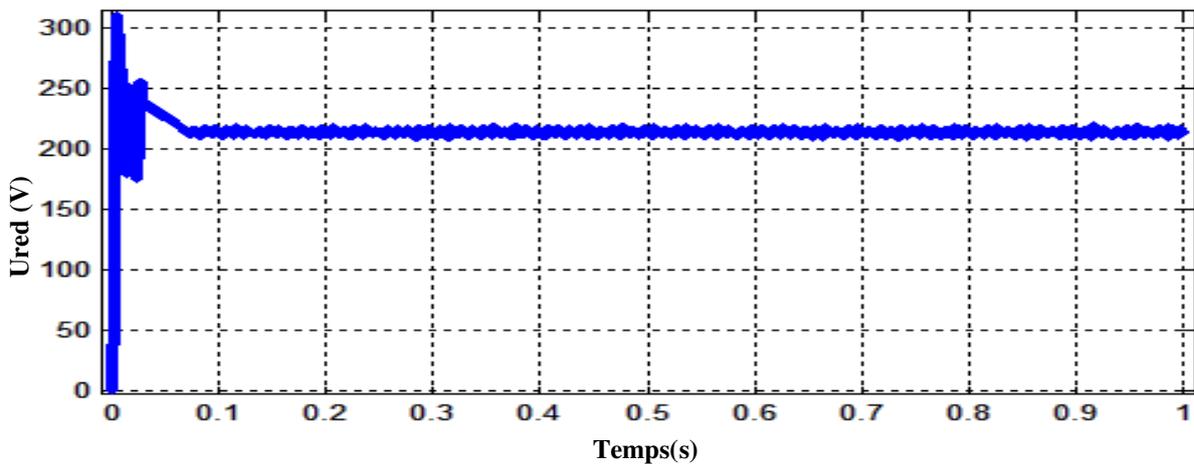


Figure .III.14.tension de charge de redresseur en fonction de temps

La technique de MLI triangulo-sinusoidale est réalisée par comparaison d'une ondemodulante (tension de référence) ayant une basse fréquence en triphasé les trois références sinusoïdales sont déphasées de  $(2\pi/3)$  à la même fréquence à une onde porteuse triangle d'amplitude fixe et une fréquence, supérieure aux trois tensions de référence La tension de sortie est formée d'un créneau de largeur variable et d'amplitude égale à la tension continu d'alimentation(+220v et -220v) (Figure .III.13).Par contre pour la figure du redresseur augmentation instantané et après le signal est stable ce que fait prend une valeur fixe jusqu'a la fin du temps (Figure .III.14).

#### III.4 modélisation de pompe centrifuge

##### III-4.1-Caractéristiques de la pompe centrifuge

###### III.4.1.1- Caractéristiques débit-vitesse

Le débit de cette pompe est proportionnel à la vitesse de rotation du moteur. Toutefois il faut

une vitesse minimale à une Hm donnée pour obtenir un débit. [6]

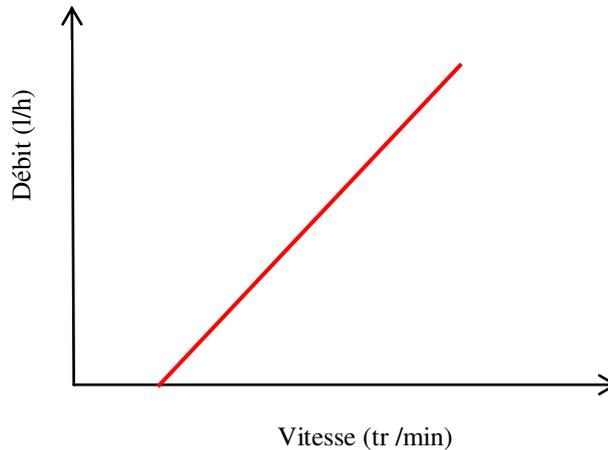


Figure.III.15.caractéristique débit-vitesse d'une pompe centrifuge [6]

#### III.4.1.2-Caractéristiques couple-vitesse

Le couple du moteur augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit. Parce que le couple de démarrage est limité au couple de frottement de la pompe à vitesse nulle (qui est plus important qu'en rotation), la pompe requiert une vitesse minimale à une Hm donnée pour obtenir un débit de départ non nul.[6]

Donc la pompe centrifuge oppose un couple résistant  $C_r$  :

$$C_r = k_r \omega^2 + C_s \quad (\text{Equa .III.1})$$

Avec :  $k_r$ : Coefficients de proportionnalité  $[(\text{Nm}/\text{rad.s}^{-1})^2]$ ,  $C_s$ : le couple statique, très petite.

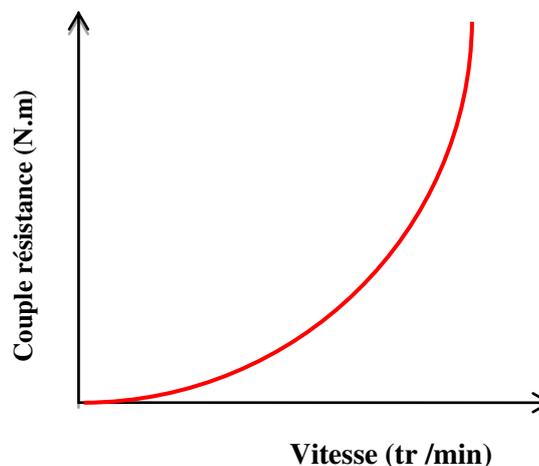


Figure.III.I6.caractéristique couple-vitesse d'une pompe centrifuge [6]

L'équation de puissance mécanique de la pompe est aussi déterminée en fonction de la vitesse

est donnée par la relation suivante :

$$P_{méc} = kr. \omega^3 \quad (\text{Equa.III.2})$$

### III.4.1.3-Caractéristiques débit–hauteur

La courbe débit-hauteur, exprime les variations des différentes hauteurs de relèvement en fonction de débit.

Les constructeurs sont en mesure de fournir au client les courbes Q(HMT) maximale et minimale correspondant aux diamètres maximaux et minimaux possibles de la roue. [6]

Si la charge de moteur est une pompe émergée monocellulaire à roue radiale. Elle est caractérisée par un modèle qui sert à déterminer la dépendance de la hauteur manométrique totale HMT en fonction du débit Q.

En prenant comme paramètre la vitesse de rotation du moteur, le modèle utilisé est identifié par l'expression de "PELEIDER-PETERMAN "

$$HMT = A_0. \omega^2 + A_1. \omega Q + A_2. Q^2 \quad (\text{Equa.III.3})$$

Avec :  $A_0, A_2, A_1$ : des constants propre de la pompe donnée par le constructeur.

$$A_0 = 4.1 * 10^{-7}, \quad A_1 = -6 * 10^{-7}, \quad A_2 = 1.6 * 10^{-7}$$

$\omega$  : La vitesse (rad/sec)

HMT: la hauteur (mètre)

Q : débit (l/min)

La courbe HMT(Q) comme indiquée sur la Figure .II.17, est une parabole. Le point de rencontre de la courbe HMT(Q) avec l'axe des ordonnées est le point à débit nul. C'est le point à vanne fermée ou encore point de barbotage. [6]

Le point de fonctionnement de la pompe est le point d'intersection des deux courbes :

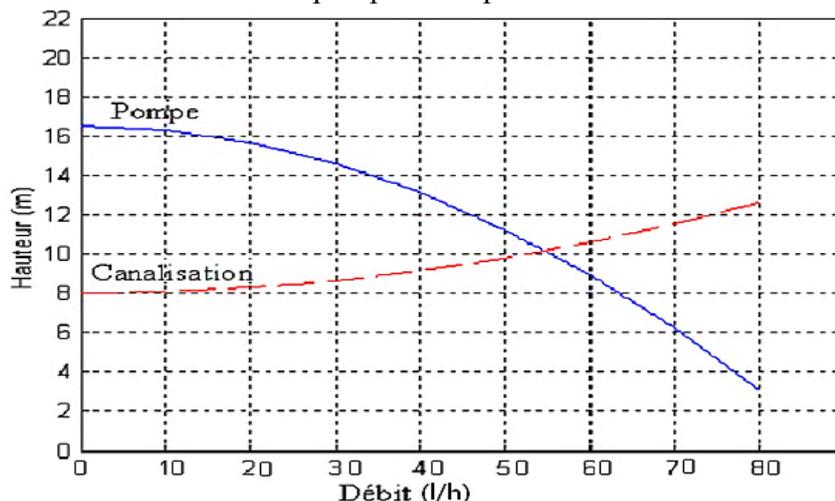


Figure.III.17.caractéristique de la pompe HMT(Q) et la canalisation [6]

Le rendement hydraulique en utilisant la formule :

$$\eta_h = \frac{P_{hyd}}{P_a} \tag{Equa.III .4}$$

Avec :  $P_{hyd} = \rho * g * Q * H$  (Equa.III .5)

$$P_a = \sqrt{3} * U * I * \cos \vartheta$$

$\rho$  : La masse volumique de l'eau étant de 1000kg/m<sup>3</sup>.

$g$  : Accélération de la pesanteur (9,81m/s<sup>2</sup>).

$Q$  : Débit d'eau.

$H$ : Hauteur manométrique totale.

$P_{hyd}$ : Puissance hydraulique

Le fonctionnement d'une pompe centrifuge met en jeu 3 paramètres, la hauteur, le débit et la vitesse ayant pour équation [6] :

$$f(H, Q, \omega) = 0$$

$$Q' = Q \left(\frac{N}{N'}\right) \tag{Equa.III .6}$$

$$H' = H \left(\frac{N}{N'}\right)^2 \tag{Equa.III .7}$$

$$P' = P \left(\frac{N}{N'}\right)^3 \tag{Equa.III .8}$$

Avec  $Q$  et  $Q'$ , les débits correspondants respectivement à la vitesse  $N$  et  $N'$ ;  $H$  et  $H'$  les hauteurs manométriques totales correspondantes respectivement à la vitesse  $N$  et  $N'$ ; et  $P$  et  $P'$  sont les puissances du moteur correspondant respectivement à la vitesse  $N$  et  $N'$ .

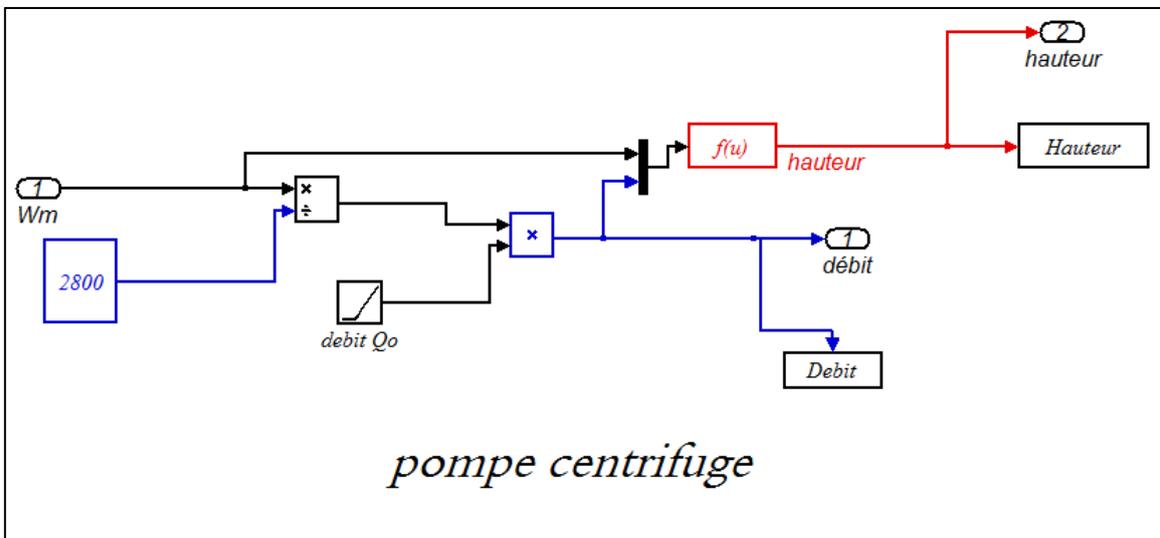


Figure .III.18.Pompe centrifuge en Simulink

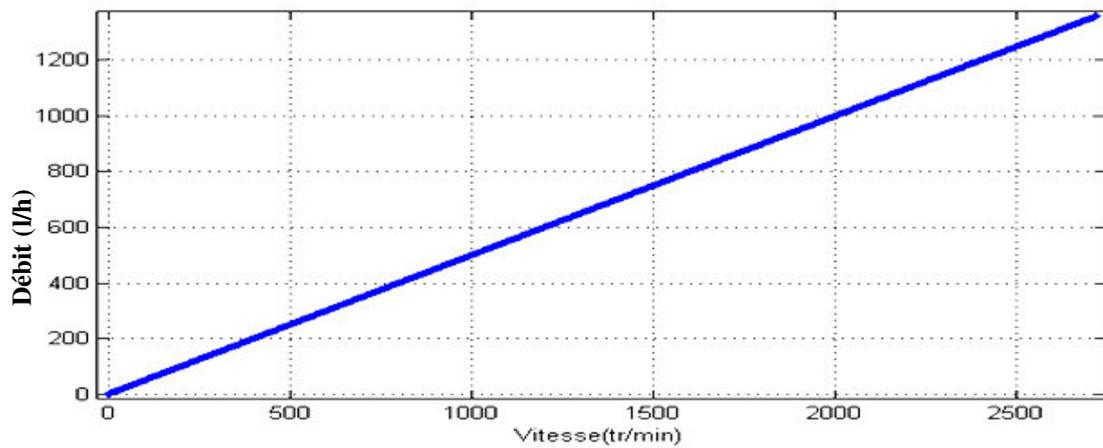


Figure .III.19. Caractéristique débit-vitesse de la pompe centrifuge

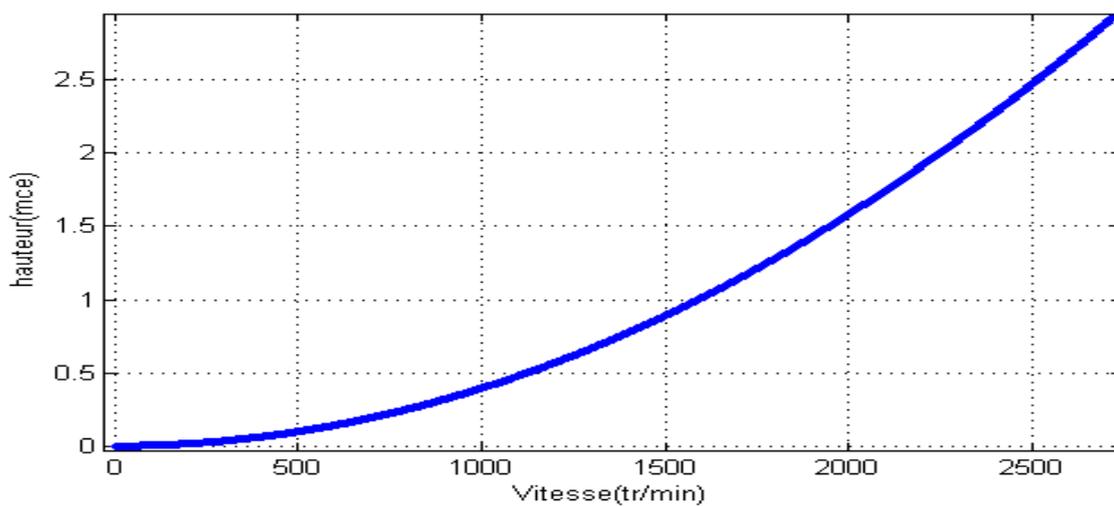


Figure .III.20. Caractéristique hauteur-vitesse de la pompe centrifuge

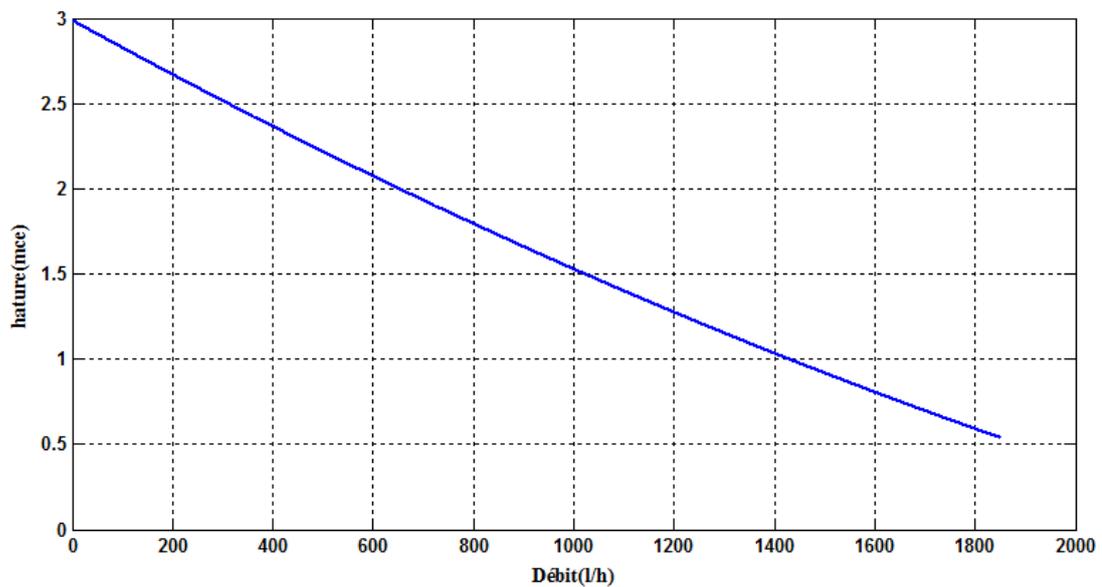
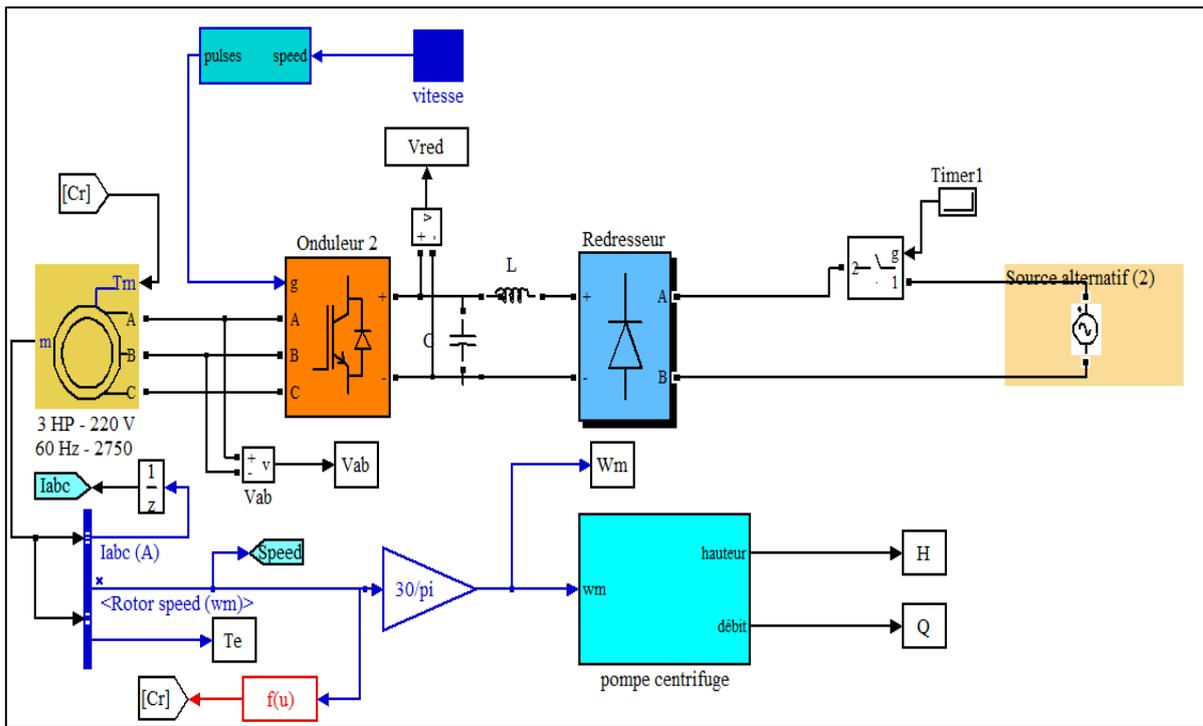


Figure .III.21. Caractéristique hauteur-débit de la pompe centrifuge

- $P = f(H)$  l'augmentation de la puissance très lent par rapport à la vitesse, on a la formule :  $P' = P\left(\frac{N}{N'}\right)^3$  quand la vitesse prend une valeur max la puissance aussi prend une valeur max et l'inverse.
- $Q = f(V)$  la relation entre la vitesse et le débit est proportionnelle.
- $Q = f(H)$  Le débit est une faible valeur par contre la hauteur prend une valeur max

**III.5 Alimentation par le réseau électrique 220v -50 Hz**



**Figure .III.22. Alimentation avec le réseau électrique en Simulink électrique(RE)**

Dans une étude de simulation de système pompage avec alimentation par réseaux électrique, cette dernière est raccordé avec variateur de vitesse (redresser, onduleur, filtre) qui commandé par le command scalaire, basé sur  $V/f = \text{constant}$  pour réglé la vitesse de moteur avec charge : la pompe centrifuge

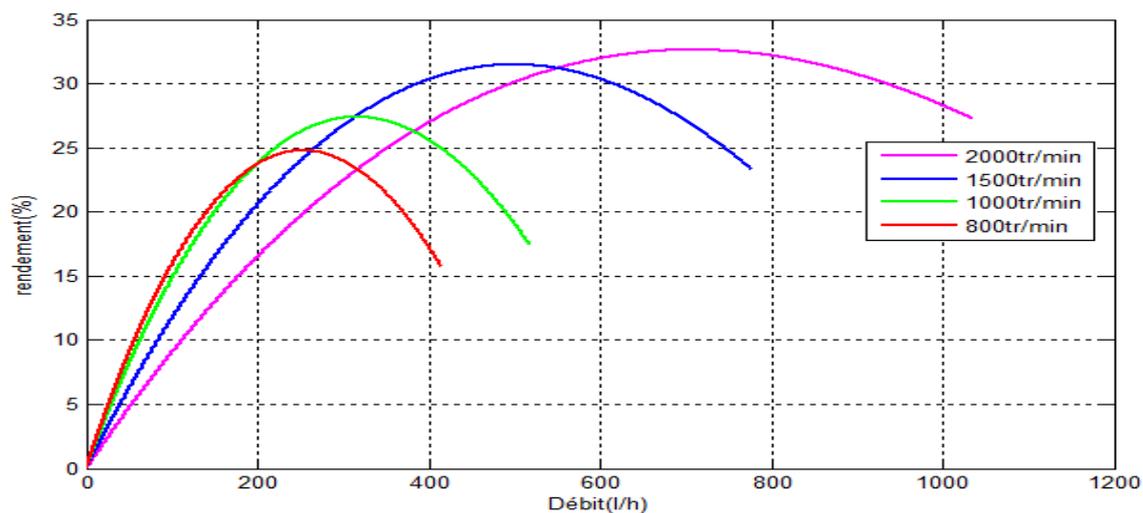


Figure.III.23.caractéristique rendement -débit alimenté par RE

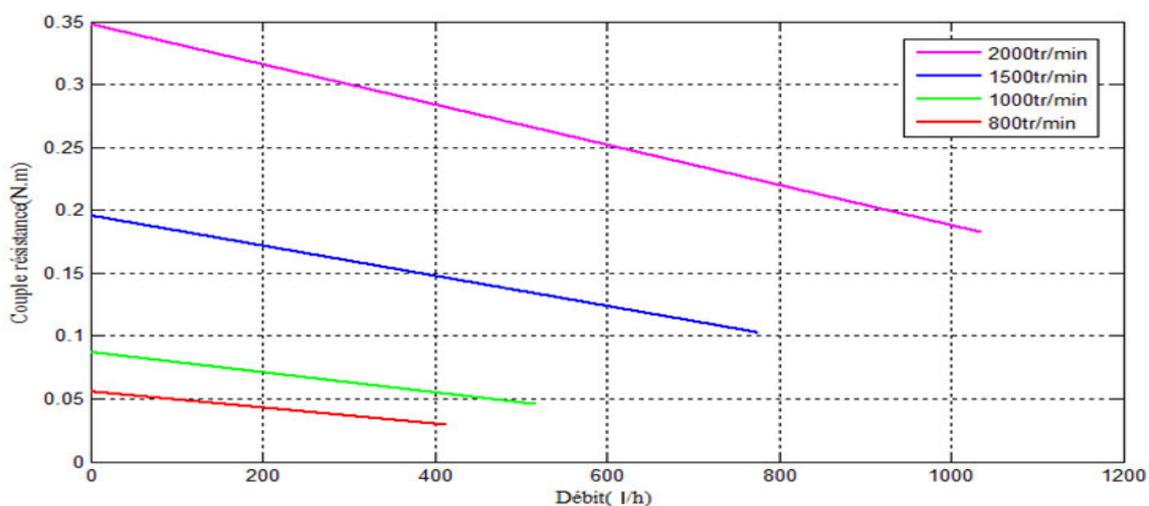


Figure.III.24.caractéristique couple résistance -débit alimenté par RE

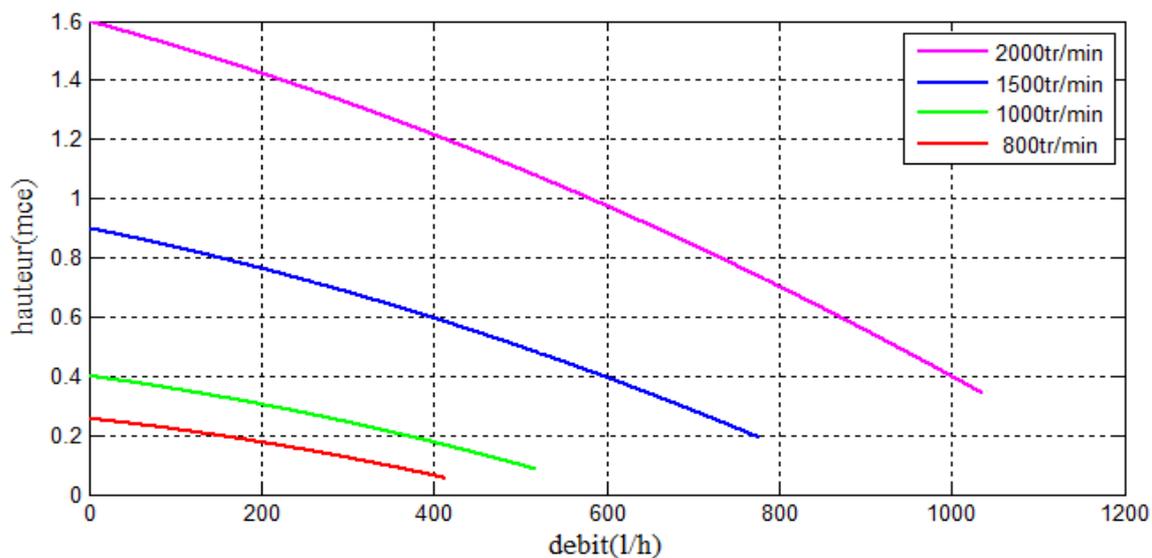


Figure .III.25. Caractéristique hauteur-débit alimenté par RE

**III.6- Alimentation par le générateur photovoltaïque avec batterie**

Pour alimentation par générateur photovoltaïque en a relié le GPV par régulateur, batterie, et l'onduleur monophasé avec transformateur en bloc. Toutes ces éléments représentent la source photovoltaïque. Cette dernière alimente l'ensemble variateur et régulateur de vitesse, moteur asynchrone et pompe centrifuge

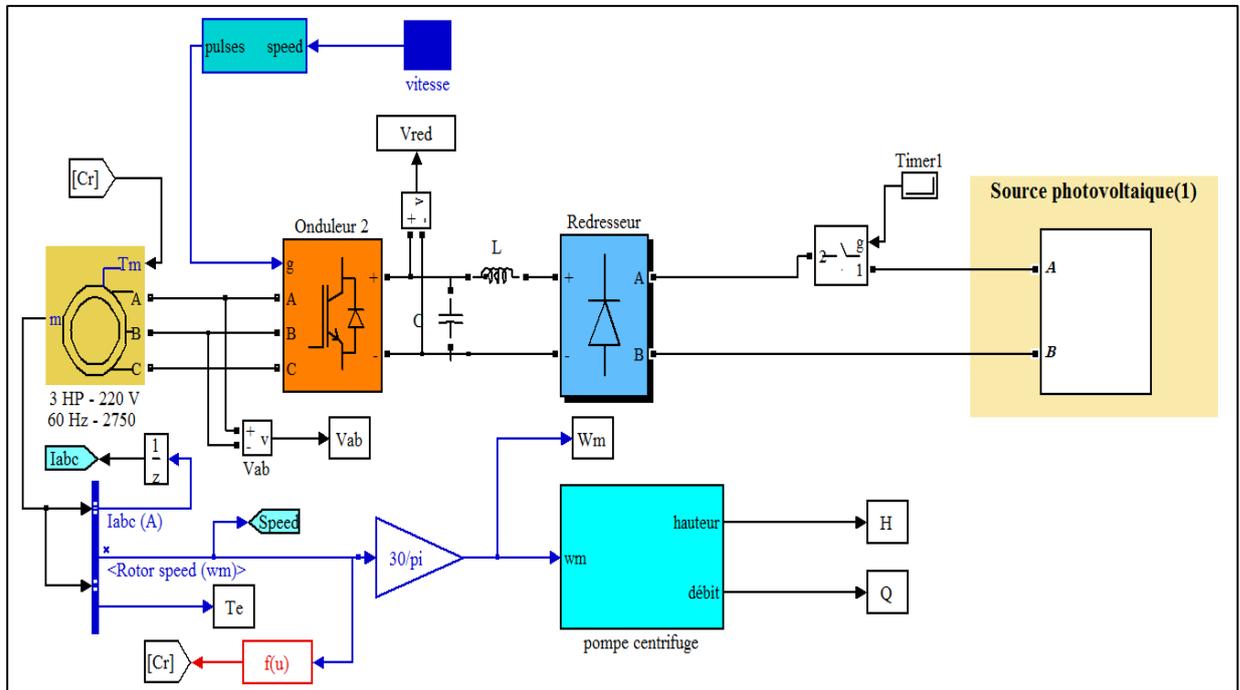


Figure .III.26. Alimentation avec le générateur photovoltaïque en Simulink

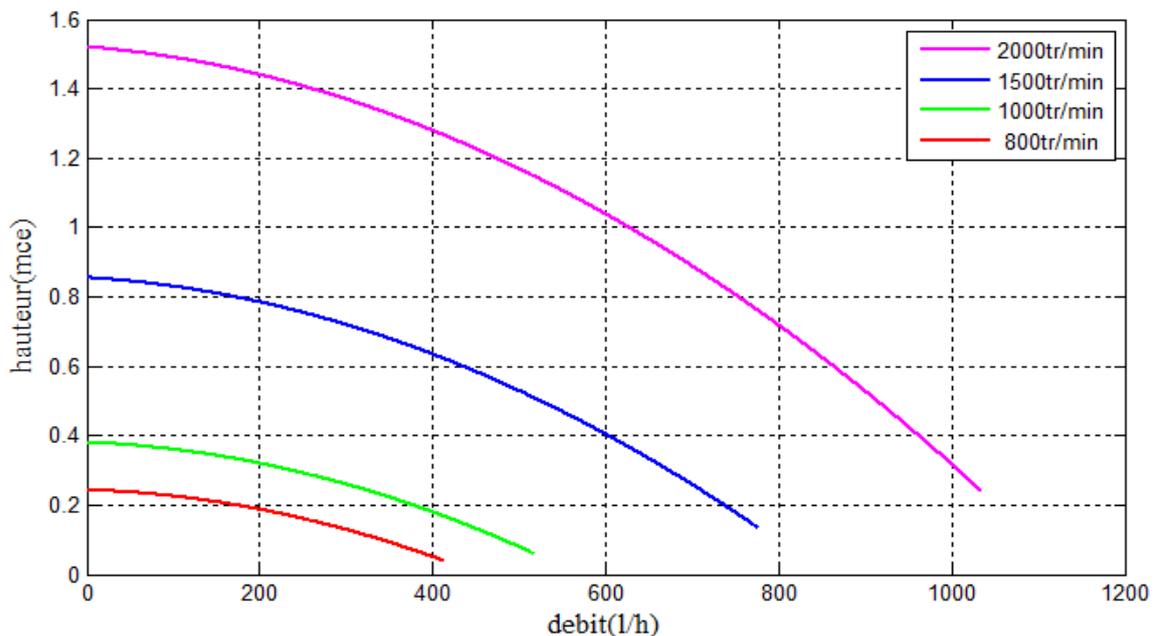


Figure .III.27. Caractéristique hauteur-débit alimenté par PV

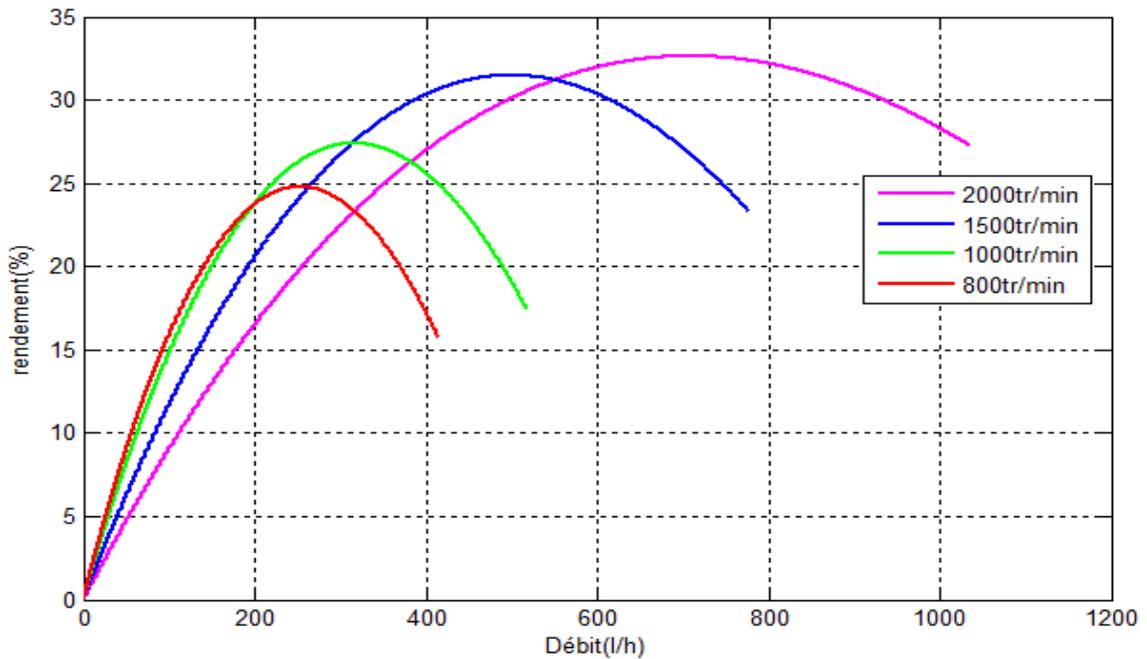


Figure .III.28. Caractéristique rendement-débit alimenté par PV

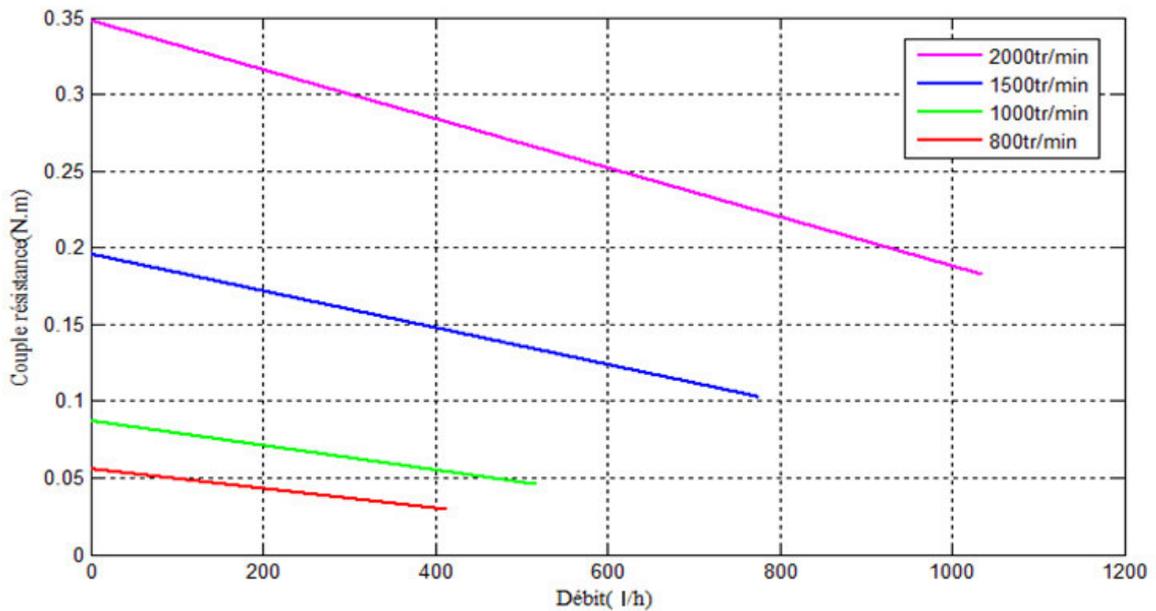


Figure .III.29. Caractéristique couple résistance-débit alimenté par PV

Les courbes illustrées sur figure (III.25, 27) représentent l'évolution de la hauteur manométrique total en fonction du débit.

Les courbes ( $\eta$ - $Q$ ) figure (III.23, 28) représentent le rendement de la pompe en fonction du débit, on constate que pour un débit nul le rendement est nul, le débit est  $Q_{max}$  pour une valeur du  $\eta$ .

On remarque, que pour un débit nul le couple résistant prend sa valeur max en augmentant le débit le couple diminue à une valeur  $Q_{min}$  qui correspond à un couple max, pour différentes

valeurs de vitesse.

On remarque aussi quand la vitesse augmente et le couple suit son évolution figure (III.24, 29).

Les résultats trouvés avec les 2 cas : alimentation par RE et celle par générateur photovoltaïque se rapproche, Ce qui prouve l'efficacité de l'alimentation par le générateur photovoltaïque.

En fin, en comparant les résultats obtenus par simulation, on trouve quels se rapproche et dans certain cas se coïncident avec ceux trouvés en pratique. Ce qui vérifie les courbes présentant le comportement du système de pompage (banc d'essai HM 310).

Par exemple :

RE : pour la vitesse 2000 tr/min on obtient 1.6 mce

GPV : pour la vitesse 2000 tr/min on obtient 1.5mce

On constate que pour un débit nul le rendement est nul et pour une valeur ( $\eta_{max}$ ) pour un  $Q_{nominal}$  puis la valeur baisse jusqu'à qu'elle une valeur  $\eta$  pour un  $Q_{max}$

La différence entre les deux :

Pour le rendement de l'alimentation GPV meilleur par rapport l'alimentation au réseau (légère différence).

Par exemple :

RE : N= 1500tr/min  $\eta = 26\%$  →

GPV : N=1500tr/min →  $\eta = 32\%$

Pour un débit nul on obtient un couple max (couple diminue afin une valeur  $Q_{min}$ )

Pour les deux alimentations, on remarque que les valeurs se rapprochent.

Par exemple :

GPV : N=1500tr/min  $C_{max} = (0.18 N .m)$

RE: N=1500tr/min  $C_{max} = (0.195 N .m)$

Pour les deux alimentations, on remarque que les valeurs se rapprochent.

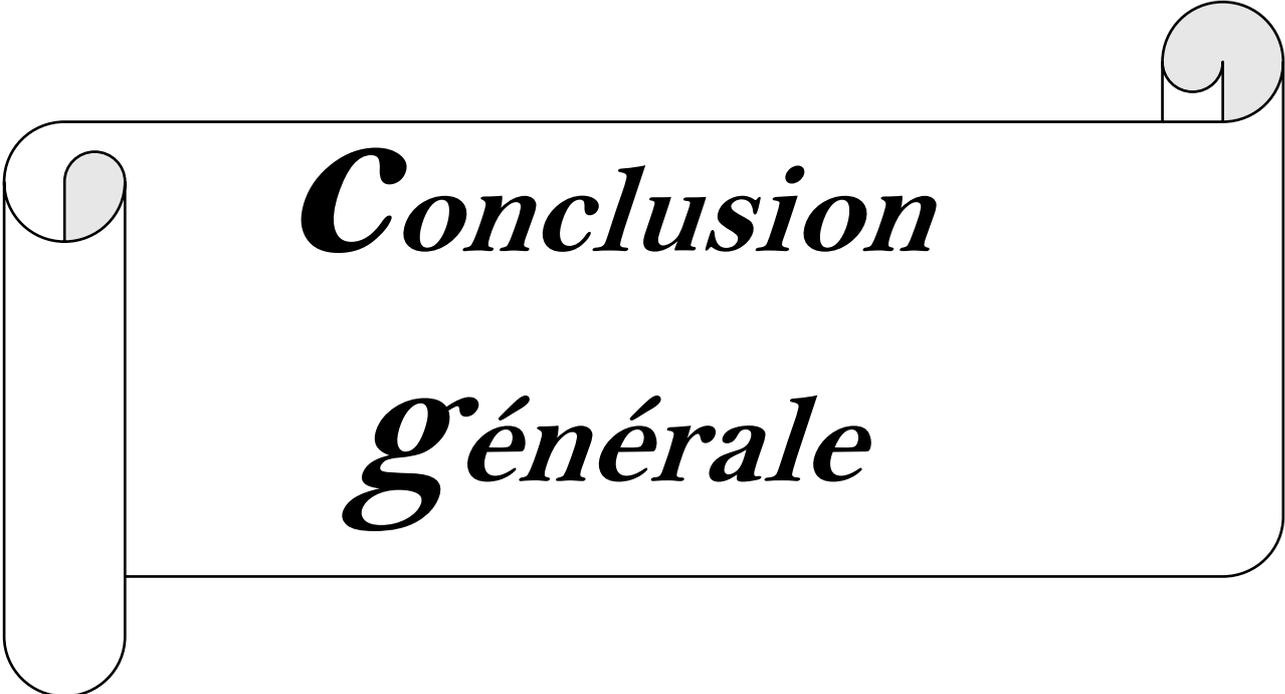
Enfin, on compare résultats

**Conclusion**

Le troisième chapitre présente les modèles Simulink de chaque élément du système de pompage (Banc d'essai HM 310).

Une comparaison est réalisée entre le cas d'alimentation par réseau électrique et celle par générateur photovoltaïque.

Le but de la simulation du système de pompage (Banc d'essai HM 310) est de vérifier les résultats de la partie pratique. Dans cet ordre d'idée, il paraît très clair le rapprochement des courbes illustrées dans le cas pratique et celui de simulation.



***Conclusion***

***générale***

Aujourd'hui, l'énergie solaire photovoltaïque devient progressivement une source d'énergie à part entière, de plus en plus sollicitée pour produire de l'énergie électrique allant du domestique à de grandes centrales connectées aux réseaux. Ce pendant, il reste encore pas mal de frein à son développement en termes de manques de production, de taux de pannes ou bien même de coût prohibitifs rendant cette source d'énergie chère et fiable tout au long de la durée de vie du générateur (au moins 25ans).

Comme par ailleurs, plusieurs applications de l'énergie solaire photovoltaïque, dont l'utilisation pour le pompage d'eau est l'une. Elle est particulièrement bien adaptée aux zones rurales où l'eau fait cruellement défaut. La demande croissante en eau dans ces zones, destinée à l'alimentation en eau potable ainsi qu'à l'irrigation.

Les travaux présentés dans ce mémoire sont focalisés sur l'étude pratique et de simulation sous Matlab/Simulink d'un système de pompage (Banc D'essai HM310) dans deux cas, le premier est l'étude du système sous-alimentation réseau électrique, l'autre avec celle en photovoltaïque dans le but de voir l'efficacité de ce dernier.

Tout d'abord, une description du processus en présentant la structure générale du système de pompage (Banc d'essai HM310). Ainsi que les appareils de mesure utilisés, avec leurs principe de fonctionnement.

Un aspect purement pratique est traité : c'est une comparaison entre deux cas : le premier, est le système de pompage (banc d'essai HM 310) alimenté par un réseau électrique, le deuxième cas, son alimentation est par un générateur photovoltaïque. Les résultats obtenus sont présentés, comparés et Interprétés. Il est montré que les résultats entre les deux axes d'étude se rapprochent. Ce qui prouve l'efficacité d'utilisation d'une source photovoltaïque.

Les modèles Simulink de chaque élément du système de pompage (Banc d'essai HM 310) est réalisé. Une comparaison entre le cas d'alimentation par réseau électrique et celle par générateur photovoltaïque est mise en évidence.

## Conclusion générale

---

Le but de la simulation du système de pompage (Banc d'essai HM 310) est de vérifier les résultats de la partie pratique. Dans cet ordre d'idée, il paraît très clair le rapprochement des courbes illustrées dans le cas pratique et celui de simulation.

Le présent travail ouvre plusieurs axes pour l'application, le contrôle et l'optimisation pour un système solaire photovoltaïque, notamment pour les systèmes connectés aux réseaux qui ont beaucoup d'intérêt actuellement.

**Paramètres caractéristiques du générateur PV**

➤ **Module photovoltaïque**

$I_{max}$	5.07 A
$V_{max}$	17.52 V
$V_{oc}$	22.2 V
$I_{cc}$	5.61 A
$E$	1000 W/m <sup>2</sup>
$T$	25°C

**Paramètres d'onduleur**

ONDULEUR VFS11S-2004 PL-WP(3)

	<i>IN PUT</i>	<i>OUT PUT</i>
$U(V)$	1 PH 200/240	3PH 200/240
$F(Hz)$	50/60	0.5/500
$I(A)$	5.3/4.5	3.3
$P(KW)$	0.4 KW (1.3KVA)	

**Paramètres de la machine asynchrone utilisée**

Les paramètres du moteur asynchrone à cage d'écureuil que nous avons utilisé dans nos simulations sont:

<b>P<sub>n</sub>: Puissance nominale</b>	1.1kw	
<b>V<sub>n</sub>: Tension nominale</b>	220V	380V
<b>P: Nombre de paires de pôles</b>	2	
<b>Cos φ</b>	0.82	

<b>n</b> : La vitesse de rotation nominale	2800 tr/min	
<b>P<sub>u</sub></b> : puissance utilise	0.55	0.66 KW
<b>I<sub>n</sub></b> : courant nominal	2.31A	1.33A

### Paramètres électriques

<b>R<sub>s</sub></b> : Résistance statorique	4.6Ω
<b>R<sub>r</sub></b> : Rrésistance rotorique	6.37Ω
<b>L<sub>s</sub></b> : Inductance cyclique du stator	0.238H
<b>L<sub>r</sub></b> : Inductance cyclique du rotor	0.210H
<b>M</b> : Inductance mutuelle	0.212H

### Paramètres mécaniques

<b>J</b> :Moment de d'inertie du rotor	0.01809 Kg.m <sup>2</sup>
<b>f</b> : Coefficient de frottement visqueux	0.0002 N.m.s

### Paramètres pompe centrifuge

Performances de la pompe à une vitesse de 2800 tr/min :

Débit maximal :  $Q_{\max} = 1920 \text{ L/h}$ .

Hauteur maximale:  $H_r = 60 \text{ m}$ .

Puissance moteur :  $P_m = 1.1 \text{ kW}$ .

### Paramètres de régulateur de vitesse

**K<sub>p</sub>** = 13

**K<sub>i</sub>** = 26

## Nomenclature

---

*PV*: Photovoltaïque

*I*: Le courant de fonctionnement [A]

*I<sub>L</sub>*: Courant photonique de cellule [A]

*I<sub>D</sub>*: Courant de la diode [A]

*I<sub>max</sub>*: Courant maximale de la cellule [A]

*I<sub>cc</sub>*: Courant court – circuit la cellule [A]

*I<sub>opt</sub>*: Courant optimale de la cellule [A]

*N<sub>s</sub>*: Nombre de modules en série.

*N<sub>p</sub>*: Nombre de modules en parallèles.

*n<sub>s</sub>*: Nombre de cellule

*A*: La tension thermique.

*K*: constante de Boltzmann.  $1.08 * 10^{23}$

*q*: charge de l'électron  $1.9 * 10^{-19}$  coule

*I<sub>g</sub>*: Le courant de générateur photovoltaïque

*V<sub>g</sub>*: La tension de générateur photovoltaïque

*V<sub>cell</sub>*: Tension aux bornes de la cellule [V]

*V<sub>oc</sub>*: Tension a circuit – ouvert [V]

*V<sub>opt</sub>*: Tension optimale de la cellule [V]

*P<sub>max</sub>*: Puissance maximale disponible [W]

*R<sub>s</sub>*: Résistance série par cellule [Ω]

*R<sub>sh</sub>*: Résistance parallèle par cellule [Ω]

*T*: température [K].

*E<sub>ref</sub>*: L'ensoleillement de référence [w / m<sup>2</sup>]

*E*: l'ensoleillement [w / m<sup>2</sup>]

*MAS*: Machine Asynchrone.

*a, b, c*: indice correspondants au trois phases *a, b, c*

*P*: Nombre de paires de pôles.

*C<sub>max</sub>*: Couple maximum

*V<sub>s</sub>*: Tension statorique

*V<sub>0</sub>*: la chute de tension ohmique

*ws*: vitesse synchronisme

*g*: Glissement

## Nomenclature

---

$T$  : Température C°

$C_s$ : le couple statique

$\omega$ : la vitesse de pompe

$P_{méc}$ : Puissance mécanique

$A_0, A_2, A_1$ : Des constantes propres de la pompe

$K_{ch}$  : désigne la constante de proportionnalité

$\rho$  : La masse volumique de l'eau étant de 1000kg/m<sup>3</sup>.

$g$  : Accélération de la pesanteur (9,81m/s<sup>2</sup>).

$Q$  : Débit d'eau

$H$  : Hauteur manométrique totale.

$P_h$ : Puissance mécanique du moteur.

$A_0, A_1, A_2$ : des constantes propre de la pompe.

$\omega$  : La vitesse (rad/sec)

$H$ : la hauteur (mètre)

$Q$  : débit (l/min)

$\eta_h$  : rendement hydraulique

AC : courant alternatif

DC : courant continu

$P_1$ : Valeur de pression donnée par l'appareil de mesure au à d'aspiration (vacuomètre) « bar »

$P_2$ : Valeur de pression donnée par l'appareil de mesure au de refoulement (Manomètre) « bar »

HMT: La hauteur (mce)

$Q$  : débit (l/h)

$N$  : Valeur de vitesse de rotation de moteur donnée par l'appareil de mesure (tr/min)

$P_{mec}$  : Valeur de puissance mécanique donnée par le programme de banc d'essai (w)

$P_{hyd}$  : Valeur de puissance hydraulique donnée par le programme de banc d'essai (w)

$\eta(\%)$  : Valeur du rendement de donnée par le programme de banc d'essai

$C_r$  : Valeur de couple résistance donnée par l'appareil de mesure

## Liste de tableaux

---

---

### Liste de tableaux

Tableaux des caractéristiques du module .....	18
Tableaux 1 : résultats du 1er essai .....	29
Tableaux 2 : résultats du 2eme essai .....	30
Tableaux 3 : résultats du 3eme essai .....	30
Tableaux 4 : résultats du 4eme essai .....	30
Tableaux 5 : résultats du 5eme essai .....	32
Tableaux 6 : résultats du 6eme essai .....	32
Tableaux 7 : résultats du 7eme essai .....	33
Tableaux 8 : résultats du 8eme essai .....	33

### Chapitre I

Figure.I.1. Banc d'essai HM 310.....	3
Figure I.2 : Vue d'ensemble de l'installation .....	5
Figure .I.3: System diagramme.....	6
Figure .I.4 . Débitmètre magnéto- inductive.....	7
Figure.I.5. Débitmètre à corps flottant.....	8
Figure.I.6. saisie du couple.....	9
Figure. I. 7. L'armoire de commande .....	11
Figure.I.8.Capteur de pression 652.....	11
Figure.I.9. Capteur de pression 691.....	12

### Chapitre II

Figure .II.1. Modèle réel d'une cellule photovoltaïque .....	15
Figure .II.3. Caractéristique de puissance -tension d'un module photovoltaïque .....	16
Figure .II.2. Caractéristique de courant -tension d'un module photovoltaïque.....	16
Figure .II.4. Schéma de 4modules en série de l'université de Biskra.....	17
Figure .II.5. Schéma de 4module en Parallèle de l'université de Biskra .....	17
Figure .II.6. Module monocristallin en Tlemcen .....	18
Figure .II.7. Onduleur Toshiba VF-S11.....	19
Figure .II.8. Principe de l'économie d'énergie grâce au contrôle de la vitesse par des variateurs de fréquence.....	20
Figure .II.9. Machine asynchrones 3 phases .....	21
Figure.II.10.déplacement de la caractéristique couple-vitesse en fonction .....	23
Figure.II.11.Contrôle scalaire de la tension .....	24
Figure .II.12.pompe centrifuge MT 180.....	25
Figure .II.13.Le régulateur Tristar de Morningstar .....	26
Figure.II.14.Batterie solaire 12 V.....	27
Figure II.16.Système de pompage pour les Deux cas : A alimentation RE .....	29
B alimentation PV	
Figure .II.17. Caractéristique hauteur-débit d'un banc d'essai alimenté par RE .....	32

## Liste des figures

---

---

Figure .II.18.caractéristique rendement-débit d'un banc d'essai alimenté par RE.....	32
Figure .II.19.caractéristique couple résistance-débit d'un banc d'essai alimenté par RE.....	33
Figure .II.20. Caractéristique hauteur-débit d'un banc d'essai alimenté par PV .....	34
Figure .II.21.caractéristique rendement-débit d'un banc d'essai alimenté par PV.....	35
Figure .II.22.caractéristique couple résistance-débit d'un banc d'essai alimenté par PV.....	35

### Chapitre III

Figure .III.1. Générateur photovoltaïque en Simulink.....	36
Figure.III.2. Caractéristique de courant -tension d'un générateur photovoltaïque .....	37
Figure. III. 3. Caractéristique de puissance -tension d'un générateur photovoltaïque .....	37
Figure .III.4.Influence simultanée de l'éclairement et sur la caractéristique I(V).....	38
Figure .III.5.Influence simultanée de l'éclairement sur la caractéristique I(V).....	38
Figure .III.6.Influence simultanée de la température sur la caractéristique I(V).....	39
Figure .III.7.1Influence simultanée de la température sur la caractéristique P(V).....	39
Figure .III.8.Influence simultanée de l'éclairement et la température sur la caractéristique I(V) .....	40
Figure .III.9.Influence simultanée de l'éclairement et la température sur la caractéristique(V).....	40
Figure .III.10. Moteur asynchrone 3 phrasées en Simulink.....	41
Figure.III.11.caractéristique vitesse-temps d'un moteur asynchrone avide et en charge.....	41
Figure.III.12.caractéristique couple électromagnétique-temps d'un moteur asynchrone avide et en charge .....	41
Figure.III.13.caractéristique couple électromagnétique-temps d'un moteur asynchrone avide et en charge .....	42
Figure .III.14. Couplage moteur avec variateur de vitesse et régulateur de vitesse en Simulink.....	42
Figure .III.15.tension de charge d'onduleur en fonction de temps .....	43

## Liste des figures

---

---

Figure .III.16.tension de charge de redresseur en fonction de temps .....	43
Figure.III.17.caractéristique débit-vitesse d’une pompe centrifuge .....	44
Figure.III.I8.caractéristique couple-vitesse d’une pompe centrifuge .....	44
Figure.III.19.caractéristique de la pompe HMT(Q) et la canalisation.....	45
Figure .III.20.Pompe centrifuge en Simulink .....	46
Figure .III.21. Caractéristique débit-vitesse de la pompe centrifuge.....	47
Figure .III.22. Caractéristique hauteur-vitesse de la pompe centrifuge.....	47
Figure .III.23. Caractéristique hauteur-débit de la pompe centrifuge.....	47
Figure .III.24.Alimentation avec le réseau électrique en Simulink électrique(RE).....	48
Figure.III.25.caractéristique rendement -débit alimenté par RE.....	49
Figure.III.26.caractéristique couple résistance -débit alimenté par RE.....	49
Figure .III.27. Caractéristique hauteur-débit alimenté par RE.....	49
Figure .III.28. Alimentation avec le générateur photovoltaïque en Simulink .....	50
Figure .III.29. Caractéristique hauteur-débit alimenté par PV.....	50
Figure .III.30. Caractéristique rendement-débit alimenté par PV.....	51
Figure .III.31. Caractéristique couple résistance-débit alimenté par PV .....	51

## Sommaire

---

---

*Introduction générale* ..... 1

### Chapitre I

*Introduction*..... 3

*I.1-Description de l'appareil*..... 4

*I.2-Structure générale du banc d'essai*..... 4

*I.3-Description du processus* ..... 5

*I.4-System diagramme*..... 6

*I.5-Les appareils de mesure*..... 7

*I.5.1-Débitmètres* ..... 7

*I.5.1.1-Débitmètre magnéto- inductive*..... 7

*I.5.1.2-Débitmètre à corps flottant* ..... 8

*I.5.2-Réglage de la vitesse de rotation* ..... 8

*I.5.3-Mesure du couple*..... 9

*I.5.4- L'armoire de commande* ..... 10

*I.5.5- Capteur de pression 652*..... 11

*I.6-Caractéristique technique* ..... 12

*Conclusion*..... 14

### Chapitre II

*Introduction*..... 15

*II.1-Générateur photovoltaïque* ..... 15

*II.1.1-Modèle Electrique D'une Cellule Photovoltaïque Réelle* ..... 15

*II.1.2-Le Module Photovoltaïque*..... 16

*II.1.2.1-Association en série* ..... 17

*II.1.2.2-Association en parallèle* ..... 17

*II.1.3-Les caractéristiques du module*..... 18

*II.2-Le convertisseur continu-alternatif (DC-AC)*..... 18

*II.2.1-Différents types d'onduleurs*..... 19

*II.2.1.1-Onduleur à fréquence fixe* ..... 19

## Sommaire

---

---

<i>II.2.1.2-Onduleur à fréquence variable</i> .....	19
<i>II.2.2-Onduleur Toshiba VF-S11</i> .....	19
<i>II.3-La Machine Asynchrone</i> .....	21
<i>II.4-Commande Scalair</i> .....	22
<i>II.4.1-Contrôle en V /f de la machine asynchrone</i> .....	22
<i>II.4.2-La commande V/f a les avantages et les inconvénients suivants</i> .....	23
<i>Les Avantages</i> .....	23
<i>Les Inconvénients</i> .....	23
<i>II.5-Pompes centrifuges</i> .....	24
<i>II.6-Régulateur solaire à trois fonctions(Tristar)</i> .....	25
<i>II.7-Les batteries solaires</i> .....	25
<i>II.8-Partie expérimentale</i> .....	26
<i>II.8.1- les résultats obtenus avec alimentation par réseau électrique (RE) 220V</i> .....	29
<i>II.8.2-Les résultats obtenus avec alimentation photovoltaïque</i> .....	32
<i>Conclusion</i> .....	35

## Chapitre III

<i>Introduction</i> .....	36
<i>III.1-Générateur photovoltaïque</i> .....	36
<i>III.1.1-Influence de l'éclair</i> .....	37
<i>III.1.2-Influence de la température</i> .....	38
<i>III.1.3-Influence de l'éclair</i> .....	39
<i>III.2-Moteur asynchrone</i> .....	40
<i>III.2.1-Interprétation des résultats de simulation</i> .....	42
<i>III.3-Couplage de moteur avec les convertisseur de tension</i> .....	42
<i>III.4 modélisation de pompe centrifuge</i> .....	43
<i>III.4.1-Caractéristiques de la pompe centrifuge</i> .....	43
<i>III.4.1.1- Caractéristiques débit-vitesse</i> .....	44
<i>III.4.1.2-Caractéristiques couple-vitesse</i> .....	44
<i>III.4.1.3-Caractéristiques débit-hauteur</i> .....	45

## Sommaire

---

---

<i>III.5 Alimentation par le réseau électrique 220v -50 Hz.....</i>	<i>48</i>
<i>III.6- Alimentation par le générateur photovoltaïque avec batterie.....</i>	<i>50</i>
<i>Conclusion.....</i>	<i>53</i>
<i>Conclusion générale.....</i>	<i>54</i>
<i>Bibliographique</i>	
<i>Annexe</i>	

## Bibliographique

---

- [1] Hydraulique Générale et appliqué (Carlier)
- [2] Mesure in situ en hydraulique à surface libre par Jean Roberte COURIVAUD
- [3] HM 310 Banc d'essai de pompe avec acquisition de données
- [4] [www.hubacontrol.com](http://www.hubacontrol.com)
- [5] Claude Divoux (Moteur asynchrone triphasé) notes de cours, 1999
- [6] B. Equer « le pompage photovoltaïque Manuel de cours «énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993
- [7] J. Royer, T. Djiako, E. Schaller, Sada Sy « le pompage photovoltaïque » Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens Bibliothèque nationale du Canada, 1998
- [8] J.P. Caron et J.P. Hautier (modélisation et commande de la machine asynchrone) Edition tecchnip-paris 1995.
- [9] [www.gunt.de](http://www.gunt.de)