

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE d'ADRAR  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE

## Thème

*Alimentation D'une Station Carburant A L'aide  
D'une Unité De Transfert D'énergie*

*Par Pompage*

Soutenu le : 16/12/2013

Présenté par :

Membres de jury :

Mr. BOUSSAID Abderahim

Dr Makhloufi Salim

Univ. d'ADRAR

Président :

Encadré par :

Examineurs

Dr BENTOUBA Said Univ.d'ADRAR

Mr. Moulay Ali Ali

Univ. d'ADRAR

# SOMMAIRE

Contenu

Page

SOMMAIRE

DEDICACES

REMERCIEMENTS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE.....	1
<b>CHAPITRE I : ETUDE DE LA PARTIE HYDROELECTRIQUE</b>	
I.1. THEORIES SUR LES GROUPES TURBOGENERATEUR.....	3
I.1.1. Les turbines hydrauliques .....	3
I.1.1.1. Principe de fonctionnement des turbines hydrauliques .....	4
I.1.1.2. Classification des turbines hydrauliques selon le type. ....	4
I.1.1.3. Classification des turbines selon leur vitesse spécifique .....	7
I.1.1.4. Les multiplicateurs de vitesse.....	8
I.1.1.5. La génératrice.....	9
I.2. DEFINITION DES DONNEES HYDRAULIQUES INTERVENANT DANS LE CHOIX DES TURBINES.....	10
I.2.1. Hauteur brute de chute.....	10
I.2.2. Pertes de charges .....	10
I.2.2.1. Calcul des pertes réparties ou linéaires.....	10
I.2.2.2. Calcul des pertes singulières .....	12
I.2.3. Hauteur de chute nette .....	13
I.2.4. Hauteur d'aspiration.....	13
I.3. ETUDE DES MICROTURBINES HYDROELECTRIQUES .....	13
I.3.1. Les différents types de microturbines.....	13
I.3.1.1. Les microturbines de basse chute .....	13
I.3.1.2. Les microturbines de haute chute .....	16
I.3.2. Choix des canalisations en fonction de la pression .....	17
I.3.3. Le régulateur de charge .....	18
<b>CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES PHOTOVOLTAIQUES</b>	
II.1. GENERALITES.....	19
II.2. configuration du système de pompage photovoltaïque.....	19
II.3. Le système de pompage solaire autonome .....	21
II.4. Le convertisseur dc/ac triphasé .....	21
II.5. Onduleur en P.W.M .....	22
II.6. Les pompe.....	22
II.6.1. Les types de pompe .....	23
II.6.2.1. Les pompes volumétriques.....	23
II.6.2.2. Les pompes centrifuges.....	24
II.2.3 Comparaison des deux types de pompe.....	24
II.7. Les moteurs électriques.....	25
II.7.1. Les types de moteurs d'entraînement .....	26
II.7.1.1. Moteur à courant continu.....	26
II.7.4.1.2. Moteur à balais.....	26
II.7.4.1.2.Moteur à commutation électronique.....	26
II.7.4.1.3. Moteur série.....	27
II.7.4.1.4. Moteur shunt.....	27
II.7.4.1.5. Moteur à excitation composée.....	27

II.7.4.2. Les moteurs à courant alternatif .....	28
II.8. Implantation du Générateur Photovoltaïque.....	29
II.8.1. Conditions d'emplacement et de positionnement .....	29
II.8.2. Orientation des panneaux.....	29
II.9. Contraintes de couplage entre le générateur photovoltaïque et le groupe motopompe.....	30
II.9.1. Cas du moteur continu : l'adaptateur de charge.....	30
II.9.2. Cas du moteur à courant alternatif : l'onduleur.....	31
II.9.2.1. Conversion Continu-Alternatif.....	31
II.9.2.2. Adaptation du point de fonctionnement.....	31
II.9.2.3. Protection et gestion de l'installation.....	32
II.10. Dimensionnement des pompes photovoltaïques.....	32
II.10.1. Paramètres intervenant dans le dimensionnement.....	32
II.10.1.1. Débit.....	32
II.10.1.2. Hauteur manométrique totale.....	32
II.10.1.3. Niveau statique.....	33
II.10.1.4. Niveau dynamique.....	33
II.10.1.5. Energie quotidienne requise.....	33
II.10.2. Méthodes de dimensionnement.....	34
II.10.2.1. Procédure à suivre pour le dimensionnement.....	34
II.10.2.2. Méthode Analytique.....	35

### **CHAPITRE III : LES STATIONS DE TRANSFERT D'ENERGIE PAR POMPAGE**

III.1. Moyens de stockage de l'énergie électrique photovoltaïque.....	37
III.2. Le stockage hydraulique gravitaire.....	38
III.2.1. Schéma et Principe de fonctionnement.....	38
III.2.2. Avantages et inconvénients.....	39
III.3. Application du stockage hydraulique gravitaire aux systèmes en sites isolés.....	40
III.3.1. Description.....	40
III.3.2. Synoptique du système.....	40
III.4. Description des parties du système.....	41
III.4.1. Système de pompage photovoltaïque.....	41
III.4.1.1. Description sommaire.....	41
III.4.1.2. Optimisation du pompage.....	41
III.4.2. Système hydroélectrique.....	42
III.4.2.1. Description sommaire.....	42
III.4.2.2. Les différents éléments.....	43
III.4.2.2.1. Le bloc turbine.....	43
III.4.2.2.2. Le générateur de courant.....	43
III.5. Procédure de dimensionnement global.....	43

### **CHAPITRE IV : DESCRIPTION D'UNE STATION-SERVICE**

IV.1. Présentation et principe d'une station-service.....	44
IV.1.2. Fonctionnement et éléments d'une station-service.....	44
IV.1.2.1. La cuve de stockage de carburant.....	44
IV.1.2.1.1. Présentation.....	44
IV.1.2.1.2. Les types de cuve.....	45
IV.1.2.1.3. Le plongeur.....	45
IV.1.2.1.4. Le limiteur de remplissage.....	45
IV.1.2.2. Le volucompteur.....	45
IV.1.2.2.1. Définition.....	45
IV.1.2.2.2. Description et caractéristiques techniques d'un volucompteur AMC DPC.....	46
IV.1.2.2.2.1. Présentation.....	46
IV.1.2.2.2.2. Fonctionnement.....	46
IV.1.2.2.2.3. Pression de fonctionnement série DPC 050 GM 1- 2 et 090 GM 1 – 2.....	51
IV.1.2.2.2.4. Caractéristiques des moteurs électriques pour distributeurs DPC 050 GM 1- 2 et 090 GM 1 – 2 .....	51

IV.1.2.2.3. Procédure d'installation et entretien préventive.....	52
IV.1.2.2.4. Diagnostic des pannes et mauvais fonctionnement.....	54

## CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME

V.1. Cahier de charges.....	56
V.1.1. Aspects techniques.....	56
V.1.1.1. Généralités sur le site.....	56
V.1.1.2. Contexte du projet.....	56
V.1.1.3. Estimation de la consommation énergétique de la station cible.....	56
V.1.2. Aspects environnementaux.....	57
V.2. Dimensionnement de la partie hydroélectrique.....	57
V.2.1. Calcul de la puissance d'utilisation maximale.....	57
V.2.2. Calcul de la puissance prévisionnelle du générateur.....	57
V.2.3. Choix de la micro turbine hydroélectrique.....	59
V.2.3.1. Critères de choix.....	59
V.2.3.2. Manufacturiers de micro turbines hydroélectriques.....	59
V.2.3.3. Choix définitif.....	60
V.2.4. Dimensionnement du circuit hydraulique de la micro centrale.....	62
V.2.4.1. Pente de la chute d'eau.....	62
V.2.4.2. Détermination de la longueur de la canalisation.....	62
V.2.4.3. Choix de la canalisation.....	63
V.2.4.4. Détermination du débit pratique avec les paramètres de fonctionnement de la micro turbine.....	64
V.2.4.5. Régulation du débit.....	68
V.2.4.6. Dimensionnement des réserves d'eau.....	68
V.3. Dimensionnement de la partie photovoltaïque.....	70
V.3.1. Estimation de la charge hydraulique.....	70
V.3.1.1. Besoins journaliers.....	70
V.3.1.2. Débit horaire requis.....	71
V.3.1.3. Hauteur Manométrique Totale.....	71
V.3.2. Configuration du système.....	73
V.3.3. Données naturelles du site.....	74
V.3.4. Choix de la pompe.....	74
V.3.4.1. Choix en fonction du débit maximal.....	75
V.3.4.2. Courbe caractéristique débit-hauteur de la pompe.....	76
V.3.4.3. Tracé du caractéristique débit-hauteur du réseau hydraulique.....	77
V.3.4.4. Point de fonctionnement de la pompe.....	80
V.3.5. Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....	81
V.3.5.1. Energie électrique consommée par la pompe.....	81
V.3.5.2. Energie électrique produite par le générateur photovoltaïque.....	82
V.3.5.3. Puissance crête à installer.....	87
V.3.5.5. Composition du générateur photovoltaïque.....	88
V.3.6. Fonctionnement d'onduleur.....	90
V.3.6.1. Caractéristiques d'onduleur IVW.....	91
V.3.7. Plan de câblage.....	92
V.3.7.1. Configuration générale du système.....	92
V.3.7.2. Choix des sections de câble.....	93
V.4. Récapitulatif des composants du système.....	97

CONCLUSION GENERALE.....	98
--------------------------	----

## BIBLIOGRAPHIE

## ANNEXES

# DIDICACE

*Je dédie ce travail à:*

*Ma chère mère qui m'a apporté soutien,  
encouragement et aide pendant mes  
années d'étude;*

*A la mémoire de mon très chère père*

*Mes frères et ma sœur qui je leur  
souhaite*

*Le bonheur ;*

*Ma femme et mon fils,*

*Toute ma grande famille;*

*Tous mes amis de travail de l'entreprise*

# REMERCIEMENT

*Je remercie tout d'abord le bon dieu qui m'a donné la force pour terminer ce modeste travail.*

*Je remercie aussi mon promoteur : le docteur M<sup>r</sup> : S . BENTOUBA qui m'a aidé durant l'élaboration de ce travail.*

*Et tous ceux qui ont participé de loin ou de près pour l'élaboration de ce mémoire en particulier : mon très chère ami A. KHAMLAOUI.*

# LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN GROUPE TURBOGENERATEUR.....	03
FIGURE 2 : VUE GLOBALE D'UNE TURBINE PELTON .....	04
FIGURE 3 : VUE GLOBALE D'UNE TURBINE CROSSFLOW.....	05
FIGURE 4 : VUE GLOBALE D'UNE TURBINE FRANCIS .....	06
FIGURE 5 : VUE GLOBALE D'UNE TURBINE KAPLAN.....	07
FIGURE 6: VUE SOUS DEUX ANGLES D'UNE MICRO TURBINE BASSE CHUTE .....	13
FIGURE 7: DIFFERENTES PARTIES D'UNE MICRO TURBINE BASSE CHUTE .....	13
FIGURE 8 : SCHEMA D'IMPLANTATION D'UNE MICRO TURBINE BASSE CHUTE.....	14
FIGURE 9: VUE SOUS DEUX ANGLES D'UNE MICRO TURBINE HAUTE CHUTE .....	15
FIGURE 10: DIFFERENTES PARTIES D'UNE MICRO TURBINE HAUTE CHUTE.....	16
FIGURE 11 : SCHEMA D'IMPLANTATION D'UNE MICRO TURBINE HAUTE CHUTE .....	17
FIGURE 12: SYSTEME DE POMPAGE UTILISANT LE MOTEUR A COURANT CONTINU.....	20
FIGURE 13: SYSTEME DE POMPAGE UTILISANT LE MOTEUR A COURANT ALTERNATIF.....	20
FIGURE 14: DEMI-PONT D'ONDULEUR.....	22
FIGURE 15 : CHOIX D'UNE POMPE SELON LE DEBIT ET LE HMT DEMANDES.....	25
FIGURE 16 : CONFIGURATION GENERALE D'UN SYSTEME DE POMPAGE.....	33
FIGURE 17: ORGANIGRAMME DE COUPLAGE DE LA POMPE AVEC LE SYSTEME PV.....	36
FIGURE 18: SCHEMA D'UNE STEP UTILISANT LE POMPAGE AVEC RESEAU.....	38
FIGURE 19: PHASE DE STOCKAGE DE L'ENERGIE.....	39
FIGURE 20: PHASE DE DESTOCKAGE DE L'ENERGIE.....	39
FIGURE 21: VUE GLOBALE DU SYSTEME.....	40
FIGURE 22: SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME.....	41
FIGURE 23: SCHEMA D'UNE MICROCENTRALE HYDROELECTRIQUE.....	42
FIGURE 24: APERÇU GLOBAL D'UNE CUVE CARBURANT.....	44
FIGURE 25: APERÇU GLOBAL D'UN VOLUCOMPTEUR AMC DPC.....	46
FIGURE 26: GROUPE DE POMPAGE D'UN VOLUCOMPTEUR AMC DPC.....	47
FIGURE 27: DIFFERENTES PIECES DU GROUPE DE POMPAGE D'UN VOLUCOMPTEUR AMC DPC.....	48
FIGURE 28: SOUPAPE DE RETENUE/ SECURITE.....	48
FIGURE 29: CIRCUIT HYDRAULIQUE.....	49
FIGURE 30: POMPE MANUELLE.....	50
FIGURE 31: MESUREUR NP1000.....	51
FIGURE 32: APERÇU GLOBAL DE LA MICROTURBINE HYDRAULIQUE MICRO INTEGRATED (XJ)(TURGO).....	60
FIGURE 33: SCHEMA DE PRINCIPE PROVISoire.....	62
FIGURE 34: SCHEMA DURESERVOIR SUPERIEUR.....	70
FIGURE 35 : DETERMINATION DE LA HAUTEUR GEOMETRIQUE.....	72
FIGURE 36 : DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE CANALISATION.....	73
FIGURE 37 : CHOIX DE LA POMPE SELON LE HMT ET LE DEBIT REQUIS PAR NOTRE SYSTEME.....	74
FIGURE 38: APERÇU GLOBAL DE LA POMPE SOLAIRE SPENTA.....	75
FIGURE 39: CARACTERISTIQUE DEBIT-HAUTEUR DE LA POMPE.....	76
FIGURE 40: CARACTERISTIQUE DEBIT-HAUTEUR DURESEAU HYDRAULIQUE.....	79
FIGURE 41: DETERMINATION DU POINT DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE.....	80
FIGURE 42: VUE GENERALE D'ONDULEUR IVW.....	90
FIGURE 43: CONFIGURATION GENERALE DU SYSTEME DE POMPAGE.....	92
FIGURE 44: DISPOSITION DES PANNEAUX DU GENERATEUR SOLAIRE.....	93

# **LISTE DES TABLEAUX**

TABLEAU 1: CLASSIFICATION DES TURBINES SELON LEUR VITESSE SPECIFIQUE .....	08
TABLEAU 2 : COEFFICIENTS DE RUGOSITE SELON STRICKLER .....	11
TABLEAU 3: COEFFICIENTS DE PERTES DE CHARGES .....	12
TABLEAU 4: COMPROMIS ENTRE LA PRESSION DE VOLUCOMPTEUR DPC050 ET DPC090.....	51
TABLEAU 5: CARACTERISTIQUES DES MOTEURS DES VOLUCOMPTEURS DPC050 ET DPC090.....	51
TABLEAU 6: DIAGNOSTIQUE DES PANNES ET SOLUTIONS.....	54
TABLEAU 7: COMPROMIS ENTRE LE DEBIT ET LA HAUTEUR.....	61
TABLEAU 8: COMPARAISON DES DIFFERENTS MATERIAUX POUR LES CANALISATIONS.....	63
TABLEAU 9 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU BETON ET DE L'ACIER POUR LE RESERVOIR ...	68
TABLEAU 10: CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES POMPES SOLAIRES SPENTA SPI4-25.....	76
TABLEAU 11: DONNEES NATURELLES DU SITE(ADRAR).....	84
TABLEAU 12 : TABLE DES JOURS MOYENS.....	85
TABLEAU 13: RECAPITULATIF JOUR MOYEN, DECLINAISON ET ANGLE HORAIRE.....	85
TABLEAU 14 : CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DES PANNEAUX SOLAIRES.....	88
TABLEAU 15 : CARACTERISTIQUES D'UN ONDULEUR IVW 6000W.....	91
TABLEAU 16: RESISTANCE DE CABLE DU TYPEH07RNF.....	94
TABLEAU 17: TABLEAU DES SECTIONS DE CABLES.....	96
TABLEAU 18: RECAPITULATIF DES COMPOSANTS DU SYSTEME.....	97



# INTRODUCTION

# INTRODUCTION

Vu le développement industriel et socioéconomique que connaissent plusieurs pays en voie de développement entre autres, l'Algérie, la demande en énergie est en pleine croissance. Les énergies conventionnelles d'origine fossile sont très polluantes et en voie de disparition dans quelques décennies. De ce fait, le recours aux énergies renouvelables est une bonne alternative, car ces énergies sont très économiques, disponibles en permanence et conservatrices de l'environnement.

Cependant le caractère aléatoire de ces sources nous impose l'utilisation des systèmes multi sources (systèmes hybrides) qui permettent d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides (SEH) associent au moins deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs diesels, et au moins une source d'énergie renouvelable.

Les sources d'énergie renouvelables, comme l'éolienne et le photovoltaïque, qui sont les plus utilisés parmi les différents types des technologies des ressources renouvelables, ne délivrent pas une puissance constante. Leur association avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue.

L'étude que nous nous proposons de réaliser consiste en une combinaison de deux sources d'énergie : le photovoltaïque et l'hydroélectrique. L'énergie photovoltaïque est déjà largement utilisée dans plusieurs systèmes d'énergie. Mais il ne sera pas question de parler d'un système déjà largement traité et étudié par plusieurs littératures auparavant. L'intérêt ici est l'innovation sur la stratégie de stockage de l'énergie photovoltaïque en énergie hydroélectrique.

L'étude réalisée se propose de stocker l'énergie photovoltaïque grâce à la technologie de stockage hydraulique gravitaire, technologie de stockage à grande échelle fiable et mature.

Le principe est que le sous-système photovoltaïque alimentant un système de pompage stocke suffisamment d'eau et dans des conditions requises pour faire tourner le sous-système hydroélectrique. Le système ainsi obtenu est appelé Station de Transfert d'énergie par Pompage.

L'objectif de ce système est d'alimenter une charge spécifique sur un site spécifique avec une énergie issue de la combinaison du photovoltaïque et de l'hydroélectrique. Le problème du point de vue approvisionnement sera de trouver un équilibre entre l'apport énergétique et la demande.

En pratique, dans notre étude la charge à alimenter est une petite station de distribution des carburants au cours de toute l'année au **Shra de Tanzrouft**.

Notre étude se propose ainsi d'analyser tous les éléments constitutifs de ce système hybride afin d'en optimiser les critères de choix et de dimensionnement. L'étude sera structurée de la manière suivante :

- Une introduction générale.
- Un premier chapitre fera l'étude de la partie hydroélectrique.
- Le second chapitre fera l'étude du système photovoltaïque.
- Le troisième chapitre portera ensuite sur les généralités sur les stratégies de Stockage d'énergie et les stations de transfert d'énergie par pompage
- Le quatrième chapitre portera sur la description d'une station-service et un Volucompteur AMC DPC.
- Le cinquième chapitre traitera de la conception du système.
- Puis nous terminerons par la conclusion générale et les perspectives.



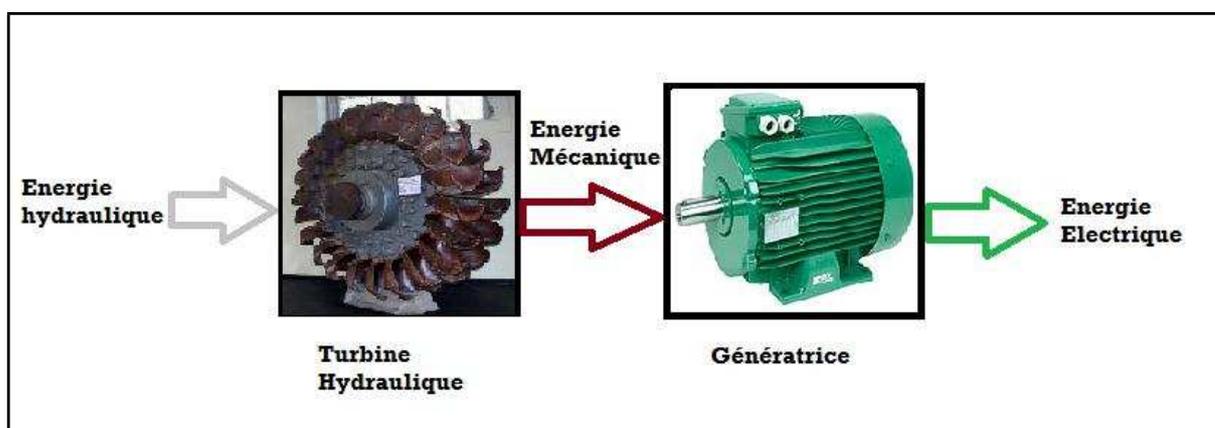
**CHAPITRE I**  
**ETUDE DE LA PARTIE**  
**HYDROELECTRIQUE**

Dans ce chapitre nous entrons dans le vif du sujet avec l'étude de la partie hydroélectrique de notre système.

Cette microcentrale hydroélectrique sera composée d'un groupe turbogénérateur chargé de produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie cinétique de l'eau acheminée par la canalisation provenant de la réserve d'eau supérieure. Nous étudions également les micro turbines hydroélectriques, petits groupes turbogénérateurs adaptés pour les faibles puissances.

Il s'agira dans ce chapitre d'énoncer et d'expliquer toutes les théories concernant les microcentrales hydroélectriques et de présenter les méthodes de dimensionnements.

### **I.1. Théories sur les groupes turbogénérateur :**



*Figure 1: Schéma synoptique d'un groupe turbogénérateur*

Un groupe turbogénérateur est généralement composée d'une turbine hydraulique couplée à une génératrice (synchrone ou asynchrone). On utilise quelque fois, au besoin, un multiplicateur de vitesse entre la turbine et la génératrice.

Ces groupes sont utilisés dans les grandes installations hydroélectriques comme certaines centrales hydroélectriques produisant plusieurs mégawatts.

#### **I.1.1. Les turbines hydrauliques :**

Les turbines sont des machines rotatives dans lesquelles l'énergie cinétique (ou énergie hydraulique) et la pression de l'écoulement de l'eau sont transformée en énergie mécanique directement utilisable sur l'arbre moteur de la machine. Elles comportent un système distributeur d'eau, le plus souvent réglable, et une ou plusieurs roues motrices (roues à aubes, à augets, à ailettes). Les turbines peuvent fournir de quelques watts avec relais batteries pour les plus petites jusqu'à plusieurs kilowatts en 220 volts pour les plus importantes. Techniquement les turbines constituent les recours idéal quand les sites sont isolés et très éloignés des réseaux, d'autant qu'elles contribuent à une économie significative des énergies fossiles.

### **I.1.1.1. Principe de fonctionnement des turbines hydrauliques :**

Une turbine est un dispositif muni d'ailettes, de pales ou d'aubes (dont l'ensemble s'appelle aubage), auquel un fluide imprime un mouvement de rotation transmis à un mécanisme par l'intermédiaire d'un arbre placé au centre du dispositif. Une turbine est constituée d'une partie fixe, le distributeur ou stator, et d'une partie mobile, le rotor. Le stator peut être constitué d'un ou plusieurs injecteurs comme dans la turbine Pelton, ou comporter, comme le rotor, des aubages disposés de telle sorte que la conversion de l'énergie de l'eau en énergie mécanique de rotation s'effectue suivant les principes d'action, de réaction, ou résulte de la combinaison des deux. Ces différents modes de fonctionnement sont obtenus à partir de la forme et de la disposition du stator et du rotor, et par des profils d'aubes adaptés.

### **I.1.1.2. Classification des turbines hydrauliques selon le type :**

Il existe 2 familles de turbines : les turbines à action (Pelton, Crossflow) et les turbines à réaction (Francis, Kaplan, pompes inversées). Chaque type de turbine est adapté aux différentes exigences des cours d'eau et des caractéristiques du site : hauteur de chute disponible sur le site, débit et variabilité du débit.

#### **I.1.1.2.1. Les turbines à action :**

Une turbine est à action lorsque les pressions à l'entrée et à la sortie de la roue sont égales. Elle se compose uniquement d'un distributeur et d'une roue mobile.

##### **a. Turbine Pelton :**

Une turbine Pelton est un type de turbine hydraulique utilisée dans les centrales hydroélectriques. Elle a été inventée en 1879 par Lester Allan Pelton, en Californie.



*Figure 2 : Vue globale d'une turbine Pelton*

Cette turbine est du type « à action » car l'énergie potentielle de l'eau venant d'une conduite forcée est transformée en énergie cinétique, par l'action d'un jet d'eau sur les augets de la roue. D'après le calcul de la vitesse spécifique, ces turbines sont adaptées à des chutes dites « hautes chutes », 10 à 500 mètres avec un faible débit d'eau (20 à 1000 litres par seconde).

Sa vitesse de rotation est comprise entre 500 et 1 500 tr/min permettant une liaison directe entre la turbine et la génératrice et offrant ainsi un encombrement réduit. La conception de cette turbine permet d'obtenir un rendement exceptionnel de l'ordre de 90%.

### **b. Turbine Turgo :**

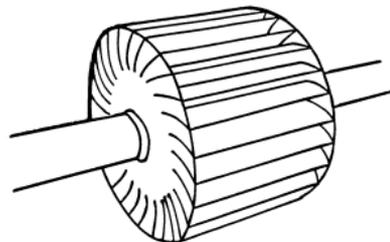
La turbine Turgo est une turbine hydraulique à action conçue pour des hauteurs de chute moyennes. Le rendement énergétique des turbines Turgo atteignent 87%. En laboratoire, il peut avoisiner 90%. Développée en 1919 par Gilbert Gilkes comme une modification de la turbine Pelton, la Turgo possède quelques avantages sur la turbine Francis et la turbine Pelton pour certaines applications. Premièrement, le rotor est moins coûteux que celui d'une turbine Pelton. Deuxièmement, elle ne requiert pas un compartiment étanche comme la turbine Francis. Enfin, elle a une vitesse spécifique plus élevée et a la capacité de gérer un flux hydraulique plus grand qu'une turbine Pelton de même taille. Ce qui conduit à des réductions de coût supplémentaires.

Les turbines Turgo opèrent avec des hauteurs de chute auxquelles les turbines Francis et Pelton se chevauchent. Ce type de turbine est utilisé dans plusieurs grandes installations et sont aussi populaires dans les petites installations où le prix est très important.

La turbine Turgo peut fonctionner sous des chutes de 50 à 250 mètres. Le jet arrive sur l'aubage avec un angle de 20° environ relativement au plan de la roue. L'eau entre dans la roue par un côté et sort par l'autre. La turbine Turgo peut fonctionner entre 20 et 100% du débit nominal mais son rendement est plus faible que la turbine Pelton.

### **c. Turbine Banki-Mitchell ou Crossflow :**

Turbine de faible et moyenne chute, de 1 à 150 et de débit faible à moyen, de 20 à 7000 l/s. Cette turbine à action est dite à flux traversant car l'eau traverse deux fois la roue.



*Figure 3: Vue globale d'une turbine Crossflow*

Elle est constituée de trois parties principales :

- Un injecteur de section rectangulaire et dont le débit est réglé à l'aide d'une aube profilée rotative, similaire à une vanne papillon. Afin d'assurer un arrêt de la turbine sans énergie d'appoint, la fermeture est souvent réalisée à l'aide d'un contrepoids et l'ouverture par un vérin hydraulique ;
- Une roue en forme de tambours, dotée d'aubes cylindriques profilées ;
- Un bâti enveloppant la roue sur lequel sont fixés les paliers de la turbine.

Elle possède l'inconvénient d'avoir une vitesse de rotation assez lente ce qui nécessite la présence d'un multiplicateur (courroie) pour accélérer la vitesse de rotation de la génératrice et donc un rendement assez moyen mais constant (de l'ordre de 70%).

#### **1.1.1.2.2. Turbines à réaction :**

La turbine est à réaction lorsque la pression à l'entrée de la roue est plus grande que la pression à la sortie de la roue. Une turbine à réaction est une machine fermée (noyée) qui utilise à la fois la vitesse de l'eau (énergie cinétique) et une différence de pression.

##### **a. Turbine Francis :**

Les turbines Francis sont généralement utilisées pour des moyennes chutes (10 à 100 m) et des débits moyens (100 à 6 000 l/s) et peuvent développer des puissances très importantes.

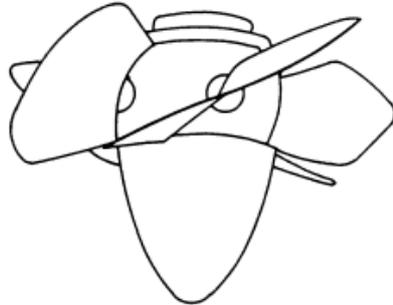


*Figure 4 : Vue globale d'une turbine Francis*

Sa vitesse de rotation est rapide (jusqu'à 1 000 tr/min) et elle a de bons rendements : pour des débits variant de 60 à 100 % du débit nominal, il dépasse 80 %. Cependant ce matériel n'est pas recommandé lorsque le débit est susceptible de varier au-delà de ces limites.

### **b. Turbines Kaplan et turbines à hélice :**

Elles sont les plus appropriées pour le turbinage des faibles chutes (moins de 10 mètres) et des débits importants (300 à 10 000 litres/seconde).



*Figure 5 : Vue globale d'une turbine Kaplan*

Elles se caractérisent par leur roue qui est similaire à une hélice de bateau dont les pales sont réglables en marche (Kaplan) ou fixes (hélices).

L'eau est dirigée vers le centre de la roue par un distributeur orientable ou fixe. A la sortie un aspirateur permet de limiter les effets de turbulence. Ces turbines dont la vitesse de rotation est faible présentent l'avantage d'avoir de très bons rendements.

#### **I.1.1.3. Classification des turbines selon leur vitesse spécifique :**

Les différents types de turbines sont classés en fonction d'un seul paramètre, la vitesse spécifique. Il en existe plusieurs définitions, qui peuvent encore toutes se retrouver dans la littérature ou dans la documentation des fabricants.

##### **I.1.1.3.1. Vitesse spécifique de puissance $N_s$ :**

La vitesse spécifique de rotation  $N_s$ , en tr / min, d'une turbine travaillant sous une chute de 1 m et délivrant une puissance de 1 kW est donnée par la formule suivante

$$N_s = n \cdot \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} \quad (1)$$

$H$  = chute nette [m]

$n$  = vitesse de rotation [tr / min]

L'inconvénient de cette formule est que le rendement de la turbine est inclus dans la puissance  $P$  de la turbine.

**I.1.1.3.2. Vitesse spécifique de débit  $n_q$  :**

La vitesse spécifique de rotation  $n_q$ , en t / min, d'une turbine travaillant sous une chute de 1 m avec un débit de 1m<sup>3</sup>/s est donnée par la formule

$$n_q = n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (2)$$

$Q = \text{débit [m}^3/\text{s]}$

**I.1.1.3.3. Tableau de classification des turbines selon leur vitesse spécifique :****Tableau 1: Classification des turbines selon leur vitesse spécifique**

Type de Turbine	Vitesse spécifique de puissance $N_s$	Vitesse spécifique de débit $n_q$
Pelton	6 -60	2- 20
Crossflow	30-210	10- 70
Francis	50- 350	16- 120
Kaplan	200- 950	65 - 300

**I.1.1.4. Les multiplicateurs de vitesse :**

Lorsque la turbine et le générateur fonctionnent à la même vitesse et peuvent être placés de telle sorte que leurs arbres soient alignés, un couplage direct constitue la solution la plus intéressante puisqu'elle évite toute sorte de pertes mécaniques dues au multiplicateur de vitesse.

Dès que la vitesse de la turbine et celle du générateur ne sont pas synchrones, la multiplication de vitesse est systématique. Surtout dans le cas des systèmes à basse chute dans lesquels les turbines ont une vitesse de rotation inférieure à 428.57 tr/min, il faut avoir recours à un multiplicateur de vitesse afin d'utiliser des alternateurs standards tournant à

750 tr/min ou 1500 tr/min.

Les principaux types de multiplicateurs de vitesse sont classés de la manière suivante :

- Les multiplicateurs à arbre parallèle utilisant des engrenages hélicoïdaux : particulièrement intéressant pour les applications de moyennes puissances.
- Les multiplicateurs à engrenages coniques : dont l'usage est limité aux applications de basse puissance utilisant des engrenages à renvoi d'angle.

- Les multiplicateurs à courroie : utilisés dans des applications de petite puissance, ils offrent de grandes facilités de maintenance ainsi qu'une grande fiabilité.

#### **I.1.1.5. La génératrice :**

Dans les installations de production d'énergie électrique de petite dimension, il y a lieu de choisir entre deux types de générateurs:

– Le générateur synchrone : équipés d'un système d'excitation à courant continu ou à aimant permanent (rotatif ou statique), il est presque toujours associé à un régulateur de tension régulant la tension de sortie avant que le générateur ne soit connecté au réseau .Le générateur synchrone fournit lui-même l'énergie réactive requise par le système et peut fonctionner en réseau isolé puisque son excitation ne dépend pas du réseau

– Le générateur asynchrone : moteur à induction avec rotor en court-circuit simple (cage d'écureuil) n'ayant aucune possibilité de régulation de tension, il fonctionne à une vitesse directement liée à la fréquence du réseau. Ils tirent leur courant d'excitation du réseau et absorbent de l'énergie réactive : c'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'y adjoindre une batterie d'accumulateurs afin de compenser l'énergie réactive absorbée. Il ne peut donc fonctionner en réseau isolé puisqu'il ne peut fournir lui-même son propre courant d'excitation. Toutefois il est utilisé dans de toutes petites installations où la qualité de l'alimentation électrique requise n'est pas élevée.

## **I.2. Définition des données hydrauliques intervenant dans le choix des turbines**

### **I.2.1. Hauteur brute de chute :**

La chute brute représente l'énergie totale à disposition entre l'entrée et la sortie de l'aménagement. Elle est donnée par la différence d'altitude entre les niveaux d'eau à la prise d'eau et à l'aval de la turbine.

### **I.2.2. Pertes de charges :**

Les pertes de charge sont calculées en fonction de la géométrie des ouvrages et des matériaux utilisés.

Elles sont de deux types:

- les pertes locales ou singulières;
- les pertes réparties ou linéaires.

### **I.2.2.1. Calcul des pertes réparties ou linéaires :**

Ce sont les pertes par frottements entre l'eau et les parois. Elles ont lieu dans les canaux, conduites d'amenée d'eau et conduites forcées. Elles varient avec le carré de la vitesse et dépendent de la géométrie de la section, de la longueur de la conduite ainsi que du matériau formant les parois.

Plusieurs formules existent afin de déterminer les pertes de charges linéaires dans diverses littératures. Nous utiliserons ici la formule de Strickler qui est une version simplifiée de la théorie complexe de l'hydraulique. Cette formule s'écrit :

$$\boxed{H_{Lf} = \frac{v^2 \cdot L}{K^2 \cdot R_h^{\frac{4}{3}}}} \quad (3)$$

$H_{Lf}$  : pertes linéaires, en [m]

$v$  : vitesse de l'écoulement, en [m/s]

$L$  : longueur du tuyau (ou de la conduite) considérée, en [m]

$R_h$  : rayon hydraulique de la section, en [m], est défini comme le rapport entre la surface mouillée  $S$  et le périmètre mouillé  $P$ .

$K$ : coefficient de rugosité selon Strickler, en [ $m^{1/3}$  /s], dépend du type de matériaux et de l'état de la surface de contact entre l'eau et la paroi

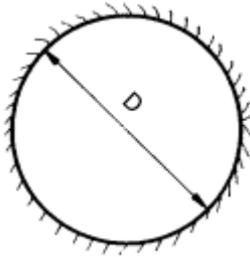
#### **o Calcul de la vitesse**

La vitesse de l'eau est donnée par la formule suivante où  $g$  est la constante de gravité et  $h$  : la hauteur du réservoir (hauteur de chute).

$$\boxed{v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} \quad (4)$$

#### **o Rayon hydraulique**

La figure suivante montre un exemple de calcul du rayon hydraulique pour une



$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$P = \pi D$$

$$R_h = \frac{S}{P} = \frac{D}{4}$$

section rectangulaire et circulaire.

$$R_h = \frac{D}{4}$$

(5)

### o Coefficient de rugosité

L'estimation de K est souvent difficile pour des ouvrages existants, par exemple conduites forcées entartrées, etc.

A titre indicatif, nous donnons les valeurs suivantes:

*Tableau 2 : Coefficients de rugosité selon Strickler*

Matériau	Etat	K [m <sup>1/3</sup> /s]
Acier	Conduite en bonne état	75
Acier	Conduite rouillée, incrustée	60
Béton	Lisse	85
Béton	rugueux	60
PE, PVC		100

### I.2.2.2. Calcul des pertes singulières :

Les pertes locales ou singulières HLS sont les pertes liées aux singularités géométriques des aménagements, telles que les entrées, sorties, grilles, rétrécissements, élargissements, coudes, bifurcations, etc. Elles varient avec le carré de la vitesse et dépendent de la géométrie de la singularité.

$$H_{LS} = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$$

(6)

HLS : pertes singulières, en [m]

$\xi$  : coefficient de pertes de charge, sans unité qui est fonction des

accidents de parcours de la tuyauterie.

Un court éventail des valeurs est donné dans le tableau suivant

**Tableau 3: Coefficients de pertes de charges**

accidents de parcours	coefficient de pertes de charge
1 coude	0.5
1 coude 90°	1.5
1 dérivation de séparation	1.5
1 vanne équerre	3

### **I.2.3. Hauteur de chute nette :**

La chute nette représente l'énergie effective à la disposition de la turbine. Elle se calcule pratiquement en déduisant de la chute brute les pertes de charges régulières et singulières.

$$H_n = H_b - H_{LF} - H_{LS}$$

(7)

$H_b$  : Hauteur brute

### **I.2.4. Hauteur d'aspiration :**

La hauteur d'aspiration  $H_s$  d'une turbine à réaction est mesurée entre le plan d'eau aval et l'axe de la roue de la turbine. La valeur de  $H_s$  est positive si la turbine se trouve au-dessus du niveau d'eau aval et négative dans le cas contraire.

### **I.3. Etude des microturbines hydroélectriques :**

Les microturbines hydroélectriques sont de petits groupes turbogénérateur généralement préconçus pour les applications domestiques et de faible puissance. Les paramètres les plus importants pour la production d'énergie avec ces microturbines sont la hauteur de chute, et le débit d'eau. Plus la hauteur de chute est petite, plus il faut d'eau (grand débit) pour faire travailler la microturbine dans des conditions optimales.

On distingue principalement deux types de microturbines : les microturbines de haute chute et les microturbines de basse chute.

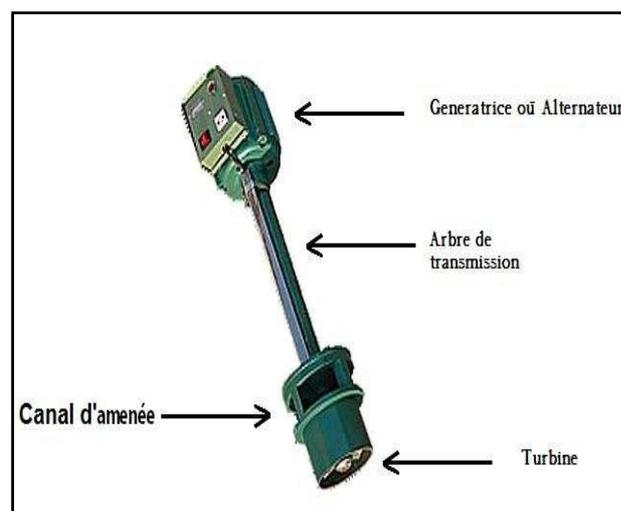
### I.3.1. Les différents types de microturbines :

#### I.3.1.1. Les microturbines de basse chute :



*Figure 6: Vue sous deux angles d'une micro turbine basse chute*

##### I.3.1.1.1. Schéma



*Figure 7: Différentes parties d'une micro turbine basse chute*

### **I.3.1.1.2. Principe de fonctionnement :**

L'écoulement rapide de l'eau (chute verticale) à travers les ouvertures latérales (canal d'amenée) fait tourner la turbine à grande vitesse.

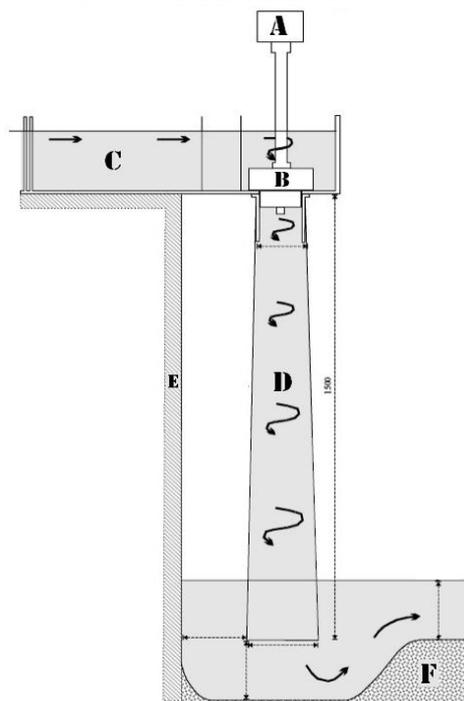
Pour fonctionner correctement, ce type d'installation nécessite avant tout un débit d'eau important de l'ordre de 45 litres d'eau par seconde. Ce débit est nécessaire pour pouvoir entraîner l'hélice à une vitesse suffisante.

Le courant monophasé est produit par un alternateur magnétique sans balai ou une génératrice asynchrone à couplage direct avec la turbine (sans engrenage ou multiplicateur). Tout ou une partie de la chute d'eau est détournée vers un canal de prise où se forme un vortex, forçant ensuite la rotation de la turbine.

### **I.3.1.1.3. Conditions d'implantation :**

#### **a. Disposition de la microturbine :**

Le schéma suivant montre la vue de profil du dispositif à adopter pour les turbines de basse chute :



**Figure 8 : Schéma d'implantation d'une micro turbine basse chute**

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| A : Alternateur/Génératrice | D : Canal d'évacuation de l'eau          |
| B : Turbine                 | E : mur de barrage                       |
| C : Canal de prise d'eau    | F : Lit de rivière ou bassin de stockage |

Ces microturbines nécessitent donc un aménagement en amont de la chute d'eau, afin de pouvoir collecter l'eau et surtout obtenir un débit suffisant pour entraîner l'hélice de la turbine. Le canal de prise d'eau est installé à cet effet.

### **b. Sélection du site :**

Le facteur le plus important dans le choix du site est le débit d'eau. Le débit est la quantité d'eau qui traverse le turbine à tout instant, mesurée en litres par seconde (l / sec). Le deuxième point important est la hauteur de chute. Les mini-turbines hydroélectriques de basse chute, comme leur nom l'indique travaille sous de faibles chutes, mais nécessitent des débits d'eau important.

Les paramètres de fonctionnement des mini-turbines (débit, hauteur de chute) sont donnés par les constructeurs dans leurs catalogues.

#### **I.3.1.2. Les microturbines de haute chute :**



*Figure 9: Vue sous deux angles d'une micro turbine haute chute*

### I.3.1.2.1. Schéma

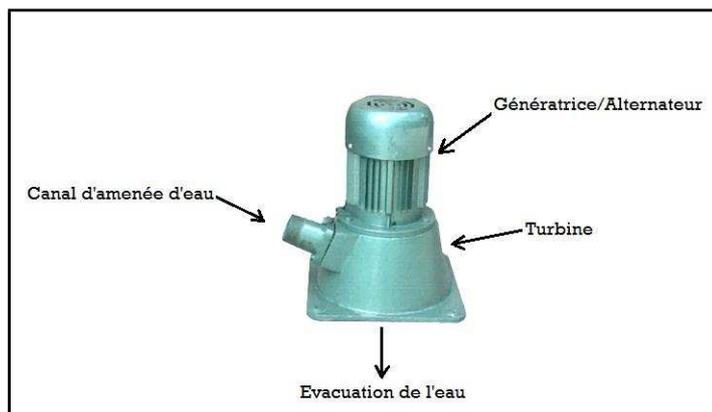


Figure 10: Différentes parties d'une micro turbine haute chute

### I.3.1.2.2. Principe de fonctionnement :

Cette mini-turbine utilise le principe mis en évidence par Lester A. PELTON dans les années 1870 pour les turbines Pelton et modifié par Gilbert Gilkes en 1919 pour les turbines Turgo, des aubes incurvées, qui, percutées par un jet d'eau, renvoient l'eau en sens inverse et provoque l'accélération d'une turbine.

Pour fonctionner correctement, ce type d'installation nécessite avant tout un débit d'eau relativement faible.

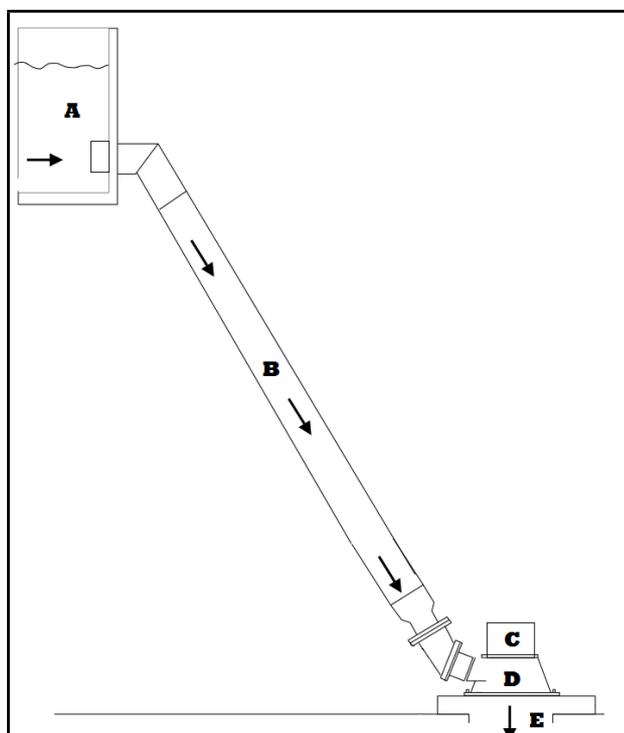
Le courant monophasé est produit par un alternateur magnétique sans balai ou une génératrice asynchrone fixée à une petite turbine Turgo ou Pelton. La puissance de la chute d'eau est récupérée à l'aide d'une conduite forcée et amenée à la turbine.

### I.3.1.1.3. Conditions d'implantation :

L'installation de cette turbine nécessite donc une chute verticale et un débit minimum. Ces conditions peuvent être généralement obtenues grâce à la fabrication d'un barrage ou d'un canal de déviation.

### a. Disposition de la mini-turbine :

Le schéma suivant montre la vue de profil du dispositif à adopter pour les turbines de basse chute :



*Figure 11 : Schéma d'implantation d'une micro turbine haute chute*

- |                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| A : Barrage ou réservoir d'eau | D : Turbine                     |
| B : Canal d'amenée d'eau       | E : Canal d'évacuation de l'eau |
| C : Générateur                 |                                 |

### b. Sélection du site :

Tout comme pour les mini-turbines de basse chute le facteur le plus important dans le choix du site est le débit d'eau. Le débit est la quantité d'eau qui traverse le turbine à tout instant, mesurée en litres par seconde (l / sec). Le deuxième point important reste également la hauteur de chute. Les mini-turbines hydroélectriques de haute chute, comme leur nom l'indique travaille sous de grandes hauteurs de chute, mais nécessitent des débits d'eau assez faibles.

#### I.3.2. Choix des canalisations en fonction de la pression :

Une turbine hydroélectrique fonctionne à partir de la pression à l'extrémité inférieure d'une canalisation. Cette pression, habituellement mesurée en bar (dans le système francophone) et en livres par pouce carré (PSI dans le système anglo-saxon)

est directement liée à la hauteur de chute. La pression à la sortie de la canalisation est estimée égale à 0,433 fois la hauteur de chute en pieds. La pression est importante parce qu'il est un facteur déterminant dans la quantité d'énergie qui est disponible et dans le type de conduite à utiliser. Un tuyau en polyéthylène peut être utilisé pour des pressions allant à 100 PSI, un tuyau en PVC est disponible avec les pressions nominales de 160 à 350 PSI et de tuyaux en acier peuvent résister à 1000 PSI ou plus.

Le diamètre de la canalisation est très important. Toutes les canalisations entraînent dans l'eau qui coule en eux une perte d'énergie due à la friction. La pression au fond d'une canalisation lorsque l'eau n'est pas en écoulement est appelée pression statique. Quand l'eau coule à travers la sortie ou distributeur de la turbine hydroélectrique, la pression à la sortie est la pression dynamique ou en cours.

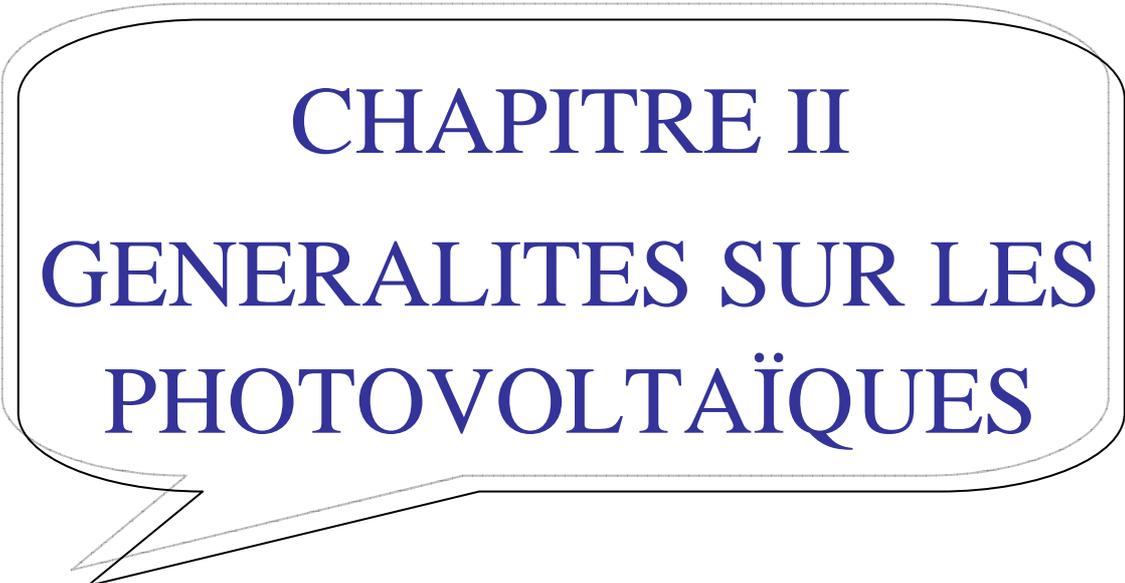
Une canalisation délivre une puissance optimale lorsque la pression dynamique est d'environ 2 / 3 de la pression statique

### **I.3.3. Le régulateur de charge :**

Les régulateurs électroniques sont indispensables pour le fonctionnement correct de la micro-turbine hydroélectrique à moins que la puissance électrique absorbée par les usagers soit absolument constante dans le temps et exactement de la même valeur que la puissance générée. Toutefois cette condition est assez rare et improbable.

Les régulateurs électroniques doivent être raccordés au tableau électrique ou, faute de celui-là, directement au générateur, au moyen d'une ligne électrique préférentielle, séparée de la ligne électrique des usagers, afin d'éviter que des pannes ou des interruptions sur cette ligne puissent compromettre le fonctionnement des régulateurs.

Le régulateur électronique garantit la stabilisation de la tension de sortie en maintenant constante la charge électrique sur le groupe "turbine-générateur" (régulation "à charge constante") En effet ce groupe travaille toujours à pleine charge puisque l'énergie produite et non utilisée directement par les usagers (éclairage, moteurs, etc.) est dissipée par des résistances ballast. Ces résistances dissipent l'énergie en trop dans l'eau ou dans l'air: dans le premier cas elles sont installées à l'extérieur du régulateur, dans le deuxième, elles sont assemblées dans le régulateur.



**CHAPITRE II**  
**GENERALITES SUR LES**  
**PHOTOVOLTAÏQUES**

Dans ce chapitre, nous présenterons les éléments théoriques qui permettront de dimensionner le système de pompage photovoltaïque. A partir des besoins en eau pour l'application et des conditions locales d'exploitation de la pompe, le lecteur au terme de ce chapitre, sera ensuite en mesure de dimensionner les différents composants de la pompe solaire et de choisir les caractéristiques de ces éléments pour l'application donnée.

## **II.1. Généralités**

Parmi les avantages importants de la conversion photovoltaïque, nous pouvons citer, la décentralisation de la production d'énergie pour de petites communautés très dispersées comme le prouve déjà les pompes solaires dont le fonctionnement s'est révélé très acceptable et l'autonomie du système photovoltaïque, autonomie de lieu mais tout aussi importante est l'autonomie de fonctionnement.

Un des systèmes photovoltaïques intéressant du point de vue facilité d'installation et utilité et d'autre part autonomie et fiabilité est le système photovoltaïque de pompage. Ce système-là est très utilisé dans les zones rurales et sites isolés pour le pompage de l'eau. L'installation ainsi définie est soumise aux impératifs suivants:

- un bon rendement,
- une excellente fiabilité,
- et une autonomie de fonctionnement.

## **II.2. Configurations du système de pompage photovoltaïque**

Le système de pompage solaire est constitué généralement par:

- le générateur photovoltaïque.
- le groupe moteur-pompe.
- l'électronique de commande et de contrôle.
- la partie stockage.

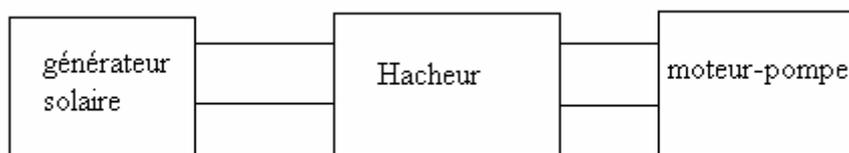
Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons: stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds coûteux et fragiles, de plus le rendement énergétique est meilleure quand il n'y a pas d'accumulateurs.

L'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du watt-crête. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces

générateurs à leur puissance optimale. L'approche du problème consiste à intercaler entre le générateur et le récepteur un convertisseur statique (hacheur ou onduleur) pour effectuer le transfert optimal de puissance. La commande du convertisseur se fait par variation d'un paramètre de contrôle; rapport cyclique pour le hacheur et fréquence pour l'onduleur.

Deux méthodes d'optimisation sont utilisées, la première résulte du fait que la tension permettant d'extraire le maximum de puissance des photopiles est en première approximation constante: le point de fonctionnement des photopiles est asservi à cette tension optimale. La deuxième méthode considère le générateur photovoltaïque comme un dipôle sans caractéristiques particulières. Une recherche extrême est effectuée en agissant sur un paramètre de contrôle du convertisseur.

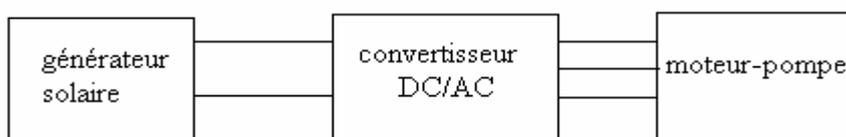
La figure 1 montre le schéma simplifié d'un système de pompage utilisant le moteur à courant continu. Le couplage est direct (sans stockage électrique) avec optimisation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique. L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient du moteur à courant continu: un entretien régulier.



*Figure 12: Système de pompage utilisant le moteur à courant continu*

De ce fait l'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus robuste moins cher et sans entretien devient une solution plus économique et plus pratique même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe.

L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur (Fig.2).



*Figure 13: Système de pompage utilisant le moteur à courant alternatif*

### II.3. Le système de pompage solaire autonome

Le système solaire de pompage développé au C.D.E.R. est spécialement étudié pour fonctionner là où l'approvisionnement fiable d'électricité est impossible.

L'énergie solaire est convertie en électricité au moyen de cellules photovoltaïques. Le convertisseur DC/AC transforme le courant continu produit par les panneaux solaires en un courant alternatif triphasé pour actionner le groupe moteur pompe. Les panneaux solaires et le convertisseur sont des éléments statiques, la seule partie en mouvement du système est le groupe moteur-pompe. Les avantages de ce système sont nombreux, les plus évidents sont:

- l'autonomie de fonctionnement,
- la fiabilité,
- le bon rendement,
- la relation naturelle entre la disponibilité de l'énergie solaire et le besoin en eau.

Les applications de ce système sont :

**Alimentation en eau:** en beaucoup d'endroits, l'eau de surface est disponible, mais très souvent contaminée. Le dispositif de pompage permettrait de puiser l'eau souterraine qui est généralement propre. L'eau est puisée le jour et stockée dans des réservoirs.

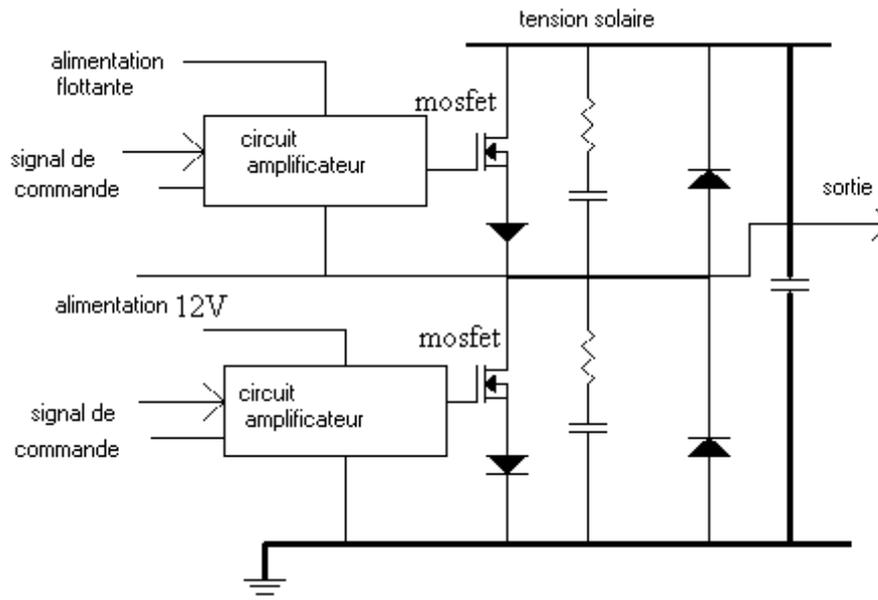
**Irrigation:** dans les zones agricoles, le rendement des récoltes peut être amélioré et le prix par unité de nourriture diminué. De nouvelles zones agricoles peuvent être développées au moindre coût. En outre la disponibilité de l'eau permet d'améliorer la nature et la quantité de pâturages. Une alimentation correcte en eau et nourriture du bétail est ainsi réalisée grâce aux pompes solaires.

### II.4. Le convertisseur dc/ac triphasé :

Le convertisseur DC/AC est un onduleur en modulation de largeur d'impulsions (M.L.I.) ou en P.W.M. (pulse width modulation). L'onduleur fonctionne évidemment avec un circuit de génération des signaux PWM commandé par un circuit de régulation et de protection. Ce dernier assure le transfert optimal de puissance du générateur solaire vers le groupe moteur pompe et protège la pompe contre le fonctionnement à vide lorsque il n'y a pas d'eau dans le puits.

## II.5. Onduleur en P.W.M :

L'onduleur en PWM utilisé est un onduleur triphasé en pont complet constitué par trois demi -ponts (fig.3). Il contient six interrupteurs formés chacun par un ou plusieurs transistors Mosfet de puissance commandés par un signal PWM.



*Figure 14: Demi-pont d'onduleur*

Les signaux PWM sont générés par un circuit intégré, le HEF4752V de PHILIPS, spécialement conçu pour le contrôle des moteurs triphasés à courant alternatif à fréquence variable. Il fonctionne en maintenant le rapport tension-fréquence constant pour le moteur, ce qui entraîne un fonctionnement du moteur à flux constant et en d'autres termes l'amélioration des performances du moteur en fonctionnement à vitesse variable.

## II.6. Les pompe :

Toute machine qui communique de l'énergie mécanique à un liquide peut être regroupée sous l'appellation de pompe. Cette énergie se manifeste essentiellement sous 2 formes : Cinétique pour le débit et potentielle pour la pression.

Une pompe n'est que finalement un ascenseur à énergie : Le liquide qui rentre par sa bride d'aspiration ou de gavage avec un certain niveau d'énergie en ressort avec un niveau plus élevé. Sans rentrer dans les détails, on peut classer ces pompes en quatre grandes familles selon comment elles communiquent leurs énergies : Volumétriques, centrifuges, axiales. De nombreuses pompes dites roto-dynamiques combinent les effets centrifuges et axiaux, il s'agit des pompes hélico-centrifuges ou simplement mixtes.

### **II.6.1. Les types de pompe :**

Les pompes à eau sont généralement de deux types, soit de type volumétrique ou centrifuge. Outre ces deux types que nous décrirons plus loin, on distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée: la pompe à aspiration et la pompe à refoulement.

La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres. Les pompes à aspiration sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Ces pompes doivent également être amorcées, c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau.

Les pompes à refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface ; la transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur.

#### **II.6.2.1. Les pompes volumétriques :**

La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Les pompes volumétriques incluent les pompes à vis, les pompes à palettes, les pompes à piston et les pompes à diaphragme. Les deux derniers types sont utilisés dans les puits ou les forages profonds (plus de 100 mètres).

L'entraînement est habituellement assuré par un arbre de transmission très long, à partir d'un moteur électrique monté en surface. Le débit d'eau d'une pompe volumétrique est proportionnel à la vitesse du moteur.

Mais son couple varie essentiellement en fonction de la hauteur manométrique totale (HMT) et est pratiquement constant en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le couple de démarrage est donc pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la HMT. La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau. On les utilise parfois comme pompes de surface lorsque le couple est lent et irrégulier et que le débit demandé est faible, par exemple pour les pompes à main et les pompes éoliennes multiples.

### **II.6.2.2. Les pompes centrifuges :**

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Afin d'augmenter la pression, donc la hauteur de refoulement, plusieurs étages d'aubages peuvent être juxtaposés sur même arbre de transmission. Chaque étage fait passer l'eau à l'étage suivant en relevant la pression jusqu'à l'étage final, délivrant un volume d'eau à pression élevée. Ces pompes incluent les pompes submersibles avec moteur de surface ou submergé, les pompes flottantes et les pompes rotatives à aspiration.

La pompe centrifuge est conçue pour une HMT relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple 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. La puissance consommée, proportionnelle à  $Q * HMT$ , variera donc dans le rapport du cube de la vitesse. On utilisera habituellement les pompes centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres). 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 HMT donnée pour obtenir un débit de départ non nul.

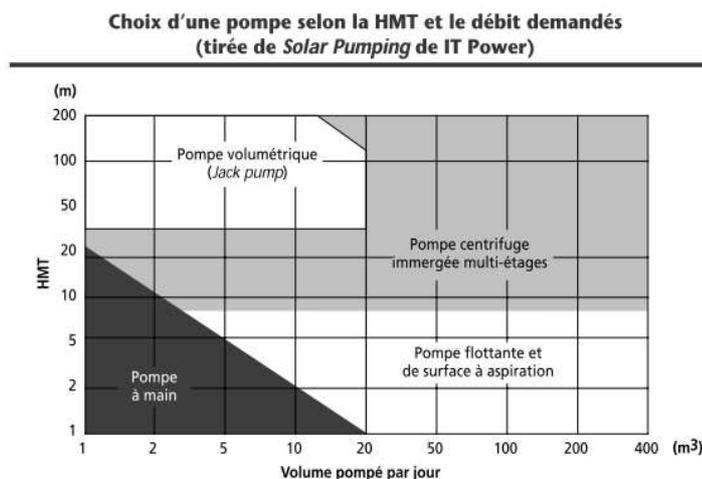
Les pompes centrifuges sont très utilisées pour les applications avec énergie photovoltaïque parce que le moteur peut fournir une vitesse de rotation rapide à peu près constante. De plus, l'exhaure de l'eau domestique se fait traditionnellement à partir de puits, à des profondeurs de 10 à 50 mètres, qui conviennent bien aux pompes centrifuges à étages multiples. Ces pompes peuvent également s'adapter à de petits forages, ce qui permet de capter les nappes phréatiques profondes qui ont souvent un niveau d'eau dynamique entre 30 et 100 mètres.

### **II.2.3 Comparaison des deux types de pompe :**

Pour de petites HMT et de faibles débits journaliers ( $HMT * Q < 25 \text{ m}^4$ ), les pompes à main peuvent s'avérer plus intéressantes. On utilisera alors un seau pour pomper l'eau. L'utilisation de pompes mécaniques sur cette plage d'utilisation se limitera principalement aux pompes volumétriques de faible puissance.

Pour les hauteurs de moins de 7 mètres, l'emploi de pompes à aspiration sera préféré. Cette pompe est généralement de type centrifuge à ailettes. Pour de faibles

débits et une puissance disponible variable (par exemple, couplage éolien), l'emploi d'une pompe à cavité (volumétrique) permet un débit plus constant. Pour une HMT moyenne, comprise entre 10 et 50 mètres, la pompe immergée centrifuge est généralement la plus efficace. Mais son rendement est très étroitement lié à la HMT et son dimensionnement est critique. Pour les HMT supérieures à 35mètres et de faibles débits journaliers ( $< 20 \text{ m}^3$ ), la pompe volumétrique sera la plus utilisée, surtout si une forte variation du rabattement de la nappe (donc de la HMT) est constatée. Pour des débits plus élevés, l'emploi d'une pompe centrifuge est souvent le seul choix possible.



**Figure 15 : Choix d'une pompe selon le débit et le HMT demandés**

Le choix d'une pompe se portera également sur sa capacité à répondre aux conditions variables du site. Nous avons vu que le débit d'une pompe volumétrique est moins affecté par la variation de la HMT alors que la pompe centrifuge verra son débit diminuer rapidement à mesure que la HMT augmente. La hauteur de refoulement d'une pompe centrifuge est fonction du carré de la vitesse du moteur. À mesure que la HMT augmente, le rendement de la pompe diminue très rapidement ; le moteur devrait tourner beaucoup plus rapidement pour fournir un même débit.

## **II.7. Les moteurs électriques :**

Un moteur électrique est une machine électromécanique capable de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.

Les moteurs électriques sont tous réversibles : ils sont capables de produire du courant électrique si on les fait tourner par un moyen mécanique. Un moteur électrique à courant alternatif peut devenir un alternateur, et un moteur électrique à courant continu peut aussi bien être utilisé comme une dynamo (machine

dynamoélectrique). C'est pourquoi les spécialistes préfèrent parler de machines électriques.

### **II.7.1. Les types de moteurs d'entraînement :**

Le moteur d'un groupe motopompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut être à courant continu ou alternatif. Dans ce dernier cas, un convertisseur électronique ou un onduleur est nécessaire pour convertir le courant continu provenant d'un générateur photovoltaïque en courant alternatif. Pour cette raison, le choix d'un moteur à courant continu peut sembler, de prime abord, plus intéressant, mais l'utilisation de convertisseurs électroniques efficaces pour les moteurs alternatifs reste une alternative intéressante.

#### **II.7.1.1. Moteur à courant continu :**

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par un inducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais composés de charbon et de graphite ou par commutation électronique.

#### **II.7.4.1.2. Moteur à balais :**

Les moteurs à balais sont les plus communs, mais leurs balais doivent être changés périodiquement. Ceci est particulièrement problématique dans le cas des pompes à moteur immergé où la pompe doit être retirée du forage pour changer les balais. De plus, l'isolation du moteur ne doit pas être compromise afin de ne pas la fragiliser aux infiltrations d'eau, ce qui n'est pas évident sur le site. Certains fabricants offrent des moteurs à balais de longue durée, réduisant cet entretien à toutes les 5000 heures de fonctionnement.

#### **II.7.4.1.2. Moteur à commutation électronique**

Les moteurs à commutation électronique (sans balais) utilisent un circuit électronique pour inverser le courant circulant dans le rotor. Ces moteurs ne requièrent pas autant de maintenance, mais le circuit électronique peut être une cause de problèmes et doit être conçu pour un environnement difficile. Le champ magnétique de l'inducteur dans un moteur à courant continu est produit soit par un

bobinage électromagnétique, soit par des aimants permanents. Dans le cas d'inducteur à bobinage, les moteurs peuvent être de type série, de type parallèle (moteur shunt) ou de type à excitation composée (moteur compound) selon la manière dont l'induit et l'inducteur sont alimentés.

#### **II.7.4.1.3. Moteur série :**

Dans un moteur série à bobinage électromagnétique, l'enroulement inducteur est en série avec l'induit. Le couple moteur est relativement grand à faible vitesse et décroît à mesure que la vitesse augmente. Réciproquement, le moteur ralentit lorsque le couple résistant augmente. Ainsi, un moteur série ne peut fonctionner à vide car il peut s'emballer. Lorsque le courant décroît rapidement, la vitesse augmente et peut prendre des valeurs dangereuses. D'autre part, la puissance demandée croît moins vite que le couple résistant, ce qui limite l'importance des variations du courant lorsque le couple résistant varie.

#### **II.7.4.1.4. Moteur shunt :**

Dans un moteur shunt, les enroulements induits et les inducteurs sont alimentés, en dérivation, par la même source, sous tension constante. La vitesse d'un moteur shunt sera sensiblement constante, peu importe le couple résistant. Par ailleurs, à excitation constante, le couple moteur est proportionnel au courant absorbé  $I$  ; la puissance demandée sera donc proportionnelle au couple résistant. Le moteur shunt est utilisé surtout dans les machines-outils pour lesquelles il est nécessaire que la vitesse varie peu, quelle que soit la charge.

Ce type de moteur est peu adapté au pompage où le couple de démarrage est important.

#### **II.7.4.1.5. Moteur à excitation composée :**

Le moteur à excitation composée possède deux enroulements inducteurs; un en série et l'autre en dérivation. Ce moteur possède des propriétés intermédiaires entre celles des deux types déjà mentionnés. Il ressemble à l'un plus qu'à l'autre suivant l'importance relative des enroulements. L'enroulement dérivation limite la vitesse à vide et les variations de vitesse avec la charge. L'enroulement série permet de vaincre un couple résistant très variable en absorbant un courant peu variable.

Ce type de moteur convient particulièrement à l'entraînement des appareils présentant un couple résistant croissant avec la vitesse, tels les ventilateurs et les pompes.

Parmi les moteurs à courant continu, seuls les moteurs à aimants permanents (3 HP et moins) et les moteurs série sont utilisés pour des applications de pompage solaire. Eux seuls arrivent à avoir un couple de démarrage suffisant pour vaincre la résistance de démarrage d'une pompe et bien répondre à un courant variable. De par sa fabrication, le rendement moyen d'un moteur à courant continu série est élevé, de l'ordre de 80 % à 85%, et ce sur une plage de fonctionnement importante.

#### **II.7.4.2. Les moteurs à courant alternatif :**

Le moteur à courant alternatif est utilisé de plus en plus pour les systèmes de pompage photovoltaïque. Le coût peu élevé du moteur, son faible besoin de maintenance et l'efficacité accrue des onduleurs solaires le rendent particulièrement attrayant pour les systèmes de pompage plus importants où le coût additionnel de l'onduleur est moins significatif.

Le moteur alternatif pour le pompage solaire est habituellement de type asynchrone, triphasé et à rotor en court-circuit (rotor à cage). Celui-ci tourne autour de deux paliers lubrifiés par le liquide de refroidissement dont est rempli le moteur. Le stator est noyé dans une résine, qui lui assure une bonne tenue mécanique, une bonne dispersion calorique et une étanchéité parfaite. Ces moteurs sont conçus pour être immergés et utilisés dans une eau d'une température maximale d'environ 35 °C. Ils doivent nécessairement être alimentés par un onduleur qui convertira le courant continu des modules PV en courant alternatif.

Le rendement moyen d'un moteur asynchrone est de 85%. À ceci il faut ajouter le rendement de l'onduleur qui est de 90 % - 95% sur une plage de fonctionnement importante. Le rendement moyen du moteur/onduleur sera donc de 80% sur une plage de fonctionnement relativement importante. De plus, ces onduleurs sont équipés pour suivre le point de puissance maximal du champ photovoltaïque permettant un pompage solaire au fil du soleil relativement efficace.

## **II.8. Implantation du Générateur Photovoltaïque :**

### **II.8.1. Conditions d'emplacement et de positionnement :**

Le générateur solaire ne fonctionnera pas correctement si certaines conditions d'emplacement et de positionnement ne sont pas respectées.

- Dans l'hémisphère nord, le champ photovoltaïque, lorsqu'il est fixe, doit presque toujours faire face au sud vrai (et non au sud magnétique). (Note : Dans l'hémisphère sud, il faut inverser le nord et le sud dans le texte.)
- L'inclinaison du champ de modules (angle entre l'horizontale et la surface du champ) doit généralement être égale à la latitude du site (à 5° près).
- Si les obstacles environnants (arbres, maisons...) projettent de l'ombre sur le champ ou même sur un seul module, le rendement du générateur en sera considérablement réduit. Il est donc absolument nécessaire d'éviter que les panneaux soient à l'ombre durant la journée, particulièrement lors des périodes de fort ensoleillement (généralement, de 8h du matin à 16h de l'après-midi).

### **II.8.2. Orientation des panneaux :**

Il est inutile de rappeler la nécessité d'orienter le capteur plein sud pour les sites dans l'hémisphère nord, et plein nord dans l'hémisphère sud. Ainsi, pour un site dans l'hémisphère nord, la première difficulté lors de l'installation des panneaux sera de pouvoir déterminer avec précision où se trouve le sud vrai.

Pour déterminer le sud vrai:

- Situer le nord magnétique à l'aide d'une boussole, puis effectuer la correction entre ce nord magnétique et le nord vrai (nord géographique) ; le sud vrai se trouvera directement à l'opposé du nord vrai.
- Observer l'ombre faite par une tige verticale aux environs de midi ; l'ombre la plus courte indique l'axe nord-sud vrai. Les rangées du champ de modules PV devront être installées sur un axe est-ouest perpendiculaire à l'axe nord-sud vrai. Les modules feront face au sud.

## **II.9. Contraintes de couplage entre le générateur photovoltaïque et le groupe motopompe :**

D'un point de vue économique, il est plus intéressant de construire un réservoir pour stocker l'eau plutôt que de stocker l'électricité dans les batteries [6]. Ainsi, le moteur d'une pompe solaire fonctionnera habituellement « au fil du soleil », c'est-à-dire qu'il sera couplé directement au générateur photovoltaïque, sans batterie. Il est dans ce cas important que la puissance fournie par le générateur PV soit utilisée le plus complètement possible au point de fonctionnement maximal du groupe motopompe sur la plage de fonctionnement la plus large possible. Le choix d'un régulateur ou d'un onduleur devra dépendre étroitement des caractéristiques des moteurs et des pompes évoqués plus haut.

L'emploi d'une batterie fixe le point de fonctionnement du groupe motopompe sur une plus petite plage de fonctionnement. Ainsi, la pompe fonctionne à couple constant, donc à rendement constant dans le cas d'une pompe volumétrique. Le démarrage d'une pompe centrifuge sera également plus efficace, la puissance de démarrage, plus élevée, pouvant être fournie dès le départ. Néanmoins, l'emploi d'une batterie ne rend pas inutile l'utilisation d'un régulateur de charge. Les caractéristiques de sortie de l'électricité fournies par la batterie sont plus homogènes, mais une adaptation à la charge variable d'une pompe sera néanmoins nécessaire dans la plupart des cas.

### **II.9.1. Cas du moteur continu : l'adaptateur de charge :**

Les courbes caractéristiques courant-tension du groupe motopompe et du générateur solaire peuvent être très variables. En fait, selon l'instant de la journée, le type de pompe utilisée et les conditions d'utilisation du forage, le moteur de la pompe ne fonctionnera pratiquement jamais au point maximal ( $P_m$ ) du générateur PV durant la journée. L'adaptateur de charge (Maximum Power Point Tracking ou MPPT) est un dispositif électronique permettant de varier le point de fonctionnement du champ.

L'adaptateur de charge sera particulièrement nécessaire au démarrage d'une pompe volumétrique, en augmentant la tension de fonctionnement acceptable par le moteur. Il permettra également de meilleurs résultats du groupe motopompe lors d'ensoleillements faibles.

## **II.9.2. Cas du moteur à courant alternatif : l'onduleur :**

La durée de vie moyenne des onduleurs de pompage est de sept ans. Ils ne nécessitent pas d'entretien particulier. Seule la qualité de l'étanchéité des presse-étoupe au passage des fils doit être contrôlée.

Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal.

Dans les systèmes photovoltaïques, l'onduleur a une triple fonction :

### **II.9.2.1. Conversion Continu-Alternatif :**

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé.

On distingue plusieurs types d'onduleurs suivant la qualité du signal de sortie:

- Onduleur à onde sinusoïdale modifiée, en marche d'escalier, générateur d'une onde proche de l'onde sinusoïdale.
- Onduleur à modulation de largeur d'impulsion (PWM, pulse-width modulation).
- Onduleur à onde sinusoïdale.

### **II.9.2.2. Adaptation du point de fonctionnement :**

Une deuxième fonction de l'onduleur est d'adapter le point de fonctionnement (courant-tension) au générateur. Deux modes sont possibles:

- Recherche du point de puissance maximale du générateur (MPPT, maximum power point tracking). Un microprocesseur recherche à intervalles réguliers la puissance maximale disponible du générateur et fixe ainsi la tension du courant continu à l'entrée de l'onduleur.
- Tension fixe (tension track). L'onduleur impose une tension fixe du générateur qui correspond à son point de puissance maximale. La valeur de cette tension est déterminée par le constructeur en fonction du type de modules constituant le générateur.

### **II.9.2.3. Protection et gestion de l'installation :**

Une troisième fonction de l'onduleur est la gestion et la protection de l'installation :

- Interrupteur principal incorporé.
- Protection: surchauffe, surcharge, sous-charge, surtension, sous-tension, défaut à la terre, court-circuit, fonctionnement à sec, blocage groupe motopompe, inversion de polarité, réservoir plein.
- Contrôle de mise en marche et indication de pannes par voyants lumineux.

## **II.10. Dimensionnement des pompes photovoltaïques :**

### **II.10.1. Paramètres intervenant dans le dimensionnement :**

#### **II.10.1.1. Débit :**

Le débit (Q) est la quantité d'eau que la pompe peut fournir durant un intervalle de temps donné. En pompage, le débit est habituellement donné en litres par heure (l/h) ou gallons par heure (gph). En pompage solaire, le débit (ou le besoin en eau) est souvent exprimé en m<sup>3</sup> par jour.

#### **II.10.1.2. Hauteur manométrique totale :**

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit:

$$\text{HMT} = H_g + P_c \quad (8)$$

$H_g$  = hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation ( $H_r + N_d$ ). Pour une pompe de surface sur un plan d'eau,  $H_g$  sera choisi en fonction de la hauteur de la pompe à son niveau le plus bas.  $N_d$  est le niveau dynamique.

$P_c$  = Les pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la distance des conduites (D), de leur diamètre et du débit de la pompe (Q) et s'expriment en mètres d'eau. Le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au plus à 10%

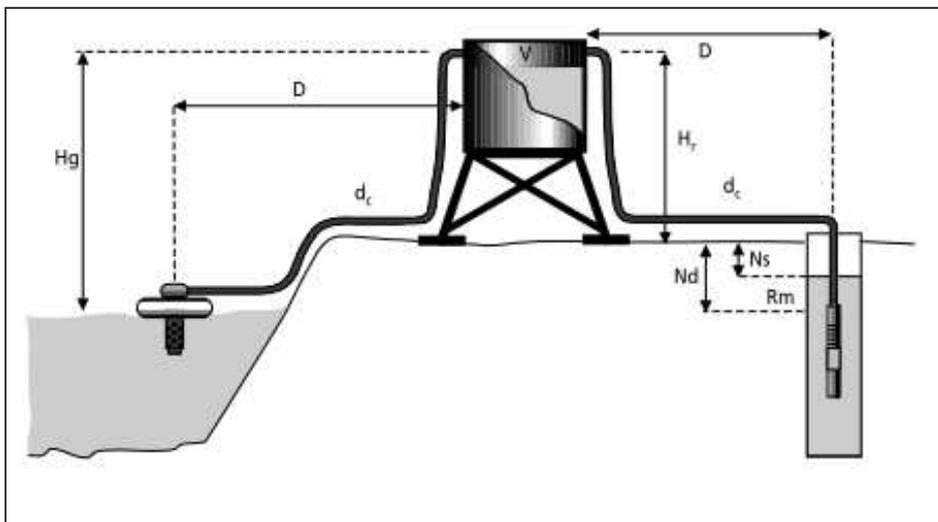
de la hauteur géométrique totale.

### **II.10.1.3. Niveau statique :**

Le niveau statique ( $N_s$ ) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.

### **II.10.1.4. Niveau dynamique :**

Le niveau dynamique ( $N_d$ ) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen. La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique est appelée rabattement.  $R_m$  est le rabattement maximal acceptable avant de stopper la pompe.



*Figure 16 : Configuration générale d'un système de pompage*

### **II.10.1.5. Energie quotidienne requise :**

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur pendant une journée est calculée à partir des données de débit et de HMT requises et est exprimée en wattheures et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé.

$$E_{elec} = \frac{\rho \times g \times Q \times HMT}{\eta P} \quad (9)$$

- $\rho$  = la masse volumique de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  = constante de la gravité (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- $Q$  = débit journalier (m<sup>3</sup>/j)
- $\eta_P$  = Rendement du groupe motopompe.

En général le rendement des groupes motopompes est de 30% à 45%, selon le type de pompe et de moteur.

### **II.10.2. Méthodes de dimensionnement :**

Pour mener à bien le dimensionnement d'un système de pompage, il y a une chronologie précise à suivre : nous présentons dans cette partie cette procédure puis d'un point de vue plus pratique nous présenterons ici deux types de méthode de dimensionnement : la méthode analytique et la méthode graphique.

#### **II.10.2.1. Procédure à suivre pour le dimensionnement :**

Il est en général difficile de prédire le rendement précis d'une pompe solaire pour des conditions de fonctionnement variables. Par souci de fiabilité nous suivrons une procédure simplifiée qui permettra de dimensionner le système de pompage avec un degré de précision acceptable. Les trois facteurs les plus importants de cette chronologie devront être estimés soigneusement afin d'obtenir un dimensionnement fiable. Il s'agit des besoins en eau, des données d'ensoleillement et le rendement du groupe motopompe choisi sur la plage de fonctionnement du système.

La procédure se présente en 3 étapes :

- **ETAPE 1 : Estimation de la charge**

Choisir ou définir la charge, c'est-à-dire déterminer le débit requis et la HMT.

- Débit : déterminer les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal. Noter que le forage doit être capable de remplir ces conditions d'exploitation
  - HMT : mesurer le niveau statique, le rabattement maximal, la hauteur du réservoir et les pertes de charge dues à la tuyauterie.
- Arrêter la configuration du système (type de pompe, moteur, etc.).
  - Choisir la tension nominale à la sortie du générateur.

- Choisir le genre de conditionnement de l'énergie électrique nécessaire et en estimer l'efficacité.
  - Rajuster la charge aux fins d'optimisation de l'efficacité et la convertir en ampères-heures par jour.
- **ETAPE 2 : Définition des conditions du site**
    - Recueillir les données sur le site.
    - Recueillir les données sur l'ensoleillement mensuel moyen selon différentes inclinaisons du champ.
    - Recueillir les données sur les moyennes mensuelles de température ambiante.
  - **ETAPE 3 : Dimensionnement du champ**
    - Choisir l'inclinaison du champ.
    - Estimer l'ensoleillement minimal pendant la période de fonctionnement.
    - Déterminer l'efficacité approximative du champ.
    - Estimer la capacité, en watts-crête, que doit avoir le champ.
    - Déterminer la configuration du champ, réajuster selon les spécifications des modules.

### II.10.2.2. Méthode Analytique :

Les systèmes de pompage photovoltaïques de l'eau est modélisé par l'organigramme suivant : la demande énergétique hydraulique quotidienne  $E_{hydr}$  en J, correspond à l'énergie nécessaire pour élever à une hauteur  $h$  (en m), un volume quotidien  $Q$  (en  $m^3/j$ ).

On calcule cette énergie par la formule :

$$E_{hydr} = \frac{Q(m^3 /j) \times H}{367} \quad (KW) \quad (10)$$

A partir de cette formule, et en connaissant les valeurs du débit et de la HMT, on déduit par calcul intermédiaire l'énergie électrique. On procède comme suit

L'énergie produite par les panneaux se calcule par

$$E_p = PC \times K \tag{11}$$

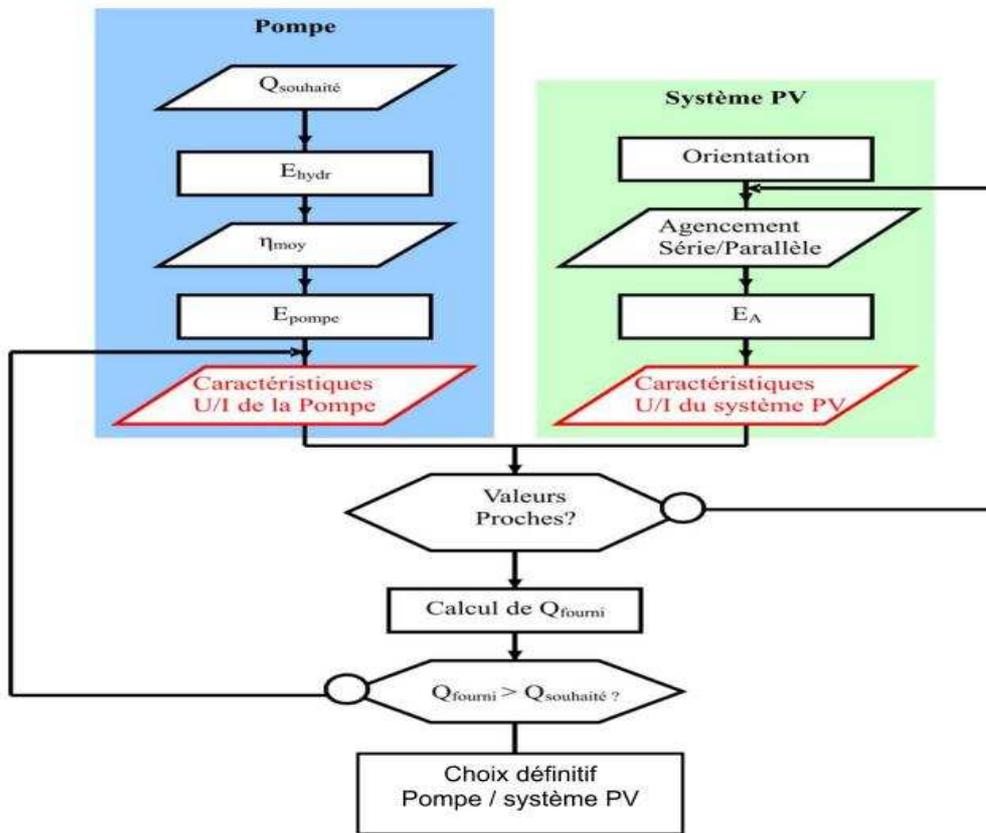
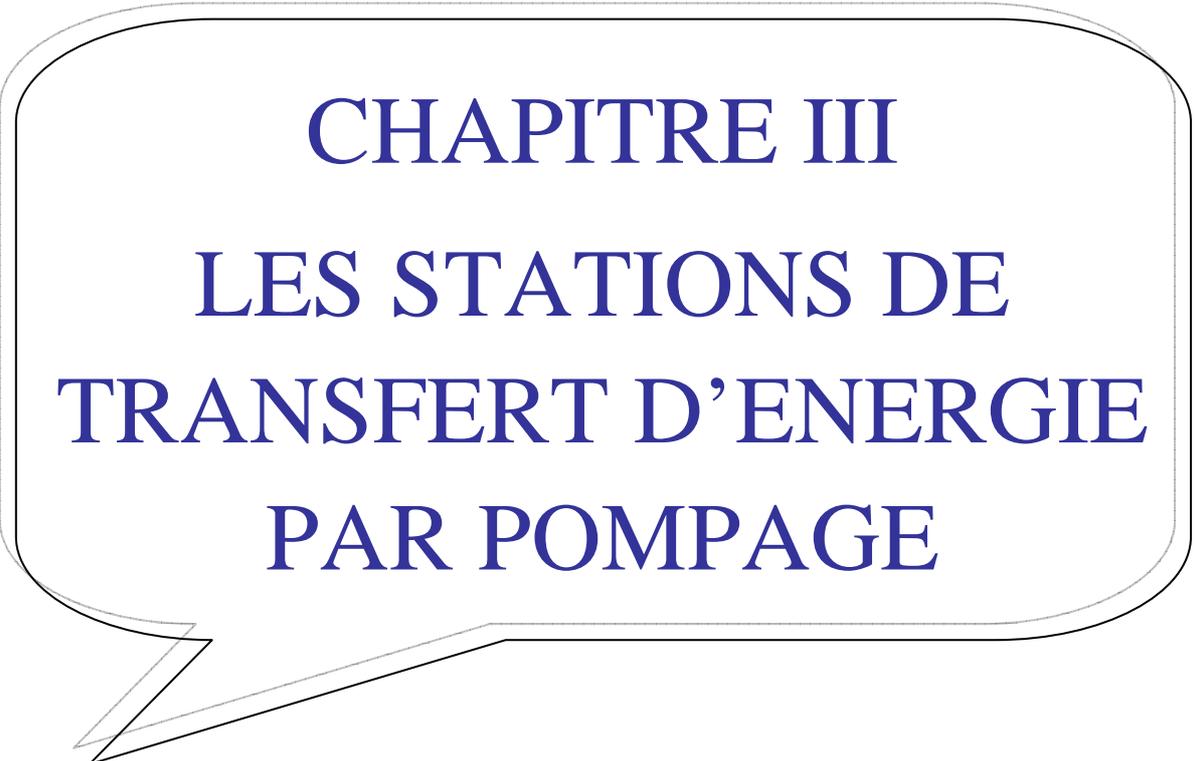


Figure 17: Organigramme de couplage de la pompe avec le système PV

Cela peut conduire à des écarts considérables entre les valeurs de l'agencement PV et celles de la plaque signalétique de la pompe, mais tout est question de compromis et d'ajustement, à condition que la tension du système PV soit dans une fourchette acceptable.



**CHAPITRE III**  
**LES STATIONS DE**  
**TRANSFERT D'ENERGIE**  
**PAR POMPAGE**

Dans ce chapitre, nous traitons d'abord les généralités concernant le stockage de l'énergie électrique photovoltaïque puis ensuite le cas particulier du stockage hydraulique gravitaire.

En appliquant ensuite le stockage hydraulique, à notre système sur site isolé, nous posons les bases du dimensionnement de notre système. Il s'agira avant tout de décrire le principe de fonctionnement du système dans sa globalité. Il faudra ensuite identifier et décrire chacune des parties du système, puis l'on terminera en énonçant les procédés de dimensionnement du système.

### **III.1. Moyens de stockage de l'énergie électrique photovoltaïque :**

Pour un usage en site isolé, le photovoltaïque, comme pour toute autre énergie intermittente, nécessite un système de stockage électrique permettant de restituer l'énergie à la demande. Les batteries au plomb, en raison de leur faible coût et de leur simplicité de mise en œuvre, sont pour l'instant les plus utilisées. Si l'on veut s'affranchir de leurs contraintes de fonctionnement, d'autres dispositifs de stockage existent. On peut les classer en deux catégories : les dispositifs directs et indirects.

Les autres moyens de stockage, considérés comme indirects, sont :

- Les accumulateurs à volants d'inertie Flywheel Energy Storage (FES)
- Les systèmes à air comprimé en bouteilles,
- Les systèmes électrolyseur-hydrogène-pile à combustible (ou à PAC réversible),  
Pour le stockage à plus grande échelle, on peut citer les solutions suivantes:
  - Les systèmes hydrauliques gravitaires. La contrainte majeure est liée à la nécessité de sites au relief adapté (Notons que  $100\text{m}^3$  d'eau stockées en haut d'un immeuble de 20 m ne représenteraient que 20 MJ ou 5,5 kWh).
  - Le stockage d'air comprimé en caverne Compressed Air Energy Storage (CAES) représente une technologie déjà relativement avancée avec plusieurs réalisations de grande puissance
  - Les batteries à circulation (flow batteries).

Dans notre étude nous nous intéressons au stockage hydraulique gravitaire en association avec une production d'énergie photovoltaïque.

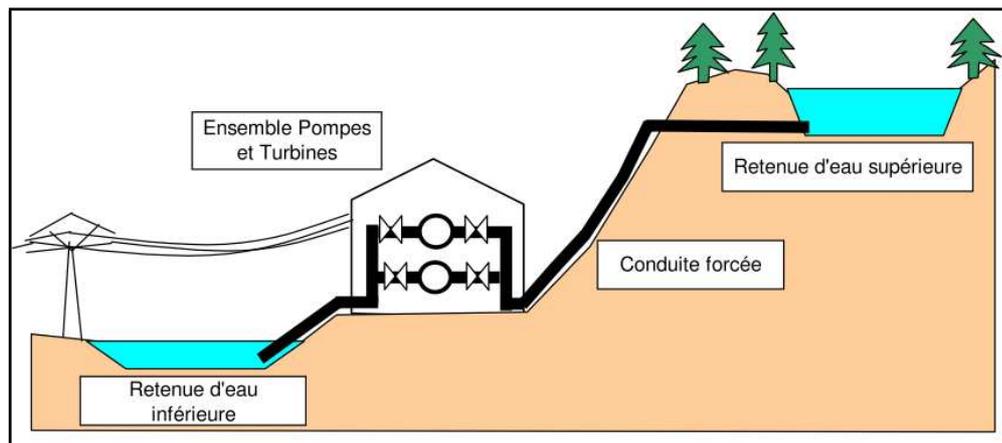
## III.2. Le stockage hydraulique gravitaire :

### III.2.1. Schéma et Principe de fonctionnement :

Une station de stockage hydraulique gravitaire, aussi appelée Station de Transfert d'énergie par Pompage (STEP) fonctionne en circuit fermé. Son principe repose sur une double retenue d'eau : l'eau du bassin supérieur situé en amont est turbinée aux heures de très forte consommation, puis recueillie dans une retenue en aval. L'eau est ensuite pompée et remontée dans la retenue. Le pompage s'effectue de deux manières soit avec le réseau, soit en couplage avec une production généralement intermittente.

Dans le cas d'un « pompage avec réseau », l'eau est remontée pendant les heures de basse consommation, pendant lesquelles il est possible d'avoir de l'électricité au tarif bas : c'est l'électricité du réseau qui permet le pompage.

Dans le cas d'un « pompage avec énergie intermittente », l'eau est remontée lorsque que l'énergie intermittente est disponible : c'est l'électricité produite avec de l'énergie renouvelable qui permet le pompage.



*Figure 18: Schéma d'une STEP utilisant le pompage avec réseau*

Les retenues d'eau, haute et basse, peuvent être soit naturelles (lacs, mers), soit artificielles.

Dans ce dernier cas, les bassins sont généralement réalisés par creusement.

Le stockage convertit l'électricité en énergie potentielle pour la conservation, et inversement pour le déstockage.

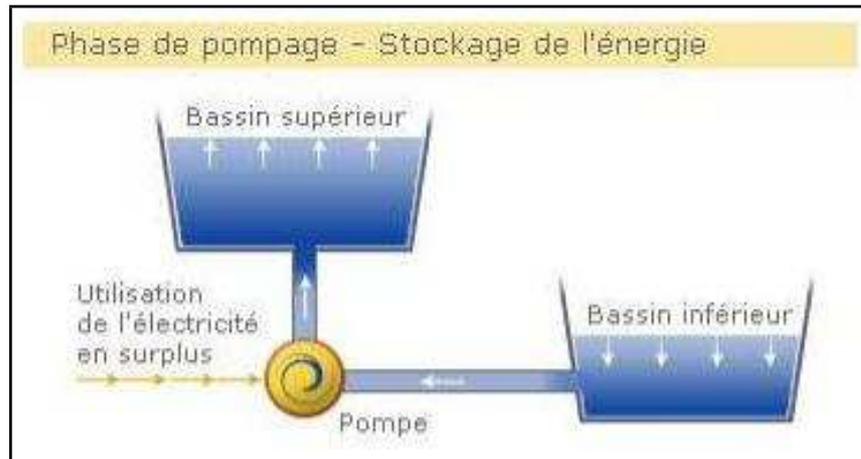


Figure 19: Phase de stockage de l'énergie

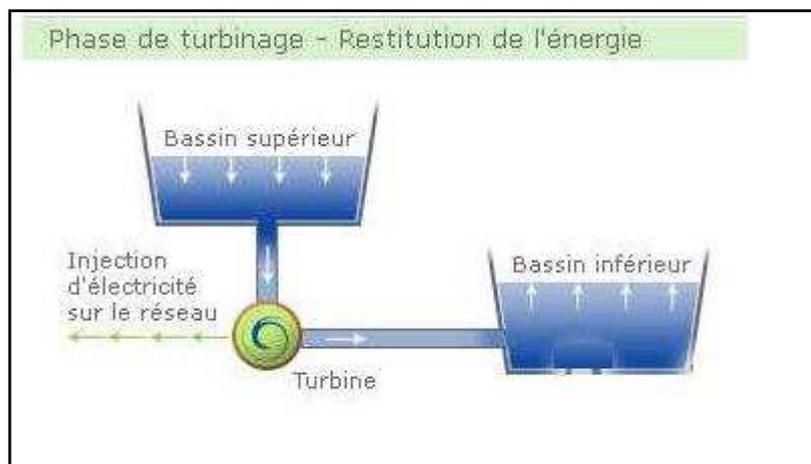


Figure 20: Phase de déstockage de l'énergie

### III.2.2 Avantages et inconvénients :

Tout comme la production d'électricité à partir d'énergie hydraulique (barrage classique), la production d'électricité à partir d'une installation de stockage hydraulique gravitaire n'est pas polluante. Elle ne rejette aucun gaz à effet de serre dans l'atmosphère et n'est donc pas soumise aux règles des quotas d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Son coût environnemental est donc nul.

Le stockage gravitaire fonctionne généralement entre deux réservoirs clos en circuit fermé. Il peut donc être installé « partout », même éloigné d'un cours d'eau et n'induit de ce fait pas pollution ou perturbation dans les cours d'eau.

La réalisation de stations de stockage hydraulique gravitaire couplés à des parcs éoliens ou PV facilite la pénétration des énergies intermittentes dans un réseau électrique. L'augmentation du taux d'électricité produite à partir d'énergie renouvelable permet de diminuer l'utilisation des centrales de production à partir d'énergies fossiles, fortement émettrices de polluants (dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>),

oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), composé chloré,...)

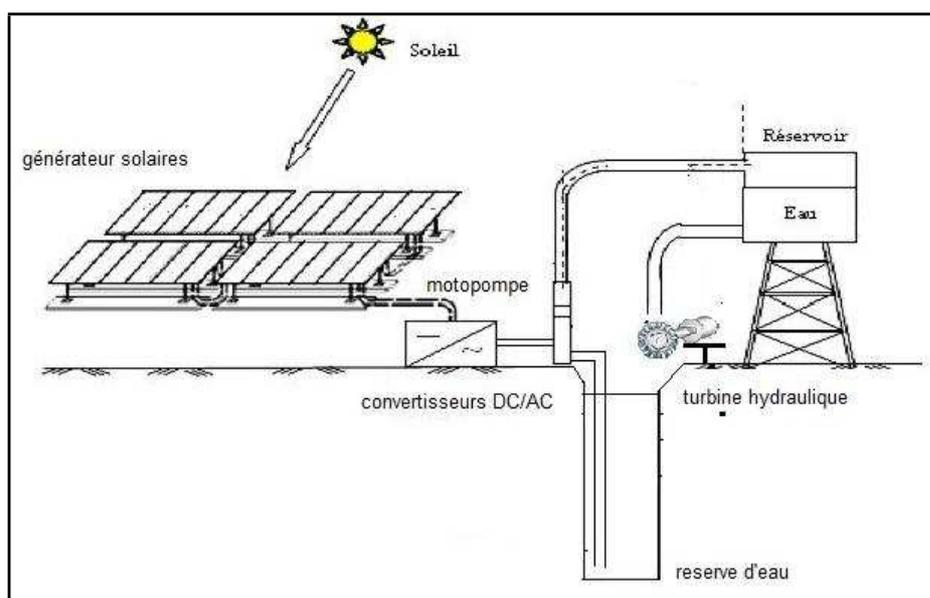
Enfin, le stockage hydraulique étant une technologie relativement simple, les matériaux utilisés le sont aussi : en fin de vie, une STEP sera « facile » à détruire (recyclage des matériaux et équipements hydromécaniques, réhabilitation du site, etc.).

Les inconvénients environnementaux de ce type de stockage sont principalement les impacts visuel et auditif engendrés par l'installation des réservoirs et de la station de pompage turbinage. Les impacts sur la faune et la flore sont faibles, si ce n'est que la réduction de habitat de certain(e)s animaux/plantes à cause de l'emprise au sol des réservoirs et station (au maximum 1 hectare).

### **III.3. Application du stockage hydraulique gravitaire aux systèmes en sites isolés :**

#### **III.3.1. Description :**

Le système hybride étudié se propose de produire de l'énergie par chacune des sources d'énergie pendant deux périodes distinctes de la journée : le système photovoltaïque pour la période d'ensoleillement et le système hydroélectrique pour les périodes nocturnes.



*Figure 21: Vue globale du système*

En effet, pendant les périodes d'ensoleillement (environ 8-16h) c'est le système photovoltaïque qui fonctionne. Les panneaux solaires produisent de l'énergie (courant continu) qui sera convertie (éventuellement) en courant alternatif à l'aide d'un convertisseur statique. L'énergie ainsi convertie sera utilisée pour alimenter une motopompe qui pompera l'eau d'une réserve d'eau inférieure vers une réserve d'eau supérieure. Le système photovoltaïque sera donc essentiellement un système de pompage photovoltaïque.

Pendant les périodes nocturnes, le système hydroélectrique prend le relai. La réserve d'eau supérieure remplie par l'eau du pompage et munie de canalisations préalablement dimensionnées ouvrira alors ses vannes dans une turbine hydraulique produisant ainsi du courant électrique sous le modèle d'une microcentrale hydroélectrique.

### III.3.2. Synoptique du système :

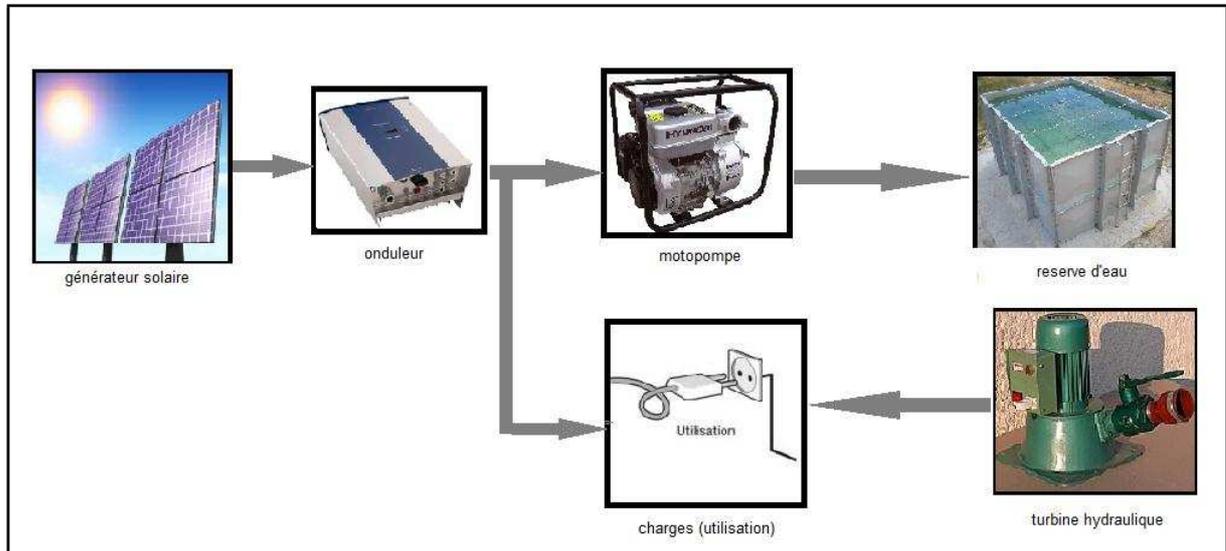


Figure 22: Schéma synoptique du système

### III.4. Description des parties du système :

#### III.4.1. Système de pompage photovoltaïque :

##### III.4.1.1. Description sommaire :

Il s'agira dans notre cas d'un système de pompage solaire classique où un parc de panneaux solaires produit pendant la période d'ensoleillement de l'énergie nécessaire pour entrainer une pompe d'un type à déterminer. Ce type de pompage est dit « au fil du soleil ».

Le système de pompage solaire est constitué généralement par:

- o le générateur photovoltaïque,
- o le groupe moteur-pompe,
- o l'électronique de commande et de contrôle,
- o la partie stockage.

Dans notre cas, l'eau sera pompée à partir de la réserve inférieure. La quantité d'eau à pomper journalièrement dans la réserve supérieure sera définie par les exigences en termes de débit d'eau de la turbine hydraulique. Cette quantité d'eau définira également le débit de la

pompe à utiliser.

### III.4.1.2. Optimisation du pompage :

L'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du watt-crête. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces générateurs à leur puissance optimale. L'approche du problème consiste à intercaler entre le générateur et le récepteur un convertisseur statique (hacheur ou onduleur) pour effectuer le transfert optimal de puissance. La commande du convertisseur se fait par variation d'un paramètre de contrôle; rapport cyclique pour le hacheur et fréquence pour l'onduleur. Deux méthodes d'optimisation sont utilisées, la première résulte du fait que la tension permettant d'extraire le maximum de puissance des photopiles est en première approximation constante: le point de fonctionnement des photopiles est asservi à cette tension optimale. La deuxième méthode considère le générateur photovoltaïque comme un dipôle sans caractéristiques particulières. Une recherche extrémale est effectuée en agissant sur un paramètre de contrôle du convertisseur.

### III.4.2. Système hydroélectrique :

#### III.4.2.1. Description sommaire :

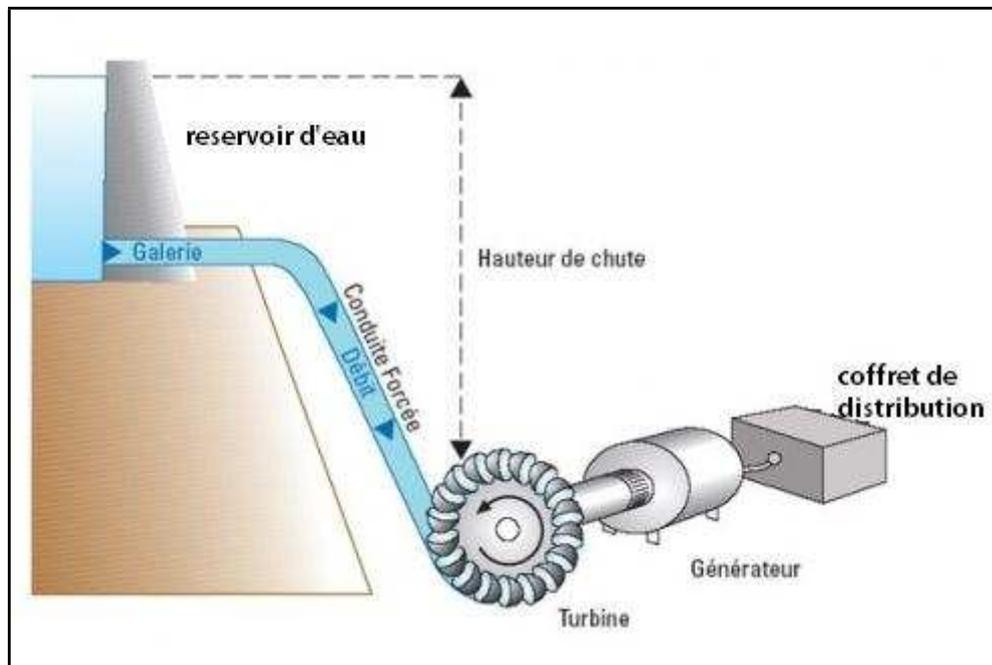


Figure 23: Schéma d'une microcentrale hydroélectrique

La partie hydroélectrique est assimilable à une microcentrale hydraulique. Il s'agit de capter la force motrice de l'eau pour produire de l'électricité. L'eau accumulée dans la réserve supérieure ou dérivée par les prises d'eau, constitue une énergie potentielle disponible

pour entraîner en rotation la turbine d'une génératrice. La turbine (ou une roue) transforme.

l'énergie, « hydraulique » fournie par l'écoulement de l'eau en énergie mécanique. La turbine entraîne un générateur qui convertit ensuite cette énergie en électricité qui sera être utilisée sur place.

La puissance disponible résulte de la conjonction de deux facteurs :

- hauteur de la chute
- débit de la chute

### **III.4.2.2. Les différents éléments :**

#### **III.4.2.2.1. Le bloc turbine :**

Une turbine se compose d'un distributeur fixe avec organes de réglage permettant d'orienter et de maîtriser le flux d'eau entrant, d'une roue mobile à ailettes ou augets, d'un aspirateur-diffuseur qui évacue ce flux et d'un axe de transmission. Le principe transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique avec un rendement maximum.

#### **III.4.2.2.2. Le générateur de courant :**

La roue mobile de la turbine transmet l'énergie mécanique au générateur de courant par son arbre de transmission soit directement soit par l'intermédiaire d'un multiplicateur. Le rôle du générateur est de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique (courant continu (12, 24, 48V) ou alternatif (230 V).

Les deux éléments (turbine et générateur) peuvent être rassemblés dans une seule de machine.

### **III.5. Procédure de dimensionnement global :**

Afin de dimensionner chacun des éléments du système étudié, nous évoluerons dans le sens inverse de la chaîne de production, c'est-à-dire des charges (besoins énergétiques de la localité) vers le générateur solaire.

■ Définir les besoins énergétiques.

■ Dimensionner la turbine hydroélectrique. A partir de ces caractéristiques (hauteur de chute et débit) de la turbine hydroélectrique

■ Dimensionner la réserve d'eau supérieure.

■ Dimensionner la motopompe. A partir de ces caractéristiques

■ Enfin dimensionner le générateur solaire.



**CHAPITRE IV**  
**DESCRIPTION D'UNE**  
**STATION-SERVICE**

Dans ce chapitre, nous présenterons le principe d'une station-service et les éléments constitutifs, avec la description du volucompteur AMC DPC.

#### **IV.1.Présentation et principe d'une station-service :**

La station-service regroupe un ensemble de savoir-faires et de technologies des métiers de la mécanique, des fluides, du génie-civile, du génie électrique et de l'électronique.

Du carburant aux réservoirs des véhicules, jusqu'au paiement sécurisé et réglementé de l'achat, en passant par la récupération des gaz et la protection des personnes, la station-service assure de nombreuses fonctions.

De plus, les normes et réglementations environnementales sont de plus en plus nombreuses et strictes.

#### **IV.1.2.Fonctionnement et éléments d'une station-service :**

##### **IV.1.2.1.La cuve de stockage de carburant :**

##### **IV.1.2.1.1Présentation :**

Les cuves peuvent être de tailles variables de 1000 à 100 000 litres ; en fonction des besoins du client (taille du parc véhicule, types de véhicules, taille de la clientèle, etc.). Dans une majorité des cas, les cuves sont enterrées par sécurité, et par optimisation de place.



*Figure 24: Aperçu global d'une cuve carburant*

#### **IV.1.2.1.2. Les types de cuve :**

- Les cuves simples paroi.
- Les cuves doubles paroi et le bac tampon.

Dans l'espace situé entre les deux parois, se trouve un liquide témoin recouvrant la totalité de la surface de la cuve. Un bac tampon assure un rôle de contrôle de fuite. Le bac tampon est relié à un appareil électronique situé à la surface. Lorsque qu'il y a perçage de la cuve, le liquide s'échappe. Afin de compenser cette défaillance, le bac tampon déverse son liquide stocké. Le système électronique capte le déversement et envoie un signal à la surface, déclenchant une alarme.

#### **IV.1.2.1.3. Le plongeur :**

Un tuyau, appelé plongeur, est placé dans la cuve ; il aspire le carburant de la cuve et l'achemine au volucompteur. 10 cm doivent séparer le fond de la cuve et l'extrémité du plongeur, afin d'éviter l'aspiration des impuretés (ces dépôts sont plus lourds que le carburant).

L'axe du plongeur est vertical ; ainsi, en cas de perçage de la tuyauterie en amont, le carburant n'est pas déversé dans la terre et il retombe dans la cuve (lutte contre la pollution).

#### **IV.1.2.1.4. Le limiteur de remplissage :**

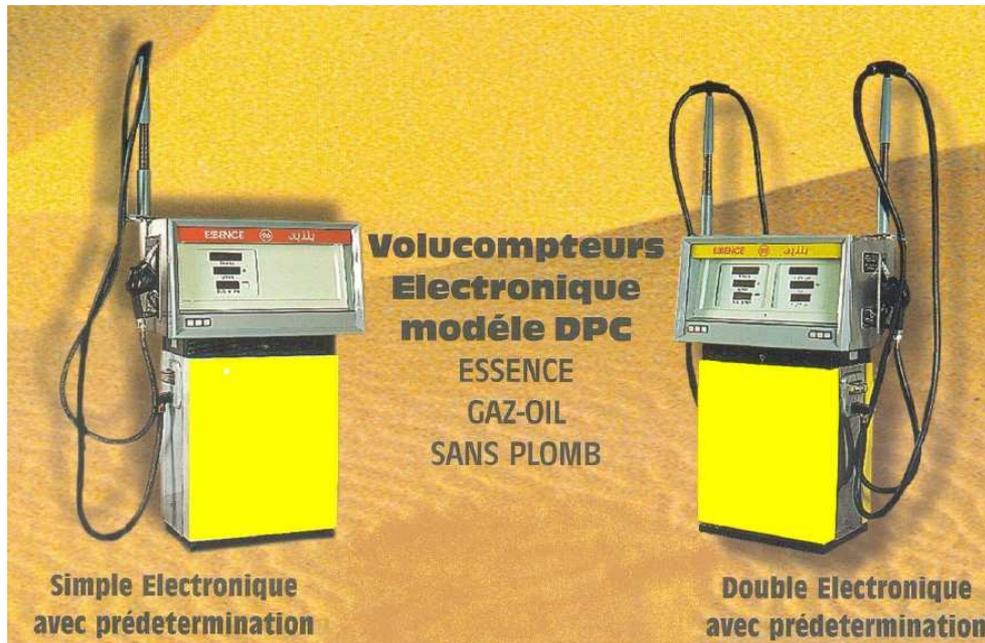
Il s'agit d'un flotteur placé dans la cuve relié au plongeur. Lors du remplissage de la cuve, le flotteur remonte jusqu'à un niveau déterminé et bloque alors le remplissage.

### **IV.1.2.2. Le volucompteur :**

#### **IV.1.2.2.1. Définition :**

Le volucompteur c'est un appareil de mesure et de distribution de liquides qui fait apparaître automatiquement la quantité débitée et le prix à payer.

#### **IV.1.2.2.2. Description et caractéristiques techniques d'un volucompteur AMC DPC :**



*Figure 25: Aperçu global d'un volucompteur AMC DPC*

##### **IV.1.2.2.2.1. Présentation :**

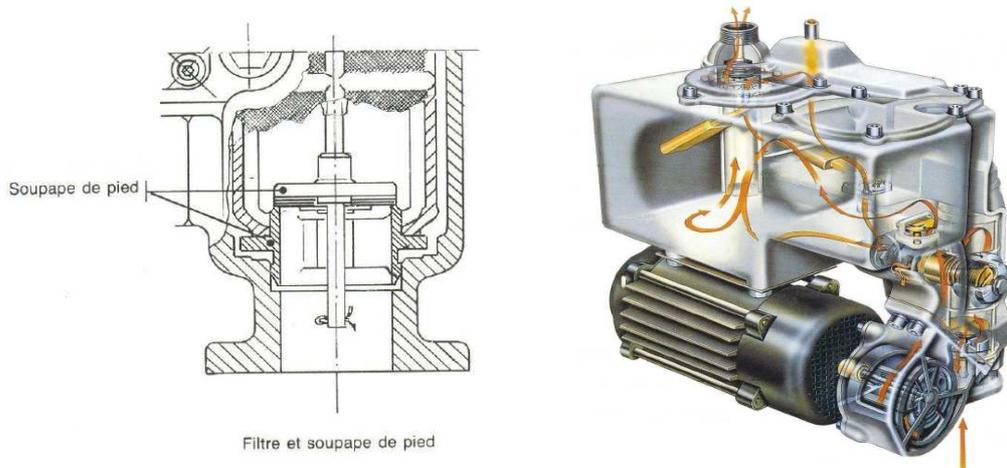
Les volucompteurs de marque AMC ou Nuovo Pignone type DPC débit 50 L/min (3 m<sup>3</sup>/H) et 50 L/min (5 m<sup>3</sup>/H) destinés à véhiculer les produits hydrocarbures (essences et gas-oil) sont composés essentiellement de quatre éléments :

- Le corps principal
- La pompe et le moteur électrique
- La pompe à manuelle
- Le mesureur

Le corps principal et le moteur électrique peuvent être séparés l'un de l'autre afin de faciliter les remplacements ou procéder à d'éventuelles réparations.

#### **IV.1.2.2.2.Fonctionnement :**

##### **a) Groupe de pompage :**



**Figure 26: groupe de pompage d'un volucompteur AMC DPC**

Le carburant arrive par la bride d'aspiration et passe à travers le filtre après avoir soulevé la soupape de retenue située en amont de ce dernier.

Cette soupape empêche que la conduite d'aspiration de la pompe ne se vide lorsque le moteur est à l'arrêt.

Le carburant arrive à la pompe à travers un conduit situé dans le corps du monobloc, il est ensuite envoyé dans la chambre de régulation du flux à travers un clapet de non retour, là, le carburant subit une baisse brusque de vitesse favorisant ainsi la séparation des vapeurs et des gaz.

Une cloison sépare la chambre de régulation du flux de la chambre de dégazage faisant en sorte que le liquide plus lourd que le mélange de vapeur et d'air passe d'une chambre à l'autre et se dépose dans la partie la plus basse, tandis que la vapeur et les gaz restent dans la partie la plus haute.

Dans la chambre de dégazage le liquide se stratifie avec une densité de plus en plus élevée au fur et à mesure qu'il s'écoule vers le bas, et les rares bulles de gaz et de vapeur entraînées par le liquide tendent à remonter vers la partie haute de la chambre.

La partie haute de la chambre de dégazage contient une vanne pointeau commandée par un flotteur qui s'ouvre lorsque la densité du mélange d'air, de vapeur et de carburant descend au-dessous d'une valeur préalablement établie, permettant à ce mélange de s'écouler dans le bac de drainage.

Le carburant dégazé sort à travers un collecteur situé dans la partie basse de la chambre de dégazage afin d'éviter constamment la présence de particules de gaz dans le liquide pompé.

Une soupape de retenue/sécurité est montée en aval du collecteur pour empêcher le retour du carburant qui est passé dans le mesureur, cette soupape est conçue de sorte à éliminer les sur-pressions dans les tuyauteries situées en aval, provoquées par l'expansion du liquide lors d'une hausse de température.

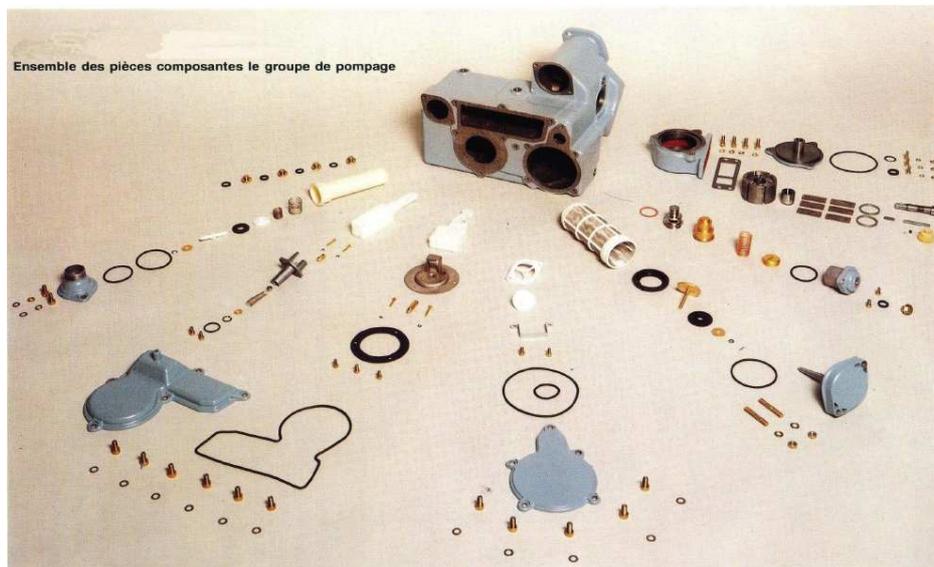


Figure 27: différentes pièces du groupe de pompage d'un volucompteur AMC DPC

### **a).1.Principe de fonctionnement de la soupape de retenue/sécurité :**

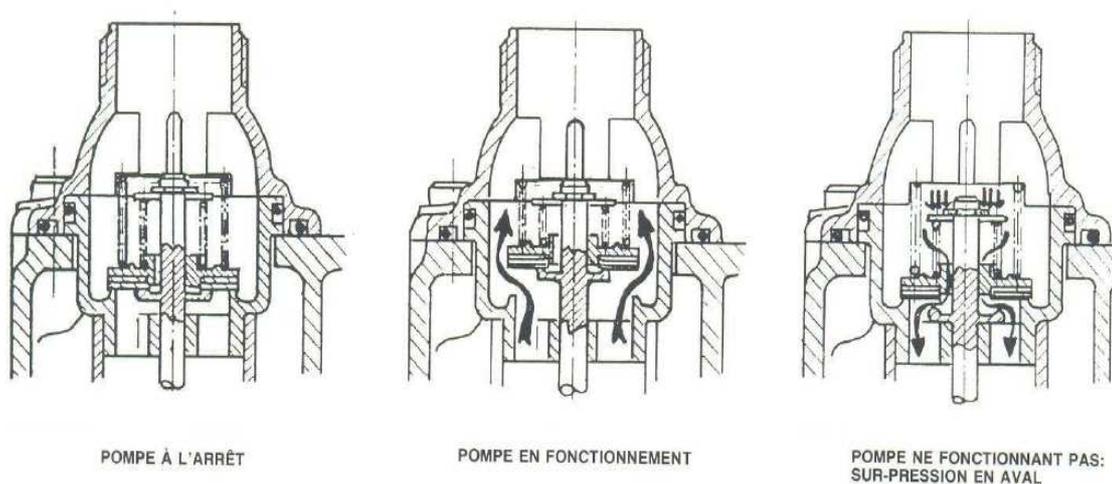


Figure 28: soupape de retenue/ sécurité

### a).2. Circuit hydraulique d'un volucompteur :

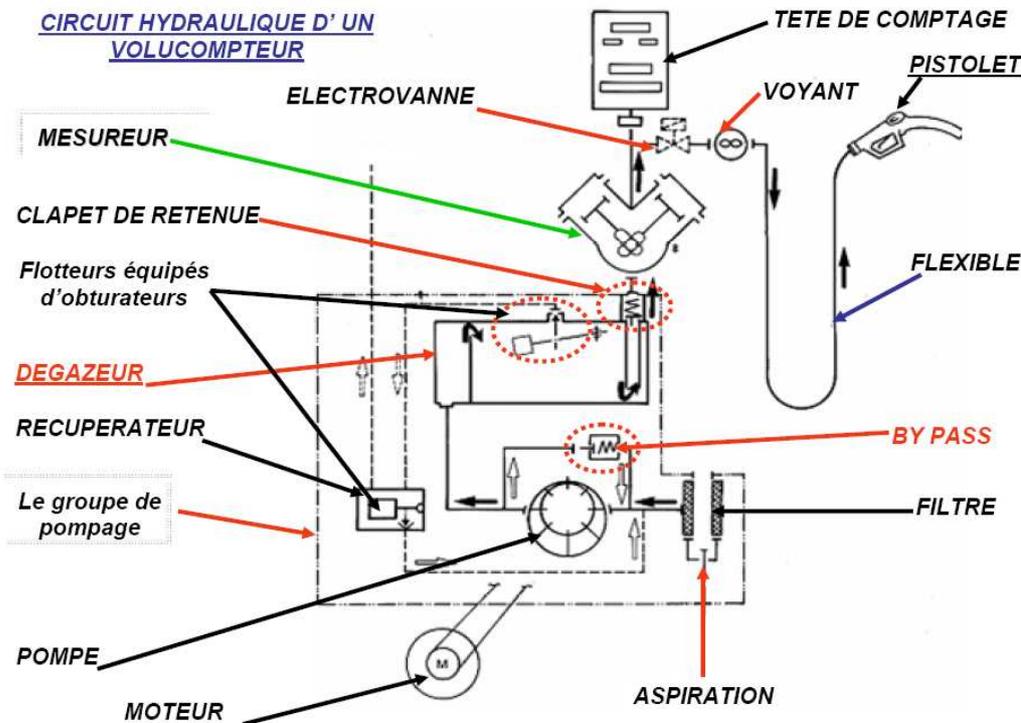
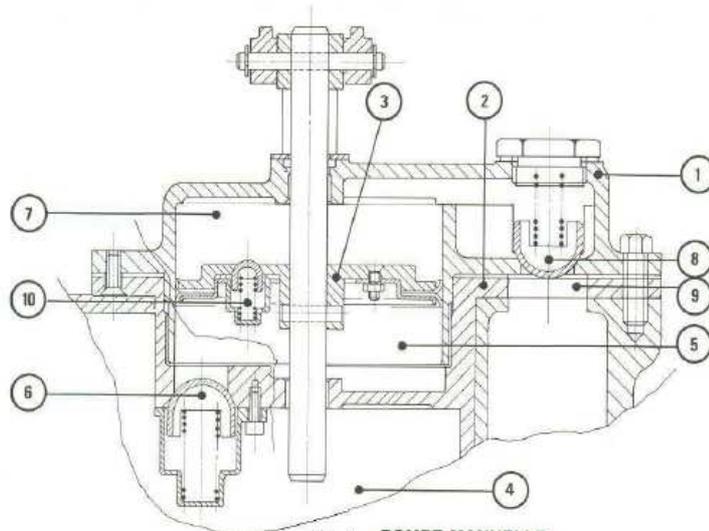


Figure 29: circuit hydraulique

### b) Pompe manuelle :

La pompe se compose de deux demis coques (1 et 2) qui forment deux chambres séparées par un piston (3). Si le piston est au PMH, la chambre inférieure (5) est remplie de liquide. Pendant la course de PMH à PMB le liquide est poussé dans la chambre de régulation du flux du dégazeur (4) à travers la soupape de pied (06). Pendant ce temps une dépression se crée dans la chambre supérieure (7) qui ouvre l'obturateur (8) situé sur le conduit d'aspiration (9) (directement relié au corps principal) et qui permet ainsi à cette chambre de se remplir. Pendant la course de PMB à PMH le liquide contenu dans la chambre supérieure passe dans la chambre inférieure à travers trois soupapes (10) situées sur le piston. Au moment où le piston atteint le PMH, la chambre supérieure est vide tandis que la chambre inférieure est pleine, et le cycle recommence.



*Figure 30: pompe manuelle*

### **c).Mesureur MOD. NP 1000 :**

#### **c).1 Description :**

Le mesureur se compose de deux pistons (1) à double effet disposés à 120° l'un de l'autre. Chaque piston agit sur le vilebrequin (2) par l'intermédiaire de deux bielles (3 et 4), sur le vilebrequin sont montés deux roulement à bille (6), l'extrémité de la bielle est relié à une bague (7) qui débouche sur une ouverture percées dans le corps du mesureur (8), l'entrée et la sortie du liquide sont contrôlé au moyen d'un tiroir de distribution (9) qui met en communication les fontes d'aspiration et de refoulement selon une distribution fixée au préalable.

Au-dessus du tiroir se trouve le couvercle (10) qui contient un des deux roulements(11) de support de vilebrequin. Un ressort (12) placé entre le couvercle et le tiroir garantit l'étanchéité entre ce dernier et les fentes de communication avec les chambres. La roue d'entrée (13) solidaire du vilebrequin s'engrène avec la roue d'entrée (14) qui au moyen de deux tétons transmet le mouvement à la minuterie.

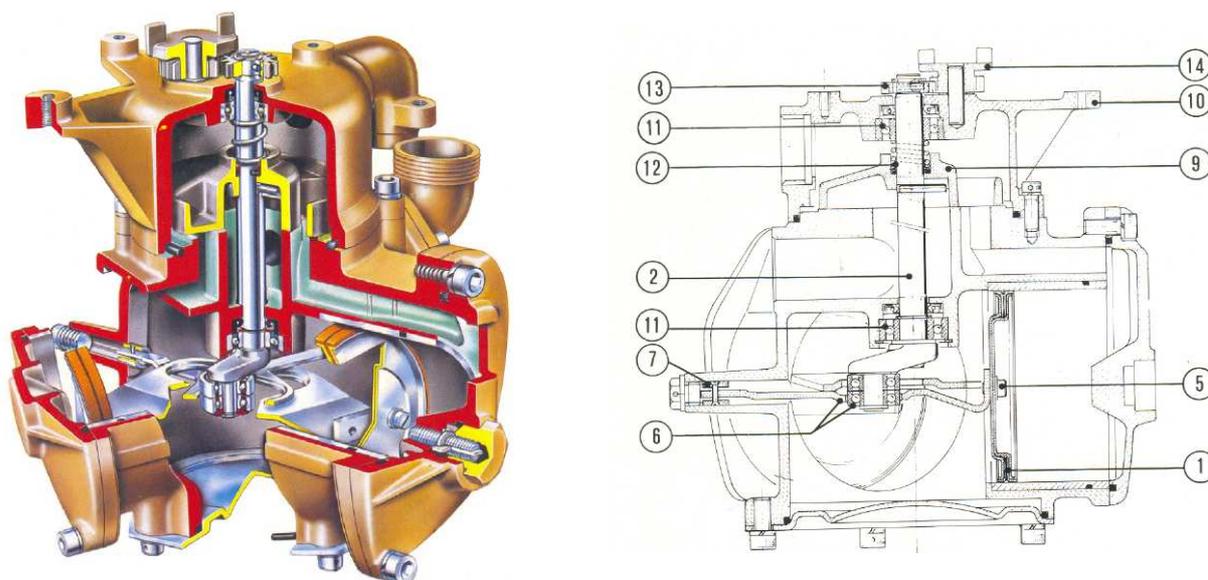


Figure 31: mesureur NP1000

#### **IV.1.2.2.2.3. Pression de fonctionnement série DPC 050 GM 1- 2 et 090 GM 1 – 2 :**

Tableau 4: Compromis entre la pression de volucompteur DPC050 et DPC090

Débit nominal	Pression conseillée	Dépression à l'aspiration
Volucompteur 3 m <sup>3</sup> /H, Type DPC 50 GM1 - 2	1, 3 Bars	0, 35 Bar
Volucompteur 5 m <sup>3</sup> /H, Type DPC 90 GM1 - 2	1,7 Bars	0, 35 Bar

#### **IV.1.2.2.2.4. Caractéristiques des moteurs électriques pour distributeurs DPC 050 GM 1- 2 et 090 GM 1 – 2**

Tableau 5: caractéristiques des moteurs des volucompteurs DPC050 et DPC090

Débit nominal	Puissance Nominale (W)	Tension (A)	Fréquence (Hz)	Vitesse de Rotation (tr/min)	Type
Volucompteur 3 m <sup>3</sup> /H, Type DPC 50 GM1 - 2	552	1, 9	50	920	ADF
Volucompteur 5 m <sup>3</sup> /H, Type DPC 90 GM1 - 2	736	2, 7	50	920	ADF

### **IV.1.2.2.3.Procédure d'installation et entretien préventive :**

#### **A) Installation**

- 1) Vérifier que l'ancrage au sol du distributeur est bien effectué
- 2) Contrôler que le branchement au réseau est approprié
- 3) Vérifier que le joint de la genouillère est installé
- 4) Vérifier le serrage des brides de raccordement entre la genouillère et le groupe de pompage
- 5) S'assurer du bon fonctionnement du système de remise à zéro

#### **B) démarrage**

- 1) Remplir le logement du filtre avec du carburant.
- 2) Mettre en route le volucompteur en maintenant le pistolet ouvert et contrôler que le sens de rotation de la pompe est conforme à celui indiqué sur le corps de pompe.
- 3) Distribuer environ cent (100) litres de carburant pour permettre le nettoyage des tuyauteries.
- 4) Si pendant cette phase des diminutions de débit ont été enregistrées, contrôler les filtres du pistolet et du bloc dégazeur avant de procéder au réglage éventuel des soupapes

#### **C) Contrôle et réglage de la pression de fonctionnement**

Si le débit n'est pas atteint (sauf pour les cas spécifiques liés à l'installation) et que la pression à la sortie ne stabilise pas contrôler la position de la vis du by pass avec pistolet fermé :

- 1) Dévisser le bouchon ¼'' présent sur le corps du dégazeur et monter un manomètre.
- 2) Mettre en route la pompe avec pistolet fermé et enregistrer la pression maximum.
- 3) Cette valeur doit être constante, si la pression ne correspond à celle indiquée sur le tableau ci-dessous procéder à la modification du tarage de la soupape du by pass.
- 4) Arrêter la pompe, dévisser le bouchon ¼'' monté sur le bouchon de fermeture du by pass, introduire une clé à six ponts et tourner dans le sens des aiguilles d'une montre.
- 5) Remonter le bouchon ¼'' en évitant d'éventuelles aspirations d'air.

**D) Entretien préventif :**

- 1) Nettoyer périodiquement la soupape de by pass en s'assurant qu'il n'y ait pas de dépôts de saleté sur l'obturateur de soupape pouvant causer un mauvais fonctionnement (pressions trop élevées ou fortes pertes de charge) et vérifier les pressions de services, pour le nettoyage utiliser un chiffon imbibé de carburant propre, l'usage de pâte ou papier abrasif est à éviter
- 2) Vérifier et nettoyer fréquemment le filtre ainsi que le clapet de pied du corps de filtre, le nettoyage des deux parties doit s'effectuer avec de l'essence en éliminant les résidus de saleté avec l'air comprimé, avant le remontage des éléments s'assurer qu'il n'y pas de bosses sur le joint, sur le fond du filtre, sur le joint torique de l'obturateur de la soupape de pied et dans le logement même de la soupape ; dans le cas contraire changer l'élément défectueux
- 3) Procéder aux nettoyages quotidiens des habillages, utiliser les produits convenant aux carrosseries des automobilisables, l'acier inoxydable ne demande qu'un entretien très facile mais qu'il ne faut pas négliger.
- 4) Contrôler périodiquement le serrage des brides de raccordement, il est conseillé de changer la garniture après chaque intervention sur cette partie

Avant d'effectuer une opération d'entretien sur le distributeur, il est nécessaire de vider complètement toutes les tuyauteries, pour la vidange du bloc dégazeur retirer le bouchon 1/4''

Pour toutes opérations d'intervention il est conseillé d'avoir avec soit une boîte de graisse et une série de joint de rechange.

**IV.1.2.2.4. Diagnostic des pannes et mauvais fonctionnement :**

**Tableau 6: diagnostique des pannes et solutions**

ANOMALIES	EFFETS	CAUSES ET SOLUTIONS
LA POMPE NE DECLANCHE PAS OU NE DEBITE PAS	a) Aspiration d'air dans la cuve ●○	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saleté dans le logement de la soupape du flotteur de dégazage, <b>à nettoyer</b></li> <li>Bosselage sur le logement ou sur l'obturateur, <b>remplacer la partie défectueuse</b></li> <li>Flotteur bloqué avec l'obturateur en position ouvert, Flotteur bloqué sur les parois interne du bloc dégazeur, <b>centrer le flotteur et éventuellement changer le support et/ou le flotteur</b></li> </ul>
	b) Soupape de by pass bloquée en position ouverte ●○○	<ul style="list-style-type: none"> <li>Blocage entre l'obturateur et le logement de la soupape, <b>remplacer le groupe</b></li> <li>Logement de la soupape dévissé, revisser le logement</li> <li>Logement des bagues d'étanchéité abîmé, <b>remplacer le groupe</b></li> <li>Vis d'enregistrement complètement dévissée, <b>revisser la vis en vérifiant la pression correcte de fonctionnement</b></li> </ul>
	c) Pression de refoulement de la pompe inférieure à 1 Bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Palettes avec un grand jeu dans le boîtier, palettes usées ou ébréchées, <b>remplacer les palettes et éventuellement le rotor</b></li> </ul>
	d) Aspiration d'air par le couvercle de filtre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Couvercle du filtre non parfaitement serré, <b>serrer les écrous ou vis de fermeture</b></li> <li>Joint du filtre abîmé, <b>remplacer le joint</b></li> <li>Filtre abîmé, remplacer le filtre</li> <li>Logement du joint de couvercle abîmé, <b>remplacer le couvercle du filtre</b></li> </ul>
LA POMPE NE DECLANCHE PAS OU NE DEBITE PAS	e) Dépression à l'aspiration supérieure à 5 Bar ●●●	<ul style="list-style-type: none"> <li>Filtre sale, <b>nettoyer ou changer le filtre</b></li> <li>Soupape de retenue du filtre bloquée en position de fermeture, <b>nettoyer et remettre la soupape dans son logement en s'assurant qu'elle glisse librement</b></li> <li>Soupape de pied sur le collecteur bloqué en position fermée, <b>débloquer ou remplacer la soupape</b></li> </ul>
	f) Aspiration d'air par la tuyauterie carburant	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desserrage des brides de connexion, <b>serrer ou remplacer les joints et/ou les brides</b></li> </ul>
	g) Pressions et dépressions normales mais présence de bruits irréguliers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usure de l'accouplement entre le rotor et l'arbre pompe, <b>remplacer la pièce usée</b></li> </ul>
	h) Soupape de retenue bloquée en position fermée	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence d'impureté dans le logement, <b>nettoyer le logement</b></li> </ul>
	i) Vidange des tuyauteries de l'installation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Difficulté de démarrage de la pompe due au clapet de pied de la cuve non étanche, tuyauterie percée, raccords desserrés. <b>Contrôler tuyauterie d'aspiration</b></li> </ul>
	l) Cavitation de la pompe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur de la dépression élevée, <b>changer les palettes. tuyauterie pas suffisamment enterrée, et/ou de longueur trop grande, et/ou sous dimensionnée et/ou avec plusieurs dérivation</b></li> <li>Température du produit élevée</li> <li>Distributeur exposé au soleil. Prendre en considération l'amélioration de l'installation</li> </ul>
SORTIE CARBURANT	a) Sortie de carburant par le tuyau d'évacuation en période d'essais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dépression en fonctionnement pistolet ouvert inférieure à 0, 2 Bar, <b>diminuer la section de la tuyauterie en entrée de la pompe</b></li> </ul>
	b) Sortie de carburant par le tuyau d'évent en période hivernale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dépôt probable d'eau dans la cuve de dégazage et formation de glace avec blocage du flotteur de l'obturateur</li> </ul>

ANOMALIES	EFFETS	CAUSES ET SOLUTIONS
SORTIE CARBURANT	c) Sortie de carburant par le tuyau d'évent	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blocage du flotteur du bloc dégazeur, <b>éliminer les causes de blocage</b></li> <li>• Soupape de by pass bloquée en position fermée, <b>dévisser la vis de réglage de deux (02) ou trois (03) tours environ</b></li> </ul>
	d) Sortie de carburant par le tuyau d'évent distributeur à l'arrêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation non-conforme ou température élevée, <b>revoir installation</b></li> </ul>
	e) Sortie de carburant par le tuyau d'évent distributeur à l'arrêt avec vidange du témoin de débit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuite de la soupape de retenue montée sur le bloc dégazeur, <b>réparer ou remplacer la soupape</b></li> </ul>
BRUITS IRREGULIERS ET VIBRATION DU MONOBLOC	a) Aspiration d'air ou présence de poches d'air le long de la tuyauterie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation tuyauterie non étanche ou en contre pente, <b>contrôler le parcours des tuyauteries</b></li> </ul>
	b) Dépression à l'aspiration supérieure à 0,5 Bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtre bouché, <b>nettoyer ou remplacer le filtre</b></li> <li>• Perte de charge importante dans les canalisations, <b>éliminer les causes des pertes de charge</b></li> </ul>
	c) Accouplement moteur et pompe non-conforme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manque de jeu à l'accouplement, <b>aligner correctement les arbres moteur et pompe</b></li> </ul>
LE DISTRIBUTEUR NE FOURNIT PAS LE DEBIT INDIQUE SUR LA PLAQUE	a) Aspiration d'air dans la cuve de dégazage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voir remarques ●○ et ●○○○</li> </ul>
	b) Dépression à l'aspiration supérieure à 0,5 Bar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voir remarques ●○ et ●○○○</li> </ul>
	c) Pression de refoulement élevée par rapport à la normale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etrangement dans le circuit hydraulique du distributeur, <b>éliminer les causes d'étranglement</b></li> <li>• Filtre sale ou mouvement enrayé du pistolet, <b>nettoyer le filtre du pistolet et remplacer les parties abimées</b></li> </ul>
	d) Pression de refoulement inférieure à la normale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eléments de pompe usés, vérifier l'usure des palettes</li> <li>• Soupape du by pass tarée à une valeur inférieure, <b>tarer correctement la soupape</b></li> </ul>
LE DISTRIBUTEUR NE FOURNIT PAS LE DEBIT INDIQUE SUR LA PLAQUE	d) Pression de refoulement inférieure à la normale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage non correct du joint entre la genouillère et le corps du filtre, <b>centrer correctement le joint</b></li> </ul>
	e) Vitesse de rotation lent, moteur en régime forcé et rotation manuelle de la pompe difficile ▲	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palettes bloquées dans le rotor, <b>débloquer les palettes et éliminer les éventuelles saletés présent dans le rotor</b></li> <li>• Superposition des palettes dans le corps de pompe, <b>débloquer et remplacer les palettes</b></li> </ul>
ROTATION DIFFICILE DE LA POMPE	a) Enclenchement fréquent du relais thermique et difficile rotation manuelle de la pompe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voir remarque ▲</li> </ul>
	b) Blocage de la pompe en rotation manuelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotor grippé sur support d'entraînement, <b>remplacer rotor et support</b></li> <li>• Arbre de commande grippé dans le palier, <b>remplacer arbre de commande et palier support</b></li> </ul>
	c) La pompe tourne au ralenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baisse de tension électrique, <b>remédier s'il y a lieu</b></li> </ul>
	d) Pression de refoulement supérieure à 3 Bars	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soupape de by pass bloquée en position de fermeture, <b>débloquer ou remplacer la soupape</b></li> </ul>
	e) Dépression élevée par rapport à la normale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Event de la citerne bouché, <b>éliminer l'obstruction</b></li> <li>• Voir remarque ●○○</li> </ul>



**CHAPITRE V**  
**DIMENSIONNEMENT**  
**DU SYSTEME**

Dans ce chapitre, nous entrons dans la phase pratique de notre projet. Il s'agira avant tout d'établir un cahier de charge, et de formuler certaines hypothèses de calcul. Il s'ensuivra des calculs de dimensionnement, suivant la procédure énoncée au chapitre III puis le choix des équipements à l'aide de quelques catalogues de constructeurs.

Chaque choix et chaque dimensionnement sera justifié par le cahier de charge et/ou les hypothèses formulées. Au terme de chapitre, nous pourrons énumérer de manière quasi exhaustive les équipements rentrant dans la mise en place de notre station de stockage hydraulique gravitaire, système fonctionnant comme une "batterie d'énergie potentielle"

## **V.1. Cahier de charges :**

### **V.1.1. Aspects techniques :**

#### **V.1.1.1. Généralités sur le site :**

La station carburant sera conçue pour être implanté sur un site en milieu isolé (PK 200 entre Rggane et BBM).

#### **V.1.1.2. Contexte du projet :**

Cette partie concerne l'investissement de construction et intègre les travaux de génie civil et la fabrication et la mise en service des équipements.

On peut distinguer pour ce projet : la construction d'un bassin inférieur et d'un bassin supérieur destiné au transit de l'eau. On construira éventuellement une surélévation pour le type de bassin supérieur construit.

#### **V.1.1.3. Estimation de la consommation énergétique de la station cible :**

##### *V.1.1.3.1. Typologie*

La station carburant contient :

- Une cabine saharienne comporte un bureau de gérant, une chambre pour pompiste et un sanitaire.
- Deux volucompteurs ; un pour le produit gasoil et l'autre pour le produit essence normale.
- Deux cuves carburant chacune pour une capacité de stockage 50 M<sup>3</sup>.

##### *V.1.1.3.2. Recensement des appareils d'utilisation de la station*

Il s'agit d'une fourniture électrique destiné à l'alimentation de la station carburant en courant alternatif :

- Deux volucompteurs de 500W/380V.
- Une ampoule économique 40W/220V au-dessus de volucompteurs.
- Deux ampoules économiques 15W/220V pour le bureau de gérant et la chambre de pompiste.
- Une ampoule économique 10W/220V pour le sanitaire.

#### V.1.1.3.3. Durée de service

Le système sera conçu pour fournir une alimentation électrique de dix heures pour les équipements de la station cités plus haut.

### V.1.2. Aspects environnementaux :

Cette partie s'attachera à analyser les impacts de l'aménagement sur son environnement, et en particulier sur :

- Le milieu physique : hydrologie et eaux souterraines ; morphologie ; physico chimie,
- Le milieu biologique : hydrobiologie, faune piscicole et pêche, végétation et faune riveraine,
- Le milieu humain : usages de l'eau, paysage, environnement sonore, socio-économie et sécurité.

## V.2. Dimensionnement de la partie hydroélectrique :

### V.2.1. Calcul de la puissance d'utilisation maximale :

Il s'agit de la puissance consommée lorsque tous les récepteurs sont simultanément utilisés. On la ici calcule par

$$P_{\text{umax}} = 2 \times P_v + P_{a40} + 2 \times P_{a15} + P_{a10}$$

(12)

- $P_v$ : puissance de volucompteur.
- $P_{a40}$ : puissance de l'ampoule 40W.
- $P_{a15}$ : puissance de l'ampoule 15W.
- $P_{a10}$  : puissance du l'ampoule 10W.

Application Numérique

$$P_{\text{umax}} = 2 \times 500 + 40 + 2 \times 15 + 10$$

$$P_{\text{umax}} = 1080 \text{ W} = 1,080 \text{ KW}$$

C-----

**C Calcul de la puissance d'utilisation maximale par Fortran**

C-----

C Pv : puissance de volucompteur.

C Pa40 : puissance du l'ampoule 40W.

C Pa15 : puissance du l'ampoule 15W

C Pa10 : puissance du l'ampoule 10W

C P<sub>umax</sub>= NP<sub>v</sub> x Pv + NP<sub>a</sub> x Pa<sub>40</sub> +NP<sub>a</sub><sub>15</sub> x Pa<sub>15</sub> +NP<sub>a</sub><sub>10</sub> x Pa<sub>10</sub>

write(\*,\*) 'entrer les valeurs : '

write(\*,\*) ' Pv,NPv,NPa40,NPa15,NPa10 '

Pa40=40

Pa15=15

Pa10=10

Write(\*,11)

11 format (//1 (72x/),

\*1X,' Pv: puissance de volucompteur (500w) ',7X/

\*1X,' NPv: nombre de volucompteurs (2 ) ',7X/

\*1X,' NPa40 :nombre d ampoule 40W (1 ) ',7X/

\*1X,' NPa15: nombre d ampoule 15W (2 ) ',7X/

\*1X,' NPa10 : nombre d ampoule 10W (1 ) ',7X/

\*72X)

read(\*,\*) Pv,NPv,NPa40,NPa15,NPa10

write(7,22) Pv, NPv, Pa40,NPa40,Pa15,NPa15,Pa10,NPa10

P<sub>umax</sub>=NP<sub>v</sub>\*P<sub>v</sub>+NP<sub>a</sub><sub>40</sub>\*Pa<sub>40</sub>+NP<sub>a</sub><sub>15</sub>\*Pa<sub>15</sub>+NP<sub>a</sub><sub>10</sub>\*Pa<sub>10</sub>

write(7,23) P<sub>umax</sub>/1000

### **V.2.2. Calcul de la puissance prévisionnelle du générateur:**

Cette puissance doit tenir compte de la possible extension des charges. On par la calcule

$$\boxed{P_p = P_{umax} \times K_a} \quad (13)$$

$K_a$  : coefficient d'augmentation prévisible des charges ou coefficient de sécurité.

#### Application Numérique

$$P_p = 1080 \times 1,1$$

$$\boxed{P_p = 1188W}$$

C-----

#### **C calcul de la puissance prévisionnelle du générateur par Fortran**

C-----

```

write(7,*) ' puissance prévisionnelle du générateur '
write(*,*) ' entrer le coefficient Ka (Ka=1.1) '
read(*,*) Ka
write(7,25) Ka
Pp=Pumax*Ka
Write (7,26) Pp/1000

```

### **V.2.3. Choix de la micro turbine hydroélectrique :**

#### **V.2.3.1. Critères de choix :**

Le principal critère dans notre étude est de faire un choix entre les turbines de haute chute et de basse chute. Le problème réel réside dans l'ampleur des travaux de génie civil engendrés par l'utilisation de l'un ou l'autre des deux types de turbine.

Les micro turbines basse chutes travaillent sous une faible hauteur de chute mais nécessitent un débit important. Le réservoir qui l'alimentera en eau devra avoir une grande capacité mais sera situé à une faible hauteur du sol.

Par contre, les micro turbines de haute chute travaillent sous une hauteur de chute importante mais nécessitent un débit relativement faible. Le réservoir d'eau sera d'une capacité inférieure à celle de la micro turbine basse

chute, mais sera située à une grande hauteur du sol. Il entrainera donc la construction d'un échafaudage ou d'une surélévation importante.

Cependant, d'un point de vue implantation (voir chapitre I), les turbines haute chute semblent correspondre plus aux spécifications de notre cahier de charge, notamment sur le fait que le site d'implantation ne dispose d'aucun relief particulier. En effet, pour une micro turbine basse chute, tout ou une partie de la chute d'eau doit être détournée vers un canal de prise où se forme le vortex à l'entrée de la micro turbine, entraînant ainsi des travaux d'aménagement supplémentaires.

### **V.2.3.2. Manufacturiers de micro turbines hydroélectriques :**

Les principaux manufacturiers de micro turbines hydroélectriques se positionnent dans les pays possédant un potentiel hydroélectrique important leur permettant de faire de ce type d'énergie un maillon fort de leur production énergétique. Nous citons ci-dessous quelques manufacturiers qui occupent le marché sur leur continent :

- Energie Douce (France)
- IREM (Italie)
- Fuchun Industry Développement Co Ltd (Chine)
- Energy Systems & Design Ltd. (Canada)
- PowerPal(Canada)
- Microturbines Technologies Inc (Canada).
- Micro Integrated (XJ) (Chine)

### **V.2.3.3. Choix définitif :**

En se référant aux divers facteurs cités précédemment (disponibilité des catalogues, détails techniques) notre choix s'est porté sur le constructeur Micro Integrated (XJ).



*Figure .32: Aperçu global de la micro Turbine hydraulique micro Integrated (XJ) (turgo)*

Description de Produit :

- CrType : Série de XJ (turgo)
- Série de QS
- Série de GD (tubulaire)
- HL de série (Francis)
- Rendement de puissance : 200w à 30kw
- Tension : C.A. de 110V 220V 380V
- Fréquence : 50Hz OU 60Hz
- Charge d'eau : 2m à 45m
- Débit : 3 l/s à 160 l/s

Nous nous référons au tableau donné dans le catalogue, pour déterminer le compromis entre la hauteur de chute et le débit, nécessaire pour produire la puissance désirée. Ce tableau ne donne pas de valeurs précises de puissances. Pour déterminer le compromis entre débit et hauteur pour une certaine puissance, il faut repérer dans le tableau la valeur directement supérieure à cette puissance, et trouver les paramètres correspondants. Dans notre cas, pour une puissance 1188W, nous repérons la valeur de 1200W, puis nous trouvons les paramètres.

**Tableau 7: Compromis entre le débit et la hauteur**

<b>Débit</b>	<b>4 L/sec</b>	<b>6 L/sec</b>	<b>8 L/sec</b>	<b>10 L/sec</b>	<b>12 L/sec</b>
8 m	192 W	288 W	384 W	480 W	576 W
10 m	240 W	360 W	480 W	600 W	720 W
12 m	288 W	432 W	576 W	720 W	864 W
14 m	360 W	504 W	672 W	840 W	1008 W
16 m	384 W	576 W	768 W	960 W	1152 W
18 m	432 W	648 W	864 W	1080 W	1296 W
20 m	480 W	720 W	960 W	1200 W	1440 W

**Conclusion :** Il faut un débit de 10 l/s sous une hauteur de 20 mètres pour produire 1200 W.

Le diamètre de la canalisation à l'entrée de la turbine doit être de 60 – 80 mm.

## V.2.4. Dimensionnement du circuit hydraulique de la micro centrale :

### V.2.4.1. Pente de la chute d'eau :

On fera attention à ne pas adopter une chute verticale, dans la mesure où la verticalité de la chute d'une telle quantité d'eau peut soumettre les parois de la canalisation ainsi que la vanne de régulation à une contrainte trop importante. Afin de parer à ces inconvénients, il semble impératif de donner une certaine pente à la chute. Cependant, la pente est aussi limitée par la rallonge de canalisation qu'elle engendre: en effet, plus la pente est grande, plus la canalisation est longue ( $L=h.\cos\alpha$ ). Nous choisissons  $\alpha=15^\circ$  de pente.

### V.2.4.2. Détermination de la longueur de la canalisation

La supposition précédente nous permet d'adopter ce schéma de principe provisoire

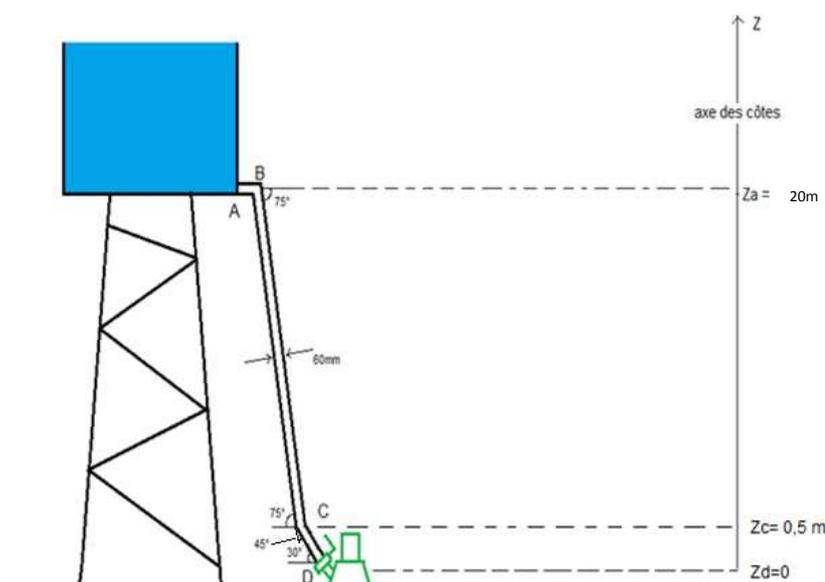


Figure 33: Schéma de principe provisoire

En appliquant le théorème de Pythagore sur le circuit BD, nous déterminons BD par :

$$BD = \frac{Z_B - Z_C}{\cos 15} + \frac{Z_C - Z_D}{\sin 30} \quad (14)$$

$$BD = \frac{20 - 0,5}{\cos 15} + \frac{0,5 - 0}{\sin 30}$$

$$BD = 21,18 \text{ m}$$

Nous estimerons ainsi la longueur de la canalisation à  $L = 22 \text{ m}$

### **V.2.4.3. Choix de la canalisation :**

#### *V.2.4.3.1. Le Matériau :*

Les tuyaux constituent une des parties les plus importantes du réseau. Or le coût des tuyaux varie beaucoup avec leur diamètre et avec la matière dont ils sont constitués (acier, fonte, PVC, polyéthylène). Le choix des tuyaux est donc l'un des choix techniques les plus importants.

En matière de canalisations, le PVC reste un standard apprécié, parce qu'il est d'un coût raisonnable et qu'il peut être facilement acheté au niveau local (attention à la qualité). De plus en plus, le PE (polyéthylène) se répand au sud, car il s'agit d'un matériau plus facile à poser, offrant une meilleure résistance aux chocs et à l'exposition au soleil. Le PE est en revanche plus difficile à réparer que le PVC. L'acier galvanisé est très cher ; il n'est donc en général utilisé que pour l'équipement des réservoirs ou les canalisations en petits diamètres.

*Tableau 8: Comparaison des différents matériaux pour les canalisations*

<b>MATIERE</b>	<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVENIENTS</b>	<b>UTILISATION</b>
L'acier :	résistant, peut se souder	cher, lourd, rouille	exhaure, refoulement et distribution
La fonte :	résistant, ne rouille pas	cher, lourd, ne se soude pas	conduite principale, tuyaux du réservoir
Le PVC :	léger, ne rouille pas, économique, à coller	moins résistant, vieillit au soleil	très répandu, les tuyaux classiques.
Le polyéthylène (PE) :	léger, ne rouille pas, souple	nécessite des raccords, plus cher que le PVC	petit diamètres, arrivées aux points d'eau

#### **V.2.4.3.1. Le Diamètre de la canalisation :**

Le constructeur de la micro turbine impose le diamètre de la canalisation à l'entrée de la turbine entre 60 et 80 mm. Nous choisissons une tuyauterie de diamètre de 60 mm à l'entrée de la micro turbine. A partir de cette donnée, nous avons fait le choix de dimensionner tout le circuit de tuyauterie avec  $D= 60$  mm, comme à l'entrée de la micro turbine.

#### **V.2.4.4. Détermination du débit pratique avec les paramètres de fonctionnement de la micro turbine :**

Il s'agit ici de calculer le débit disponible en sortie du système hydraulique à partir des paramètres (hauteur, diamètre) fixés par le constructeur. On comparera ensuite ce débit avec le débit nominal du constructeur.

Le débit est :

$$q = V \times S \quad (15)$$

q: débit

V: vitesse du jet

S: section de la canalisation

La vitesse du jet est donnée par

$$V = \sqrt{2gh_n} \quad (16)$$

g : accélération de la pesanteur.

$h_n$  : hauteur nette

La hauteur nette est l'altitude restante lorsqu'on déduit de la hauteur brute (hauteur géométrique) les pertes de charges.

$$h_n = h - \Delta h \quad (17)$$

h : hauteur brute

$\Delta h$  : pertes de charges

D'autre part, la section se calcule en fonction du diamètre par la formule

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (18)$$

La formule 18 peut donc se réécrire

$$q = \sqrt{2g(h - \Delta h)} \times \frac{\pi D^2}{4} \quad (19)$$

▪ Estimation des pertes de charges

Il s'agit de

- Les pertes de charges linéaires sur tout le circuit AD.  
Elles se calculent par la formule de Strickler :

$$H_L = \frac{v^2 \cdot L}{K^2 \cdot R_h^{4/3}}$$

- Pertes de charges singulières à l'aspiration en A.

$$H_{SA} = 0,5 \cdot \frac{v^2}{2g}$$

(20)

- Pertes de charges dues aux coudes en B et C.

$$H_{SBC} = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

D'où les pertes de charges :

$$\Delta h = \frac{v^2 \cdot L}{K^2 \cdot R_h^{4/3}} + 0,5 \frac{v^2}{2g} + \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

Dans la formule de  $\Delta h$ , nous pouvons remplacer

$$q = v \cdot S = v \times \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow \boxed{v = \frac{4q}{\pi D^2}} \text{ et } \boxed{R_h = \frac{D}{4}}$$

On aura alors  $\Delta h$

$$\Delta h = \frac{4^{4/3} \times 16q^2 L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}} + \frac{8q^2}{g\pi^2 D^4} (\xi + 0,5) \quad (22)$$

La formule 22 peut se réécrire

$$q = \sqrt{2g \left( h - \frac{4^{4/3} \times 16 q^2 L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}} + \frac{8 q^2}{g\pi^2 D^4} (\xi + 0,5) \right)} \times \frac{\pi D^2}{4} \quad (23)$$

En élevant chacun des membres au carré, on aura

$$q^2 = \left[ \frac{4^{4/3} \times 16q^2 L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}} + \frac{8q^2}{g\pi^2 D^4} (\xi + 0,5) \right] \times \frac{\pi^2 \cdot D^4}{16}$$

$$q^2 = \left[ \frac{4^{4/3} \times 32gq^2 L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}} - \frac{16q^2}{\pi^2 D^4} (\xi + 0,5) \right] \times \frac{\pi^2 \cdot D^4}{16}$$

$$q^2 = \frac{gh\pi^2 D^4}{8} - \frac{4^{4/3} \times 2gL}{K^2 D^{4/3}} q^2 - (\xi + 0,5) \cdot q^2$$

On regroupe puis factorise les termes en  $q^2$ , puis on tire

$$q^2 = \frac{gh\pi^2 D^4}{8 \left| 1 + \frac{4^{4/3} \times 2gL}{K^2 \times D^{4/3}} + (\xi + 0,5) \right|}$$

$$q = \sqrt{\frac{gh\pi^2 D^4}{8 \left| 1 + \frac{4^{4/3} \times 2gL}{K^2 \times D^{4/3}} + (\xi + 0,5) \right|}} \quad (24)$$

### Application Numérique

$g=9,81\text{m/s}^2$ ;  $h=20\text{m}$ ;  $D=0,06\text{ m}$ ;  $L= 22\text{m}$ ;  $K= 100$ ;  $\xi=1, 40$

$$q = 14,25 \text{ l/s}$$

C-----

### C Détermination du débit pratique avec les paramètres de fonctionnement de la micro turbine par Fortran

C-----

```

      write(*,*) ' entrer les parametres: '
      write(*,*) ' h,D,K,Ksi et Alpha '
      write(*,28)
28  format(/1(72x/),
      *1X,' h: hauteur                = 20 m '/'
      *1X,' D: diamètre de la conduite = 0.06 m '/'
      *1X,' K: coefficient de perte de rugosité = 100 '/'
      *1X,' Ksi: coefficient de perte de charges = 1.4/'
      *1X,' alpha: l angle d inclinaisons du tuyau = 15 degré '/'
      *1X,' (g: l accélération du pesanteur = 9.81 m/s²)'/
      *27X)

      read(*,*) h,D, K,Ksi,alpha
      L=(h-0.5)/cos(alpha*pi/180)+0.5/sin(pi/6)
      L= int(L)+1
      write(7,29) h,D,L,g,K,Ksi
      z1=g*h*(pi**2)*(D**4)
      z2=2*g*L*(4**(4./3.))
      z3=(K**2)*(D**(4./3.))
      z4=1.5+Ksi+z2/z3

      q=1000*sqrt(z1/(8*z4))
      qr=10.
      Ppr=1080
      write(*,30) q, Pp
      if(Pp.GT.Ppr.AND.q.GE.qr) then
      write(7,31) q,qr

```

```

31 format(//1(72x/),
    *1X,' q: débit requis      = ',F8.2,' l/s/'
    *1X,' q: débit requis règle = ',F8.2,' l/s/'
    *72X)
else
    write(7,*) 'ERROR'
endif

```

#### **V.2.4.5. Régulation du débit :**

Nous obtenons ainsi un débit supérieur au débit nominal de fonctionnement de la micro turbine (10 l/s). Il s'agira donc de réguler ce débit pour l'ajuster à 10 l/s. On utilisera à cet effet, la vanne de réglage livrée par le constructeur. On pourra utiliser pour déterminer le débit, la méthode du bidon (remplir un bidon de 100 L et chronométrer le temps qu'il aura fallu pour le vider).

#### **V.2.4.6. Dimensionnement des réserves d'eau :**

Un réservoir doit être au moins dimensionné pour répondre à la consommation actuelle. Mais il est préférable de lui donner un volume plus grand pour tenir compte de l'augmentation des charges dans les années à venir.

Dans le dimensionnement, un autre critère qui entre en ligne de compte est le matériau dans lequel est fait le réservoir. Les deux matériaux les plus utilisés sont le béton et l'acier. Le coût sera évidemment différent s'il est en acier ou en béton. Chaque type de matériau a ses avantages et ses inconvénients.

**Tableau 9 : Avantages et inconvénients du béton et de l'acier pour le réservoir**

	Réservoir Acier	Réservoir Béton
Coût d'investissement	Faible	Élevé
Entretien	Cher (brossage de la cuve, traitement contre la rouille, renouvellement de la peinture intérieure et extérieure...)	Négligeable (nettoyage sanitaire)
Durée de vie	environ 30 ans	plus de 50 ans

Il nous semble, au vu de ce tableau, que le béton est l'option qui offre le plus de garantie.

V.2.4.6.1. Réserve supérieure :

La capacité de la réserve supérieure dépendra de son temps de vidage et du débit d'eau à l'entrée de la turbine. Le temps de vidage sera assimilé au temps de service de l'installation. On calcule ainsi le volume du réservoir

$$\boxed{\text{Capacité} = \text{debit} \times \text{durée de service}} \quad (25)$$

Application Numérique

débit= 0,010 m<sup>3</sup>/s ; durée de service dans la nuit = 2h = 7200s

$$V = 0,010 \times 7200$$

$$V = 72 \text{ m}^3$$

C-----

**C Dimensionnement de réservoir par Fortran**

C-----

```

      write(*,*) 'capacité de réservoir=débit régule X temps de service'
      write(*,*) '-----'
      write(*,*) '
V=qr*7.2
V=1.1*V
V=int(V)+1
      Write (7,33) V
33  format(//1(72x),
      *1X,' capacité du réservoir    = ',F8.2,' m3/'
      *72X)

```

Cependant, il conviendrait de surdimensionner légèrement la réserve afin de parer aux éventuelles pertes en eau, et éviter un remplissage à ras bord de la réserve. On prévoira une capacité supplémentaire de 10%.

$$V_F = V + 10\%.V$$

$$V_F = 79,2 \text{ m}^3$$

Nous opterons pour un réservoir de forme cubique.

Toutefois puisque l'installation servira à des fins de pompage, il sera judicieux de minimiser le plus possible, la hauteur du réservoir.

Nous choisirons donc un réservoir de 10 mètres de longueur, 4 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur soit un réservoir de capacité finale  $80\text{m}^3$ .

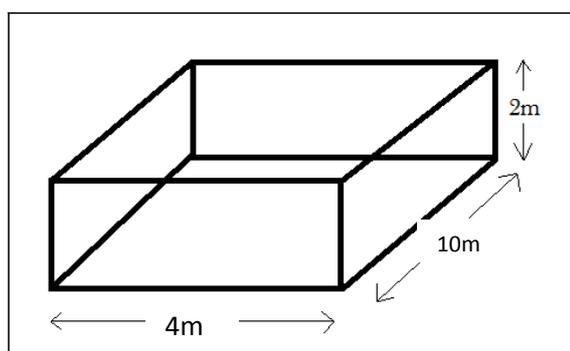


Figure 34: Schéma du réservoir supérieur

#### V.2.4.6.2. Réserve inférieure

La capacité de la réserve inférieure, ses dimensions ainsi que les règles de dimensionnement seront identiques que pour la réserve supérieure. Toutefois, dans le cas des pompes immergées, l'orifice d'aspiration ne peut être située jusqu'au fond du puits dans la mesure où l'orifice d'aspiration se trouve juste à la limite entre la pompe et son moteur (soit entre 50 et 100 cm).

Afin que le volume disponible entre l'orifice d'aspiration et le niveau supérieur de l'eau soit au moins égale au volume requis, on prévoira une profondeur de la réserve inférieure de 0,5m.

On retiendra donc des dimensions de 10 mètres de longueur, 4 mètres de largeur et 2,5 mètres de profondeur.

### **V.3. Dimensionnement de la partie photovoltaïque :**

#### **V.3.1. Estimation de la charge hydraulique :**

##### **V.3.1.1. Besoins journaliers :**

Les besoins journaliers sont fixés par la quantité d'eau nécessaire pour faire

tourner la turbine pendant la durée de service spécifiée. Ces besoins ont été calculés et sont égaux à  $V=72\text{m}^3$ .

### V.3.1.2. Débit horaire requis :

Il se calcule en divisant le besoin journalier par le temps de pompage. Pour la zone TANSROUFT, le temps de pompage est 9 heures de pompage par jour. On calcule donc

$$q_H = \frac{V}{t_{\text{pompage}}} \quad (26)$$

$$q_H = \frac{72}{9}$$

$$q_H = 8 \text{ m}^3/\text{h}$$

C-----

### C **Calcul du Débit horaire requis par programme**

C-----

```

Write (*,*) '      débit horaire requis      '
Write (*,*) '-----'
qh=V/9
qh=int(xqh)
write (7,35) qh

```

35 format (/1(72x/),

\*1X,' débit horaire = ',F8.2,' m3/h/'

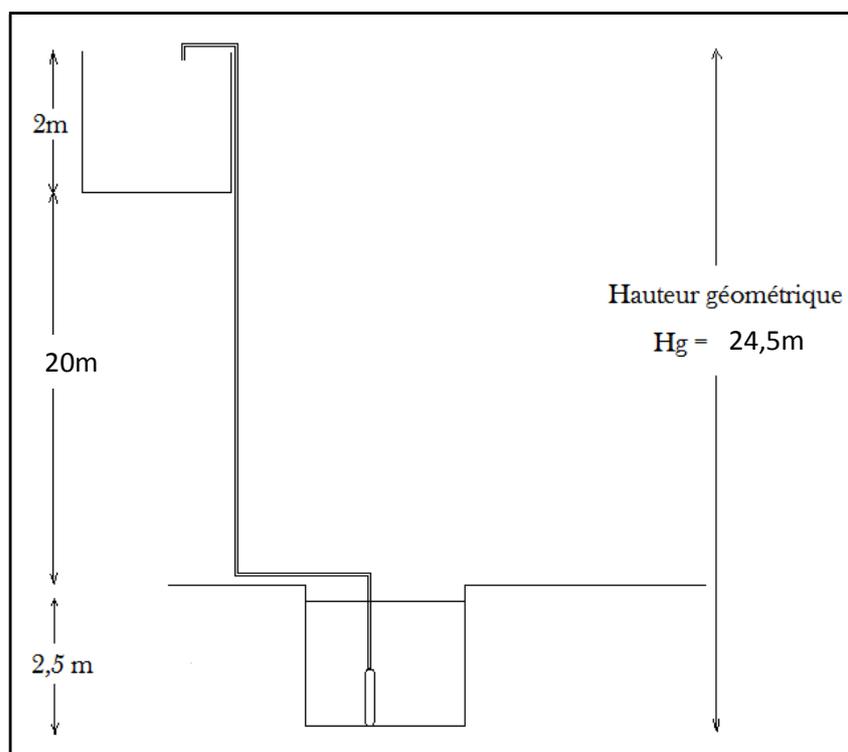
\*72X)

### V.3.1.3. Hauteur Manométrique Totale :

C'est la différence de pression exprimée en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. On la calcule par

$$\text{HMT} = H_g + P_{\text{ch}} \quad (27)$$

En fonction de ce tout qui a été dit précédemment, la hauteur géométrique est déterminée sur la figure suivante :



**Figure 35 : Détermination de la hauteur géométrique**

Les pertes de charges représentent environ 10 à 20 % de la hauteur géométrique et peuvent se calculer avec la formule de Strickler en fonction du débit et du diamètre de la canalisation.

$$P_{ch} = 20\% \cdot H_g$$

$$P_{ch} = 0,2 \times 24,5$$

$$P_{ch} = 4,9 \text{ m}$$

On en déduit donc

$$\text{HMT} = 24,5 + 4,9$$

$$\text{HMT} = 29,4 \text{ m}$$

C-----

**C    Calcul de hauteur manométrique totale par Fortran**

C-----

```
Write (*,*) '                    HMT                    '
```

```
hmt=1.2*24.5
```

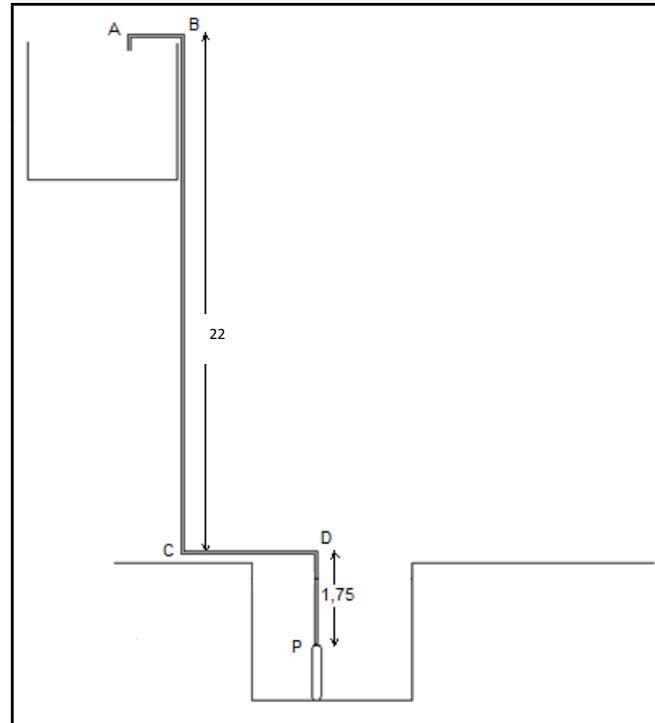
```
write(7,361) hmt
```

```
361 format (/1(72x/),
```

\*1X,' HMT = ', F8.2,' m/'

\*72X)

- Estimation de la longueur de canalisation.



*Figure 36 : Détermination de la longueur de canalisation*

Les parties BC et DP sont assez facilement estimable. Le tronçon AB est négligeable. Quant au tronçon CD, il est difficilement estimable à l'étape de la conception, dans la mesure où, en pratique il faudra peut-être respecter une distance de sécurité entre la réserve inférieure et la structure de béton du réservoir supérieur.

Pour les calculs, prenons cette distance égale à 5m.

On calcule ainsi :

$$L = 1,75 + 22 + 5$$

$$L = 28,75 \text{ m}$$

### **V.3.2. Configuration du système :**

Le choix d'une pompe dépendra également de sa capacité à répondre aux conditions variables du site. Nous avons vu que le débit d'une pompe volumétrique est moins affecté par la variation de la HMT alors que la pompe centrifuge verra son débit diminuer rapidement à mesure que la HMT augmente.

Le choix du type de pompe approprié aux performances souhaitées est donc primordial. Pour un volume journalier de  $72 \text{ m}^3$  et une HMT de  $29,4 \text{ m}$ , nous choisissons le type de pompe centrifuge immergée multi-étages.

Le choix du type de pompe approprié aux performances souhaitées est donc primordial. On utilisera pour ce faire le graphe de la figure 26.

Pour un volume journalier de  $72 \text{ m}^3$  et une HMT de  $29,4 \text{ m}$ , nous choisissons le type de pompe approprié en utilisant la figure suivante :

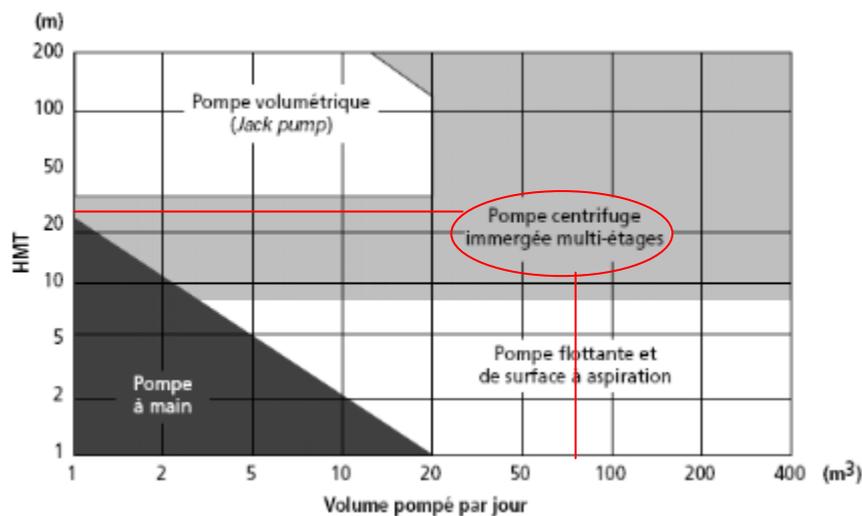


Figure 37 : Choix de la pompe selon le HMT et le débit requis par notre système

- Choix du type de moteur :

Notre source d'énergie étant le solaire, on cherchera à utiliser un moteur de pompe à courant alternatif avec l'utilisation d'un onduleur.

### V.3.3. Données naturelles du site :

Il s'agit essentiellement des valeurs de l'ensoleillement et des valeurs de température. Ces valeurs, pour le Sahara de Tanzrouft, sont disponibles.

### V.3.4. Choix de la pompe :

Cette partie du dimensionnement exige que l'on ait en sa possession, un catalogue technique d'un constructeur ou d'un revendeur de pompe solaire. Pour la conception de notre système, nous ferons le choix de la gamme de pompes solaires SPENTA.



*Figure 38: Aperçu global de la pompe solaire SPENTA*

#### **V.3.4.1. Choix en fonction du débit maximal :**

L'un des premiers critères du choix sera le débit maximal désiré pour la pompe. Dans les zones sahariennes, la pompe fonctionnera environ 9 heures et la quantité d'eau pompée pendant la journée sera égale à 6 fois le débit maximal à midi solaire. On a donc

$$\Delta Q = 6 \times Q_{\max} \quad .$$

On en déduit 
$$Q_{\max} = \frac{\Delta Q}{6} \quad (28)$$

Application Numérique

$$Q_{\max} = \frac{72}{6} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

### V.3.4.2. Courbe caractéristique débit - hauteur de la pompe :

La caractéristique débit-hauteur d'une pompe est une courbe décrivant le fonctionnement de la pompe dans des conditions de fonctionnement données. Elle montre le débit disponible en fonction de la HMT à laquelle fonctionne la pompe.

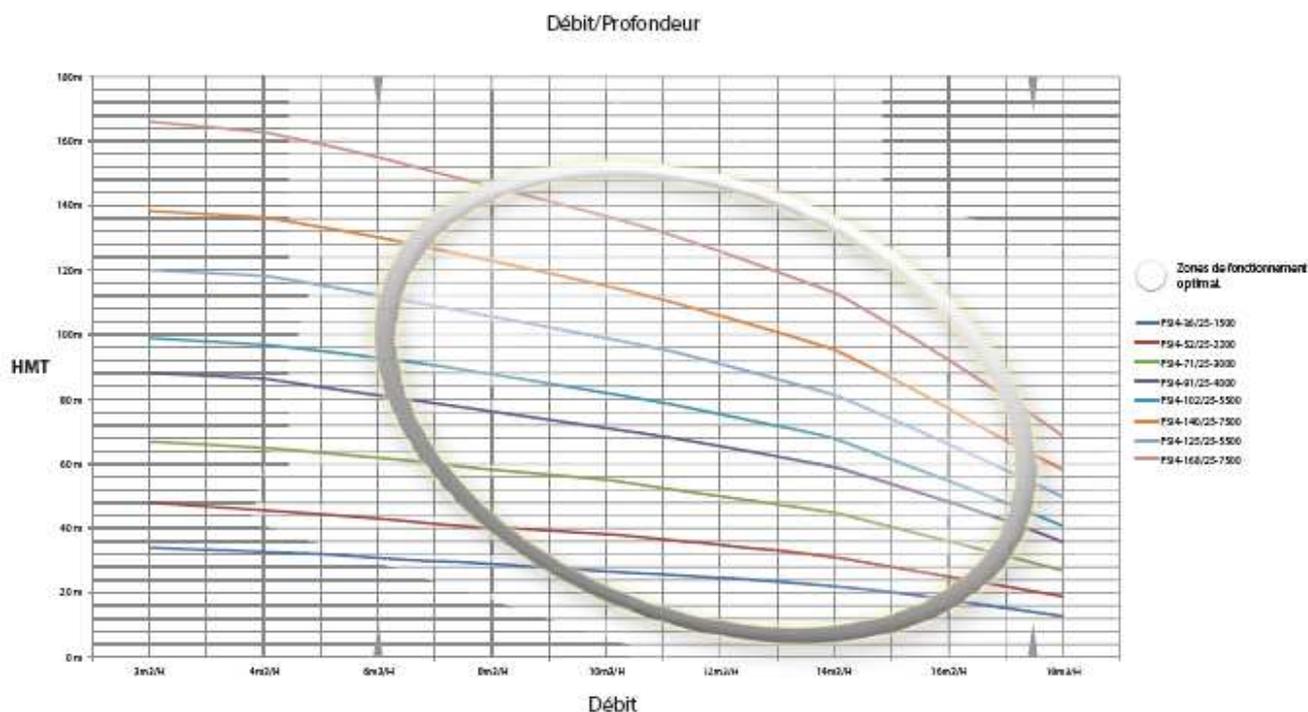


Figure 39: Caractéristique débit-hauteur de la pompe

Ce graphique nous permet de choisir la pompe la plus adaptée à nos besoins.

Tableau 10: caractéristiques techniques des pompes solaires SPENTA SPI4-25

Type	PSI4-36/25-1500	PSI4-52/25-1500	PSI4-71/25-1500	PSI4-91/25-1500	PSI4-102/25-1500	PSI4-140/25-1500	PSI4-125/25-1500	PSI4-168/25-1500
Débit maximum (m <sup>3</sup> /h)	25	25	25	25	25	25	25	25
HMT maximale (m)	36	52	71	91	102	140	125	168
Puissance (kW)	1,5	2,2	3	4	5,5	5,5	7,5	7,5
Voltage moteur (V)	220	220	380	380	380	380	380	380
Plage de voltage PV (V)	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140
Poids (kg)	21	26	30	34	38	40	47	50
Longueur pompe (cm)	100,5	117,5	148,0	180,5	202,5	222,0	249,5	275,5
Diamètre pompe (cm)	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Diamètre sortie (pouces)	2	2	2	2	2	2	2	2
Type de turbine	Centrifuge inox	Centrifuge inox	Centrifuge inox	Centrifuge inox				
Nombre de turbine	5	7	10	13	15	18	21	25

On choisit donc d'après le précédent la pompe dont le débit maximal est directement supérieur au débit maximal calculé.

On choisit donc le modèle **PSI4-36/25-1500.**

### **V.3.4.3. Tracé du caractéristique débit - hauteur du réseau hydraulique :**

Pour tracer cette caractéristique, nous partons de la formule

$$HMT = H_g + P_{ch}$$

$P_{ch}$  : pertes de charges

Il faut maintenant tenir compte du fait que les pertes de charges sont proportionnelles au carré du débit.

$$P_{ch} = H_L + H_S$$

$H_L$  : pertes de charges linéaires

$H_S$  : pertes de charges singulières

Les pertes de charges linéaires se calculent par la formule de Strickler

$$H_L = \frac{v^2 \cdot L}{K^2 \cdot R_h^{4/3}}$$

$$\text{Avec } v = \frac{4q}{\pi D^2} \quad \text{et } R_h = \frac{D}{4} \quad . \text{D'où}$$

$$H_L = \frac{4^{4/3} \times 16q^2 L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}}$$

Les pertes de charges singulières se calculent par la formule suivante :

$$H_S = \xi \frac{v^2}{2g}$$

$\xi$  : coefficient de pertes de charges dépendant de la géométrie de la canalisation

En faisant les mêmes considérations que précédemment, on obtient

$$H_S = \xi \cdot \frac{8q^2}{g\pi^2 D^4} \quad (29)$$

Il s'ensuit que la formule devient :

$$P_{ch} = H_L + H_S$$

$$P_{ch} = \frac{4^{4/3} \times 16q^2L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}} + \xi \cdot \frac{8q^2}{g\pi^2 D^4} \quad (30)$$

$$P_{ch} = \left( \frac{4^{4/3} \times 16L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}} + \frac{8\xi}{g\pi^2 D^4} \right) \cdot q^2$$

La formule redevient :

$$HMT = H_g + P_{ch}$$

$$HMT = H_g + \left( \frac{4^{4/3} \times 16L}{\pi^2 K^2 D^{16/3}} + \frac{8\xi}{g\pi^2 D^4} \right) \cdot q^2$$

Application Numérique :

$$H_g = 24,5 \text{ m} ; L = 28,75 \text{ m} ;$$

$\xi$  : coefficient de pertes de charges. Pour un coude 90°, le coefficient est de 1,5.

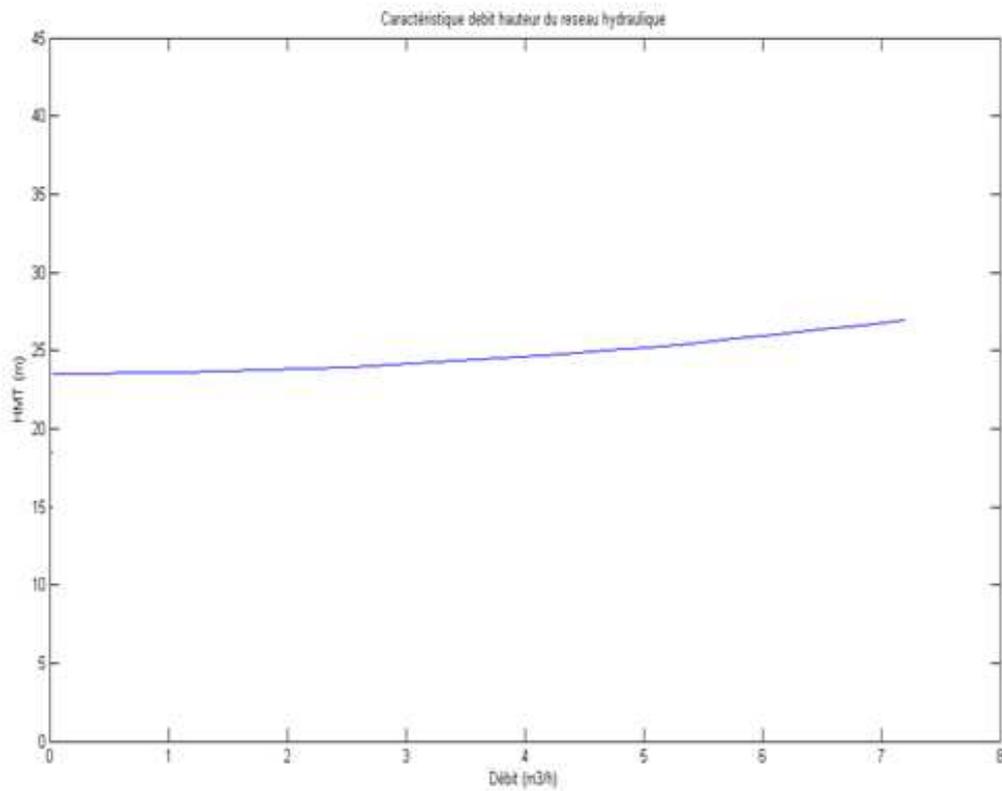
Pour les 4 coudes,  $\xi = 6$ .  $D = 40 \text{ mm}$

Le tuyau fourni avec la pompe est un tuyau souple en polyéthylène. Donc  $K = 100$  (voir tableau III-2)

$$HMT = H_g + \left( \frac{4^{4/3} \times 16 \times 28,75}{\pi^2 \times 100^2 \times 0,04^{16/3}} + \frac{8 \times 6}{9,81 \times \pi^2 \times 0,04^4} \right) \cdot q^2 \quad (31)$$

$$\boxed{HMT = 24,5 + 1025838,318 \cdot q^2}$$

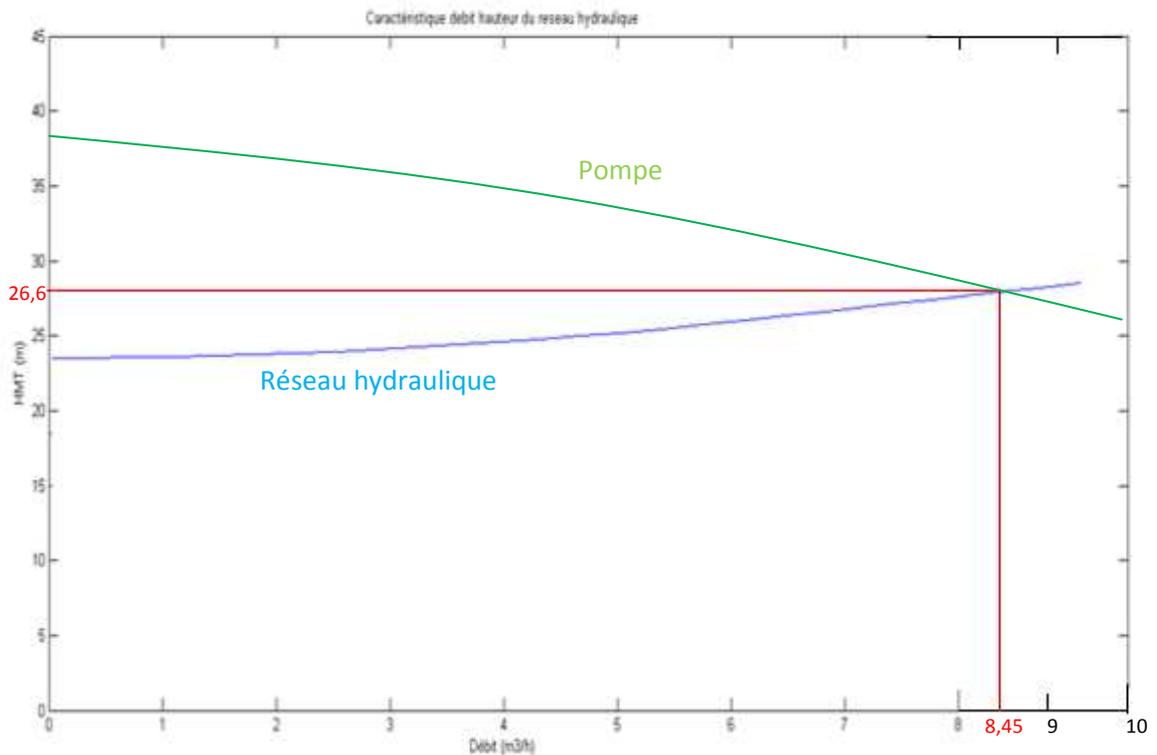
A partir de cette formule, nous pouvons tracer la caractéristique du réseau hydraulique sur Matlab.



**Figure 40: Caractéristique débit-hauteur du réseau hydraulique**

#### V.3.4.4. Point de fonctionnement de la pompe :

Ce point se situe à l'intersection des deux caractéristiques précédemment tracées. Il montre les performances réelles de la pompe avec la canalisation utilisée.



*Figure 41: Détermination du point de fonctionnement de la pompe*

Au point de fonctionnement, on a donc

$$q = 8,45 \text{ m}^3/\text{h}$$
$$\text{HMT} = 26,6 \text{ m}$$

### **V.3.5. Dimensionnement du générateur photovoltaïque :**

Cette étape du dimensionnement n'est pas forcément indispensable dans la mesure où la pompe solaire fait partie d'un kit complet comprenant le générateur photovoltaïque, la pompe solaire et le régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracker), préalablement dimensionné par le constructeur.

Cependant, nous référons nous-même ces calculs avec les hypothèses qui s'imposent.

Il faudra, à partir du débit et de la HMT au point de fonctionnement, calculer l'énergie hydraulique fournie par la pompe, puis avec les rendements des différents éléments du système déduire la puissance crête requise.

#### **V.3.5.1. Energie électrique consommée par la pompe :**

$$E_{elec} = \frac{2,725 \times \Delta Q(m^3 / j) \times HMT(m)}{\eta_{ss}} \quad (32)$$

$\eta_{ss}$ : rendement du sous-système motopompe

La gamme traditionnelle des pompes solaires associait un moteur alternatif de rendement moyen (67%) à une hydraulique de type centrifuge de rendement moyen également (49% environ), ce qui amenait un rendement global groupe motopompe de 33% environ.

La nouvelle gamme de pompe développée par souci d'économie d'énergie associe un moteur à courant continu brushless (rendement 90%) à une hydraulique centrifuge (rendement 67%), d'où un rendement global de l'ordre de 44%.

#### Application Numérique

$$E_{elec} = \frac{2,725 \times 72 \times 29,4}{0,44}$$

$$E_C = 13109,72 \text{ Wh}$$

C-----

C **Calcule D'Energie électrique consommée par la pompe par Fortran**

C-----

```

write(*,*) ' l' énergie consommée par la pompe '
write(*,*) '-----'
write(*,*) 'entrer deltaQ (72) & ETA (rendement(0,44))'
read(*,*) deltaQ,eta

```

$$E_c = 2.725 * \text{deltaQ} * \text{hmt} / \text{eta}$$

```
write(7,38) Ec
```

38 format (/1(72x/),

```
*1X,' Ec = ',F8.2,' wh/'
```

```
*72X)
```

### V.3.5.2. Energie électrique produite par le générateur photovoltaïque :

$$E_p = \frac{E_c}{K} \quad (33)$$

K : coefficient tenant compte des rendements des composants du système

$$K = \eta_c \times \eta_t \times FM \quad (34)$$

$\eta_c$  : rendement de câblage

$\eta_t$  : rendement de température

FM : Matching Factor

#### ▪ Rendement de câblage

Il s'agit du rendement dû aux imperfections dans le câblage des différents éléments du système. Il est assez difficile à prédire. Toutefois, nous ferons l'hypothèse que ces pertes n'excèdent pas 3%. D'où un rendement de :

$$\eta_c = 97\%$$

- Matching Factor

Encore appelé facteur d'adaptation, c'est un rendement qui tient compte du fait que la cellule solaire ne fonctionne pratiquement jamais à son point de puissance maximal. Cependant, l'utilisation d'un régulateur MPPT peut remédier à ce manque.

Le facteur d'adaptation doit rester voisin de 90% .Nous ferons hypothèse que cette conditions est vérifié.

$$FM = 90\%$$

C-----

**C     Calcule D'Energie électrique produite par le générateur photovoltaïque par Fortran**

C-----

```

      write(*,*) '    l énergie produite par le système      '
      write(*,*) '-----'
      write(*,*) '
      write(*,*) 'Ep=Ec/K      ou   K = ETAC*ETAT*FM      '
      write(*,*) 'ETAC : rendement due au câble (97%)      '
      write(*,*) 'ETAT : rendement due à la température (92%)  '
      write(*,*) 'FM: Matching Factor (90%)      '
      write(*,*) 'entrer les valeurs: ETAC,ETAT,FM      '
      read(*,*) ETAC,ETAT,FM
      XK=ETAC*ETAT*FM
      Ep=Ec/XK
      write(7,40) Ep
40  format(/1(72x/),
      *1X,' Ep: énergie produite      = ',F8.2,' wh'/
      *72X)

```

- Rendement de température

Ce rendement traduit le fait que la température de la cellule a une petite influence sur le rendement, celui-ci décroît lorsque la température augmente. On calcule ce rendement par la formule :

$$\eta_t = 1 - C_{tp} \times (T_{cell} - 25) \quad (35)$$

$C_{tp}$  : Coefficient de température

$T_{cell}$  : Température de fonctionnement de la cellule

$$T_{cell} = \frac{(219 + 832 \cdot \overline{K_T})(NOCT - 20)}{800} + T_{amb} \quad (36)$$

Ces calculs doivent être faits en tenant compte du mois de référence.

- Mois de référence

Lorsque la consommation d'énergie est constante tout le long de l'année (comme dans notre cas), le mois de référence est le mois pendant lequel l'ensoleillement est le plus faible. En observant le tableau, on identifie le mois de décembre comme **mois de référence**.

**Tableau 11: Données naturelles du site (Adrar)**

	Rayonnement solaire quotidien sur plan horizontal (KWh/m <sup>2</sup> /j)	Température de l'air (°C)	Longitude $\Theta$ (°)	Latitude $\Phi$ (°)
Janvier	3,61	12	0,17W	27,53N
Février	4,45	15		
Mars	5,61	19		
Avril	6,39	24		
Mai	6,61	28		
Juin	6,83	34		
Juillet	6,75	36		
Août	6,26	36		
Septembre	5,48	31		
Octobre	4,54	24		
Novembre	3,69	17		
Décembre	3,27	13		
Moyenne Annuelle	5,29	24,08		

- Données climatiques du mois de référence

Il s'agit du quantième du mois, de la déclinaison, de l'angle horaire du soleil et de l'énergie solaire sur le plan horizontal.

Le tableau donnant les jours moyens de chaque mois est le suivant

**Tableau 12 : Table des jours moyens**

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

On calcule ensuite la déclinaison par la formule :

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{360 (284 + n)}{365} \right) \quad (37)$$

n= 344

L'angle horaire du soleil est obtenue par :

$$\omega_s = \arccos(-\operatorname{tg}\varphi.\operatorname{tg}\delta) \quad (38)$$

$\varphi$  : latitude du lieu

On rassemble ces calculs pour le mois de référence dans le tableau suivant :

**Tableau 13: Récapitulatif jour moyen, déclinaison et angle horaire**

Données	Décembre
Jour moyen n	344
Déclinaison $\delta(^{\circ})$	-23,4
Angle horaire $\omega_s (^{\circ})$	1

A partir de ces données, on calcule l'indice de clarté par :

$$K_T = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad (39)$$

$\bar{H} = E_s = 3,27 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{jour}$

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 3600 \times 1380}{\pi} \left( 1 + 0,033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right) \left( \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta \right) \quad (40)$$

Application Numérique :

$$\overline{H}_0 = 422,39 \text{ kWh / m}^2 \text{ / jour}$$

$$\overline{K}_T = \frac{\overline{H}}{\overline{H}_0}$$

$$\overline{K}_T = \frac{3,27}{422,39}$$

$$\overline{K}_T = 0,0077$$

- o Calcul de  $T_{\text{cell}}$

$$T_{\text{cell}} = \frac{(219 + 832 \cdot \overline{K}_T)(\text{NOCT} - 20)}{800} + T_{\text{amb}}$$

NOCT : Nominal Operating Cell Temperature

$T_{\text{amb}}$  : Température ambiante pour le mois le plus chaud

Application Numérique

Le NOCT est donné par le constructeur. NOCT = 45° C En observant le tableau, on déduit  $T_{\text{amb}} = 36^\circ \text{ C}$

$$T_{\text{cell}} = \frac{(219 + 832 \times 0,0077)(45 - 20)}{800} + 36$$

$$T_{\text{cell}} = 43,04 \text{ }^\circ\text{C}$$

- o Calcul du rendement de température

$$\eta_t = 1 - C_{\text{tp}} \times (T_{\text{cell}} - 25) \quad (41)$$

$C_{\text{tp}}$ , le coefficient de température est donné par le constructeur

$$C_{\text{tp}} = 0,44 \text{ \% /}^\circ\text{C}$$

$$\eta_t = 1 - 0,0044 \times (43,04 - 25)$$

$$\eta_t = 0,92$$

- Calcul de l'énergie électrique à produire

$$K = \eta_C \times \eta_t \times FM$$

$$K = 0,97 \times 0,92 \times 0,90$$

$$K = 0,80$$

$$E_P = \frac{E_C}{K}$$

$$E_P = \frac{13109,72}{0,8}$$

$$E_P = 16387,15 \text{ Wh}$$

### V.3.5.3. Puissance crête à installer :

On la calcule par la formule :

$$P_C = 1000 \times \frac{E_P}{E_s} \quad (42)$$

#### Application Numérique

$$P_C = 1000 \times \frac{16387,15}{3270}$$

$$P_C = 5011,36 \text{ Wc}$$

C-----

#### C    **Calcul de la Puissance crête à installer par Fortran**

C-----

```
write(*,*) '    Puissance crete a installer    '
write(*,*) '-----'
```

Es= Rayonnement solaire quotidien sur plan horizontal =3270

XPc=1000\*Ep/Es

```
write(7,42) XPc
```

42    format(//1(72x/),

```
      *1X,' Pc:puissance crete        = ',F8.2,' wc'/
```

```
      *72X)
```

### V.3.5.5. Composition du générateur photovoltaïque :

On utilise pour notre système des panneaux solaires de 180 Wc dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

*Tableau 14 : Caractéristiques électriques des panneaux solaires*

Paramètre	Expression	Valeur
Puissance crête	$P_{cp}$	180 Wc
Tension circuit ouvert	$U_{co}$	37,2 V
Courant de court-circuit	$I_{sc}$	6,82A
Tension maximale	$U_{mp}$	29,0 V
Courant maximale	$I_{mp}$	6,21 A

- Nombre de modules en série

La tension de fonctionnement de la pompe est  $U_p=220V$ .  
donc :

On calcule

$$N_s = \frac{U_p}{U_{mp}} = \frac{220}{29}$$

$$N_s = 7,58$$

$$N_s \approx 8$$

- Nombre de modules en parallèle

$$N_p = \frac{P_c}{N_s \times P_{cp}} = \frac{5011,36}{8 \times 180}$$

$$N_P = 3,48$$

$$N_P \approx 4$$

C-----

**C----- Calcul du nombre des panneaux solaire par Fortran**

C-----

```

write(*,*) '      nombre des modules      '
write(*,*) '-----'
Up=220
Ns=Up/29
Ns=int(Ns)+1
Np=XPc/(Ns*180)
Np=int(Np)+1
Pc=Ns*Np*180
write(7,44) Ns,Np,Xpc
44  format(/1(72x),
*1X,' Ns:nombre des module en serie   = ',I2,' U'/
*1X,' Np:nombre des module en paralelle = ',I2,' U'/
*1X,' Pcreel:puissance crete reel      = ',F8.2,' Wc'/
*72X)

```

- Puissance crête réellement installée

$$P_C = N_S \times N_P \times P_{cp}$$

Application Numérique

$$P_C = 8 \times 4 \times 180$$

$$P_{C \text{ installée}} = 5760 \text{ Wc}$$

Conclusion : Les hypothèses de calcul faites permettent de justifier le

dimensionnement et les données du constructeur.

### **V.3.6. Fonctionnement d'onduleur :**

C'est un élément clé d'une installation photovoltaïque, car il fait le lien entre les panneaux photovoltaïques et le réseau ERDF. Il assure également la transformation du courant continu des panneaux en courant alternatif requis par le réseau.

Il se présente sous la forme d'un petit boîtier métallique qui accompagne toute installation photovoltaïque. Il consiste à transformer l'électricité provenant des modules photovoltaïques du courant continu à un courant alternatif, conforme aux normes électriques de consommation. Plus précisément, le courant continu à faible voltage se transforme en courant alternatif de 230V 50Hz. L'onduleur photovoltaïque est muni soit d'un ventilateur, soit d'un radiateur - ce dernier étant préférable dû aux pannes plus fréquentes d'un ventilateur, qui pourrait mener l'onduleur en surchauffe.

Le deuxième rôle principal d'un onduleur photovoltaïque est de limiter l'injection d'électricité dans le réseau par la puissance maximale accordée. En effet, selon le taux d'ensoleillement ainsi que l'orientation des panneaux solaires, l'électricité produite peut grandement varier- il est donc nécessaire de l'ajuster à la capacité du réseau auquel les panneaux sont raccordés.

Notre choix s'est porté sur le l'onduleur **IVW 6000W**.



*Figure 42: Vue générale d'onduleur IVW*

### V.3.6.1. Caractéristiques d'onduleur IVW:

1. Signal de sortie: onde sinusoïdale pure
2. Haute efficacité > 85%
3. 12v or 24v ou 48 vdc
4. Ac 100v ou ac 110v ou ac 120v/220v/230v/240v ac sortie
5. Sortie fréquence 60hz 50hz ou.
6. Puissance de sortie continue: 6000w.
7. Haute- vitesse de ventilateur de refroidissement
8. Surcharge de protéger, plus de tension protéger, basse tension cut-out, alarme de basse tension.

### V.3.6.2. Spécification d'onduleur IVW:

*Tableau 15: Caractéristiques d'un onduleur IVW 6000W*

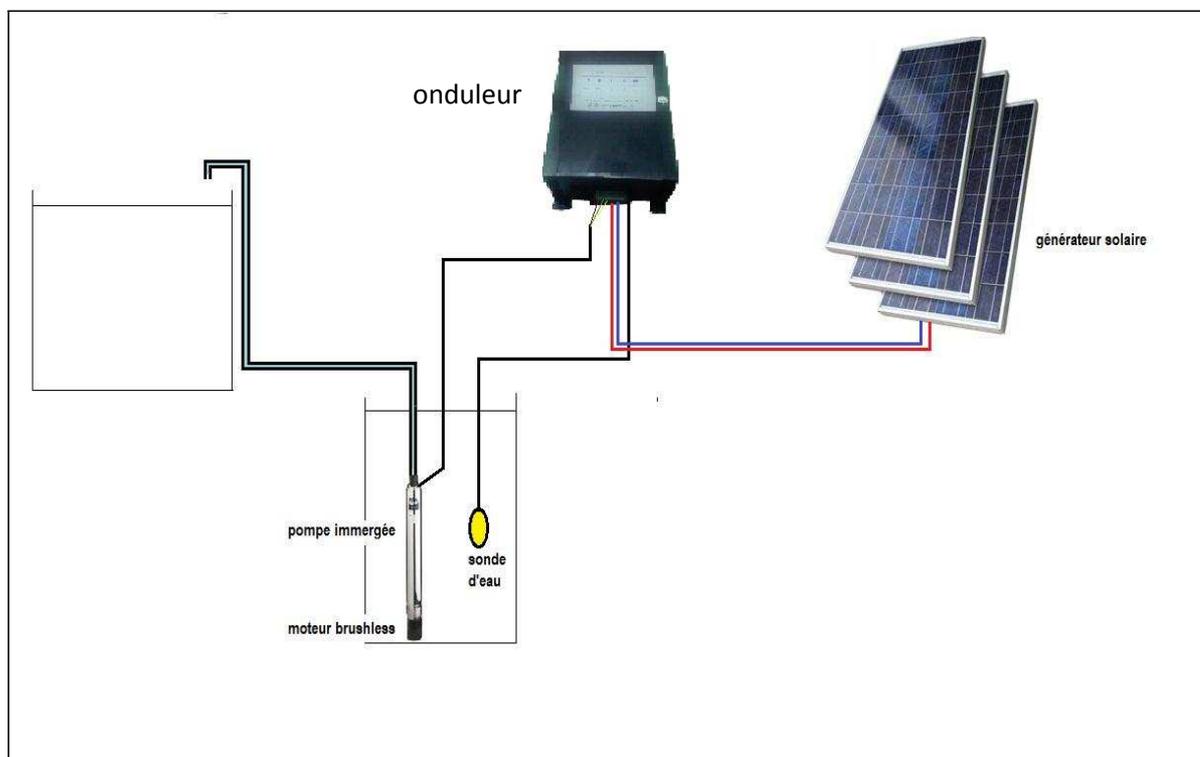
del	Ivw-6000w	
entrée	dc tension	12v/24v/48v
	gamme de tension	Dc 11-15v ou 22-30v 42-60v ou
	aucun courant de charge	< 3a
	efficacité	> 90%
	connecteur dc	câbles avec des pinces ou adaptateur de voiture
de sortie	la tension ac	Ac 110v/100v/120v/220v/230v/240v
	puissance continue	6000w
	de puissance de surtension	12000w
	Forme d'onde	onde sinusoïdale pure
	fréquence	50hz/60hz
	thd	< 3%
protection	alarme de basse tension	Dc 10.2- 10.8v/20.4v/40.8v
	Basse tension d'arrêt	Dc 9.5v/19.5v/38.5v
	plus de charge	arrêt de sortie
	plus de tension fermer	Dc 15.5v/30.5v/61.2v
	plus de thermique	arrêt de sortie automatiquement
	fusibles	court circuit
environnement	température de fonctionnement	- 10° deg; c ~ +50° deg; c
	humidité de travail	10% ~ 90% rh
	température de stockage	- 20° deg; c ~ +50° deg; c
paquet	taille de la machine	544*199*146mm
	Taille d'emballage	635*270*315mm
	poids net	12.1kg
	poids brut	16kg
	Mode d'emballage	carton
D'autres	démarrage	soft start
	des moyens de refroidissement	de refroidissement fang

### **V.3.7. Plan de câblage :**

Une fois le système constitué, il reste à envisager son installation pratique, mais dès cette phase de définition du système, on doit se préoccuper du câblage, afin d'assurer la cohérence de l'ensemble parce que les chutes de tension dans les câbles peuvent être très pénalisantes.

Avant de calculer toutes les sections de câbles, on fait un plan électrique global de l'installation. Il faut également prévoir l'emplacement des composants aussi précisément que possible pour déduire les distances modules - boîtier de raccordement, onduleur.

#### **V.3.7.1. Configuration générale du système :**



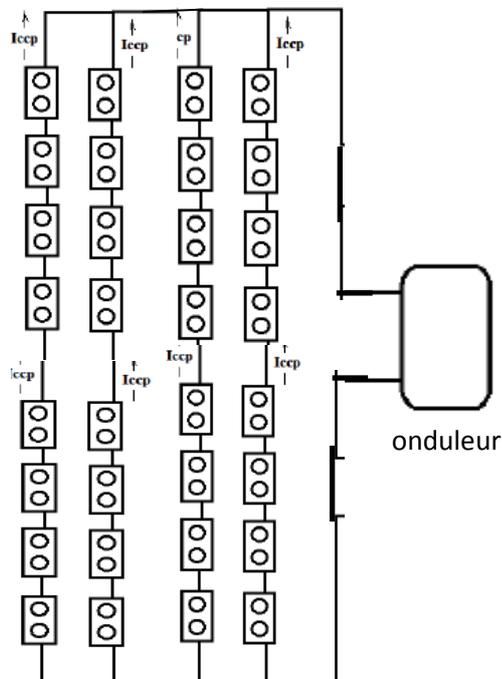
*Figure 43 : Configuration générale du système de pompage*

### V.3.7.2. Choix des sections de câble :

#### V.3.7.2.1. Entre les panneaux solaires et le régulateur

- Calcul du courant maximal

La disposition des panneaux solaires est le suivant :



**Figure 44 : Disposition des panneaux du générateur solaire**

Le courant maximal circulant entre les panneaux et le régulateur est égal à deux fois le courant de court-circuit des panneaux

$$I_{\max} = 2 \times I_{sc}$$

$$I_{\max} = 2 \times 6,82$$

$$I_{\max} = 13,64 \text{ A}$$

- Choix de la section du câble

La chute de tension dans les câbles est donnée par la formule suivante :

$$\Delta U = 2RLI$$

R: résistance linéaire du câble

L: longueur du câble

I: Intensité du courant traversant le câble

$$2R = \frac{\Delta U}{LI}$$

On en déduit (43)

### Application Numérique

Entre les panneaux et le régulateur, on admet une chute de tension maximale de  $\Delta U_{\max} = 0,3 \text{ V}$ . On supposera une longueur entre panneaux et l'onduleur de 5 mètres.

$$2R = \frac{0,3}{5 \times 13,64}$$

$$2R = 0,004399 \text{ } \Omega/\text{m}$$

A l'aide du tableau suivant, on fait le choix des sections.

**Tableau 16: Résistance de câble du type H07RNF**

Section	1,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
Résistance 2R ( $\Omega/\text{m}$ )	0,0274	0,01642	0,01018	0,00678	0,0039	0,00248

Notre valeur de 2R est comprise entre 0,00678 et 0,0039.

Pour 2R = 0,00678,  $\Delta U = 0,00678 \times 5 \times 13,64 = 0,46 \text{ V} > 0,30 \text{ V}$  recommandé.

On retiendra donc la valeur de 0,0039  $\Omega/\text{m}$  et donc une section de câble de 10mm<sup>2</sup>.

#### V.3.7.2.2. Entre le régulateur et la pompe

- o Calcul de la puissance de la pompe

$$E_C = P \times t \quad (44)$$

$$P = \frac{E_C}{t}$$

### Application Numérique

t: temps de fonctionnement supposé de la pompe : 9h

$$P = \frac{13109,72}{9}$$

$$P = 1456,63 \text{ W}$$

- Calcul du courant maximal

$$P=U \times I$$

$$\Rightarrow I = \frac{P}{U}$$

### Application Numérique

$$I = \frac{1456,63}{220}$$

$$I = 6,62 \text{ A}$$

- Choix de la section du câble

La chute de tension dans les câbles est donnée par la formule suivante :

$$\Delta U = 2RLI$$

$$2R = \frac{\Delta U}{LI}$$

On en déduit

$$LI$$

### Application Numérique

Entre l'onduleur et les récepteurs, on admet une chute de tension maximale de  $\Delta U_{\max} = 0,3 \text{ V}$ . On supposera une longueur entre la pompe et l'onduleur de 10 mètres.

$$2R = \frac{0,3}{10 \times 6,62}$$

$$2R=0,0045 \Omega/m$$

Le choix des sections se fait toujours avec le tableau précédent

Notre valeur de  $2R$  est comprise entre 0,00678 et 0,0039.

Pour  $2R= 0,00678 \Delta U=0,00678 \times 10 \times 13,64=0,91V > 0,30 V$  recommandé.

On retiendra donc la valeur de 0,0039  $\Omega/m$  et donc une section de câble de 10mm<sup>2</sup>

### V.3.7.2.3. Tableau des sections de câble.

**Tableau 17: Tableau des sections de câbles.**

Entre les panneaux solaires et l'onduleur	Courant maximal $I_{max}$	13,64
	Chute de tension maximale $\Delta U_{max}$	0,30
	Longueur (m)	5
	Section (mm <sup>2</sup> )	10
Entre l'onduleur et la pompe immergée	Courant maximal $I_{max}$	7,28
	Chute de tension maximale $\Delta U_{max}$	0,30
	Longueur (m)	10
	Section (mm <sup>2</sup> )	10

C-----

### C----- Calcul du courant maximal par Fortran

C-----

```

write(*,*) '    Choix de la section du câble          '
write(*,*) '-----'
write(*,*) '          '
write(*,*) 'entrer deltaU (0.3 V) et la longueur du cable (5m) '
read(*,*) deltaU,XL
XI1=13.64
TR1=deltaU/(XL*XI1)
XI2=Ec/(9*220)
TR2=deltaU/(2*XL*XI2)
write(7,*) TR1,TR2
if(TR1.GE.0.0039.AND.TR2.GE.0.0039) then

```

```

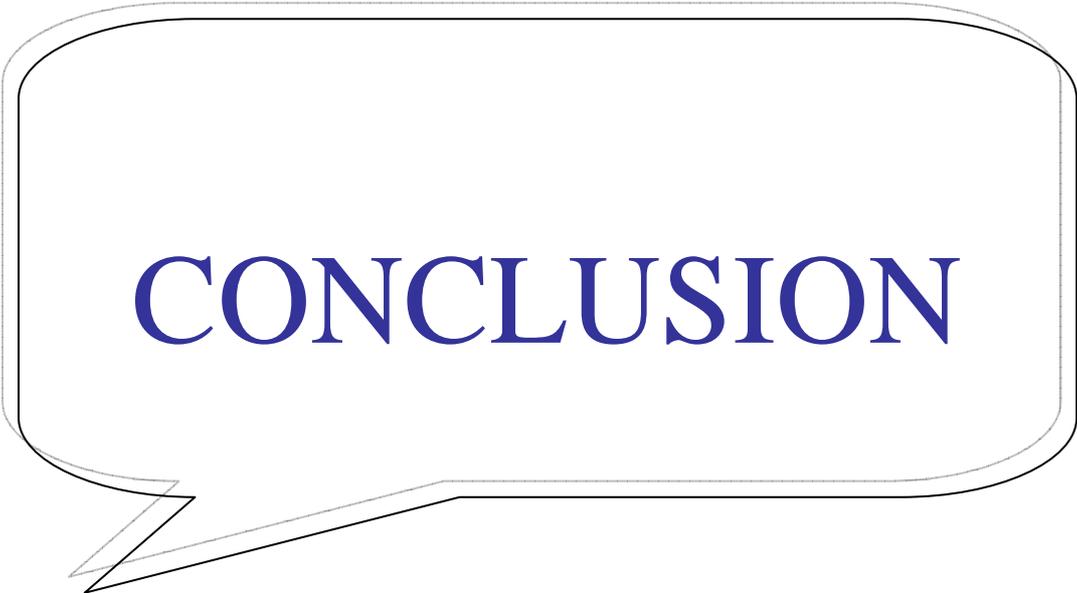
write(*,46)
46 format(/1(72x/),
*1X,' section du cable Panneaux-regulateur = 10 mm2/
*1X,' section du cable regulateur-pompe = 10 mm2/
*72X)
else
write(7,*) 'ERROR 1'
endif
end

```

#### **V.4. Récapitulatif des composants du système :**

*Tableau 18: Récapitulatif des composants du système*

Sous-système	Equipements	Quantité
Hydroélectrique	Micro-turbine hydroélectrique type micro Integrated (XJ)	1
	Boitier de connexion électrique	1
Photovoltaïque	Pompe immergée SPENTA SPI4-25	1
	Onduleur de pompe IVW	1
	Sonde de niveau D'eau	1
	Panneaux solaires 180Wc	32
	Câbles type H07RNF	15m
	Tuyau en polyéthylène souple 40 mm	30m
Hydraulique	Tuyau PVC 60mm + 2 coudes	22m
Génie civil	Réservoir surélevé en béton 100m <sup>3</sup>	1
	Réservoir souterrain en béton	1



**CONCLUSION**

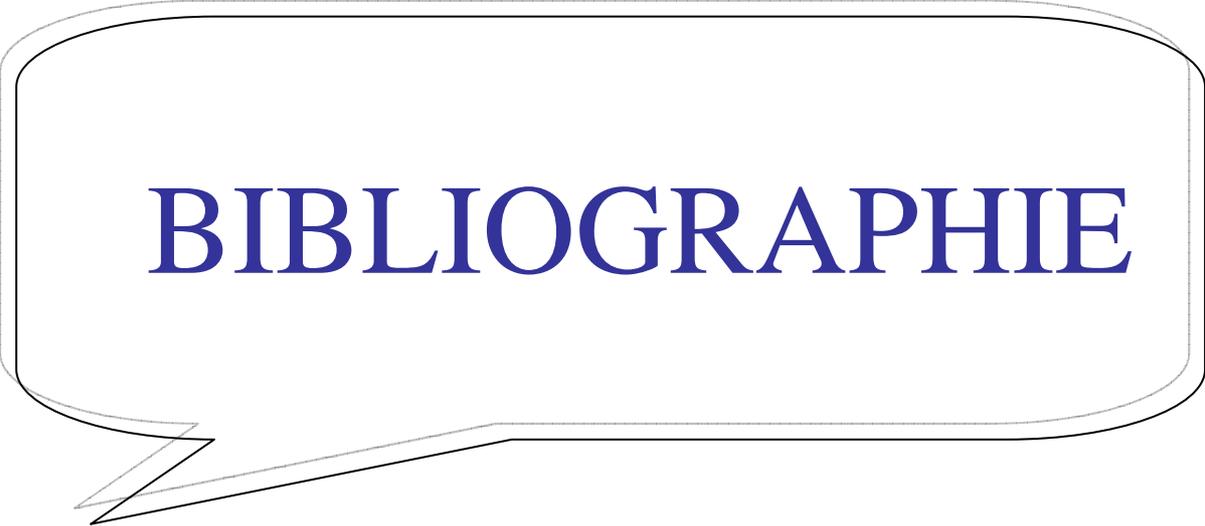
# Conclusion

On a étudié dans ce travail une combinaison de deux sources d'énergie : le photovoltaïque et l'hydroélectrique.

Le stockage de l'énergie représente un enjeu majeur pour permettre une meilleure pénétration des énergies renouvelables intermittentes tel que le photovoltaïque. Couplé une production PV avec du stockage hydraulique gravitaire offre de réelles possibilités de lisser la production et répondre au mieux aux appels de charge sur le réseau électrique. L'étude approfondie de ce type d'installations s'inscrit dans l'objectif de recherches sur les énergies et d'autosuffisance énergétique.

Cependant, aujourd'hui, la production PV couplée au stockage hydraulique gravitaire ne se révèle pas rentable pour se substituer aux moyens de production électrique actuels. Les résultats des études de faisabilité témoignent de l'investissement trop élevé à consentir pour mettre en place de telles installations à l'échelle nationale. C'est surtout l'implantation sur un site isolé sans aucun élément de relief qui fait augmenter la note, parce que le prix du génie civil devient vite exorbitant. Les centrales PV classiques offrent des rendements de production beaucoup plus intéressants et des investissements faibles.

Mais l'associé de l'hydroélectrique, à une autre énergie propre, il devient un vrai modèle de production d'énergie verte. Au vu des échecs des récents sommets sur l'écologie, ce paramètre doit être de plus en plus intégré dans le choix, la conception et l'installation des systèmes d'énergie.



# BIBLIOGRAPHIE

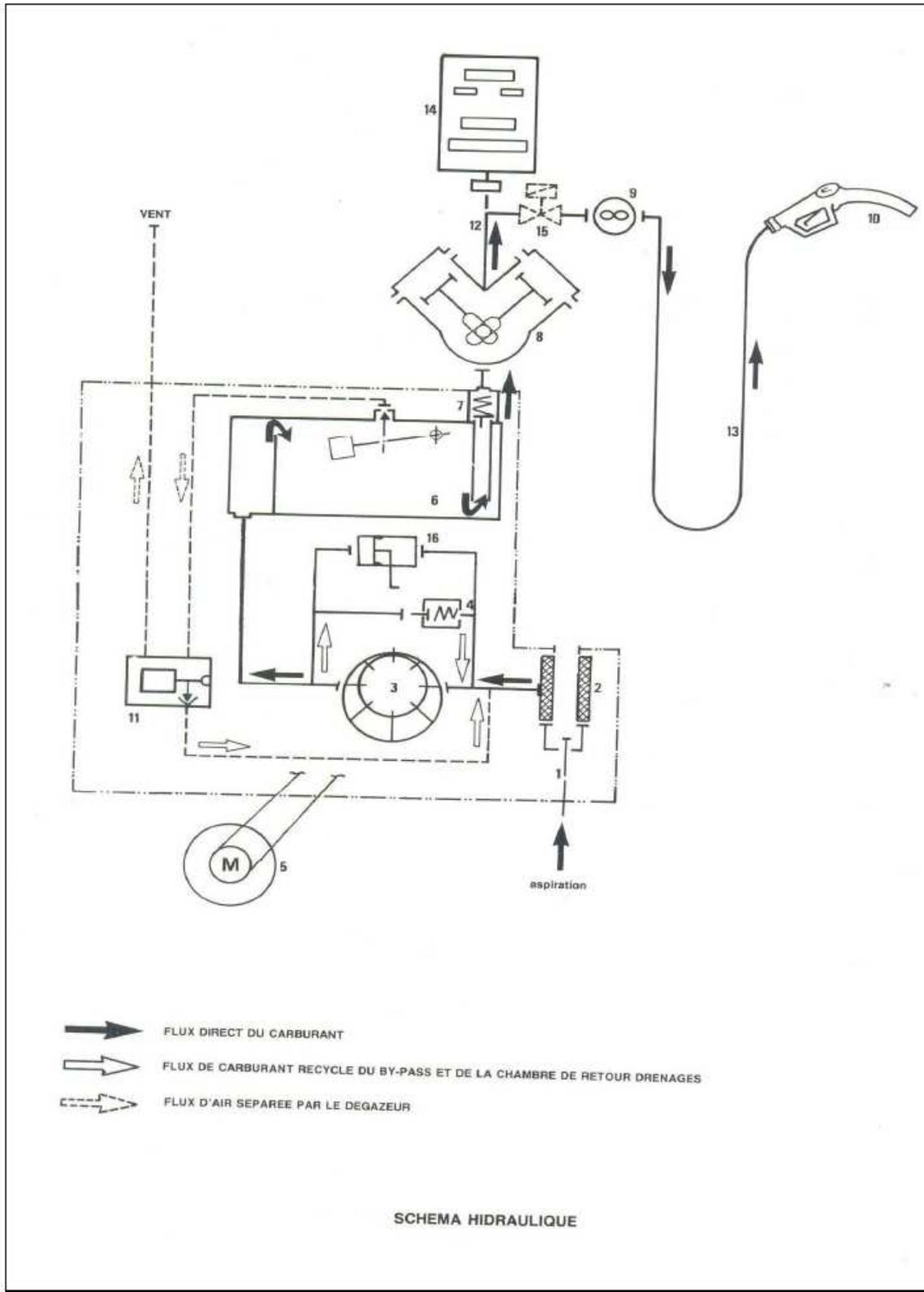
# Bibliographie

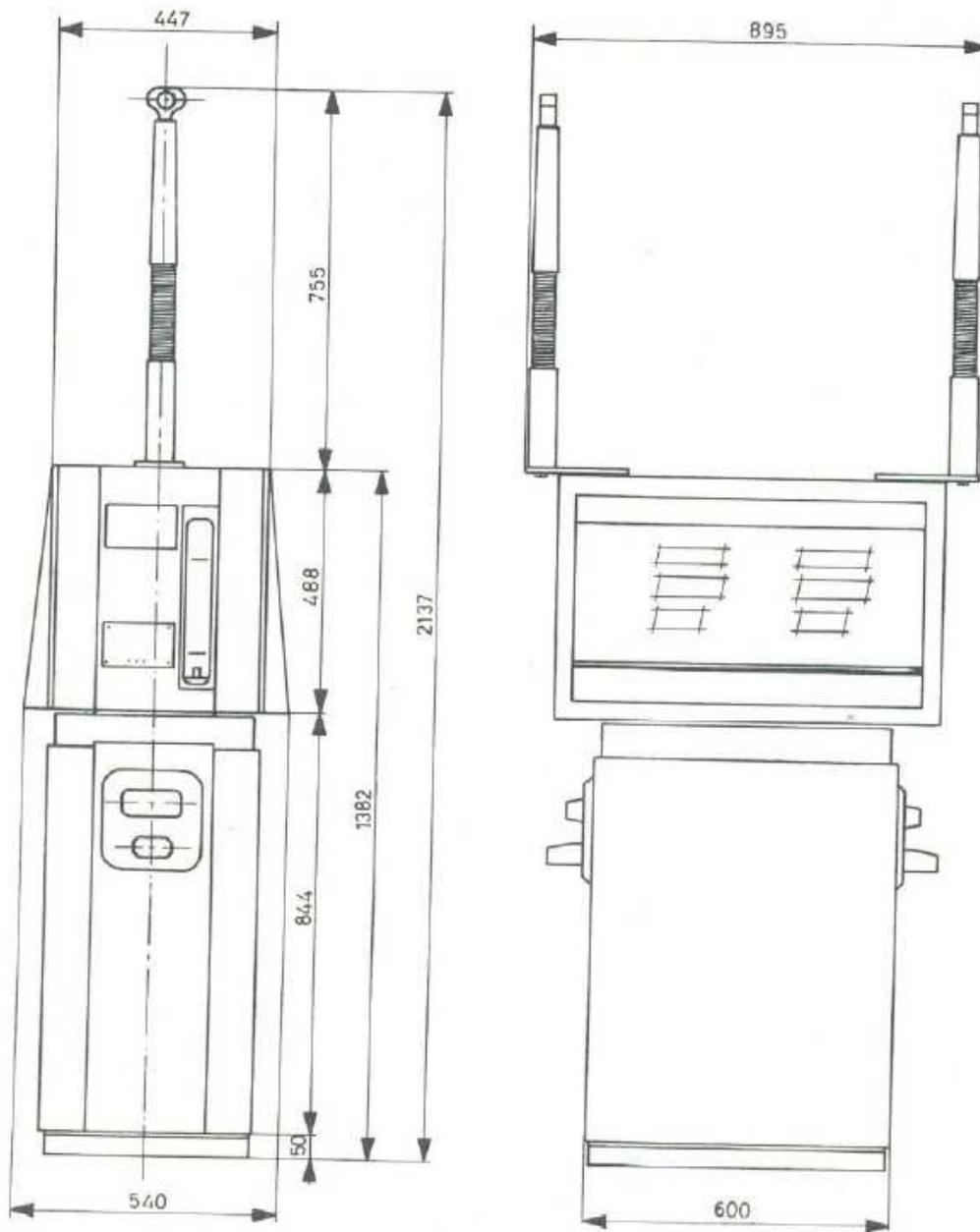
- 1- Cours des machines (ventilateurs, soufflantes et compresseurs centrifuges Et axiaux) ----- **PROFESSEUR MARCEL SEDILLE.**
- 2- Machine hydraulique et compresseurs..... **MOHAMED TAIBI 10-1993.**
- 3- “Development of a clean stand-alone power system integrating PV, fuel cell and electrolyser” Proceedings of the Photovoltaic Hybrid Power Systems conference, Aix en Provence, 7-9 September, Session I, Oral n°5, 2000..... **S. Busquet, D. Mayer, R. Metkemeijer.**
- 4- Le stockage de l'énergie dans les applications stationnaires..... **HAMID BEN AHMED, BERNARD MULTON, GAËL ROBIN, MARIE RUELLAN, Revue Technologie, N° 136, Février-Mars 2005.**
- 5- Stockage de l'énergie électrique : état de l'art..... **Bernard MULTON, Gaël ROBIN, Marie RUELLAN, Hamid BEN AHMED ,2 ème Rencontre Université-Entreprise « Energie Electrique : besoins, enjeux, technologies et applications » ,26 au 29 avril 2005 - R&D Maroc Casablanca.**
- 6- Photovoltaics systems; a buyer's guide.....**Natural Resources Canada, Renewable and electrical energy Division, 580 Booth Street, 17th floor Ottawa, Ont. KIA OE4. ISBN0-662-31120-5.**
- 7- LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE.....**IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA/ Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, par Jimmy Royer ,Thomas Djiako ,Eric Schiller, Bocar Sada Sy Sous la direction de Eric Schiller.**
- 8- Le stockage hydraulique gravitaire et la production hydroélectrique sur les pentes réunionnaises..... **Etude du stockage de l'énergie photovoltaïque, Rédacteur : Cédric FERLAT Vérificateur : Audrey ROUSSEAU Date : 25 Septembre 2009 Diffusion : Agence Régionale Energie Réunion (ARER).**
- 9- Cours des pompes et compresseurs.....**Mr T, HACHEMIE / I.N.H UNIVERSITE DE BOUMERDES.**
- 10- Turbomachines (théorie générale)..... **JAN KRYSINKI/OPU 1994.**

- 11- Les machines transformatrice d'énergie \* **tome 2** \*.....**G. LEMASSON.**
- 12- Gamme maintenance volucompteur N. PIGNONE ET EN. AMC.....  
.....**Documentation NAFTAL**
- 13- Petites centrales hydrauliques : Le choix, le dimensionnement et les essais de réception d'une miniturbine.....**Programme d'action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles, F. Heer, ingénieur EPFL, 1450 Ste-Croix, J.-M. Chapallaz, ingénieur EPFL/SIA1450 Ste-Croix**
- 14- [www. .sheminnovations.com](http://www.sheminnovations.com)
- 15- [fr.made-in-china.com](http://fr.made-in-china.com)
- 16- [www.gepowercontrols.com](http://www.gepowercontrols.com)
- 17- <http://www.powerpal.com/> PowerPal Electricity from Water with Mini Hydroelectric Generator , Property of Asian Phoenix Resources Ltd
- 18- <http://www.retscreen.net/>



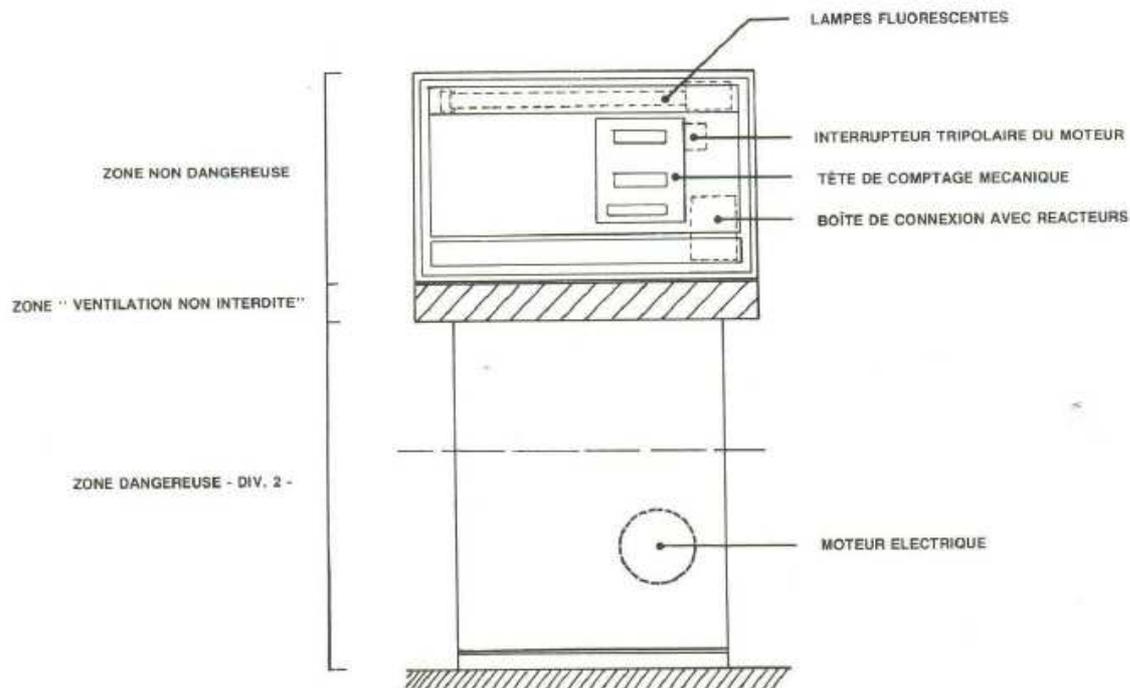
# ANNEXES



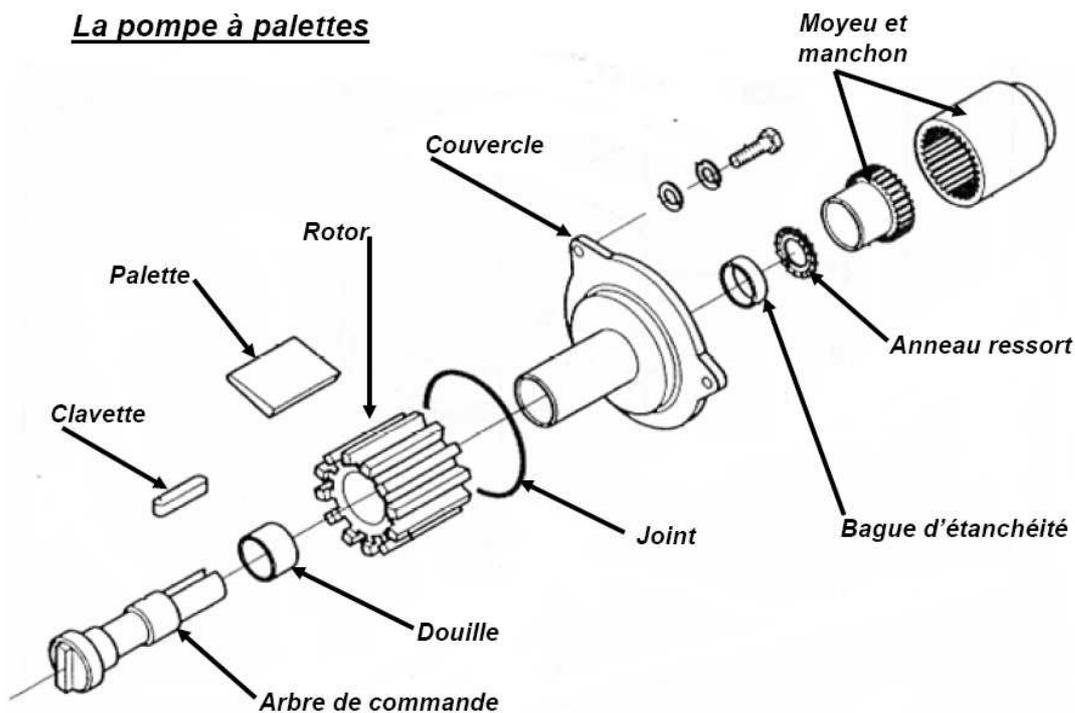


SERIE	Poids net	Poids brut
DPC 050 GM1	150	171
DPC 050 GM2	225	246
DPC 090 GM1	150	171
DPC 090 GM2	225	246

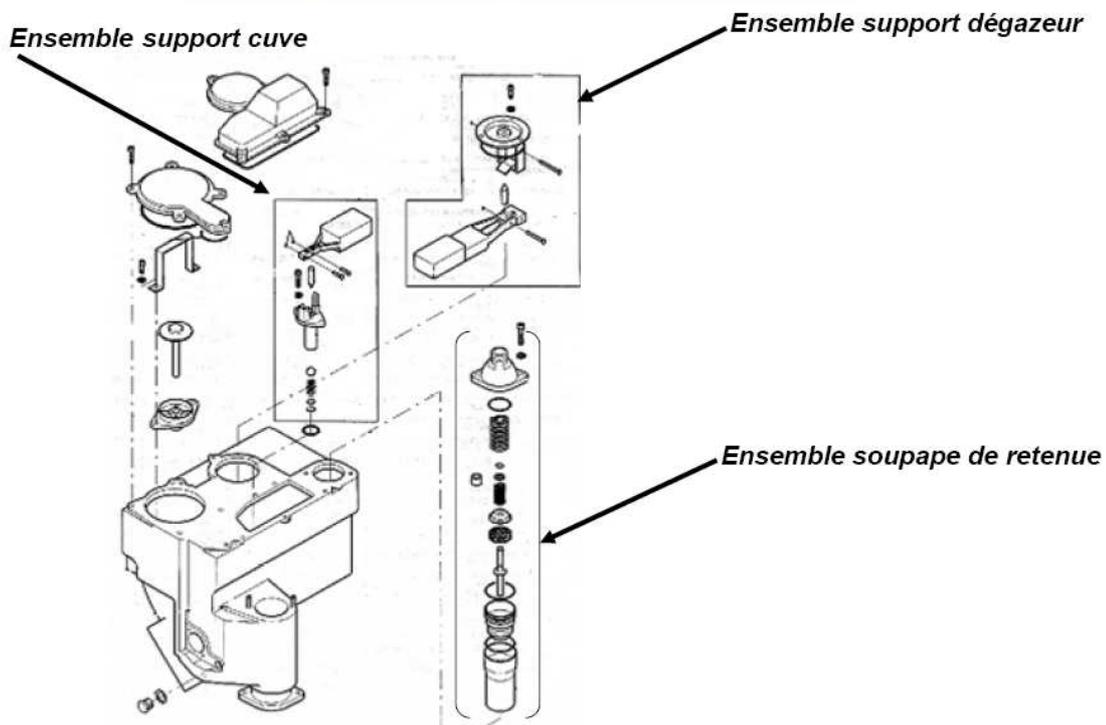
DIMENSIONS D'ENCOMBREMENT



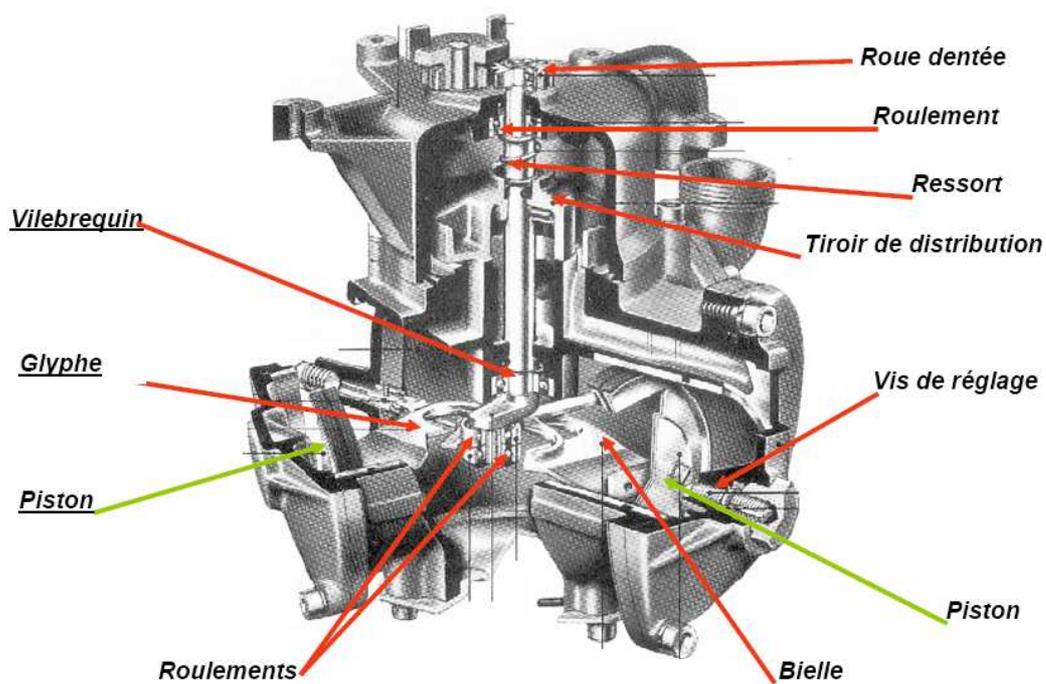
**La pompe à palettes**



Un groupe de pompage et ses accessoires



Coupe d'un Mesureur



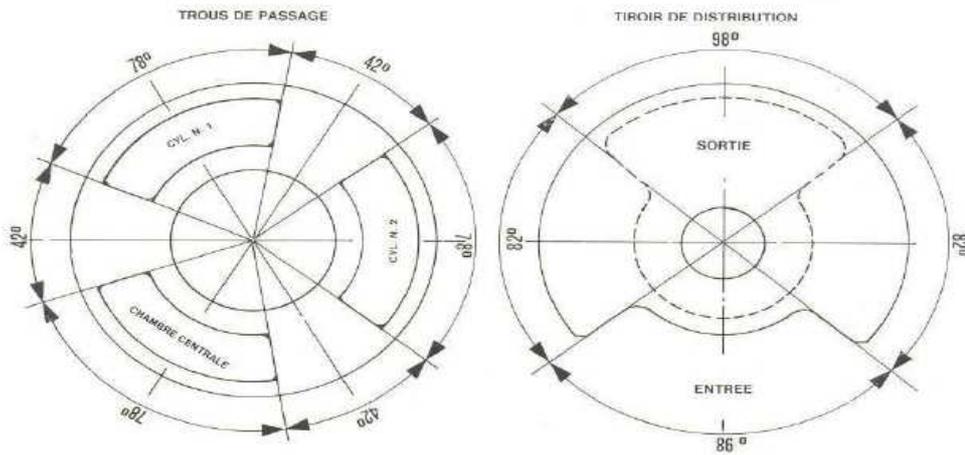
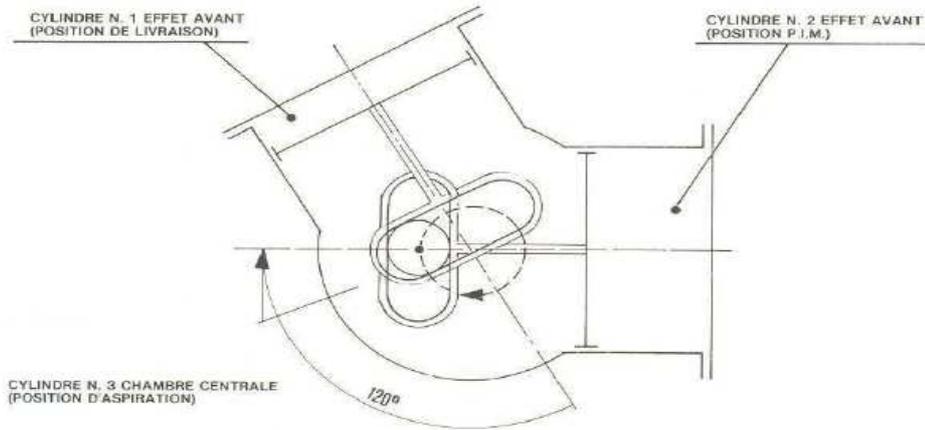
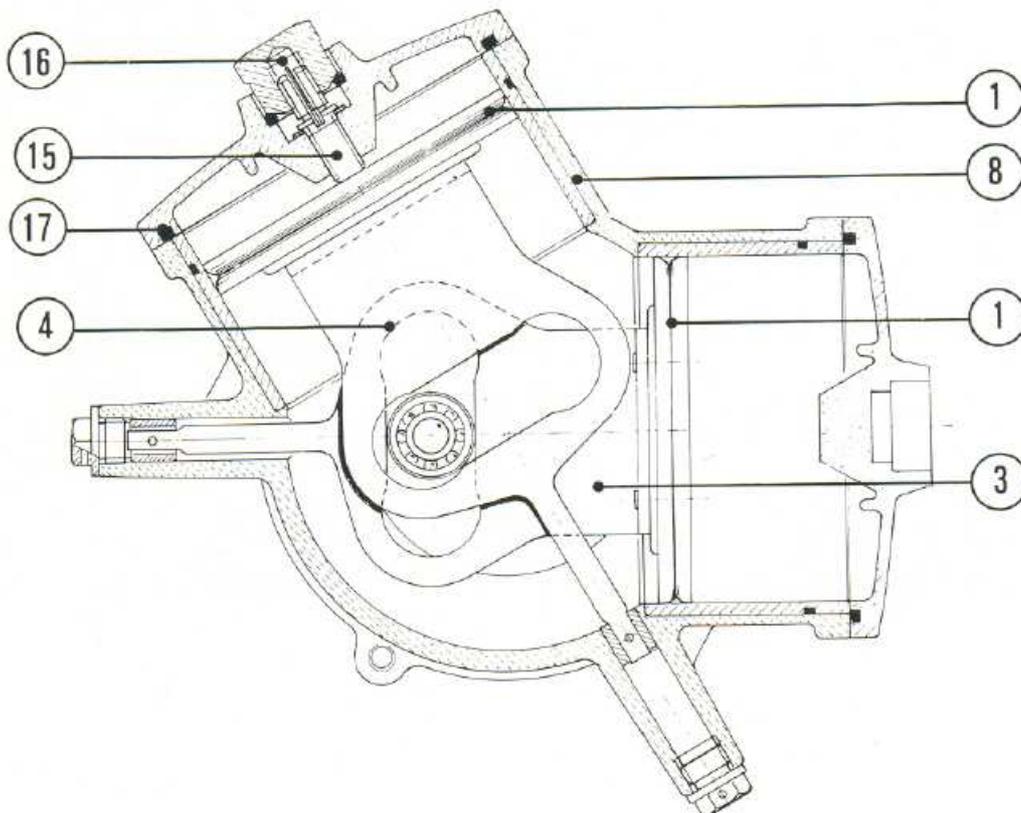


DIAGRAMME DE TRAVAIL

**REGLAGE MESUREURS****Modèle NP 1000 pour DPC**

Desceller le plombage de la vis de réglage, enlever le bouchon de fermeture, tirer un petit peu la clavette (16) vers l'extérieur pour permettre la rotation de la vis de réglage (15).

A l'aide de la clavette et en tournant la vis d'un cran dans le sens des aiguilles d'une montre on diminue le volume débité de 1 cm<sup>3</sup>, une manoeuvre contraire à la précédente permet d'augmenter le volume débité de 1 cm<sup>3</sup>





## POMPE SOLAIRE IMMERGÉE PSI4-25

### Caractéristiques techniques

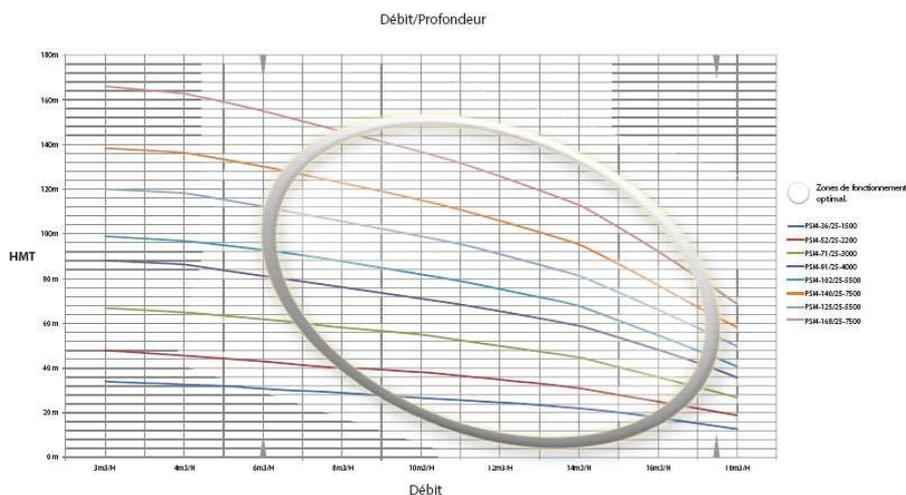


Type	PSI4-36/25-1500	PSI4-52/25-1500	PSI4-71/25-1500	PSI4-91/25-1500	PSI4-102/25-1500	PSI4-140/25-1500	PSI4-125/25-1500	PSI4-168/25-1500
Débit maximum (m <sup>3</sup> /h)	25	25	25	25	25	25	25	25
HMT maximale (m)	36	52	71	91	102	140	125	168
Puissance (kW)	1,5	2,2	3	4	5,5	5,5	7,5	7,5
Voltage moteur (V)	220	220	380	380	380	380	380	380
Plage de voltage PV (V)	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140	100-1140
Poids (kg)	21	26	30	34	38	40	47	50
Longueur pompe (cm)	100,5	117,5	148,0	180,5	202,5	222,0	249,5	275,5
Diamètre pompe (cm)	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Diamètre sortie (pouces)	2	2	2	2	2	2	2	2
Type de turbine	Centrifuge inox	Centrifuge inox	Centrifuge inox	Centrifuge inox				
Nombre de turbine	5	7	10	13	15	18	21	25

### COURBE DE PERFORMANCES

Ce graphique vous permet de choisir la pompe la plus adaptée à vos besoins. Pour chaque pompe, le débit est indiqué en fonction de la profondeur pour une puissance égale à celle de la pompe.

HMT : hauteur manométrique totale d'une pompe. Différence de pression du liquide la franchissant, exprimée en mètre.





## POMPE SOLAIRE IMMERGÉE PSI4-25



PSI4-25 m<sup>3</sup>/h de HMT 36 à 168 mètres

### En bref

- Pompes centrifuges en acier inoxydable
- Débit maximal, 25 m<sup>3</sup>/h
- HMT maximale, 168 m
- Contrôleur MPPT (Maximum power point tracking)
- Moteur Brushless ou sans balai à aimant permanent
- Robustesse et performance exceptionnelles
- Entretien et maintenance réduits
- Rendement énergétique de 86%
- Puissance PV de 1 500 à 7 500 Watts
- Garantie 3 ans

La société SPENTA est spécialisée depuis 1998 dans la conception et la fabrication de moteurs électriques sans balai et à aimant permanent. Les pompes solaires immergées SPENTA sont le fruit de travaux de recherche d'ingénieurs français initiés par le groupe dès sa création.

Les pompes SPENTA sont fabriquées à partir d'acier inoxydable de haute qualité. Ce choix de matériau haut de gamme leur confère une résistance prolongée à l'immersion, de l'ordre de 10 à 15 ans selon les qualités d'eau. La gamme de pompes solaires SPENTA est sans équivalent sur le marché. Elle permet de répondre à toutes les combinaisons de hauteur manométrique et de quantité d'eau souhaitée.

Les pompes solaires SPENTA PSI 4 sont constituées d'un corps de 10 cm de diamètre et pourvues d'une sortie de 3 pouces (50 mm). La gamme PSI 6 permet d'obtenir un débit maximal de 25 m<sup>3</sup> par heure. Cinq références de pompes constituent la gamme et permettent le pompage, au fil du soleil, jusqu'à une HMT de 168 m. Les puissances photovoltaïques à mettre en œuvre sont comprises entre 1,5 et 7,5 kWc.

Les contrôleurs associés aux pompes solaires SPENTA bénéficient des dernières avancées technologiques en matière d'électronique de puissance. Ils intègrent notamment la fonction SPPM (Suivi de Point de Puissance Maximal, MPPT en anglais) qui permet d'optimiser le rendement du générateur photovoltaïque.

La conception des contrôleurs SPENTA permet un rendement énergétique du système de 86%.

**La robustesse et les performances des pompes solaires SPENTA sont reconnues sur plusieurs continents depuis 15 ans. Les pompes SPENTA sont couvertes par une garantie usine de 3 ans.**

**Plus de 50 types de pompes solaires constituent la gamme SPENTA et permettent de répondre à toutes les applications domestiques et agricoles du marché marocain.**

- Irrigation goutte à goutte de surfaces agricoles et abreuvement
- Alimentation en eau de villages isolés, d'écoles et de dispensaires ruraux, de bivouacs sahariens et bases de vie ...
- Alimentation en eau de projets de construction en zones non électrifiées
- Alimentation en eau d'habitations individuelles, de structures hôtelières et touristiques
- Circulation des eaux de piscine

Au-delà de la fourniture d'une solution de pompage photovoltaïque aboutie, SHEMS innovations porte également un regard sur la gestion de l'eau de votre projet. Notre expertise et nos solutions sont toutes orientées vers une gestion rationnelle de la ressource en eau, vers l'optimisation des systèmes et vers la réduction des coûts d'exploitation.



La figure représente la variation des irradiations journalières sur un plan orienté au plein sud et incliné à latitude (27,53°).

