



**DSPACE**

<https://dspace.org/>

**Etude et dimensionnement d'un système de pompage automatisé à énergie solaire pour l'alimentation en eau potable de la colline Gomvyi en Commune Mutambu**

**Habonimana, Jean Claude; Ntirampeba, Félix; Sous la direction du ; Ir. Mugabonihera Jean Pierre; Ir. Niyonzima, Denis**

**2014-04**

UB, ITS

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2327>

**UNIVERSITE DU BURUNDI**

**INSTITUT TECHNIQUE SUPERIEUR  
DEPARTEMENT DU GENIE ELECTROMECHANIQUE**



**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE POMPAGE  
AUTOMATISE A ENERGIE SOLAIRE POUR L'ALIMENTATION EN  
EAU POTABLE DE LA COLLINE GOMVVI EN COMMUNE  
MUTAMBU.**

**Par:**

HABONIMANA Jean-Claude

&

NTIRAMPEBA Félix

**Sous la Direction :**

Directeur : Ir. MUGABONIHERA

Jean Pierre

Co-Directeur : Ir. NIYONZIMA Denis

Projet de fin d'études présenté et

défendu publiquement en vue

d'obtention du diplôme d'Ingénieur

Industriel en Génie Electromécanique

**Bujumbura, Avril 2014**

**DEDICACES**

A Dieu Tout Puissant ;

A mon regretté père ;

A ma chère mère ;

A mes frères et soeurs;

A mes cousins et cousines ;

A mon collègue NTIRAMPEBA Félix ;

A tous ceux qui me sont chers ;

Je dédie ce travail !

**HABONIMANA Jean-Claude**

A Dieu Tout Puissant ;

A mon cher père ;

A ma chère mère ;

A mes frères et sœurs;

A tous mes amis sincères et honnêtes ;

A mon collègue Jean- Claude HABONIMANA ;

A tous ceux qui me sont chers ;

Je dédie ce travail !

**NTIRAMPEBA Félix**

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à rendre gloire à le Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a guidé tout au long de notre vie estudiantine, qui nous a instruit dès notre jeunesse et nous a permis d'arriver aussi loin dans nos études. Certes, l'aboutissement de ce travail a été possible grâce aux efforts de plusieurs personnes que nous aimerions remercier du fond du cœur .

Ainsi, nos sentiments de gratitude vont spécialement à nos parents qui nous ont montré le chemin de l'école et qui nous ont soutenus matériellement et moralement durant notre scolarité. Que ce travail puisse être pour eux et pour toujours, le signe de notre attachement.

Nous avons l'honneur et le plaisir d'exprimer notre profonde gratitude aux Ingénieurs Jean Pierre MUGABONIHERA et Denis NIYONZIMA respectivement Directeur et Co-Directeur du présent travail, qui ont investi à la fois leur temps et leurs talents sans se lasser malgré leurs multiples responsabilités tant professionnelles que privées ; leur accompagnement nous a beaucoup aidé pour parvenir au bout de ce travail . Qu'ils trouvent ici l'assurance de notre profonde gratitude.

Nos sentiments de reconnaissance sont aussi adressés à tous les enseignants et professeurs depuis l'école primaire jusqu'à l'université et plus particulièrement à ceux du Département de Génie Electromécanique, pour la formation tant morale que scientifique dont ils nous ont dotée. Nous espérons que la formation reçue nous permettra d'affronter le monde du travail avec sérénité. Qu'ils trouvent ici le couronnement de leurs efforts.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux personnels de la REGIDESO, de l' IGEBU, et de l'administration de la commune MUTAMBU pour nous avoir donné l'accès à certains précieux documents.

En fin, à toute la communauté de l'université du Burundi et en particulier celle du campus KIRIRI avec qui, nous avons partagé peines et joies et à tout ceux qui de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce projet de fin d'étude.

A tous, nous disons sincèrement merci.

**LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

BFF	: Bornes Fontaines Fonctionnelles
BFNF	: Bornes Fontaines Non Fonctionnelles
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
IGEBU	: Institut Géographique du Burundi
MLI	: Modulation en Largeur d'Impulsion
MPPT	: <i>Maximum Point Power Tracking</i>
NPSH	: <i>Net Position Section Head</i>
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PCDC	: Plan Communal pour le Développement Communautaire
PV	: Photovoltaïque
PWM	: <i>Pulse Width Modulation</i>
SAF	: Sources Aménagées Fonctionnelles
SANF	: Sources Aménagées Non Fonctionnelle
UVA	: Ultra Violet Ttype A
UVB	: Ultraviolet type B
UVC	: Ultra Violet Cosmique

## LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1. Différentes sources à aménager.....	3
Tableau 2 : Rendement d'une pompe centrifuge.....	24
Tableau 3 : Performances hydrauliques à 50 Hz, 2 Pôles.....	28
Tableau 4 :Moteurs triphasés 50 Hz, 2 Pôles.....	29
Tableau 5: Moyenne mensuelle du rayonnement.....	40
Tableau 6 : Principales ondes connues avec leurs longueurs d'ondes et leurs fréquences.....	42
Tableau 7 : Types de batteries Plomb/Acide utilisables pour les applications....	58
Tableau 8: Avantages et inconvénients des batteries.....	59
Tableau 9 : Performance des lampes à économie d'énergie par rapport aux lampes courantes.....	73
Tableau 10: Récapitulatif pour l'éclairage.....	75
Tableau 11: Récapitulatif pour l'alimentation des autres charges.....	76
Tableau 12 : Caractéristiques des panneaux solaires.....	77
Tableau 13 : Détermination de la section de câbles en fonction de puissance .	82
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des besoins l'an 2014.....	90

## LISTES DES SCHEMAS

Schéma 1: Fonctionnement d'une pompe alternative : Cas d'une pompe à piston .....	6
Schéma 2 : Diagramme de plage d'utilisation des pompes volumétriques et les turbopompes .....	7
Schéma 3 : Constitution d'une turbopompe .....	8
Schéma 4 : Pompe centrifuge monocellulaire .....	10
Schéma 5: Différentes parties d'une pompe centrifuge .....	10
Schéma 6 : Différentes formes de roues de turbopompes.....	11
Schéma 7 : Différentes courbes caractéristiques des types des pompes en fonction du débit .....	12
Schéma 8 : Montage en charge.....	16
Schéma 9 : Montage en aspiration.....	16
Schéma 10 : Hauteur géométrique d'élevation.....	19
Schéma 11 : Station de pompage en amont.....	20
Schéma 12 : Electropompes multicellulaires verticales avec moteur haut rendement .....	25
Schéma 13 : Caractéristiques de fonctionnement à 50 Hz, 2 Pôles .....	26
Schéma 14 : Plage des performances hydraulique à 50 Hz, 2 Pôles .....	27
Schéma 15: Plaques rectangulaires soudées en croix sur l'arbre du moteur .....	33
Schéma 16 : Fonctionnement de la commande automatique.....	34
Schéma 17 : Schéma de Puissance .....	36
Schéma 18 : Schéma de commande.....	37
Schéma 19 : Classification des rayons solaires .....	41
Schéma 20 : Réflexion des rayons solaires et l'angle d'incidence.....	43
Schéma 21 : Rayonnement extraterrestre (moy. $1367\text{W/m}^2$ ).....	44
Schéma 22 : Répartition spectrale du rayonnement solaire .....	45
Schéma 23 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque .....	49
Schéma 24 : Association des cellules en série .....	51

Schéma 25 :Protection des cellules en série .....	52
Schéma 26 : Association des cellules en parallèle .....	53
Schéma 27 : Protéction des cellules en parallèle .....	53
Schéma 28 : Courbe caractéristique de charge et décharge d'une batterie d'accumulateurs .....	60
Schéma 29 : Petit schéma de montage de système Photovoltaïque .....	65
Schéma 30 : Pompage au fil du soleil .....	67
Schéma 31 : Pompage avec batterie d'accumulateurs.....	68
Schéma 32 : Pompage mixte.....	69
Schéma 33 : Plan utile.....	71
Schéma 34 : Installation des modules solaires pour le pompage .....	86
Schéma 35 : Schéma simplifié d'installation de la station de pompage étudiée .	88

## RESUME

L'objectif de notre projet est de porter une étude et de dimensionner un système de pompage capable de refouler l'eau potable depuis les vallées de la colline Gomvyi jusqu'au sommet de la dite colline pour servir la population qui vit un problème de manque d'eau potable.

Le système automatique permet à la pompe de fonctionner de façon permanente sans intervention d'opérateur, ce qui réduit sensiblement le nombre des opérateurs ainsi que l'économie de l'énergie alimentant cette pompe.

L'énergie utilisée pour faire fonctionner ce système est obtenue grâce aux systèmes photovoltaïques non polluant. L'avantage majeur de ce système de pompage est qu'une fois installé, il ne nécessite pas beaucoup de moyens liés à la maintenance.

## **TABLES DES MATIERES**

<b>DEDICACES.....</b>	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTES DES TABLEAUX .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTES DES SCHEMAS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>vii</b>
<b>TABLES DES MATIERES .....</b>	<b>vii</b>

## **CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE ..... 1**

I .1. Situation géographique du site .....	2
I .2. Climat.....	2
I .3 . Secteur Hydraulique.....	2

## **CHAPITRE II : ETUDE DES POMPES ..... 4**

II .1. Notion de base sur les pompes.....	4
II. 1.1. Introduction.....	4
II .1. 2. Les différents types de pompes.....	5
II.1.2.1. Les turbopompes.....	5
II.1.2.2. Les pompes volumétriques .....	6
II .1.3. Conclusion .....	7
II.1.4. Description et Classification des turbopompes .....	8
II.1.4.1. Description.....	8
II .1.4.2. Classification.....	9
II.1.4.3. Les pompes centrifuges .....	9
II. 1.4.4. Les pompes à hélices .....	11

II.1.4.5. Les pompes hélico- centrifuges .....	11
II.1.5. Courbes caractéristiques des pompes .....	12
II.1.5.1. Courbes débit-hauteur ; $H=F[Q]$ .....	13
II.1.5.2. Courbes de rendement ; $\eta =F[Q]$ .....	13
II.1.5.3. Courbes NPSH ; $NSPH=F[Q]$ .....	13
II.1.5.4. Courbes des puissances absorbées ; $P=F[Q]$ .....	13
II.1.6. Le phénomène de cavitation .....	14
II .1.7. Amorçage d'une pompe.....	16
II .2. Calcul des éléments de base de la pompe en étude .....	16
II .2.1. Estimation des besoins journalières.....	16
II .2.2. Détermination du diamètre économique et du débit.....	18
II .2.3. Détermination de la vitesse d'écoulement.....	18
II .2.4. Hauteur géométrique d 'élévation.....	18
II .2.5. Hauteur d'aspiration .....	19
II .2.6. Détermation de la hauteur manométrique.....	20
II.3. Choix de la pompe .....	23
II.3.1. Les facteurs qui influencent le choix de la pompe .....	23
II.3.2. La capacité de la pompe.....	23
II.3.3. Détermination de la puissance .....	23
II.3.3.1. Puissance absorbée par la pompe .....	23
II .3.3.2. Puissance du moteur d'entraînement.....	24

## **CHAPITRE III. SYSTEME DE CONTROLE AUTOMATIQUE DE STATION DE POMPAGE.....30**

III.1. But Principal .....	30
III. 2. Généralités sur les détecteurs de niveaux.....	31
II.3. Les principaux types de détecteurs de niveau et leur fonctionnement .....	31
III. 4. Choix de type de détection .....	34
III .5. Principe de fonctionnement de la commande automatique de station de pompage .....	34
III. 6. La commande manuel.....	35

III .7. Schéma électrique de puissance et de commande d'une station de pompage .....	36
III.7.1. Analyse du fonctionnement du circuit de puissance .....	37
III .7.2. Analyse du fonctionnement du circuit de commande .....	38
<b>CHAPITRE IV : ENERGIE SOLAIRE ET SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE.....</b>	<b>39</b>
IV .1. Energie solaire.....	39
IV.1.1. Introduction générale.....	39
IV.1.2. Ensoleillement.....	39
IV.2. Rayonnement solaire .....	40
IV 2.1. Définition.....	40
IV.2.2. Classification des rayons solaires.....	41
IV.2.3. Aspect lumineux et énergétique du soleil .....	42
IV.2.4. Intensité du rayonnement solaire sur une paroi .....	42
IV.2. 4.1. La composante directe.....	43
IV.2.4. 2. La composante diffuse .....	43
IV.2.4.3. La composante réfléchie.....	44
IV.2.5. Puissance du Rayonnement Solaire à la Surface du Soleil .....	45
IV.2.6. Rayonnement solaire global et la constante solaire .....	46
IV.3. Système photovoltaïque .....	47
IV.3.1. Définition et composition du système photovoltaïque.....	47
IV.3.2. Les panneaux solaires.....	47
IV.3.2.1. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	48
IV.3.2.2. Energie disponible aux bornes d'une cellule .....	49
IV.3.2.3. Rendement d'une cellule photovoltaïque.....	49
IV.3.2.4. Les différents types de cellules à base de silicium.....	50
IV.3.3. Association des photopiles.....	51
IV.3.3.1. But de l'association des photopiles.....	51
IV.3.3.2. Association des cellules en série.....	51
IV.3.3.3. Association de cellules photovoltaïque en parallèle .....	52
IV.3.3.4. Association mixte des cellules photovoltaïques.....	54

IV.3.4. Puissance Crête d'un Module Photovoltaïque .....	54
IV.4. Batteries d'accumulateurs .....	55
IV.4.1. Rôle des batteries d'accumulateurs.....	55
IV.4.2 Batteries solaires .....	55
IV.4.3. Principales caractéristiques des batteries d'accumulateurs.....	56
IV.4.4. Principaux types de batteries utilisables dans le système solaire .....	57
IV.4.4.1. Batteries acides-plomb (Pb/PbSO <sub>4</sub> ) .....	57
IV.4.4.2. Batteries Nickel/Cadmium .....	58
IV.5. Régulateur .....	60
IV.5.1. Généralités.....	60
IV.5.2. Types de régulateurs et leur fonctionnement .....	61
IV.5.2.1. Le régulateur série.....	61
IV.5.2.2. Régulateur shunt.....	61
IV.5.2.3. Régulateur de type MPPT (Maximum Point Power Tracking) .....	61
IV.5.2.4. Régulateur de type PWM (Pulse With Modulation ou MLI modulation en largeur d'Impulsion).....	62
IV.5.3. Rôle du régulateur .....	62
IV.6. Onduleur (Convertisseurs) .....	63
IV.7. Autres accessoires du système photovoltaïque .....	64

## **CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES EQUIPEMENTS SOLAIRES POUR LA STATION DE POMPAGE.....66**

V.1 : But.....	66
V.2. Détermination du Système de pompage .....	66
V.2.1. Pompage au fil du soleil .....	67
V.2.2. Pompage avec batteries d'accumulateurs.....	68
V.2.3. Système Mixte .....	68
V.2.4. Choix de la solution.....	69
V.3 . Calcul de l'éclairage .....	70
V.3.1. Détermination du flux total (F).....	70

V .3. 2. Calcul des lampes nécessaires .....	72
V .3.2.1. Eclairage à l'intérieur du station de pompage .....	73
V.3.2.2.Eclairage extérieure du station de pompage.....	75
V.3.2.3.Eclairage du champ des modules .....	75
V .3.2.4 Autres récepteurs .....	76
V.4. Dimensionnement des équipements d'éclairage .....	76
V.4.1 Calcul des modules .....	76
V .4.2. Détermination de la capacité des batteries pour l'éclairage.....	77
V .4.3. Choix du régulateur .....	78
V .4.4. Choix du convertisseur pour éclairage .....	79
V .4.5. Détermination des sections de câbles de connexions.....	80
V.5. Détermination du nombre de modules pour le pompage .....	83
V .6.Choix du convertisseur pour pompage.....	83
V. 7. Dimensionnement des câbles.....	84
V .8. Montage et protection des circuits.....	84
V. 8.1. Montage. ....	84
V.8.2. Protection du Système .....	87
<b>CHAPITRE VI: DEVIS ESTIMATIF .....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>92</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>94</b>

## CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une denrée très importante intervenant pour toute vie. Sans l'eau, il n'y a pas de vie humaine et les autres êtres vivants qui nous entourent. Heureusement notre planète terre est constituée en grande partie d'eau [75% de la planète terre est couverte d'eau].<sup>1</sup>

Cependant, cette source naturelle reste toujours mal exploitée dans la plus part des pays en voie de développement et en particulier dans notre pays le Burundi. Dans les milieux ruraux, les gens éprouvent des difficultés d'aller puiser l'eau propre dont ils ont besoin dans leur vie quotidienne [boire, prendre douche, faire la vaisselle, préparer la nourriture, etc... ] car elle se trouve dans les vallées alors qu'ils habitent sur la colline. Ils font recourt souvent aux eaux pluvieuses sale qui peuvent être recueillies sur place et qui restent en quantité insuffisante et irrégulière, ce qui cause la majorité des maladies dues à la saleté et qui peuvent causer la mort.

Pour palier à ce problème pertinent et qui fait l'objet de notre travail, nous proposons un système de pompage permettant l'extraction de cette source naturelle et son transfert jusqu'au point éventuel d'utilisation. Notre travail portera donc sur l'étude et le dimensionnement d'une machine {pompe} capable de transporter l'eau depuis les vallées de la colline Gomvyi jusqu'au sommet de cette colline pour servir à la population du village et celle environnante qui vive ce problème de manque d'eau potable.

Néanmoins, cette machine fonctionne grâce à une source d'énergie, alors que dans cette localité elle n'existe pas ,notre travail va étudier aussi une source d'électricité naturelle " inépuisable " pour alimenter cette machine ; d'où notre travail est intitulé « **ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE POMPAGE AUTOMATISE A ENERGIE SOLAIRE POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE LA COLLINE GOMVYI EN COMMUNE MUTAMBU** ».

---

<sup>1</sup> Cours de Géographie de la 7<sup>ème</sup>

### **I.1.Situation géographique du site**

La colline Gomvyi est l'une des collines de la commune Mutambu. La commune Mutambu est l'une des composantes de la Province de Bujumbura avec une superficie de 102.44 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la commune Kanyosha et Nyabiraba, au sud par la commune Muhuta. A l'Ouest par la commune Kabezi et au Sud par la commune Mukike. Par rapport à la ville de Bujumbura , la commune Mutambu est à 36 km par la voie passant par la route Gakungwe-Mubone frontalière de Kabezi. Cette distance diminue de 8 km en passant par la route Ruziba-centrale électrique de la Mugere.

### **I.2. Climat**

La commune Mutambu s'inscrit dans le cadre général national. On y connaît un climat à saison sèche qui dure 3 à 4 mois et une saison pluvieuse (humide) qui va de Septembre à Mai. Les températures diminuent avec l'augmentation de l'altitude (qui varie de 100 à 2500 m) tandis que les précipitations suivent l'allure inverse. Dans la zone située plus au Nord –Ouest, les températures atteignant 32<sup>0</sup>C pendant la journée alors qu' à Mutambu centre et les parties situées plus à l'Est, on a un climat froid avec les moyennes parfois inférieures à 18<sup>0</sup>C la journée.

### **I.3 . Secteur Hydraulique**

La question de l'eau potable pour la commune Mutambu en général constitue un problème très épineux. Comme le tableau suivant l'indique, plusieurs sources aménagées ne fonctionnent plus suite aux faibles revenus de la commune.

**Tableau 1. Différentes sources à aménager.**

Colline	Nombre de source			Nombre de borne Fontaines			Sources à aménager
	SAF	SANF	TOTAL	BFF	BFNF	TOTAL	NOMBRE
BUBANZA	4	2	6	-	-	-	8
BUGONGO	1	0	1	-	-	-	6
BUIIANDA	18	3	21	-	-	-	21
BURIMA I	2	2	4	-	-	-	7
BURIMA II	8	8	16	4	1	5	10
GAKARA	3	-	3	-	-	-	7
GOMVYI	1	19	20	-	3	3	9
MASENGA	13	3	16	-	-	-	8
MURAMBI	26	10	36	3	1	4	13
NTOBO	0	5	5	-	--	-	5
NYAKWEDEKA	2	10	12	-	-	-	11
NYANKERE	2	4	6	-	-	-	3
RUBANDA	11	12	23	-	-	-	8
RUKINGO	13	0	13	-	-	-	3
RUTOVU	23	25	48	2	3	5	22
RUVYAGIRA	1	2	3	-	-	-	2

## CHAPITRE II : ETUDE DES POMPES

### II .1. Notion de base sur les pompes

#### II. 1.1. Introduction

Les pompes hydrauliques sont des appareils conçus pour transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique. Pendant son fonctionnement, l'action mécanique de la pompe remplit deux fonctions :

- ♦ Elle crée un vide partiel à l' aspiration , ce qui permet à la pression atmosphérique régnant dans le réservoir d'obliger le liquide à monter dans la canalisation jusqu'à la pompe.
- ♦Elle assure le transport du liquide jusqu'à l'orifice de refoulement et au réservoir.

Les pompes se caractérisent par leur débit, la pression, le rendement et la vitesse.

- Le débit est la quantité de liquide qu'une pompe peut fournir par unité de temps à une vitesse d'entraînement donnée. Il s'exprime en litre par minute (l/min). Lorsqu'il y a changement de la vitesse d'entraînement , il y a modification du débit et les pompes peuvent être désignées par leur cylindrée .

La cylindrée d'une pompe représente la quantité théorique du liquide qu'elle peut débiter pendant un cycle de fonctionnement. Comme la plus part des pompes ont une commande rotative, cette cylindrée s'exprime en cm<sup>3</sup>/tr. La résistance à l'écoulement que rencontre le débit dans le circuit crée la pression.

- La pression est la force par unité de surface .

Elle s'exprime en bar. La pression établie dans un circuit influe sur le débit de la pompe ; lorsque la pression augmente, le débit diminue.

Elle est due à la diminution de la section. Cette caractéristique permet de définir un rendement.

- Le Rendement volumétrique =  $\frac{\text{Volume d'huile}}{\text{Cylindrée}}$  (2. 1)

Or la cylindrée est un volume fixé par le constructeur ; le rendement volumétrique dépend du fluide fourni au refoulement. Les pompes peuvent également se caractériser par leur rendement mécanique.

$$\text{Le rendement mécanique} = \frac{P_t}{P_f} \quad (2.2)$$

Où  $P_t$  : Puissance théorique nécessaire pour obtenir une cylindrée

$P_f$  : Puissance fournie à la pompe par jour et leur rendement total

$$\text{Le rendement total} = \text{rendement volumétrique} \times \text{rendement mécanique} \quad (2.3)$$

La vitesse nominale (c'est-à-dire la vitesse de travail pour laquelle la pompe est conçue) dépend de la masse spécifique du fluide pompé et de la dépression maximale créée par la pompe.

## II .1. 2. Les différents types de pompes

On assiste à un grand nombre de types de pompes permettant d'agir sur les différents types d'énergies à savoir l'énergie de vitesse ou énergie cinétique, énergie de pression et énergie d'altitude.

On a alors deux grands types de pompes principales :

- les turbopompes;
- les pompes volumétriques.

### II.1.2.1. Les turbopompes

Elles possèdent une roue munie d'aubes ou d'ailettes animées d'un mouvement de rotation. Elles fournissent au liquide de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en énergie de pression par réduction des vitesses. D'où son principe de fonctionnement consiste en l'augmentation du moment cinétique ou de la circulation du liquide au moyen d'une roue fixée sur un arbre tournant.

### II.1.2.2. Les pompes volumétriques

Le déplacement du fluide est dû aux transports d'un volume  $V_0$  à chaque rotation. Les pompes volumétriques ou à capacité variable sont des pompes dans lesquelles l'écoulement du fluide résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide.

On distingue deux grands types de pompes volumétriques :

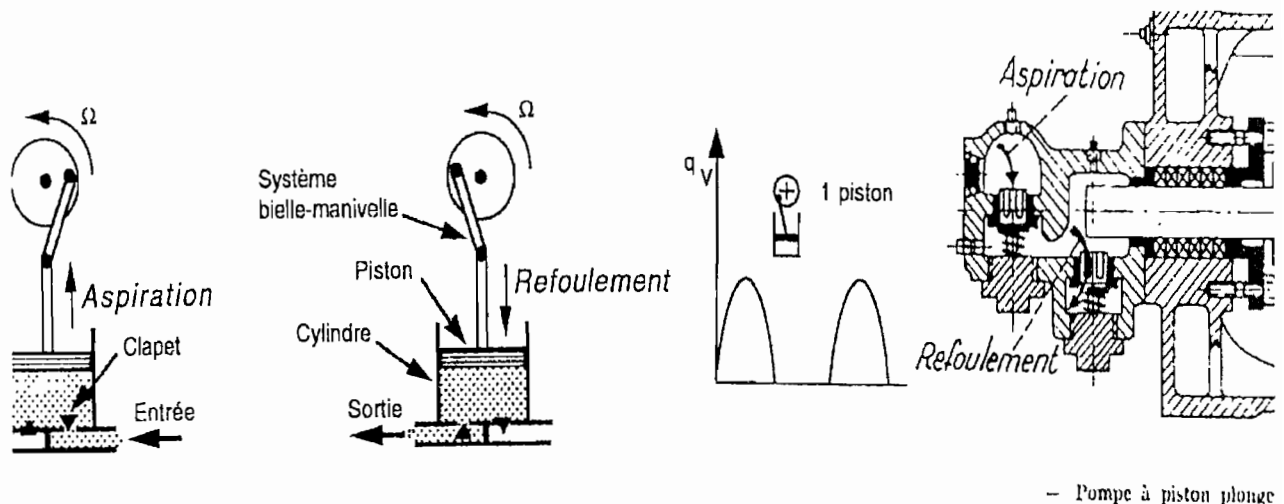
- Les pompes alternatives ;
- Les pompes rotatives.

#### a) Les pompes alternatives

Leur principe de fonctionnement consiste à assurer le déplacement d'un volume déterminé du liquide de la région d'aspiration vers la région de refoulement à l'aide d'un mécanisme bielle-manivelle qui transforme la rotation d'un arbre en translation du piston.

En principe, ces pompes assurent la circulation du liquide par des variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration.

Le Schéma suivant montre le principe de fonctionnement d'une pompe à piston.



#### Schéma 1: Fonctionnement d'une pompe alternative : Cas d'une pompe à piston

Ce type de pompes convient pour élever de faibles débits à des pressions élevées.

## b) Pompes rotatives

Le principe de fonctionnement de ce type de pompes est le suivant:

Deux rotors tournent en roulant l'un sur l'autre sans glisser pour éviter les frottements et déplacent un volume de fluide.

Il existe différentes pompes rotatives:

- Pompes à engrenages ;
- Pompes à lobes ;
- Pompes à vis ;
- Pompes à rotor hélicoïdal excentré ;
- Pompes à palettes rigides ou souples ;
- Pompes péristaltiques.

Elles conviennent au pompage des liquides très visqueux.

### II .1.3. Conclusion

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide, on utilisera plutôt les pompes volumétriques ; tandis que si on veut augmenter le débit, on utilisera plutôt les pompes centrifuges comme le montre le diagramme suivant.

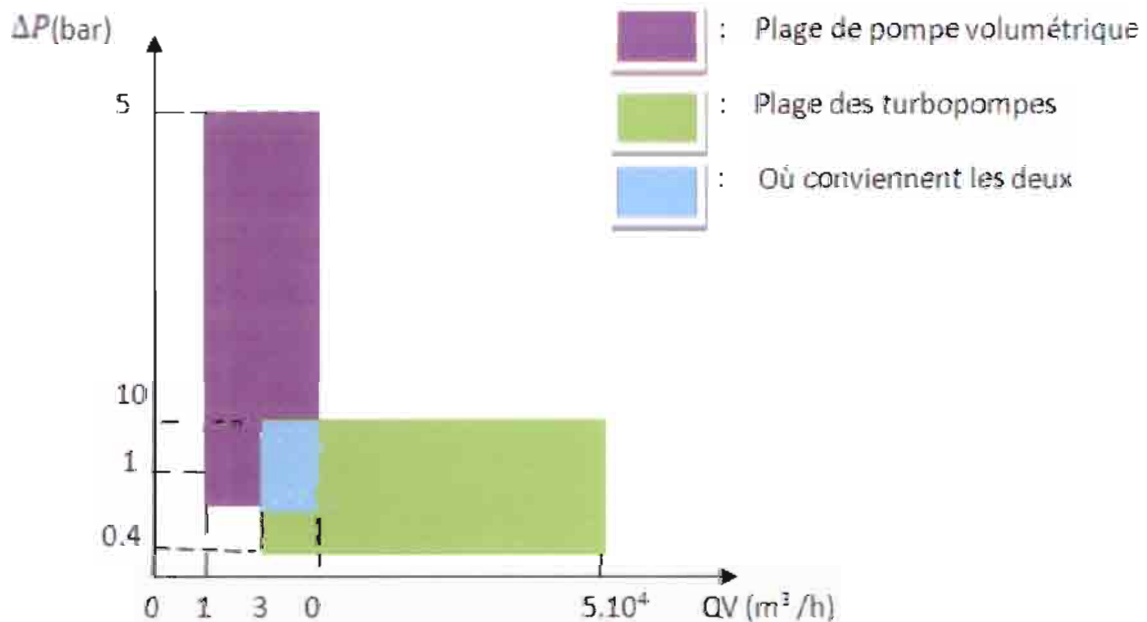


Schéma 2 : Diagramme de plage d'utilisation des pompes volumétriques et les turbopompes

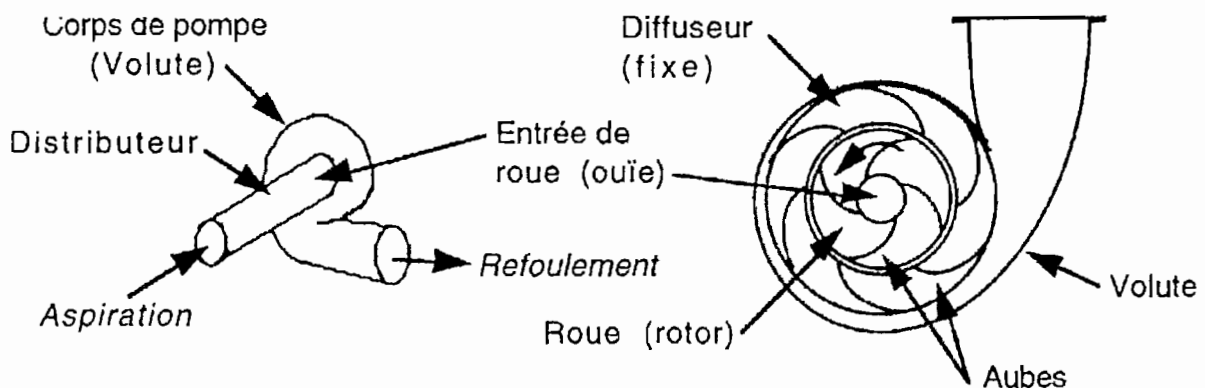
Parmi ces deux types de pompes évoquées ci-haut, nous nous sommes intéressés aux turbopompes parcequ'elles sont les plus utilisées surtout pour l'adduction d'eau dont il est sujet de notre travail et offrent d'autres avantages par rapport aux volumétriques :

- Ce sont des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses ;
- A caractéristiques égales, elles sont plus compactes que les machines volumétriques ;
  - Leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques » ;
  - Elles sont adaptées à une très large gamme de liquides ;
  - Leur débit est régulier et le fonctionnement silencieux ;
  - En cas de colmatage partiel ou d'obstruction de la conduite de refoulement, la pompe centrifuge ne subit aucun dommage et l'installation ne risque pas d'éclater. La pompe se comporte alors comme un agitateur.

## II.1.4. Description et Classification des turbopompes

### II.1.4.1. Description

Les turbopompes appelées également pompes hydrodynamiques sont de construction très simple : en version de base, elles sont essentiellement constituées d'une pièce en rotation, le rotor appelé aussi roue ou hélice qui tourne dans un carter appelé corps de pompe. Une certaine vitesse est ainsi communiquée au fluide.



### Schéma 3 : Constitution d'une turbopompe

On appelle « corps de pompe » l'enveloppe extérieure de la machine. C'est la partie fixe de la machine ou stator. Le corps est constitué principalement de la « tubulure d'aspiration », de la « volute », et de la « tubulure de refoulement ».

La partie mobile ou rotor est formée de l'impulseur (roue à aubes) monté sur un arbre.

Le rotor est actionné par une machine d'entraînement qui est le plus souvent un moteur électrique mais peut être également une turbine

### **II .1.4.2. Classification**

Les turbopompes peuvent être classées des plusieurs manières en tenant compte :

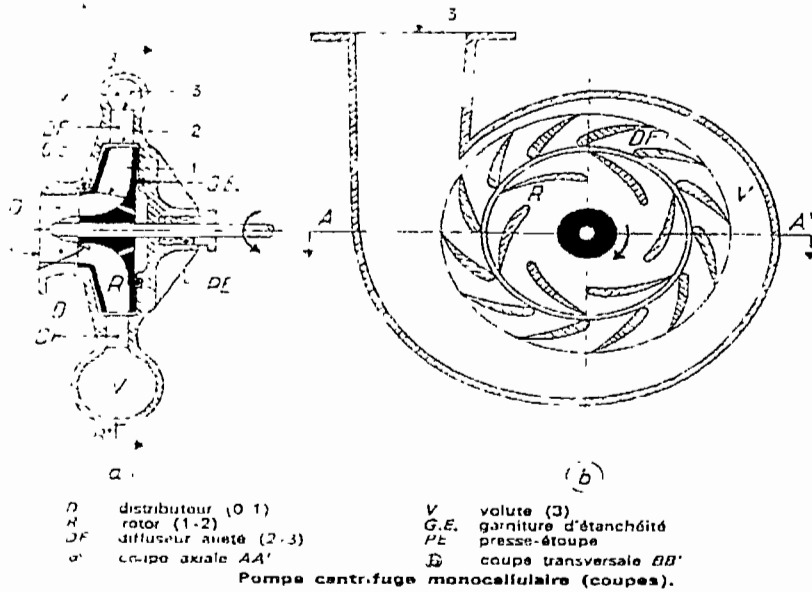
- Du nombre des roues :
  - pompes monocellulaires avec une seule roue ou de deux roues montées en parallèle en vue d'augmenter le débit.
  - Pompes multicellulaires avec plusieurs roues couplées en série pour augmenter les hauteurs de refoulement.
- La direction de l'axe : pompes horizontale , verticale et oblique ;
- De la vitesse spécifique ;
- De la position de la pompe par rapport au niveau d'aspiration : pompe en surface, pompe immergée, pompe submersible, etc.
- De la forme du rotor, etc.

Suivant la forme des aubes de roue et son mode d' action , on distingue des :

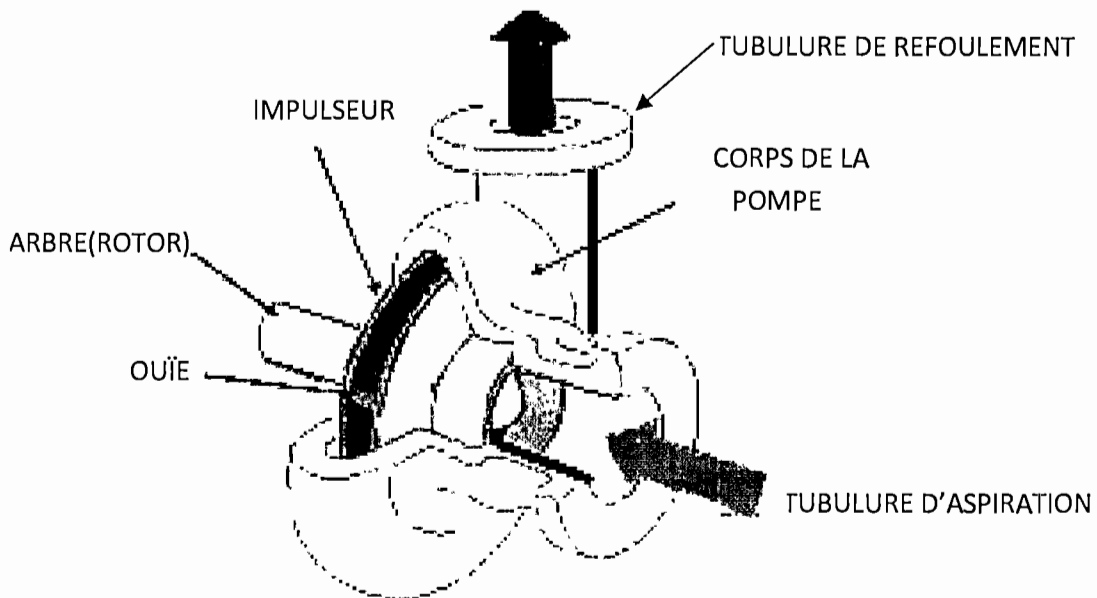
- Pompes centrifuges;
- Les pompes à hélices ou axiales ;
- Les pompes hélico- centrifuges ou semi axiales.

### **II.1.4.3. Les pompes centrifuges**

Pour ce type de pompe , l'eau entre axialement et sort radialement ; c'est- à- dire qu' à la sortie des aubes mobiles, la vitesse de l'eau est dans un plan perpendiculaire à l' axe .



**Schéma 4 : Pompe centrifuge monocellulaire**



**Schéma 5: Différentes parties d'une pompe centrifuge**

Ces types de pompes sont généralement utilisés pour des hauteurs d'élevation importante (plusieurs dizaines des mètres).

#### II. 1.4.4. Les pompes à hélices

Les pompes à hélices ou hélicoïdes sont des pompes dans lesquelles à la sortie d'aube mobile (directrice), la vitesse de l'eau devient parallèle à l'axe ; la trajectoire de filets liquides étant une hélice. Ces types de pompes sont utilisés pour des débits élevés (plusieurs centaines de l/s) à des hauteurs faibles. La particularité qui les distingue des pompes centrifuges est la roue ouverte avec aubes à double courbure et flasque arrière inclinée par rapport à l'axe de l'arbre.

#### II.1.4.5. Les pompes hélico-centrifuges

A la sortie des aubes mobiles, la vitesse de l'eau est inclinée sur l'axe.

**NB :** La différence entre les pompes centrifuges, hélico-centrifuge et à hélice porte essentiellement sur la direction de la vitesse donnée au fluide.

Voici les différentes formes des roues qui caractérisent ces pompes :

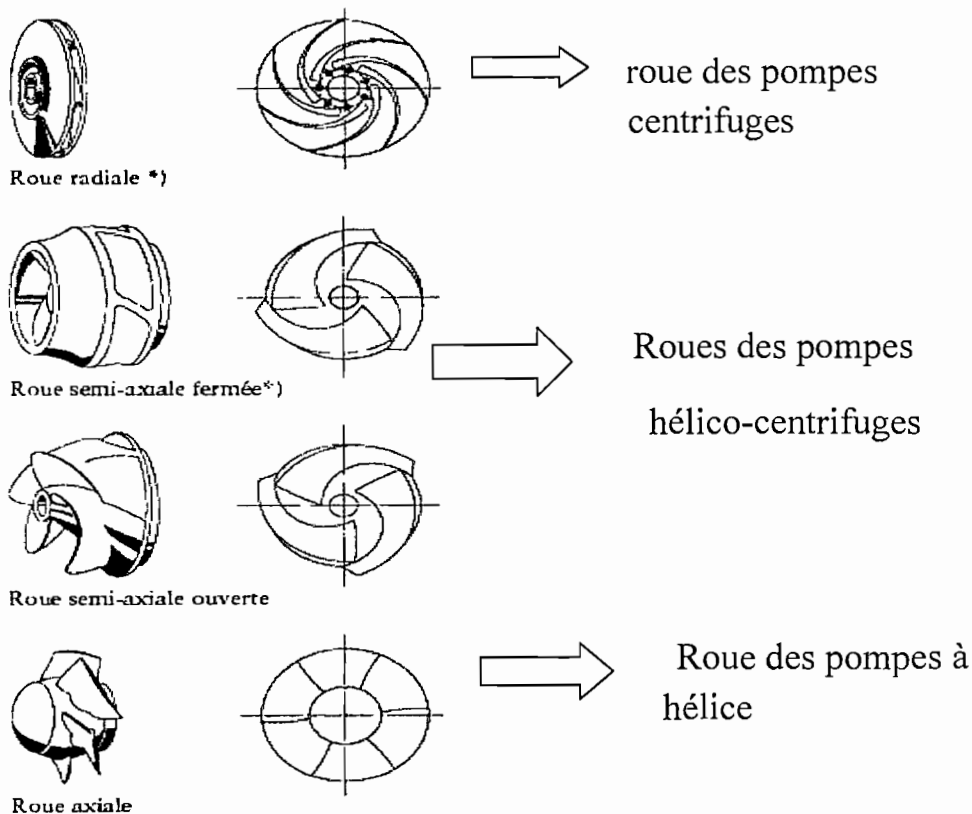


Schéma 6 : Différentes formes de roues de turbopompes

### II.1.5. Courbes caractéristiques des pompes

La connaissance des courbes caractéristiques d'une pompe permet aux consommateurs de connaître le comportement de la pompe à différent régime. Pendant son fonctionnement, cette dernière facilite l'utilisateur de choisir une pompe adaptée à sa demande grâce aux caractéristiques générales de la pompe telles que :

Q : débit ;

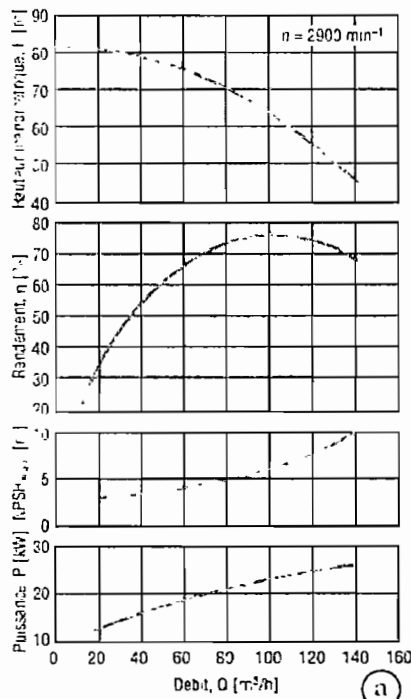
H : hauteur d'élevation ;

P : puissance ;

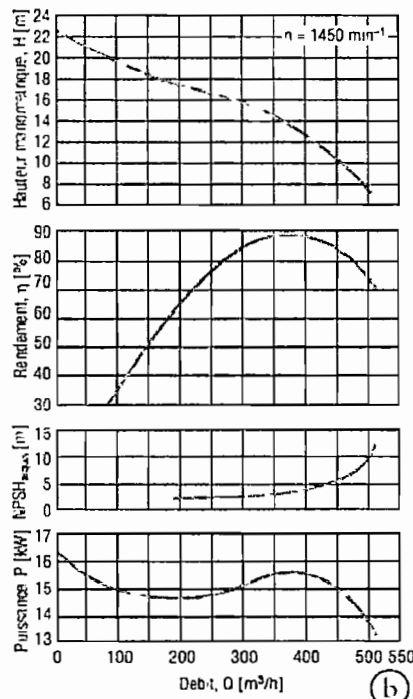
$\eta$  : rendement , N : vitesse.

Dans ce paragraphe, nous allons nous limiter sur les courbes principales qui caractérisent une pompe (turbopompe), c'est-à-dire :  $H = F[Q]$ ,  $P = F[Q]$ ,  $\eta = F[Q]$  et  $NPSH = F[Q]$ .

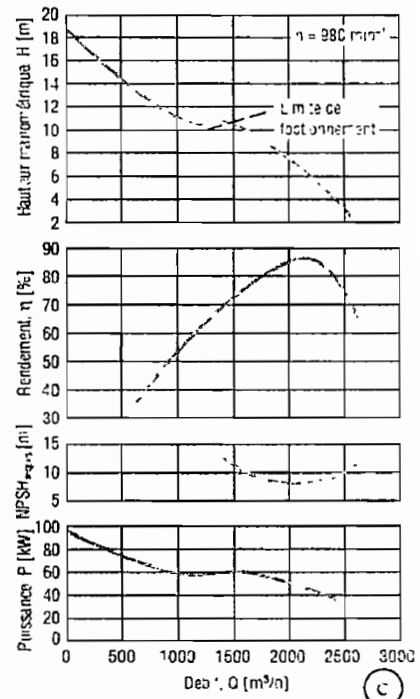
#### Pour les pompes centrifuges



#### les pompes hélico-centrifuges



#### pompes axiales



**Schéma 7 : Différentes courbes caractéristiques des types des pompes en fonction du débit**

### **II.1.5.1. Courbes débit-hauteur ; $H=F[Q]$**

Cette courbe représente les variations de la hauteur manométrique totale d'élevation susceptible d'être fournie à la pompe en fonction du débit. On voit que, pour une pompe centrifuge, la courbe est une parabole et la hauteur diminue au fur et à mesure que le débit augmente.

Pour les pompes hélico-centrifuges ou à hélice les courbes se relèvent plus nettement dans le domaine de faible débit.

Du point de vue général, ces courbes seront d'autant plus tombantes que la vitesse spécifique des pompes sera élevée.

### **II.1.5.2. Courbes de rendement ; $\eta =F[Q]$**

Pour chaque type de pompes, cette courbe présente un maximum au voisinage duquel il faudra s'efforcer d'utiliser la pompe.

### **II.1.5.3. Courbes NPSH ; $NSPH=F[Q]$**

Ces courbes montrent, pour chaque type de pompes, les valeurs auxquelles la pompe peut fonctionner sans cavitation.

### **II.1.5.4. Courbes des puissances absorbées ; $P=F[Q]$**

Les courbes de puissance absorbée en fonction du débit est une allure parabolique. Pour les pompes centrifuges, la concavité de la parabole est tournée vers le bas ; ce qui permet d'éviter une surcharge du moteur si les conditions d'utilisation sont appelées à varier.

Pour les pompes à hélices, il faut bien noter que la puissance absorbée pour un débit nul est considérablement plus élevée que la puissance absorbée en fonctionnement normal. Ce qui est susceptible d'avoir des répercussions importantes sur les intensités du moteur.

Pour ce type de groupe, la présence d'une vanne sur le refoulement est donc à déconseiller surtout dans le cas d'entraînement par moteur électrique. Cette vanne est remplacée par un clapet anti-retour.

**NB** : Ces courbes caractéristiques sont déterminées par le constructeur pour chaque type de pompe en fonction de la vitesse de rotation donnée.

### II.1.6. Le phénomène de cavitation

La cavitation est la création d'un vide rempli de vapeur ou de gaz au sein d'un liquide en mouvement lorsque la pression en un point de liquide devient inférieure à la pression de vapeur de celui-ci. Cette pression dépend :

- De la hauteur géométrique d'aspiration ;
- De pertes de charges à l'aspiration ;
- La tension de vapeur en fonction de la température de l'eau à pomper.

Le phénomène de cavitation se manifeste quand la pression absolue du liquide à l'entrée de la pompe est trop faible. Dans ce cas, il se forme dans le liquide des bulles de vapeur lesquelles progressant dans les canaux de la roue vers les zones des pressions supérieures pourraient s'y résorber violemment provoquant des phénomènes d'implosion qui peuvent engendrer les zones de très forte pression susceptible d'endommager et à la longue de détruire complètement la pompe. On en déduit que, pour que la pompe puisse fonctionner en toute sécurité, il faut que la pression absolue de l'ouïe d'aspiration soit maintenue largement au dessus de la tension de vapeur du liquide .

Toute fois, il faut signaler la condition de la non cavitation qui est :

$$NSPH_{\text{diponible}} > NSPH_{\text{requis}}$$

• **NPSH disponible** [NPSH=Net positive section head ou hauteur de charge nette absolue en français]

Le NPSH disponible est par la définition, la valeur de la pression absolue mesurée sur l'axe de la bride d'aspiration de la pompe, compte tenu des dispositions prises à l'aspiration [diamètre du conduit, présence de clapet de pied, coudes,...

$$NPSH_{\text{disp}} = \left( \frac{P_e + P_a - P_d}{\rho \cdot g} \right) + \frac{V_e^2}{2g} - j_a - H_{\text{geo}} [\text{fonctionnement en aspiration}] \quad (2.4)$$

$$NPSH_{\text{disp}} = \left( \frac{P_e + P_a - P_d}{\rho \cdot g} \right) + \frac{V_e^2}{2g} - j_a + H_{\text{geo}} [\text{fonctionnement en charge}] \quad (2.5)$$

Avec

**Pe** : pression dans le réservoir d'aspiration ;

**Pa** : pression atmosphérique en  $N/m^2$  ;

**Pd** : tension de vapeur en  $N/m^2$  ;

**ja** : pertes de charges à l'aspiration ;

**$\rho$**  : masse volumique du liquide ;

**g** : accélération de la pesanteur ;

**Ve** : vitesse d'écoulement dans la conduite d'aspiration ;

**H<sub>geo</sub>** : hauteur géométrique d'aspiration.

Au niveau de la mer (altitude zéro), cette forme se simplifie de la façon suivante :

$$NPSH_{disp}=10-H_{geo}-Ja \text{ [fonctionnement en aspiration]} \quad (2.6)$$

$$NPSH_{disp}=10+H_{geo}-Ja \text{ [fonctionnement en charge]} \quad (2.7)$$

### • NPSH requis

Chaque constructeur possède, pour chaque type de pompe et pour une vitesse de rotation déterminée, une courbe donnant la valeur de NPSH requise en fonction du débit de la pompe considérée .

Pour satisfaire la condition de la non cavitation de la pompe, il faudrait :

1<sup>o</sup> Rendre les pertes de charge de la conduite d'aspiration les plus faibles possible.

2<sup>o</sup> Eviter que la hauteur géométrique d'aspiration soit élevée.

3<sup>o</sup> Eviter que la pression absolue soit trop faible.

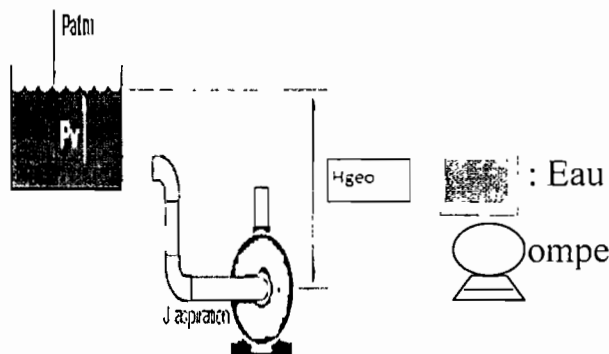
4<sup>o</sup> Eviter que la température d'écoulement soit trop élevée.

## II .1.7. Amorçage d'une pompe

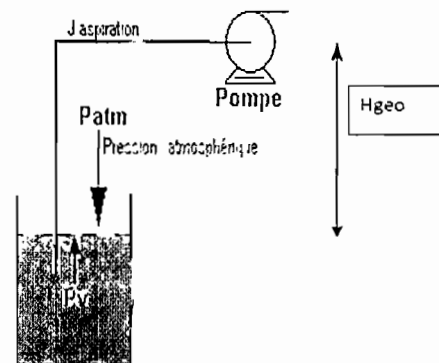
Pour fonctionner , une pompe centrifuge doit être initialement remplie du liquide. En effet , la rotation de la roue dans un gaz de très faible masse volumique donne un  $rv^2/2$  trop faible pour créer une dépression suffisante pour aspirer le liquide.

En pratique, avec le montage en charge, la pompe se remplit naturellement du fluide et n'a pas donc besoin d'être amorcée . Le montage en aspiration à l'inverse nécessite d'amorcer la pompe, c'est -à -dire de la remplir du liquide avant de la démarrer. Il convient également d'empêcher sa vidange en cas d'arrêt par présence d'un clapet à l' aspiration .

- Une pompe est dite montée en charge lorsqu'elle se remplit toute seule du liquide à pomper dans le bac d'aspiration situé au dessus de la pompe.
- Une pompe est dite montée en aspiration si son bac d' alimentation est situé en dessous du niveau de la pompe.



**Schéma 8 : Montage en charge**



**Schéma 9 : Montage en aspiration**

## II .2. Calcul des éléments de base de la pompe en étude

### II .2.1. Estimation des besoins journaliers

D'après les sources données par le Président de la régie communale des eaux en commune MUTAMBU, la population bénéficiaire de cette adduction d'eau sera répartie en 4 catégories :

- 1° les habitants du village de la colline Gomvyi sont estimés à 1 500 personnes en raison de 300 ménages composés en moyenne chacun de 5 personnes.

La consommation journalière en eau sera égale de :  $1\ 500 \times 20\ l = 30\ 000\ l/j$

(en raison de 20l/personne ; source OMS dans les milieux ruraux , 2010)

2° Un marché comptant en moyenne 500 personnes. La consommation journalière en eau sera 5 000l/j avec une consommation de 10l/j/ personne (source OMS, 2010)

NB : Le marché se fait deux fois la semaine.

3° Trois écoles primaires GOMVYI, KIVUNGWE I et II dont le nombre des écoliers s'élève à 1 580 avec les besoins journaliers de 2l/j/écolier (source OMS ; 2010). La consommation en eau sera de 3 160 l /j.

4° Deux églises (Eglise Méthodiste et Eglise Vivante de Jésus Christ qui comptent en moyenne 150 membres et 170 membres respectivement. La consommation journalière en eau sera de 640l /j

Le volume minimal d'eau à pomper sera égal à :

$$(30\ 000\ l + 5\ 000\ l + 3\ 160\ l + 640\ l) = 38\ 800\ l /jour$$

soit environ  $39\ m^3$  . Cette quantité d'eau suffirait pour couvrir les besoins journaliers. Toutefois nous devons tenir compte de certains facteurs comme les pertes en eau dues aux fuites dans le réseau ; des périodes de grande consommation en eau durant la journée, mais une marge de sécurité tenant compte de l'évolution de la population, etc .

Pour cela , nous allons prendre 1 % pour les pertes en eau dans tous le réseau de refoulement et de distribution et un coefficient horaire de pointe de 1.2 d'après les statistiques de la REGIDESO (fonctionnement un débit moyen par jour). Ainsi le volume d'eau à pomper depuis la station de pompage jusqu'au réservoir de distribution est donnée par :  $[39m^3 + (39m^3 \times 1\% ) \times 1.2 = 47.268\ m^3$

Pour avoir une quantité suffisante à distribuer : nous retenons une quantité de 48  $m^3$  d'eau à pomper dans un réservoir de 50  $m^3$  et la distribution d'eau à partir de ce réservoir vers les consommations est gravitaire.

## II .2.2. Détermination du diamètre économique et du débit

Pour déterminer le diamètre économique on fait recours à des formules approchées notamment celle de BRESSE  $D=1.5\sqrt{Q}$  (2.8)

Où  $Q$  est le débit exprimé en  $m^3/s$

$D$  est le diamètre de la conduite exprimé en m

$$Q = \frac{48}{4.5 \times 3600} = 0.00296 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{ou } 2.9 \text{ l/s})$$

$$\text{Ainsi } D = 1.5 \times \sqrt{0.00296} = 0.0816 \text{ m} = 81 \text{ mm}$$

La dimension standard proche de ce diamètre calculé pour les conduites disponibles sur le marché de tuyaux en fonte ductile est de 80 mm.

Ainsi le débit sera :  $Q = (D/1.5)^2 = (0.080/1.5)^2 = 0.00284 \text{ m}^3/\text{s}$  soit  $2.8 \text{ l/s}$ . Le volume d'eau à pomper par jour en raison de 4h30min sera de :

$$2.8 \text{ l} \times 4.5 \times 3600 = 46\,008 \text{ l/j} \quad \text{soit } 46 \text{ m}^3/\text{j}.$$

## II .2.3. Détermination de la vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement d'eau dans la conduite est donnée par la formule :

$$Q = V \times S \quad \text{avec}$$

$V$  : vitesse d'écoulement ;

$s$  : section de la conduite ;

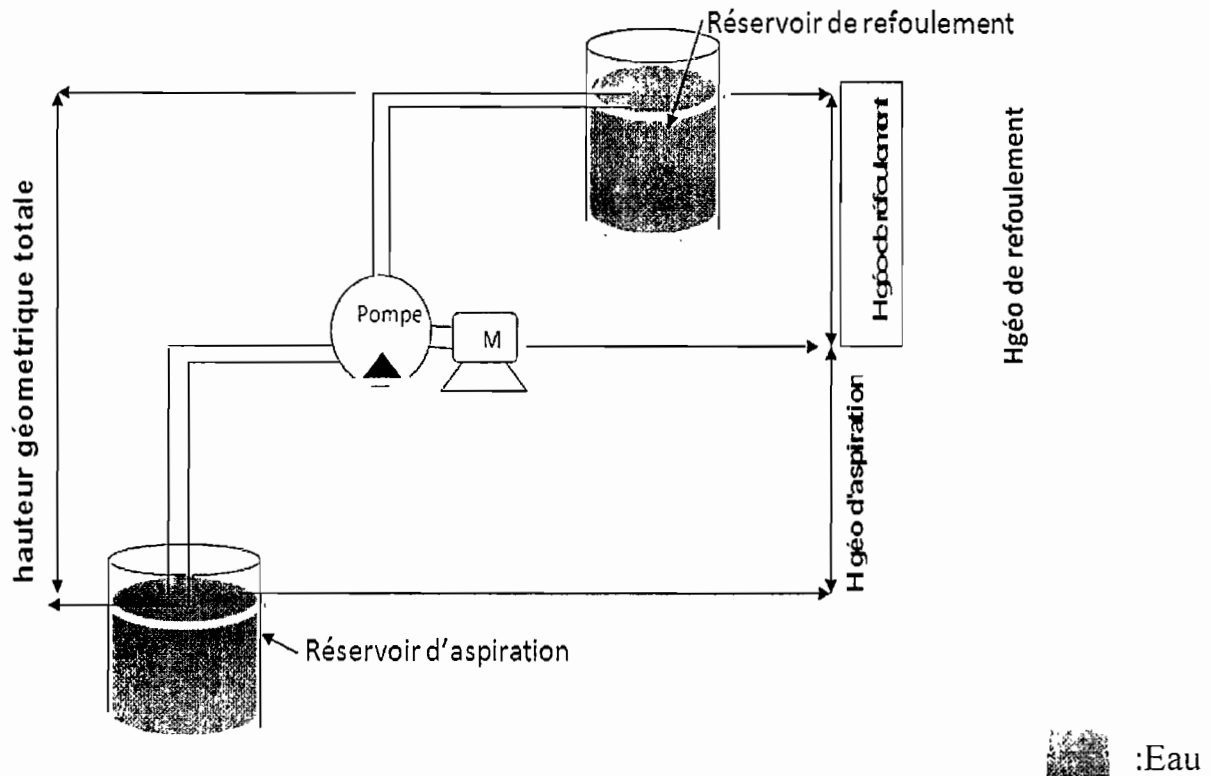
$Q$  : débit dans la conduite .

$$\text{Ainsi } v = Q/s \quad \text{avec } S = (\pi D^2)/4 \quad \text{en } m^2 \quad (2.9)$$

$$V = \frac{0.0028 \times 4}{3.14 \times 0.08^2} = 0.5656 \text{ m/s}$$

## II .2.4. Hauteur géométrique d'élevation

La hauteur géométrique d'élevation est la distance verticale entre le niveau du liquide dans le réservoir d'aspiration et le niveau haut du liquide dans le réservoir de refoulement.



### Schéma 10 : Hauteur géométrique d'élevation

Ans, la hauteur géométrique d'élevation est composée par la hauteur géométrique d'aspiration et la hauteur géométrique de refoulement. Pour mesurer cette hauteur dans notre travail; nous avons utilisé un appareil électronique capable d'indiquer à quelle altitude on se trouve : le GPS

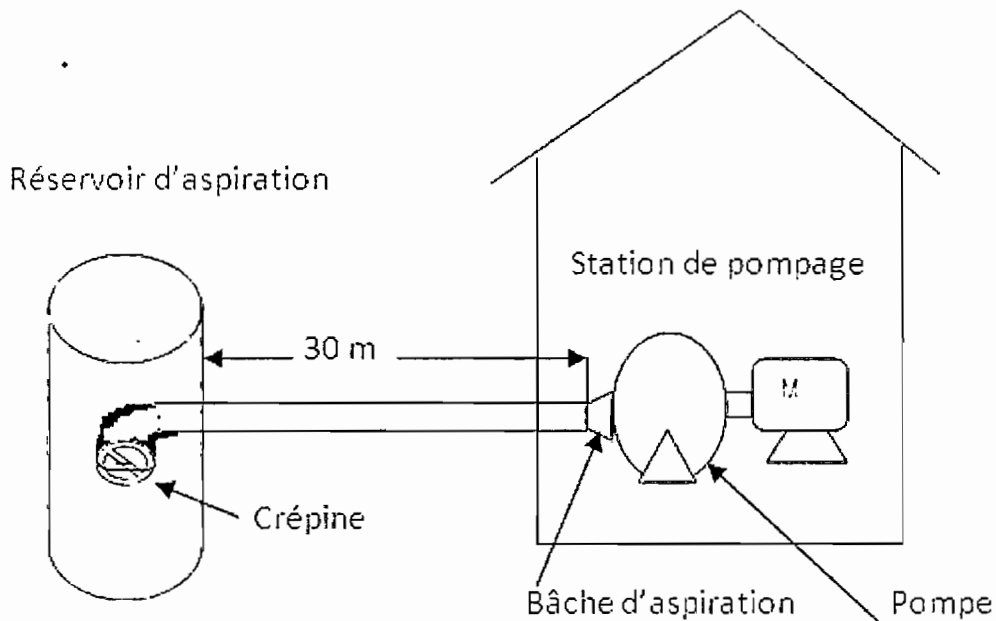
On a trouvé que la source d'eau est située à une altitude de 1 741 m et le réservoir de refoulement est situé à une altitude de 1 923 m y compris la hauteur du réservoir de refoulement. D'où la hauteur géométrique d'élevation trouvée est de 182 m.

#### II .2.5. Hauteur d'aspiration

La hauteur d'aspiration est théoriquement limitée à 10.33 m (pour l'altitude zéro au niveau de la mer), ce qui correspond à la dépression maximale nécessaire pour faire le vide exprimé en hauteur de colonne d'eau sous pression atmosphérique normale. Sous cette dépression, l'eau montera dans le tube d'aspiration.

En réalité, cette hauteur est moins élevée car une partie de la pression disponible est nécessaire, d'autre part pour vaincre les pertes de charges dans la conduite d'aspiration et d'autre part pour communiquer au liquide la vitesse.

Pour le cas en étude nous allons considérer que la crépine d'aspiration est au même niveau que la bêche d'aspiration de la pompe et la distance entre le réservoir de pompage et la station de pompage est d'environ 30 m afin d'éviter les phénomènes de cavitation et les pertes de charges linéaires dans la conduite d'aspiration.



**Schéma11 : Station de pompage en amont**

## II .2.6. Détermination de la hauteur manométrique

La hauteur manométrique totale (HTM) est donnée par la hauteur géométrique d'élevation et les pertes de charges dans les conduites, dans le clapet , coudes, etc.

$$HMT = H_{g\acute{e}o} + \Delta H_v \quad (2.10)$$

où  $H_{g\acute{e}o}$  : est la hauteur géométrique totale d'élevation ;

$\Delta H_v$  : la somme de pertes de charges linéaires et singulières.

### a) calcul des pertes des charges linéaires dans les conduites

$$\Delta H_v = \frac{\lambda l v^2}{2gD} \quad (2.11)$$

avec  $\lambda$  : coefficient de frottement dans la tuyauterie ;  
 $l$  : longueur de la tuyauterie en m ;  
 $v$  : vitesse d'écoulement en m<sup>2</sup>/s ;  
 $D$  : diamètre de la tuyauterie en m ;  
 $g$  : accélération de la pesanteur.

Pour le cas en étude, la distance entre la station de pompage et le réservoir de distribution est égale à 807 m.

#### • Détermination du coefficient de frottement dans la tuyauterie .

Nombre de Reynolds pour des tuyaux circulaires

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \quad (2.12)$$

avec  $V$  : vitesse d'écoulement en m/s ;  
 $d$  : diamètre de la tuyauterie en m ;  
 $\nu$  : viscosité cinématique (=  $1 \times 10^{-6}$ /m<sup>2</sup>/s pour eau à 20°C).

$$\text{Donc } Re = \frac{0.56 \times 0.8}{1 \times 10^{-6}} = 44\,800$$

Comme  $Re > 2320$ , il s'agit d'un écoulement turbulent. Selon l'équation empirique de Moody, le coefficient de frottement dans la tuyauterie est donnée

$$\text{par : } \lambda = 0.00550 + \frac{0.15}{\sqrt[3]{\frac{d}{k}}} \quad (2.13)$$

$d/k$  : étant la rugosité relative à l'intérieur de la paroi

$k$  : rugosité absolue moyenne (granulométrie) = 0.1 pour des tuyaux en fontes

$$\text{ainsi } \lambda = 0.0055 + \frac{0.15}{\sqrt[3]{\frac{80}{0.1}}} = 0.021$$

$$\Delta H_v = \frac{0.021 \times 807 \times 0.56^2}{2 \times 9.81 \times 0.08} = 3.38 \text{ m}$$

### b) Calcul des pertes de charges singulières

$$\text{D'une façon générale, } R = \varphi \frac{v^2}{2g} \quad (2.14)$$

Avec  $\varphi$  : coefficient de perte de charge ;

$V$  : vitesse d'écoulement ;

$g$  : accélération de pesanteur.

Pour le cas en étude, il y a 8 coudes de 90°, 2 clapets anti-retour, une crépine et une vanne à opercule rond.

1°) Dans le coude  $\varphi = 1.5$

$$\Delta h = \varphi \frac{v^2}{2g} \quad \Delta h = \frac{1.5 \times 0.56^2}{2 \times 9.81} = 0.019$$

2°) Dans le clapet anti-retour  $\varphi = 3$

$$\Delta h = 3 \times \frac{0.56^2}{2 \times 9.81} = 0.0512$$

3°) Dans la crépine  $\varphi = 1$

$$\Delta h = 1 \times \frac{0.56^2}{2 \times 9.81} = 0.017$$

4°) Dans la vanne à opercule rond  $\varphi = 0.24$

$$\Delta h = 0.24 \times \frac{0.56^2}{2 \times 9.81} = 0.004$$

Les pertes de charges singulières totales :

$$[1 \text{ m} \times (0.019 \times 8) + (0.0512 \times 2) + 0.017 + 0.004] = 0.2754 \text{ m}$$

**N.B :** Les différents coefficients de perte de charges singulières sont données par le tableau. Voir en annexes

$$\text{Les pertes de charges totales } \Delta h = 1 \text{ m} \times 3.48 + 0.2754 = 3.7554 \text{ m}$$

Ainsi la hauteur manométrique totale HTM est égale à

$$\text{Hgéo} + \Delta H_v = 182 \text{ m} + 3.7554 \text{ m} = 185.7554 \text{ m} \approx 186 \text{ m}$$

Pour plus de sécurité, nous allons choisir une pompe ayant une hauteur manométrique totale de 190 m .

## II.3. Choix de la pompe

### II.3.1. Les facteurs qui influencent le choix de la pompe

- Le débit nécessaire ;
- La hauteur de pompage associable à ce débit ;
- La nature de fluide ;
- Les propriétés physicochimiques c'est-à-dire ( $\rho, t^{\circ}, \gamma$ ) ;
- Les conditions d'aspiration c'est-à-dire niveau maximal et minimal, la température et la pression atmosphérique du milieu ;
- Condition locale c'est -à-dire l'altitude ;
- La nature de la source ( si c'est la rivière, lac... ) ;
- La distance source-pompe ;
- Le moteur (électrique synchrone , asynchrone, thermique à courant continue, éolienne, hydraulique,) ;
- Les gabarits.

### II.3.2. La capacité de la pompe

Elle se calcule à base des besoins journaliers en eaux soit de  $46\text{m}^3/\text{jour}$  et de la durée de pompage estimée à 4.5heures.

La capacité de la pompe est égale à  $= \frac{46}{4.5} = 10.2 \text{ m}^3 / \text{h}$

### II.3.3. Détermination de la puissance

#### II.3.3.1. Puissance absorbée par la pompe

La puissance absorbée par la pompe est égale à :

$$P = \frac{Q \times HMT}{102.2 \eta} \times \gamma \quad (2.15)$$

Avec  $P$  : Puissance absorbée par la pompe en  $W$  ;

$Q$  : Débit en  $\text{m}^3 / \text{s}$  ;

$HMT$  : Hauteur manométrique totale en  $\text{m}$  ;

$\gamma$  : Poids spécifique du liquide en  $\text{kg}/\text{dm}^3$  ;

$\eta$  : Rendement de la pompe;

Or le rendement de la pompe centrifuge est donné par le tableau ci-après :

**Tableau 2 : Rendement d'une pompe centrifuge**

Caractéristiques	Basse pression		Haute pression H>20m			Grands débits		
	H <20m							
Q(l/s)	3	25	2	25	100	150	1000	2500
$\eta$	0.56	0.78	0.53	0.81	0.84	0.88	0.90	0.91

Prenons pour notre pompe en étude un rendement égal à 53% ainsi :

$$P = \frac{2.8 \times 190}{102.2 \times 0.53} \times 1000 = 9\,821.6 \text{ W}$$

### II .3.3.2. Puissance du moteur d'entraînement

Dans le cas de petites puissances, le moteur est généralement livré avec la pompe. Pour de grosses puissances ; il incombe souvent à l'utilisateur de choisir les caractéristiques du moteur .

Pour calculer la puissance du moteur, il conviendra cependant de tenir compte des pertes diverses de transmission, des conditions climatiques et de l'altitude qui ont une influence sur la puissance des moteurs thermiques, les baisses de tension, et les fréquences possibles de réseaux d'alimentation électrique les erreurs éventuelles dans la détermination des pertes de charges et du couple de démarrage.

A cet effet, les majorations à prévoir en fonction de la puissance absorbée par la pompe sont moins :

- De 30% pour une puissance de moins de 4 kW ;
- De 20% pour une puissance comprise entre 4 et 20 kW ;
- De 10% pour une puissance supérieure à 20 kW.

Ayant trouvé que la puissance calculée est comprise entre 4 et 20 kW , la puissance électrique de la pompe est égale à :  $1\text{ W} \times 9\,821.6 + (9\,821.6 \times 20\%) = 11\,785.92 \text{ W}$  Soit 11.8 kW. Cependant la puissance normalisée du moteur d'entraînement existant sur le marché est 15kW.

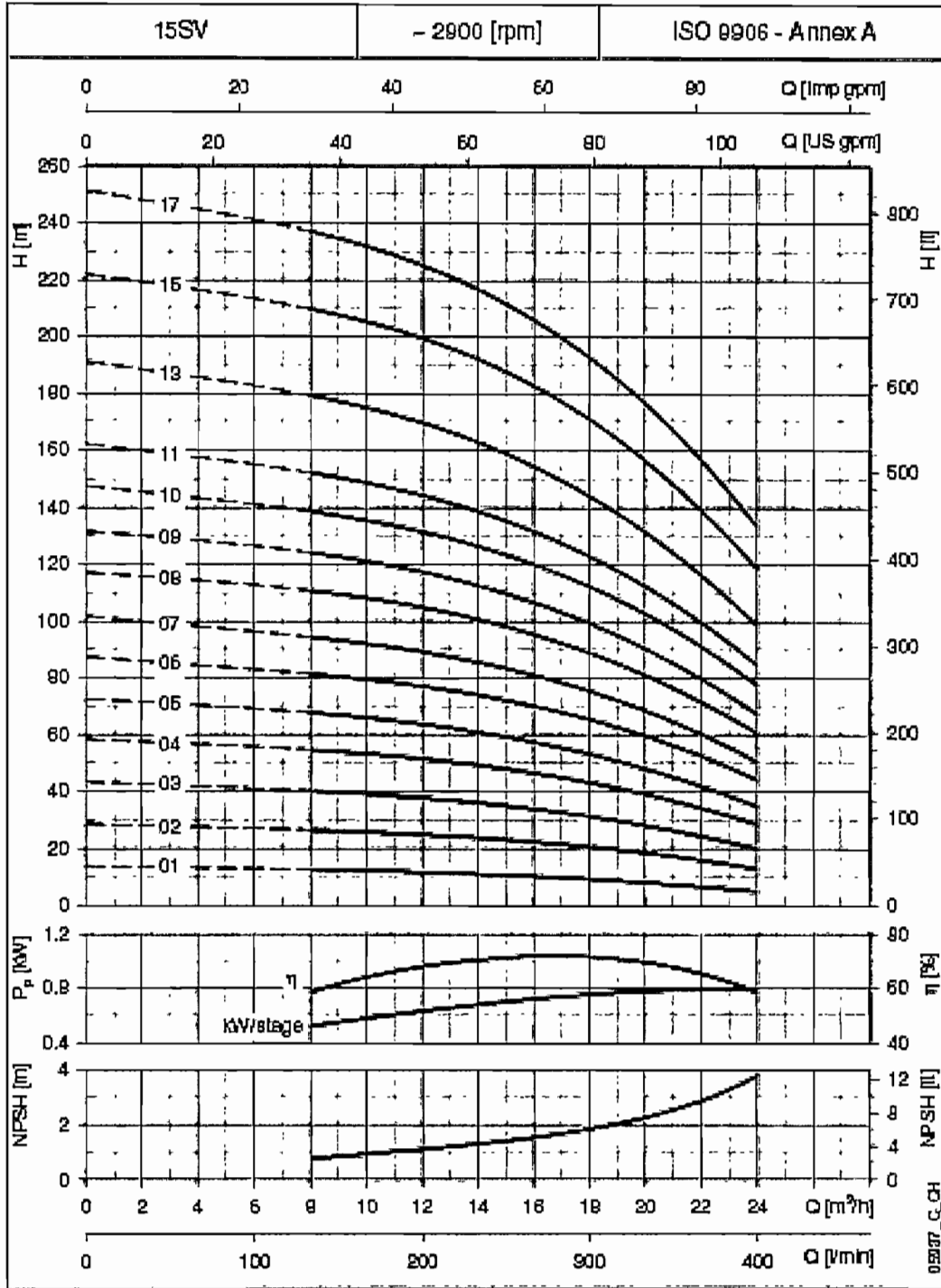
Ainsi le choix porte sur une électropompe multicellulaire verticale de série e-sv<sup>TM</sup> dont les caractéristiques de fonctionnement et la plage des performances hydrauliques sont indiqués dans les tableaux des pages qui vont suivre:



**Schéma 12 : Electropompes multicellulaires verticales avec moteur haut rendement**



**SÉRIE 15SV**  
**CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT À 50 HZ, 2 PÔLES**



Les performances indiquées sont valides pour une température de l'eau de 15°C et une viscosité cinématique de 1 cSt.

25

Schéma 13 : Caractéristiques de fonctionnement à 50 Hz, 2 Pôles



**ITT**

SÉRIE e-SV™

PLAGE DES PERFORMANCES HYDRAULIQUES À 50 Hz, 2 PÔLES

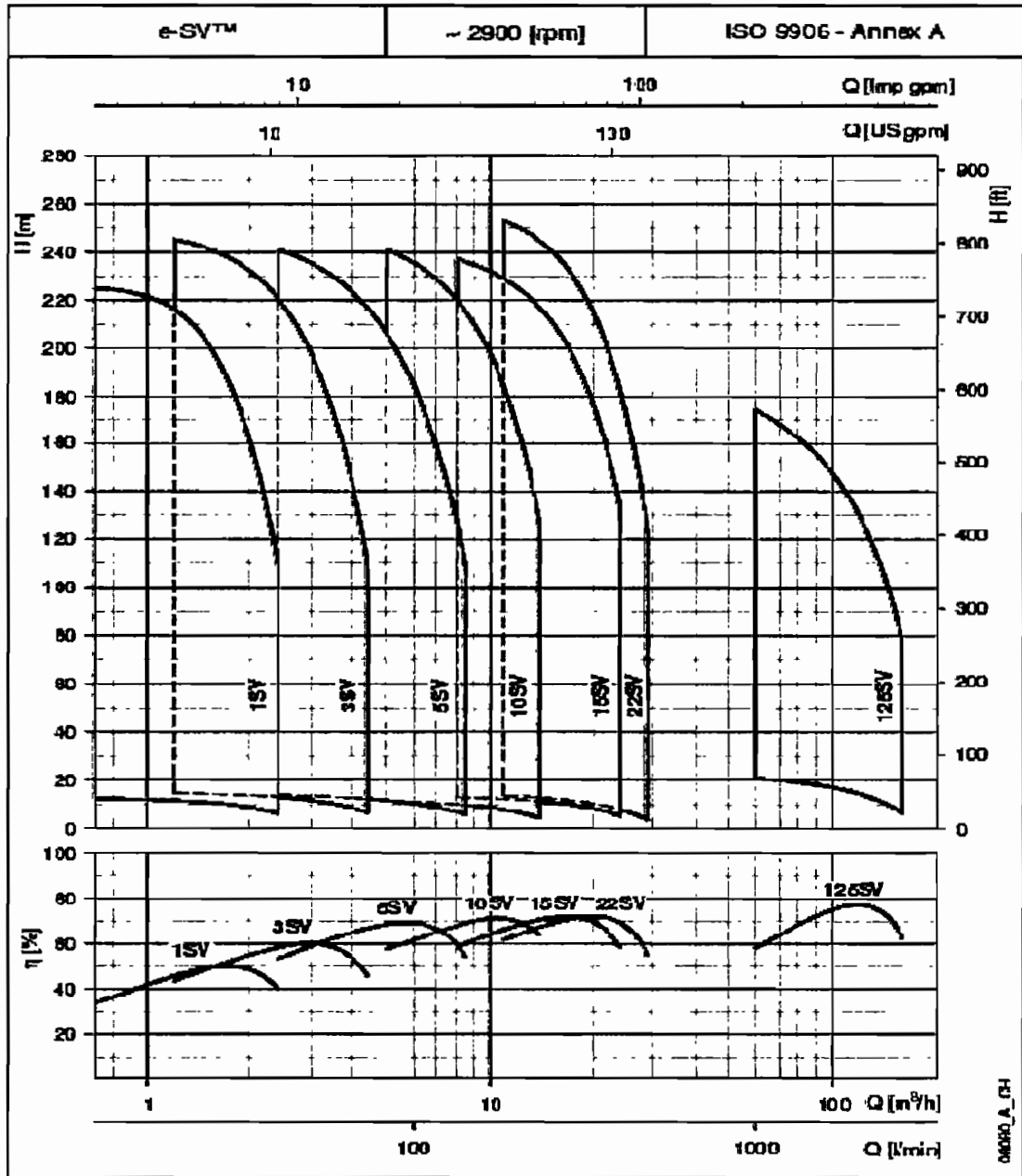


Schéma 14 : Plage des performances hydraulique à 50 Hz, 2 Pôles

Tableau 3: Performances hydrauliques à 50 Hz, 2 Pôles

Séries 10,15,225V  
TABLEAU DE PERFORMANCES HYDRAULIQUES À 50HZ,2PÔLES

TYPE POMPE	PUISSANCE Kw	NORM. ch	H=HAUTEUR MANOMÉTRIQUE TOTALE EN MÈTRES DE COLONNE D'EAU													
			83,3	100	133	170	183,3	233	270	330	350	400	430	460	483,33	
			l/min 0	5	6	8	10,2	11	14	16,2	19,8	21	24	25,8	28	29
10SV01	0,75	1	11,8	11,2	10,9	9,9	8,3	7,6	4,3							
10SV02	0,75	1	23,6	21,9	21,3	19,6	17	15,8	10							
10SV03	1,1	1,5	35,7	33	32,1	29,6	25,8	24,1	16							
10SV04	1,5	2	47,7	44,2	43	39,9	34,8	32,6	21,7							
10SV05	2,2	3	60	56,1	54,7	50,9	44,9	42,2	29							
10SV06	2,2	3	71,8	66,8	65	60,4	53,1	49,8	33,9							
10SV07	3	4	83,6	78,3	76,2	70,8	62,1	58,3	39,8							
10SV08	3	4	95,3	88,9	86,5	80,1	70,2	65,7	44,5							
10SV09	4	5,5	106,3	100	97,5	90,8	80	75,1	52,1							
10SV10	4	5,5	118	111	108	100	88,2	82,8	57,2							
10SV11	4	5,5	129,6	121	118	110	96,3	90,3	62,1							
10SV13	5,5	7,5	156	147	143	133	116	109,2	74,3							
10SV15	5,5	7,5	179,5	168	163	152	133	124,3	83,9							
10SV17	7,5	10	205	193	189	176	155	145,2	98,8							
10SV18	7,5	10	216,9	204	199	186	163	153,1	104							
10SV20	7,5	10	240,6	226	220	205	180	168,9	114							
10SV21	11	15	253,6	241	236	220	195	183,5	128							
15SV01	1,1	1,5	14			12,9	12,4	12,2	11,3	10,4	8,4	7,6	5,1			
15SV02	2,2	3	28,7			26,7	25,9	25,5	23,9	22,4	18,9	17,4	13,1			
15SV03	3	4	43,3			40,4	39,1	38,6	36,2	33,8	28,7	26,5	20,1			
15SV04	4	5,5	58,4			54,7	53,1	52,5	49,4	46,3	39,7	46,9	28,9			
15SV05	4	5,5	72,7			67,8	65,8	65	61	57,1	48,7	45,2	34,9			
15SV06	5,5	7,5	87,6			81,5	79,4	78,4	74,1	69,9	60,3	56,3	44,2			
15SV07	5,5	7,5	101,9			94,5	91,9	90,8	85,7	80,6	69,4	64,7	50,5			
15SV08	7,5	10	117,4			111	108	106,8	101	94,9	82	76,7	60,6			
15SV09	7,5	10	131,9			124	121	119,6	113	106,1	91,5	85,5	67,4			
15SV10	11	15	147,7			139	135	133,8	127	119,6	103,9	97,4	77,5			
15SV11	11	15	162,3			152	149	146,8	139	131,1	113,8	106,5	84,7			
15SV13	11	15	191,3			179	175	172,5	163	153,7	133,1	124,5	98,6			
15SV15	15	20	222,1			210	205	202,6	192	181,7	158,3	148,5	119			
15SV17	15	20	251,6			237	231	228,9	217	205	178,4	167,3	134			
22sv01	1,1	1,5	14,5					13,5	12,7	12	10,4	9,7	7,7	6,3	4,7	3,4
22sv02	2,2	3	30,4					28,5	27,2	26	23,3	22,2	18,9	16,6	14	11,5
22sv03	3	4	45,4					42,2	40,4	38,5	34,5	32,8	27,8	24,2	20	16,6
22sv04	4	5,5	60,9					56,8	54,4	51,9	46,6	44,4	37,9	33,1	28	23
22sv05	5,5	7,5	76					70,9	67,9	64,9	58,3	55,6	47,4	41,4	38	28,8
22sv06	7,5	10	93,2					88,8	85,7	82,5	75,4	72,4	63,3	56,7	49	42,6
22sv07	7,5	10	108,5					103,1	99,4	95,7	87,2	83,7	73,3	65,3	57	48,8
22sv08	11	15	124,6					119,2	115	111	101,6	97,7	85,7	77	67	58,2
22sv09	11	15	140,1					133,7	129	124,4	113,8	109,3	95,8	86	75	64,8
22sv10	11	15	155,4					148,2	143	137,8	125,9	120,9	106	94,8	82	71,3
22sv12	15	20	186,1					178,6	173	166,8	152,9	147	129	116	101	87,4
22sv14	15	20	216,6					207,7	201	193,7	177,4	170,4	149	134	116	100,6
22sv15	18,5	25	232,7					223,6	217	208,9	191,6	184,2	162	145	126	109,8

Tableau 4 : Moteurs triphasés 50 Hz, 2 Pôles

TYPE DE MOTEUR			COURANT ABSORBÉ (A) TRI-PHASE				DONNÉES RELATIVES À LA TENSION DE 400 V 50 Hz						
KW	TABLE	FORME D'EXECUTION	Δ		Y		tr/min	kg/kw	η%	cosφ	Tn		
			220-240 V	380-415 V	380-415 V	660-690V					Nm	Ts/Tn**	
0,37	71R	B14	2,34	1,35	-	-	2770	4,32	65,3	0,66	1,38	4,14	
0,55	71	B14	2,56	1,48	-	-	2845	5,97	72,3	0,74	1,85	3,74	
0,75	80	B14	3,05	1,76	-	-	2895	8,70	77,8	0,79	2,47	4,71	
1,1	80	B14	4,09	2,36	-	-	2895	8,98	87,5	0,87	3,63	4,67	
1,5	90	B14	5,23	3,02	-	-	2885	7,86	83,8	0,86	4,96	3,34	
2,2	90	B14	8,04	4,64	-	-	2895	8,63	85,7	0,80	7,25	3,74	
3	100R	B14	10,72	6,19	-	-	2885	8,32	85,6	0,82	9,92	3,52	
4	112R	B14	-	-	7,63	4,41	2905	9,52	89,1	0,85	13,1	3,04	
5,5	132R	B5	-	-	10,4	6,00	2900	10,3	87,5	0,87	18,1	4,43	
7,5	132	B5	-	-	14,0	8,08	2925	9,21	88,5	0,87	24,5	3,26	
11	160R	B5	-	-	20,5	11,8	2925	9,60	89,6	0,86	35,9	3,47	
15	160	B5	-	-	26,0	15,0	2945	8,45	91,7	0,91	48,6	2,26	
18,5	160	B5	-	-	33,2	19,2	2950	9,75	92,0	0,88	59,8	2,82	
22	180R	B5	-	-	38,6	22,3	2955	9,50	92,1	0,89	71,1	2,74	
30	200	B5	-	-	53,6	31,1	2955	6,50	92,9	0,87	97,0	2,40	
37	200	B5	-	-	65,8	38,1	2950	6,80	93,3	0,87	120	2,40	
45	225	B5	-	-	78,0	45,2	2960	7,00	93,6	0,89	145	2,20	
55	250	B5	-	-	95,0	55,1	2960	7,00	93,9	0,89	178	2,20	

## **CHAPITRE III. SYSTEME DE CONTROLE AUTOMATIQUE DE STATION DE POMPAGE**

### **III.1. But Principal**

Dans le chapitre précédent, nous avons pu calculer la quantité d'eau qui pourrait satisfaire les différentes catégories bénéficiaires de cette adduction d'eau (habitant de la localité, les élèves, les visiteurs du marché, les membres de différentes églises,..).

Cependant il en résulte une grande irrégularité dans la consommation de cette ressource naturelle. Par exemple les élèves pendant les vacances, les membres des églises pendant les autres jours outre que le dimanche, les visiteurs du marché pendant les autres jours à part les deux jours de fonctionnement, on observe une baisse consommation qui peut provoquer un sur-stockage dans un réservoir de distribution ou même un sous stockage pendant les heures de pointe.

C'est pourquoi le but principal du présent chapitre est de pouvoir assurer la protection de la station et de permettre son fonctionnement adéquat en toute sécurité. Pour cela nous allons essayer de prévoir des dispositifs électriques capable de signaler un débordement ou un sous- stockage dans un réservoir de distribution et de permettre ainsi la mise en marche ou l'arrêt de la pompe. Ce système aura quelques avantages suivants :

- 1° Eviter un sur-stockage et un sous-stockage dans un réservoir de distribution ;
- 2° Satisfaire à la demande en eau d'une façon permanente ;
- 3° Diminuer la fatigue de la machine ainsi que celle de l'opérateur ;
- 4° Augmenter la durée de vie des équipements ;
- 5° Remplacer valablement la présence de plusieurs opérateurs ;
- 6° Assurer la protection du matériel utilisé et diminuer les risques d'accident ;
- 7° Economiser l'énergie électrique, etc.

Ainsi pour profiter de ces avantages l'utilisation des détecteurs de niveaux est indispensable.

### III. 2. Généralités sur les détecteurs de niveaux

La détection de niveau est une mesure binaire c'est-à-dire que le capteur délivre une information binaire indiquant si le niveau seuil défini est atteint ou pas. La détection de niveau ne permet donc pas de connaître le volume du liquide contenu dans le réservoir mais permet de savoir si le liquide a atteint un seuil.

- La détection de niveau haut va permettre de stopper un remplissage afin d'éviter que le réservoir ne déborde pas.
- La détection de niveau bas va permettre de stopper l'extraction du liquide , ce qui permet de garder le volume minimum dans le réservoir.

L'association d'une détection de niveau haut et niveau bas permet d'automatiser le remplissage et le vidage des réservoirs.

Les détecteurs de niveau sont donc des systèmes ayant en général un coût moins élevé que celui de mesure continue. Cependant ces sont des systèmes très fiables car la sécurité des personnes et des installations repose très souvent sur eux. Ils servent en général à fournir un signal d'entrée aux systèmes d'alarme ou d'arrêt, aux automates programmables, aux circuits logiques à relais ou aux simples signalisations sonores ou visuelles.

### II.3. Les principaux types de détecteurs de niveau et leur fonctionnement

Il existe plusieurs types de détecteurs de niveau , ici nous nous sommes limité aux plus utilisés.

#### a) La détection de niveau par flotteur

Un flotteur est guidé par un tube non magnétique étanche qui le traverse en son centre et le long duquel il se déplace verticalement. A l'intérieur du flotteur se trouve un aimant permanent. De même, à l'extrémité du tube se trouve un aimant fixe de pôle opposé à celui de l'aimant mobile situé dans le flotteur. Ces deux aimants ont tendance à se repousser, donc un liquide de faible densité peut aussi déplacer le flotteur lors de la montée de son niveau.

Lorsque le niveau monte, l'aimant du flotteur passe autour de la capsule du relais bistable (type Reed) dont le contact change d'état.

Ses lamelles contact sont en effet sensibles à l'action du champ magnétique. Ce contact ne s'inversera qu'au passage du flotteur à la descente du niveau.

#### **b) La détection de niveau par lames vibrantes**

Deux lames métalliques parallèles agencées côte à côte sur une membrane métallique sont amenées par effet piézo-électrique à leur fréquence de résonance. Lorsqu'elles entrent en contact avec l'eau (ou liquide) la fréquence ainsi que l'amplitude de vibration de ces deux lames diminue.

Pour la détection d'un niveau de liquide, un circuit électronique détecte la variation de fréquence d'oscillation des lames et la traduit en un changement d'un signal de sortie "tout ou rien".

Pour la détection d'un niveau de produit solide en poudre ou en grains pas trop gros, un circuit électronique détecte la variation d'amplitude des oscillations des lames et la traduit en un changement d'un signal de sortie "tout ou rien".

L'allure de ces lames, sorte de fourche, s'apparente donc à celle d'un diapason. La fréquence de résonance, par exemple de 85 Hz ou de 120 Hz, est choisie de façon à éviter les perturbations de la fréquence du secteur (50 Hz). Ce système ne nécessite aucun réglage.

#### **c) La détection de niveau par lames micro-ondes**

On appelle parfois ce dispositif une barrière à micro-ondes. Ici, le faisceau d'ondes électromagnétiques à très haute fréquence (ondes "radar" de fréquence de l'ordre de plusieurs GHz soit une longueur d'onde comprise entre le mm et le m) est émis selon un axe horizontal. Lorsque l'eau s'interpose entre l'émetteur et le récepteur, l'onde perçue par ce dernier est affaiblie. Le circuit électronique traitant le signal de réception change alors l'état d'un contact ou la valeur du signal binaire de sortie.

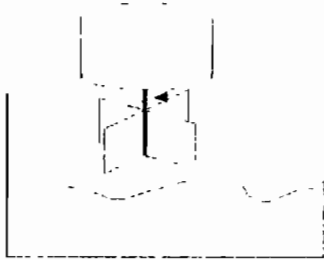
Les micro-ondes traversent les parois en plastique (PVC, polyéthylène, téflon, ...) mais pas les parois métalliques. Donc, l'émetteur et le récepteur sont protégés du produit par une paroi en plastique ou en verre, la paroi latérale métallique du réservoir étant percée de deux trous en vis-à-vis. Avec un réservoir en plastique, le montage peut être entièrement extérieur.

#### **d) La détection de niveau à palettes relatives**

Ce principe est utilisé avec les produits solides pulvérulents. Un moteur fait tourner lentement une ou plusieurs palettes métalliques.

Lorsque le produit entrave la rotation des palettes, le couple résistant augmente. Un dispositif mécanique ou électrique détecte cette variation du couple et actionne un contact.

Exemple: Le schéma ci-dessous montre les plaques rectangulaires soudées en croix sur l'arbre du moteur.



**Schéma15: Plaques rectangulaires soudées en croix sur l'arbre du moteur**

#### **e) La détection de niveau optiques**

Le faisceau lumineux étroit et directif, d'axe horizontal d'une lampe est détecté par une cellule photoélectrique. Lorsque le niveau de liquide (non transparent) intercepte ce faisceau, l'intensité lumineuse reçue par la cellule diminue. Si le liquide est transparent (par exemple, de l'eau propre), il peut aussi réfléchir un faisceau lumineux oblique vers une cellule qui ne le détecte alors qu'à niveau haut.

#### **f) La détection de niveau par sonde(s)de conductivité**

Une sonde (électrode, simple tige métallique d'axe vertical isolée de la masse du réservoir) a son extrémité inférieure toujours immergée dans le liquide. Celui-ci est conducteur de l'électricité (ex: eau, acide). Lorsque le niveau monte, ce liquide arrive en contact avec l'extrémité de la deuxième sonde située plus haut. Le circuit électrique est alors fermé entraînant ainsi un courant alternatif sous très basse tension passant entre ces deux électrodes. Cette variation de résistance du milieu qui passe de l'état d'isolant (gaz ou vapeur) à l'état conducteur (liquide) produit une variation de tension détectée par un circuit électronique qui change l'état d'un contact ou d'un signal de sortie.

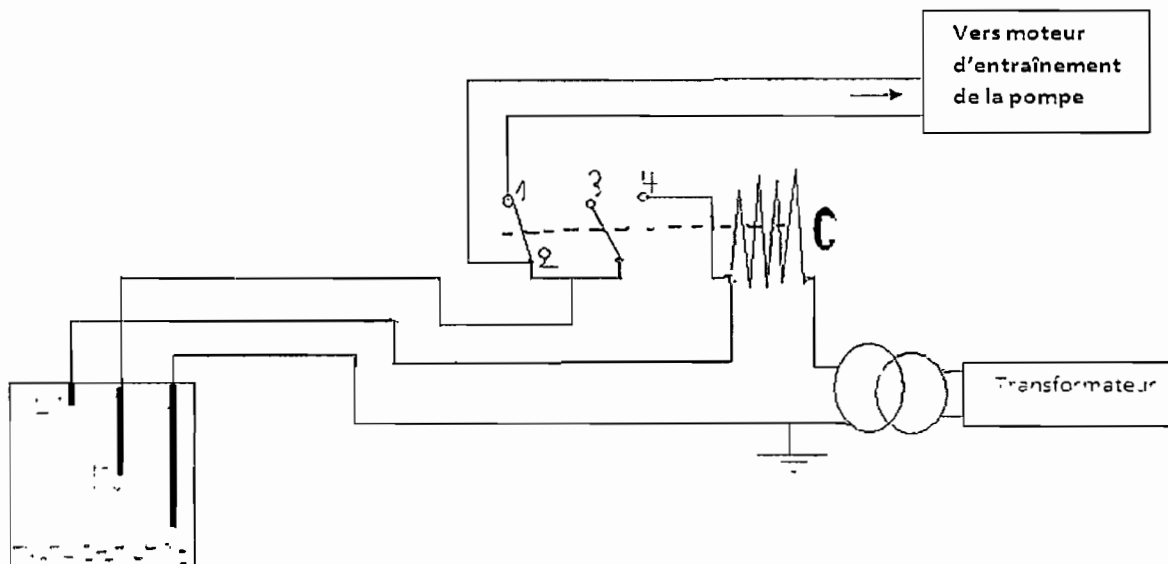
### III. 4. Choix de type de détection

Parmi les différents types de détections de niveau évoqués à la page précédente , notre choix est porté sur la détection de niveau par sonde de conductivité à cause des avantages qu'elle offre et entre autre :

- Sa simplicité de montage ;
- Coût moins élevé ;
- Indépendance par rapport aux caractéristiques physiques du produit (en particulier sa masse volumique).

Toutefois, il faut remarquer qu'un circuit électronique doit être associé afin de régler la valeur du seuil de résistance entre électrode en dessous duquel on veut que le contact change d'état. Il faut utiliser aussi un courant alternatif sous faible tension pour éviter tout risque d'électrocution et sous faible intensité pour qu'il n'y ait pas d'électrolyse du liquide dont on mesure le niveau.

### III .5. Principe de fonctionnement de la commande automatique de station de pompage



**Schéma 16 : Fonctionnement de la commande automatique**

- $E_1$  : électrode de niveau haut du liquide ;
- $E_2$  : électrode de niveau bas du liquide ;
- $E_3$  : électrode de terre ;
- $C$  : bobine de contrôleur de niveau.

Comme le schéma précédent le montre ; lorsque la pompe est mise en marche, elle refoule normalement dans un réservoir de refoulement. Tant que le liquide n'a pas encore atteint l'électrode de niveau haut du liquide  $E_1$ , rien ne se passe. Lorsque maintenant le liquide atteint  $E_1$ , il ferme le circuit  $E_3E_1$ . La bobine  $c$  de contrôleur de niveau est alors excitée et attire ses contacts normalement fermés (1-2) et normalement ouverts (3-4). Le contact 1-2 ouvre alors le circuit du moteur d'entraînement et la pompe s'arrête.

A l'inverse, lorsque le liquide chute en dessous de  $E_1$ , la pompe reste toujours hors tension puisque la bobine  $c$  reste sous tension via l'électrode  $E_2$  et maintient ses contacts. Lorsque le liquide continue à chuter jusqu'en dessous de  $E_2$ , la bobine est alors désexcitée et lâche ses contacts. Le contact 1-2 est de nouveau fermé et la pompe démarre, etc.

### III. 6. La commande manuel

La commande manuelle va permettre à la station de pompage de fonctionner indépendamment des détecteurs de niveau. Cette commande permet à l'opérateur de démarrer ou d'arrêter la pompe selon sa volonté.

Cette commande présente deux principaux avantages :

1. Assurer le fonctionnement de façon continue en cas de panne des détecteurs ;
2. Démarrer la pompe selon la disponibilité de l'énergie électrique. (par exemple pendant la saison de pluie l'opérateur peut juger de démarrer la pompe lorsque le soleil est au zénith).

Le point de la page suivante donne les schémas électriques de puissance et de commande de ces systèmes.

### III.7. Schéma électrique de puissance et de commande d'une station de pompage

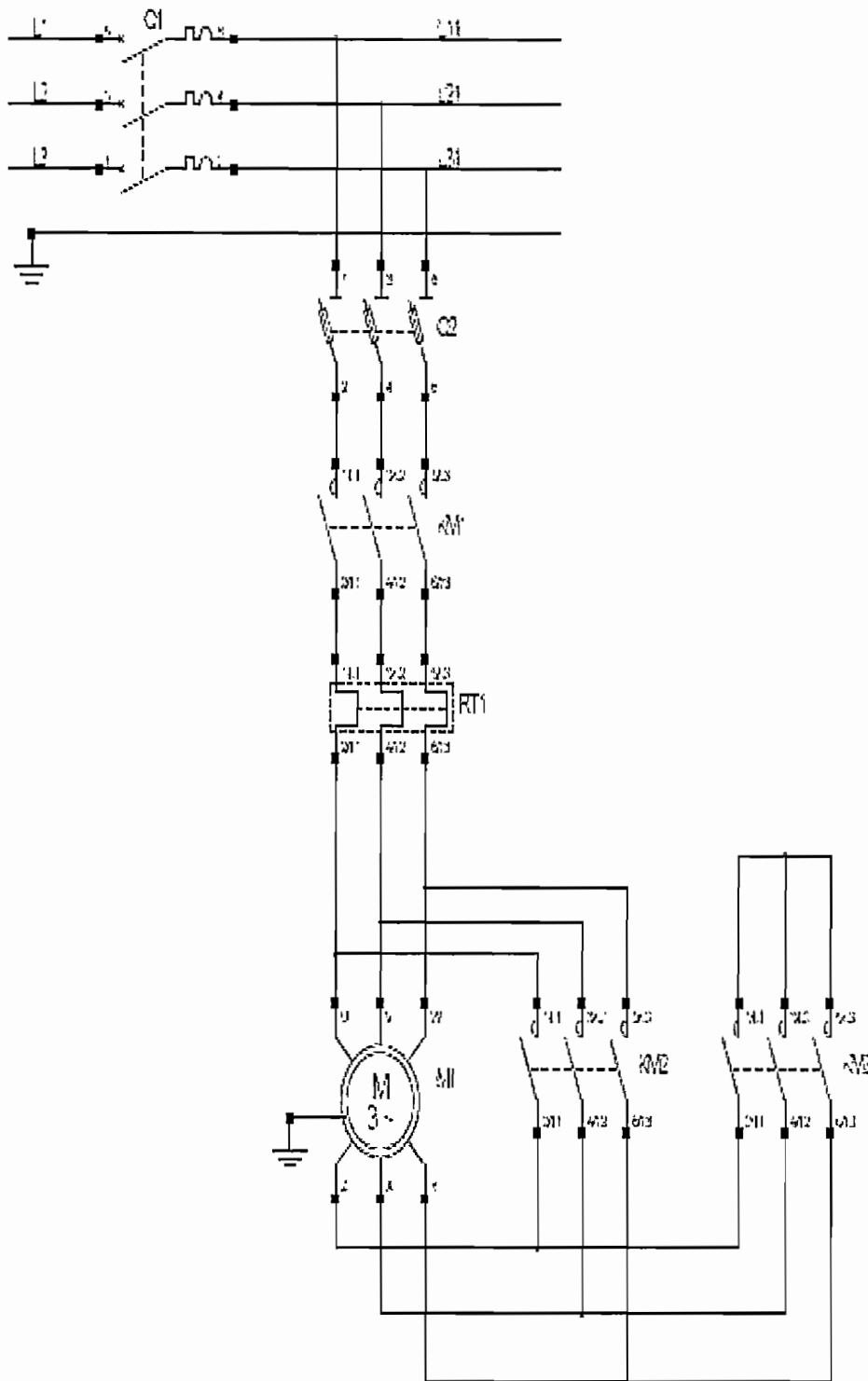


Schéma 17 : Schéma de Puissance

### III.7.1. Analyse du fonctionnement du circuit de puissance

Le moteur est alimenté en UVW et bouclé en ZXY étoile . Quand les contacts temporisés de KM1 bascule, KM3 décolle et KM2 est excité. Le moteur fonctionne alors en triangle.

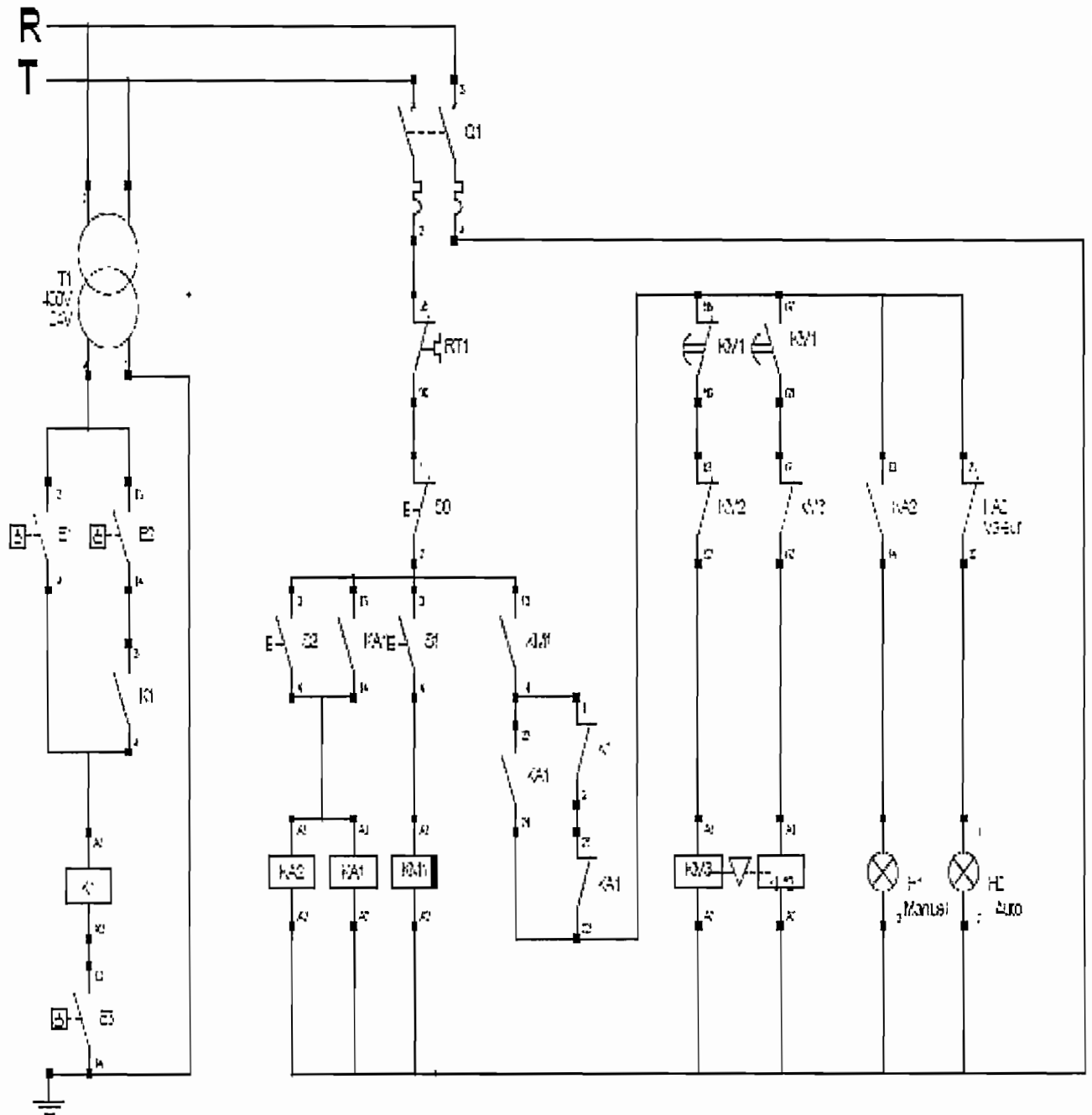


Schéma 18 : Schéma de commande

### III .7.2. Analyse du fonctionnement du circuit de commande

L'opérateur appui sur le bouton poussoir  $S_1$  pour démarrer la machine. La bobine  $KM_1$  du contacteur temporise à 3 seconde est alors excité fermant ses contact 13-14, le courant passe alors du contact normalement fermé 55-56 c'est le démarrage étoile, après 3 seconde de temporisation le contact 55-56 s'ouvre et le contact 57-58 se ferme, c'est le passage de démarrage étoile en triangle, la lampe  $H_2$  qui montre la commande automatique est alors allumé en rouge, si le niveau d'eau monte dans un réservoir le capteur de niveau  $E_3$  se ferme, puis  $E_2$ . Si  $E_1$  est fermé, on a alors la bobine  $K_1$  du contrôleur de niveau qui est excité, fermant ainsi le contact 3-4 normalement ouvert et ouvrant le contact 1-2 normalement fermé le circuit du moteur est alors coupé. C'est l'arrêt de la machine,  $E_2$ , maintient l'excitation de U, si  $E_1$  s'ouvre (le niveau descend en dessous de  $E_1$ ).

Pour la commande manuelle, on a la fonction  $S_1 \circ S_2$  c'est-à-dire que  $S_2$  fonctionne dès que  $KM_1$  est fermé. Appuyer sur  $S_2$ , le contact  $KA_1 23-24$  se ferme et  $KA_1 21-22$  s'ouvre coupant ainsi la commande automatique (même si  $K_1 1-2$  se ferme, et  $KA_2 1-22$  est ouvert), la bobine du contacteur  $KA_2$  est en même temps excité que  $KA_1$ , il agit ainsi sur le contact 13-14 et 21-22 et la lampe  $H_2$  signalisant la commande manuelle est allumé.

## **CHAPITRE IV : ENERGIE SOLAIRE ET SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE**

### **IV .1. Energie solaire**

#### **IV.1.1. Introduction générale**

Dans les pays en voies de développement, nous remarquons des problèmes énergétiques, ceux de leurs réseaux électriques ne peuvent pas être déconnectés du contexte économique et social dans lequel ils se posent. De nos jours les scientifiques sont à la recherche de l'énergie répondant aux besoins de l'humanité, qui contribuerait à améliorer les conditions de vie sans toute fois les inhiber par la pollution. Ainsi l'accès à l'électricité est crucial pour le développement humain , cette énergie rencontre pas mal de problèmes pour servir aux nécessiteux.

Pour le cas de notre pays , la seule entreprise nationale de distribution d'eau et d'énergie électrique, la REGIDESO, est accusée de ne pas satisfaire aux besoins de sa clientèle ; sa justification n'est autre que l'accroissement de la demande non proportionnelle à l'offre (d'où le délestage). Mêmes là où la REGIDESO a pu distribuer cette énergie , on connaît également des perturbations pour la raison ci-haut évoquées . Pour palier à ce problème , il serait plus que nécessaire de chercher des moyens de secours mais qui ne causent pas d'autres problèmes. Parmi ceux-là il faudra songer à l'énergie renouvelable.

Les énergies renouvelables utilisent des flux d'énergies d'origine naturelle {soleil ,vent, eau, croissance végétale, géothermique} elles constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres. Elles sont "inépuisables "et autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux. Elles présentent un environnement sans émission de gaz à effet de serre, ne produisent pas de déchets et n'entraînent ni risques majeurs ni nuisances sociales significatives.

#### **IV.1.2. Ensoleillement**

Pour la région de Bujumbura où se trouve le site de travail, la station de prélèvement de l'aéroport montre que l'insolation dans cette région est environ  $5\text{kWh/m}^2/\text{jr}$  (IGEBU).

Le tableau ci-après donne la moyenne mensuelle du rayonnement global exprimé en Cal (cm<sup>2</sup>/jr enregistré sur une période de 10 ans (1985-1994) par la station météoro-logique de Bujumbura.

**Tableau 5: Moyenne mensuelle du rayonnement**

Année \ Mois	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Janvier	427	337	356	382	380	441	430	400	386	380
Février	314	368	416	474	452	380	420	321	362	357
Mars	449	408	442	401	380	285	457	430	406	430
Avril	462	402	449	420	430	375	410	409	410	429
Mai	445	420	400	452	450	440	339	420	419	375
Juin	487	443	472	455	445	460	412	380	384	362
Juillet	453	407	440	373	382	480	404	461	390	431
Aout	454	462	442	406	390	502	421	430	318	336
Sept	400	437	400	453	447	420	457	436	489	367
Oct	404	446	468	425	425	460	339	392	468	361
Nov	466	371	401	461	470	384	350	388	-	371
Dec	-	-	472	385	381	385	449	380	425	400

Grace à ces données d'insolation, nous pouvons déterminer l'énergie journalière disponible sur le site de travail et on va dimensionner le système photovoltaïque. D'après ce tableau, la valeur moyenne minimale d'insolation globale au cours de ces 10 ans est 314 cal/cm<sup>2</sup>/jr, soit 3.65 kWh/m<sup>2</sup>/jr, la valeur maximale moyenne d'insolation est 502 cal/cm<sup>2</sup>/jr soit 5.83 kWh/m<sup>2</sup> /jr, sachant que 1cal/cm<sup>2</sup>= 11.62 Wh/m<sup>2</sup>.

## IV.2. Rayonnement solaire

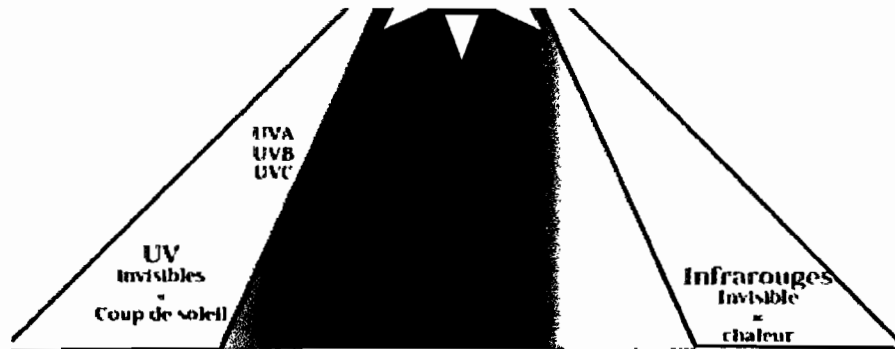
### IV 2.1. Définition

Le rayonnement solaire est un ensemble d'ondes lumineuses émis par le disque solaire dans l'espace, qui atteignent la terre en moins de 8 min. Le rayonnement solaire traverse une grande distance d'environ 150.000.000 km (distance terre-soleil) à une vitesse de 3.10<sup>5</sup> km/s. Il rencontre des molécules voyageant dans l'espace ainsi que l'atmosphère qui entoure la terre avant de nous parvenir. Ce qui explique la faible portion d'énergie solaire reçue au sol.

### IV.2.2. Classification des rayons solaires

Les rayons solaires sont classés en fonction de leur longueur d'onde. Les ondes courtes et les ondes longues. Plus un rayon est plus court plus il pénètre profondément dans la peau et plus il l'endommage.

- Les rayons à ondes courtes comprennent notamment les rayons X, les rayons beta, rayon ultra violet cosmique (UVC) et les rayons gamma. Ces rayons sont extrêmement dangereux mais heureusement ils sont arrêtés par l'atmosphère de la terre et notamment la couche d'ozone.
- Les rayons à onde longues qui parviennent à la surface de la terre sont principalement :
  1. Les ultraviolet A et B environ 5% ;
  2. La lumière visible environ 40% ;
  3. Les infrarouges environ 55%.



**Schéma 19 : Classification des rayons solaires**

**Tableau 6 : Principales ondes connues avec leurs longueurs d'ondes et leurs fréquences**

Types d'ondes	Longueur d'onde	fréquence
Onde radio, TV et Radar	>1mm	$< 3 \times 10^{11}$ Hz
Infrarouge	1m m à 0.84mm	$3 \times 10^{11}$ à $4 \times 10^{14}$ Hz
Lumière visible	0.8mm à 0.4mm	$3.7 \times 10^{14}$ à $7,5 \times 10^{14}$ Hz
Ultraviolet	0.4 à 0.05 $\mu$ m	$7,5 \times 10^{14}$ à $6 \times 10^{15}$ Hz
Rayons X	0,05 à $10^{-2}$ A°	$6 \times 10^{15}$ à $3 \times 10^{20}$ Hz
Rayons Gamma	$< 10^{-2}$ A°	$> 3 \times 10^{20}$ Hz

#### IV.2.3. Aspect lumineux et énergétique du soleil

Le soleil, corps chaud à une température de plus de 6 000 K, émet une énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Les longueurs d'ondes de ce type de rayonnement dépendent de la température. En raison de la température élevée du soleil, les longueurs d'onde dans lesquelles le maximum d'énergie est émis recouvrent le visible entre 0,4 à 0,75 microns et le proche d'infrarouge.

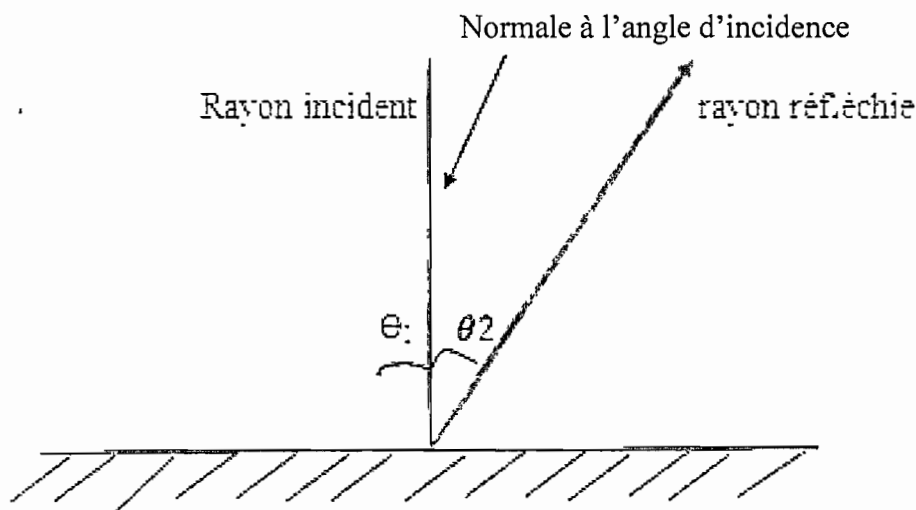
Le rayonnement recouvre un spectre qui intéresse donc à la fois les problèmes lumineux (éclairage lumineux) et les problèmes énergétique (rayonnement solaire). L'ensemble du rayonnement électromagnétique est très vaste puisqu'il va des rayons cosmiques qui nous parviennent de l'espace intersidéral jusqu'aux ondes hertziennes (grandes ondes, ondes moyennes, courtes et Ultra-courtes utilisées en radio et télévision), en passant par l'énergie solaire et la lumière visible.

#### IV.2.4. Intensité du rayonnement solaire sur une paroi

Le transfert de chaleur par rayonnement s'effectue sans aucun support matériel. Mais une fois émis par le soleil, le rayonnement atteint la surface des corps et subit suivant leurs caractéristiques certaines transformations. La densité du flux ( $W/m^2$ ) qui atteint une paroi, densité du flux incident provient des trois composants : la composante directe, la composante diffuse et la composante réfléchie.

#### IV.2. 4.1. La composante directe

La composante direct correspond au flux solaire qui atteint directement la paroi quand celle-ci est exposé au soleil. Elle dépend de la hauteur du soleil (réduction atmosphérique) et de l'angle d'exposition de la paroi au soleil à l'instant considéré. Plus le flux est normal à la paroi, plus il est important. Plus il est rasant, plus il est faible. C'est la surface normale au rayonnement solaire qui importe. Elle est obtenue en multipliant la surface irradiée par le cosinus de l'angle d'incidence.



**Schéma 20 : Réflexion des rayons solaires et l'angle d'incidence**

L'angle d'incidence solaire est l'angle que fait un rayon incident avec la normale à la surface au point considéré. Cet angle détermine l'importance du rayonnement direct intercepté par la paroi.

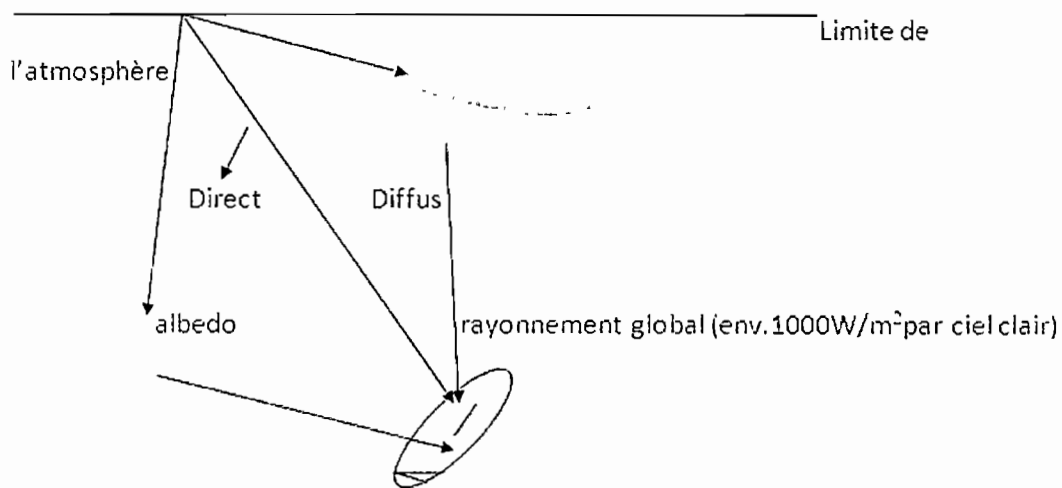
#### IV.2.4. 2. La composante diffuse

La composante diffuse indique l'intensité qui repart en tenant compte de l'inclinaison avec laquelle la lumière incidente arrive sur la surface, mais en supposant que l'intensité est la même quelle que soit la direction que prend le rayon réfléchi.

### IV.2.4.3. La composante réfléchie

La composante réfléchie présente la partie du flux interceptée par la paroi suite aux réflexions solaires produites par l'environnement proche.

En première approximation, cet environnement est représenté par un plan horizontal renvoyant une part du flux global incident (direct et diffus). La part réfléchie dépend de l'albédo, coefficient de réflexion solaire du plan récepteur considéré. Le flux intercepté par la paroi dépend de son inclinaison.



**Schéma 21 : Rayonnement extraterrestre (moy. 1367W/m<sup>2</sup>)**

#### IV.2.5. Puissance du Rayonnement Solaire à la Surface du Soleil

La puissance rayonnée à la surface du soleil est à peu près égal à  $3.79 \times 10^{26} \text{ W}$

selon la relation :  $Pr = D^2 T^6$  (4.1)

où  $Pr$  : Puissance rayonnée ;

$D$  : Diamètre du soleil en m ;

$\sigma$  : Coefficient d'absorption  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$  ;

$T$  : Température absolue du soleil en °k/.

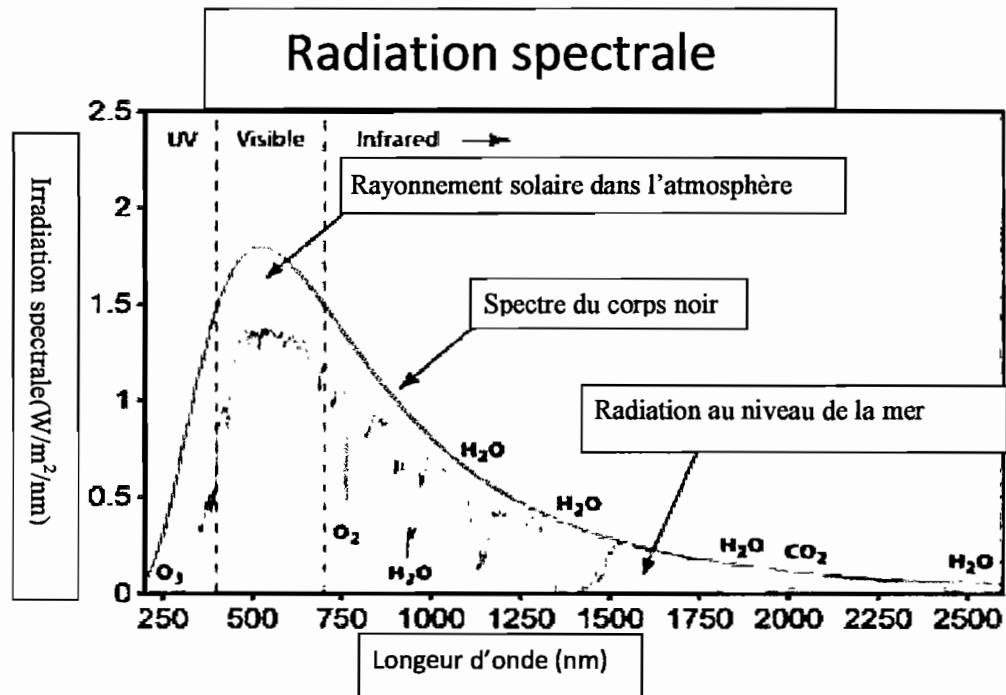


Schéma 22 : Répartition spectrale du rayonnement solaire

#### IV.2.6. Rayonnement solaire global et la constante solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le soleil qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre en moins de 8 minutes. Il est défini par la relation suivante :

$$G = D + I \sin h \quad (4.2)$$

où

$G$  : est le rayonnement solaire global ;

$D$  : Rayonnement diffus (provenant du voute céleste et des nuages) ;

$I$  : Rayonnement solaire direct : celui qui parvient directement à la surface de la terre ;

$h$  : La hauteur du soleil (angle entre le plan horizontal et la direction solaire).

On définit la constante solaire comme étant la quantité d'énergie rayonnante, supposé intégralement transformée en chaleur que le soleil envoie par minute à travers une surface de  $1\text{cm}^2$  normale aux rayons solaires, situées en dehors de l'atmosphère terrestre à une distance du soleil égale à la distance moyenne de la terre au soleil.

Après des milliers de mesures, on adoptait, il y a une vingtaine d'années, comme valeur de la constante solaire  $1.94\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ , soit  $0.135\text{ W}/\text{cm}^2$ . Actuellement on admet  $0.135\text{ W}/\text{cm}^2$  (JONHNSON, 1954) soit  $1.395\text{ kW}/\text{m}^2$ . En arrondissant on admet pratiquement  $1400\text{ W}/\text{m}^2$  ou  $1200\text{ kcal}/\text{m}^2/\text{h}$ .

### IV.3. Système photovoltaïque

#### IV.3.1. Définition et composition du système photovoltaïque

Un système photovoltaïque est un ensemble de matériels électriques interconnectés afin de transformer l'énergie Solaire captée en énergie électrique utilisable dans les applications industrielles ou domestique. Ce système va produire de l'électricité au même titre que le réseau traditionnel de distribution électrique . Ce système est composé par :

- Les panneaux solaires;
- Régulateur;
- Onduleur;
- Batterie d'accumulateurs ,Etc.

#### IV.3.2. Les panneaux solaires

Par définition un panneau solaire est un dispositif destiné à récupérer une partie de l'énergie de rayonnement solaire pour la convertir en une forme d'énergie (électrique ou thermique) utilisable par l'homme.

On distingue donc deux types des panneaux solaires :

- a) **Les panneaux solaires thermiques** : appelées capteurs solaires thermiques ou simplement capteurs solaires, ils convertissent la lumière en chaleur récupéré et utilisable sous formes d'eau chaude.
- b) **Les panneaux solaire photovoltaïques**, appelés modules photovoltaïques ou simplement panneaux photovoltaïques, ils convertissent la lumière en électricité. Les panneaux solaires photovoltaïques sont habituellement plats d'une surface approchant plus ou moins le  $1 \text{ m}^2$  pour faciliter et optimiser la pose. Les panneaux solaires sont les composants de base de la plus part des équipements de production de l'énergie solaire photovoltaïque.

Dans ce travail nous nous sommes intéressés par les panneaux photovoltaïques produisant de l'électricité pouvant alimenter la pompe.

### IV.3.2.1. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photo-sensible. Son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs. La cellule photovoltaïque permet la conversion directe d'énergie lumineuse en énergie électrique, son principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque.

En effet, lorsque les photons frappent certains semi-conducteurs ils délogent et mettent en mouvement des électrons de ces matériaux ; or le courant électrique n'est rien d'autre qu'un déplacement des électrons. Une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur, qui sont dopées différemment. Par exemple pour une cellule en silicium, la couche N est dopée négativement avec des atomes de phosphore contenant plus des électrons que le silicium.

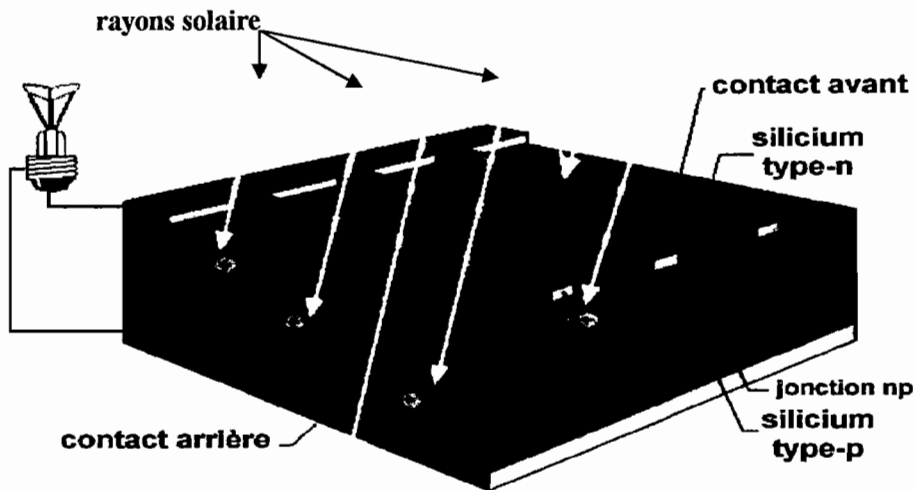
La couche P est dopée positivement par adjonction d'atomes de base contenant moins d'électrons que le silicium.

La zone négative (N) est couverte par une grille métallique qui sert de cathode alors qu'une plaque métallique recouvre l'autre face du cristal et sert d'anode. Tout ceci sur une épaisseur d'environ 1mm.

Les charges élémentaires qui vont produire le courant électrique sous illumination sont des électrons, charges négatives élémentaire, contenus dans la matière semi-conductrice. Tout solide est en effet constitué d'atomes qui comprennent chacun un noyau (constitué de protons et de neutrons) et un ensemble d'électrons gravitant autour de lui.

Les photons absorbés vont tout simplement transférer leur énergie aux électrons périphériques (les plus éloignés du noyau) leur permettant ainsi de se libérer de l'attraction de leur noyau. Ces électrons libérés sont susceptibles de produire un courant électrique si on les attirent vers l'extérieur.

En régime permanent, l'électron libéré laisse un trou qui se traduit par une charge positive. Si cet électron est attiré au dehors de l'atome, c'est l'électron d'un atome voisin qui va venir combler ce trou, laissant à nouveau un trou lui-même comblé par un électron voisin et ainsi de suite. On génère ainsi une circulation de charges élémentaires d'électrons dans un sens et des trous dans l'autre sens ; ce qui donne un courant électrique.



**Schéma 23 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque**

#### **IV.3.2.2. Energie disponible aux bornes d'une cellule**

Comme dans tout système énergétique, l'énergie disponible aux bornes d'une cellule photovoltaïque est fonction de l'énergie entrante et des pertes ; ce que l'on peut écrire de la façon suivante :

$$E_{\text{électrique}} = E_{\text{lumineuse}} - P_{\text{thermique}} \quad (4.3)$$

$E_{\text{électrique}}$  : Energie disponible aux bornes de la cellule photovoltaïque ;

$E_{\text{lumineuse}}$  : Energie incidente (flux lumineux) ;

$P_{\text{thermique}}$  : Les pertes thermiques (par convection, rayonnement, et conduction) .

#### **IV.3.2.3. Rendement d'une cellule photovoltaïque**

Le rendement d'une photopile est le rapport entre l'énergie électrique maximal (en watt ou en Joule) pouvant être extrait et la puissance du rayonnement incident (Énergie de la lumière).

$$\eta = \frac{I_{\max} \cdot V_{\max}}{\phi \cdot S} \quad (4.4)$$

$\eta$  : Rendement ;

$\phi$  : Flux rayonné ;

$S$  : surface de captation ;

$I_{\max}$  : courant maximal fourni ;

$V_{\max}$  : tension maximale fournie.

En effet, toute l'énergie de la lumière n'est pas transformée en électricité :

- Certains photons sont réfléchis sur la face avant des photopiles.
- D'autres n'ont pas d'énergie pour arracher un électron.
- Seuls les photons ayant une énergie suffisante c'est-à-dire les photons dont la longueur d'onde est comprise entre 0.4 et 1.1  $\mu\text{m}$  sont absorbés et créent des paires électron-trou.
- Enfin, certains électrons créés rencontrent des charges positives et se combinent avant d'avoir fourni un courant utile.

#### IV.3.2.4. Les différents types de cellules à base de silicium

Les cellules à base de silicium sont de plusieurs types selon leur technologie :

• **Cellules dites « monocristallin »** ils produisent de l'électricité dès qu'il y a la présence de lumière. Elles sont composées des fines tranches de plusieurs cristaux de silicium encapsulés dans une enveloppe plastique. Leur rendement est supérieur à 15% mais leur pouvoir d'absorption de lumière est assez faible, elles occupent environ 60% du marché.

• **Cellules au silicium « poly cristallin »** elles ne produisent de l'électricité qu'en présence du soleil. Elles sont composées de fine tranches de cristaux de silicium moins homogènes. Leur rendement énergétique est moins bon (environ 13%) mais leur pouvoir d'absorption est élevé, elles conviennent pour la maison et moyennes installations.

• **Cellule au silicium dite « amorphe »** elles produisent de l'électricité dès qu'il y a de la lumière, elles sont des fabrications mince, en grande plaque, très fragile, elles n'acceptent pas de contraintes mécaniques à la moindre déformation, elles se cassent.

Moins sensible à la température que le poly cristallin et monocristallin, leur prix de revient constitue leur avantages, mais leur rendement faible diminue rapidement avec le temps. elles sont de moins en moins utilisées et sont réservées pour la maison et petites installations.

### IV.3.3. Association des photopiles

#### IV.3.3.1. But de l'association des photopiles

La puissance maximale délivrée par une cellule photovoltaïque sous l'éclairement de référence de  $1 \text{ kW/m}^2$  génère une tension de  $0.55 \text{ V}$ , ce qui correspond à un courant faible . L'énergie électrique maximale fournie par une photopile dépend de surface de captation ; pour cela, la puissance utile fournie par une cellule unique est très faible. Il est donc nécessaire d'associer en série et en parallèle des cellules élémentaires pour obtenir une puissance adaptée à la charge à alimenter.

#### IV.3.3.2. Association des cellules en série

On associe les cellules en série pour augmenter la tension. La tension aux bornes de l'assemblage est égale à la somme des tensions délivrées par chacune des cellules.

$$U = \sum_{i=1}^n v_i \quad (4.5)$$

où  $U$  : tension aux bornes de l'assemblage ;

$V_i$  : tension aux bornes d'une cellule .

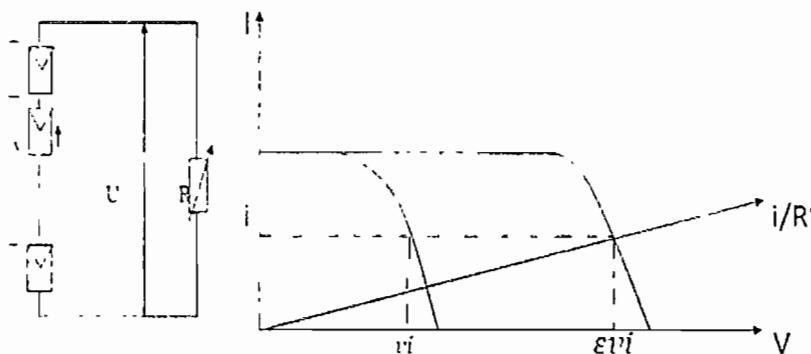


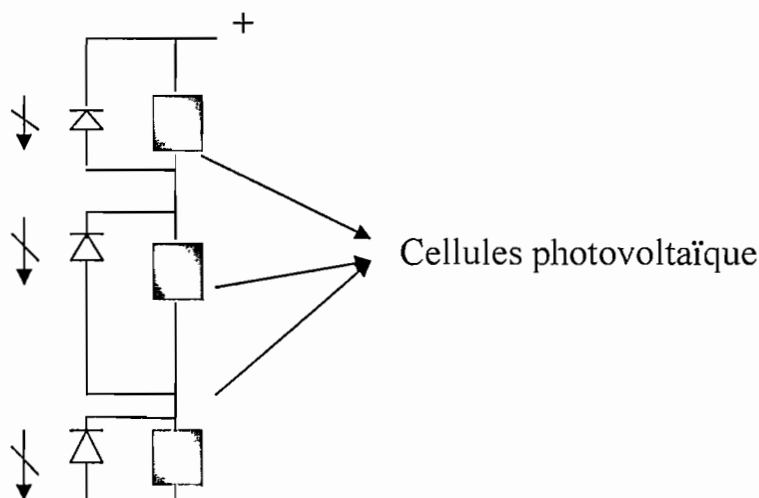
Schéma 24 : Association des cellules en série

Dans ce cas, le courant qui traverse les cellules est le même mais les cellules peuvent fonctionner à des tensions différentes.

#### ❖ Protection des cellules en série

Si une cellule est occultée (c'est-à-dire si elle ne reçoit plus qu'une faible partie de l'énergie solaire reçue par les cellules voisines). Elle fonctionne comme un récepteur par rapport aux autres cellules du module qui délivrent un courant supérieur à ce courant limité. En fonctionnant ainsi, un échauffement de la cellule apparaît et peut provoquer le claquage de la cellule. Pour limiter la tension inverse maximale susceptible de se développer aux bornes d'une cellule, les fabricants du modules photovoltaïque placent en parallèle donc une diode appelé diode by-pass sur toutes les 18 à 36 cellules.

Cette diode est disposée comme indiqué sur le schéma suivant :



**Schéma 25 : Protection des cellules en série**

#### IV.3.3.3. Association de cellules photovoltaïque en parallèle

On monte les cellules en parallèle afin d'accroître le courant. Dans ce cas, le courant de l'ensemble sera égal à la somme des courants produits par chacune des cellules.

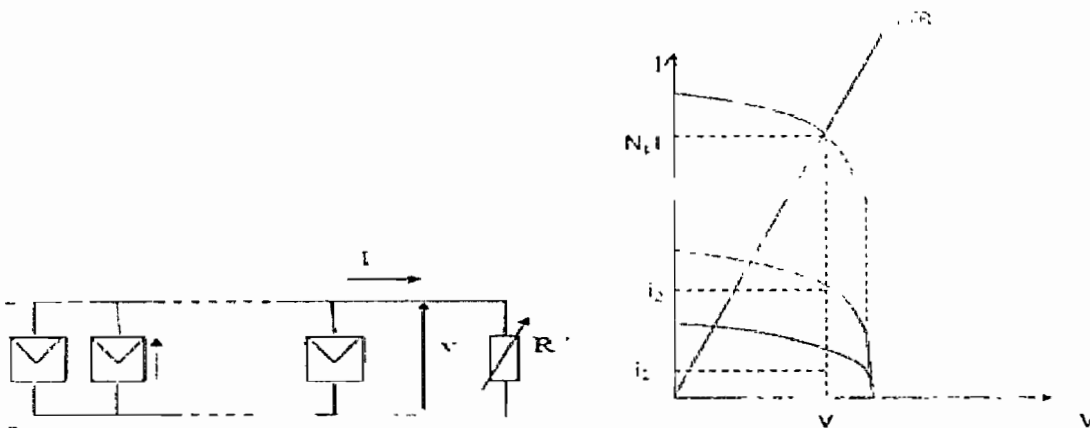
$$I = n_p \times I_c \quad (4.6)$$

où  $n_p$  : nombre de cellules ;

$I_c$  : courant circulant dans chaque cellule ;

$I$  : courant circulant dans l'assemblage.

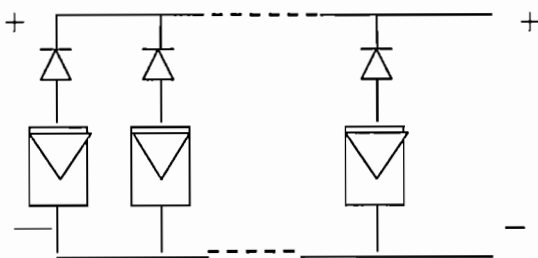
Ce pendant, la tension générée est la même pour toutes les cellules mais elles peuvent fonctionner avec des courant différents



**Schéma 26 : Association des cellules en parallèle**

#### ❖ Protection des cellules en Parallèle

Cependant, si une ou plusieurs cellules sont occultées, elle devient réceptrice car la tension de fonctionnement est supérieure à la tension de circuit ouvert. Bien qu'une cellule puisse dissiper un courant important, il est préférable de disposer d'une diode anti-retour, laquelle empêche également de gaspiller dans les autres cellules occultées une partie de la puissance produite par les cellules qui fonctionnent normalement. Pour limiter ces pertes et protéger les cellules, on place donc en série une diode, appelé diode série sur tous les n cellules comme l'indique le schéma suivant :



**Schéma 27 : Protection des cellules en parallèle**

#### IV.3.3.4. Association mixte des cellules photovoltaïques

La puissance de cellules disponibles sur le marché est de quelques watt-crêtes à quelques dizaines de watt-crêtes. Pour obtenir une puissance important , il est impératif de monter les cellules en série-parallèle .

Si  $P_m$  est la puissance disponible sur une cellule, la puissance totale disponible aux bornes d'un générateur sera :

$$P = N_{cp} \cdot N_{cs} \cdot P_m \quad (4.7)$$

$P$  : Puissance totale disponible ;

$P_m$  : Puissance disponible sur une cellule ;

$N_{cp}$  : Nombre de branche en parallèle ;

$N_{cs}$  : Nombre de cellule en série .

NB : Le groupement en série ou en parallèle de cellule photovoltaïque s'appelle **module PV**. Tandis que l'ensemble des modules groupés en série-parallèle s'appelle **champ de modules**.

#### IV.3.4. Puissance Crête d'un Module Photovoltaïque

La puissance qu'une installation photovoltaïque correspond à la puissance que peut fournir les modules. Mais, étant donné qu'un système photovoltaïque ne reçoit pas la même quantité de rayonnement solaire selon les heures de la journée, sa puissance varie au cours du temps. Pour cette raison, une mesure normalisée de la puissance photovoltaïque a été créée. On mesure la puissance crête d'un module ou d'une installation photovoltaïque en watts crête ( $W_C$ ). Cette puissance correspond à la puissance électrique maximale que délivre le module ou l'installation photovoltaïque pour un ensoleillement standard de  $1000 \text{ W/m}^2$  et à une température de  $25^{\circ}\text{C}$ .

La puissance en watt crête ( $W_C$ ) ou  $kW_C$  d'un panneau photovoltaïque n'est donc qu'indicative car les conditions d'ensoleillement varient en permanence. Pour se faire une meilleure idée de la puissance électrique réelle que pourra générer une installation, il faut appliquer au nombre de  $kW_C$  annoncé, un coefficient de pertes de 0.65 et 0.9 selon le cas.

En effet, de nombreux facteurs peuvent réduire réellement la puissance produite : la météo, la température, l'ombre, la poussière, la connexion entre les modules de puissance différente,...

Les coefficients de perte permettent de calculer la puissance crête photovoltaïque qui correspond à nos besoins l'équation est la suivante :

- ❖ Energie produite (kWh)=Nombres d'heures d'ensoleillement× Puissance crête× Coefficient de perte
- ❖ La puissance crête nécessaire à nos installations, il suffit de retourner l'équation :

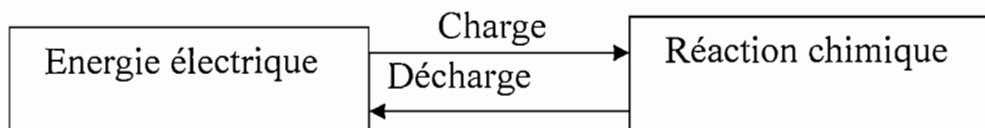
$$\frac{\text{Energie produite}}{\text{nombre d'heures d'ensoleillement} \times \text{Coefficient de pertes}} = \text{Puissance crête} \quad (4.8)$$

#### IV.4. Batteries d'accumulateurs

##### IV.4.1. Rôle des batteries d'accumulateurs

Comme un module PV ne génère de l'électricité que pendant la journée et en produit moins par temps nuageux, alors que le besoin en électricité est plus ou moins permanent, il est impératif de chercher le moyen de stocker cette énergie dans des accumulateurs électriques qui sont de petits réservoirs pouvant en magasier l'énergie pendant la journée (charge) et la restituer ultérieurement (décharge). Dans ce cas, l'énergie est stockée sous forme chimique. C'est la modification chimique d'un mélange appelé électrolyte qui permet d'accumuler ou de restituer cette énergie.

Principe de stockage



##### IV.4.2 Batteries solaires

La plus part des batteries utilisés dans un système solaire PV sont des batteries stationnaires qui peuvent être chargées et déchargées plusieurs milliers de fois. Ils sont caractérisés par rapport aux batteries de démarrage par :

- Série solaire de haute performance à bac transparent ;
- Batterie à plaque positive tubulaire ;

- Grande durée de vie avec entretien réduit ;
- Résistance à la charge et à la décharge ;
- Temps de décharge plus ou long ;
- Partie de 12V composée de 6 éléments de 2V avec connexion et électrolyte séparé.

#### IV.4.3. Principales caractéristiques des batteries d'accumulateurs

Les batteries solaires sont de plusieurs sortes, leurs caractéristiques principales sont :

- a. Capacité nominale : C'est la quantité maximale d'énergie que contient une batterie (sous température idéale de 25°C) elle s'exprime en Ampère heure (Ah) ;
- b. Etat de charge : C'est le pourcentage de la quantité d'énergie disponible dans la batterie à un instant donné ;
- c. Profondeur de décharge(PDD) : C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut retirer d'une batterie, elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie ;

En général, on choisit PDD=25% pour 3 jours d'autonomie PDD=70% pour 4 jours d'autonomie, PDD=80% pour 8 jours d'autonomie ;

- d. Tension nominale : C'est la tension du type de batterie, elle correspond aussi à la tension de fonction du système autonome, Exemple tension (2 V, 12 V, 24 V, 48 V) ;
- e. Taux de décharge : C'est le temps nécessaire pour recharger entièrement la batterie.  
Supposons une batterie de capacité de 100 Ah et de courant de décharge de 5 A, le taux de décharge sera de  $\frac{100 \text{ Ah}}{5 \text{ A}} = 20$  heures, il est noté C/20 ;
- f. Taux de recharge : C'est la quantité de courant qu'il faut pour recharger une batterie en un temps donné ( temps de taux de de décharge ) ;  
Supposons une batterie de 100 Ah et de taux de décharge C/20 le taux de recharge sera de  $\frac{100 \text{ Ah}}{20 \text{ A}} = 5 \text{ A}$  ;
- g. Cycle et durée de vie : C'est le nombre de séquence de charge (décharge) que peut subir une batterie à la profondeur de décharge de la batterie avant la fin de sa vie ;
- h. Nombres des jours d'autonomie : C'est la durée pendant laquelle la batterie peut alimenter toute seule l'installation en courant, sans être rechargé ni endommagé.

#### IV.4.4. Principaux types de batteries utilisables dans le système solaire

Les principaux types de batteries utilisées dans les applications photovoltaïques sont :

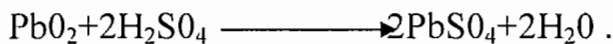
- Batteries acides-plomb (Pb/PbSO<sub>4</sub>) : Ils sont plus utilisées dans le système solaire autonome avec un coût initial bas.
- Batteries Nickel (Cadmium NiCd) : ils sont beaucoup plus chers et ne sont utilisées que dans les cas très particuliers.

##### IV.4.4.1. Batteries acides-plomb (Pb/PbSO<sub>4</sub>)

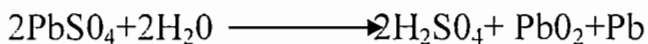
###### a) Composition et Principe de fonctionnement

Un accumulateur au plomb se compose d'un bac en matière plastique rempli d'électrolyte (solution de l'acide sulfurique dans l'eau distillé) dans la quel plongent deux plaques de plomb. Les surfaces des plaques immergées dans l'électrolyte se couvrent d'une mince couche de surface plombée. Pour qu'un accumulateur fonctionne il faut le charger c'est-à-dire le faire traverser par le courant électrique, lorsque le courant continu provenant d'une source extérieur (cellule photovoltaïque) traverse l'accumulateur, une réaction chimique s'y déroule :

Au cours de la réaction sur la plaque (+) se forme une couche de peroxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>) et la plaque reliée au borne (-) de la source du courant se couvre du plomb pur et poreux (Pb) dans le cas, l'électrolyte s'enrichit en'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et sa densité augmente. Pendant la décharge le dioxyde du plomb et le plomb se combine à l'acide sulfurique pour former le surfâte de plomb et de l'eau avec libération de l'énergie électrique suivant la relation :



Au cours de la recharge c'est la réaction inverse qui se produit



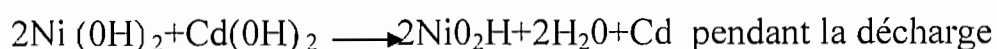
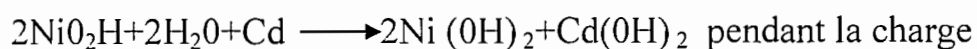
## b) Types de batteries Plomb/Acide

**Tableau 7 : Types de batteries Plomb/Acide utilisables pour les applications**

Type des batteries	Capacités	Particularités
Batteries forme d'élément stationnaires à plaque(+) tabulaire (2V) et grande réserve d'électrolyte	100 à 300Ah	Bien adaptés aux cycles journalier et saisonnier rencontrés dans le système photovoltaïque
Batteries forme d'élément stationnaires à plaque planes (2V) grande réserve d'électrolyte	10 à 300 Ah	Durée de vie plus courte que les précédents
Batteries plomb étanches sans entretiens	10 à 500 Ah	Nécessite très peu de maintenance
Batterie monobloc dérivée de la batterie automobile	10 à 500 Ah	Aptitude au cyclage mois élevée. réservée aux petites installations

### IV.4.4.2. Batteries Nickel/Cadmium

Ces types d'accumulateurs ont une électrode positive en hydroxyde du Nickel et une électrode négative en cadmium. L'électrolyte est une solution de potasse liquide au gel. Pendant le fonctionnement (charge/décharge) il résulte une réaction chimique suivant:



La tension nominale par accumulateur est de l'ordre de 1.2V ; cependant ces types de batteries présentent des avantages et des inconvénients comme l'indique le tableau de la page suivante :

**Tableau 8: Avantages et inconvénients des batteries**

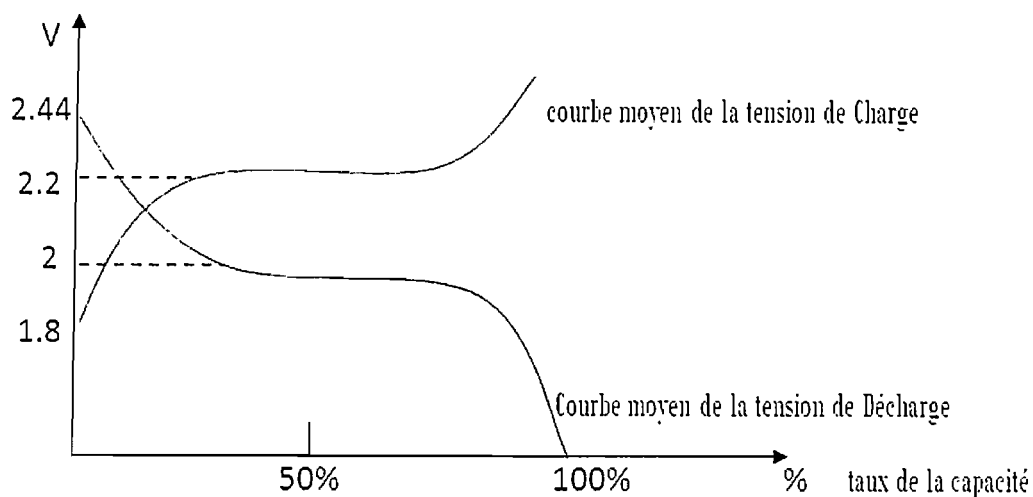
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistances aux surcharges et aux décharges profondes (alors que les batteries au plomb doivent être protégées contres les décharges profondes</li> <li>- Possibilité de réaliser plusieurs centaines de cycles sans détériorer les batteries</li> <li>- Meilleure Résistance à la très basse tension</li> </ul> <p>Pas de régulateur intéressant pour la haute fiabilité et petite puissance</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tension par élément 1.2V</li> <li>- Mauvais rendement énergétique de charge et de décharge</li> <li>- Coût élevé</li> <li>- Risque d'excursion de tension enfin de charger si il n'ya pas de régulateur de fin de charge car la tension pour une batterie de 12V peut dépasser 18V (risque éventuels de détérioration de certaines batteries)</li> </ul>

#### IV.4.4.3. Charge et décharge d'une batterie d'accumulateur

Si la tension de la batterie devient inférieure ou égale à la valeur de consigne (13.3 V), les relais se déclenchent automatiquement, et le circuit entre le module et la batterie s'ouvre. En ce moment la batterie ne reçoit plus d'énergie électrique provenant du module.

Si par contre la tension devient au dessous d'un certains seuil (11.5V) le relais se ferme et la batterie peut de nouveau être chargé. C'est le cas de charge.

Pour le cas de décharge, le relais se déclenche quand la valeur de la tension minimale est atteint c'est-à-dire qu'il ouvre entre batterie et ses diverses installation et ne se forme que quand la tension atteint le seuil plus élevé.



**Schéma 28 : Courbe caractéristique de charge et décharge d'une batterie d'accumulateurs**

Le régulateur de charge doit assurer que la décharge soit interrompue du moment où la tension atteint le seuil minimum de 1.8 V. En outre, il doit charger la batterie à partir du panneau photovoltaïque de façon optimale pour assurer le meilleur rendement. Si le panneau photovoltaïque fournit plus d'énergie qui est nécessaire pour charger la batterie il faut que l'excédent soit réduit au minimum et dissipé par le régulateur de charge .

## IV.5. Régulateur

### IV.5.1. Généralités

Un régulateur de charge est un appareil électronique fonctionnant de façon complètement automatique auquel sont raccordés le générateur (panneau solaire, éolienne...), la batterie ainsi que d'éventuels équipements du composant de l'installation. Le régulateur de charge sert à contrôler l'état de la batterie, il permet en effet d'assurer la charge complète de la batterie et prévient tout risque de surcharge de celle-ci en stoppant l'alimentation de ce dernier lorsque cela s'avère nécessaire. C'est un mécanisme qui consiste donc à surveiller en permanence l'état de charge de la batterie. Il interrompt aussi l'alimentation des destinataires si l'état de charge de la batterie devient inférieur au seuil de déclenchement de la sécurité anti-décharge profonde . Il existe plusieurs valeurs limites correspondant à un type de protection différent : surcharge, décharge profonde, protection de fonctionnement, court-circuit.

Cette surveillance et cette protection permanente permettent ainsi de protéger de façon importante les performances et la durée de vie des batteries.

## **IV.5.2. Types de régulateurs et leur fonctionnement**

Il existe plusieurs types des régulateurs de charge pour les installations photovoltaïques, ici nous allons décrire certains types de régulateurs afin de faciliter le choix d'un régulateur adapté au système d'installation.

### **IV.5.2.1. Le régulateur série**

Le régulateur série stoppe la circulation du courant en ouvrant le circuit électrique ; les modules restent sous tension, mais les batteries sont à l'abri de surcharge, il s'agit d'une technologie ancienne peu performante.

Il convient aux applications moyenne puissance dont le courant des panneaux photovoltaïques est supérieur à 10A. Les principaux désavantages de ce type de régulateur sont :

- La consommation propre importante et permanente ;
- Une énergie excédentaire non dissipée.

### **IV.5.2.2. Régulateur shunt**

Pour éviter la surcharge, le régulateur shunt court-circuite le module (il shunte le module) afin que la batterie ne reçoive plus de ce courant excédentaire qui est ainsi dirigé vers une résistance qui dissipe l'énergie produite sous forme de chaleur. Ce type de régulateur convient aux applications de petite puissance comportant 1 ou 2 panneaux photovoltaïques. Son avantage est que sa consommation propre est négligeable tant que la batterie n'est pas chargée et permet une charge complète de la batterie.

### **IV.5.2.3. Régulateur de type MPPT (Maximum Point Power Tracking)**

C'est le régulateur le plus performant du marché (mais son prix est élevé,) et permettant d'obtenir un rendement maximum. Il modifie la tension et l'intensité fournie par le module en fonction du niveau de charge de la batterie afin que les pertes soient réduites au minimum. Dans ce cas les batteries sont rechargées à 100%. son inconvénient est que la charge et la décharge se font rapidement lorsqu'on utilise le système au max.

#### **IV.5.2.4. Régulateur de type PWM (Pulse Width Modulation ou MLI modulation en largeur d'Impulsion)**

Ce régulateur utilise des MOSFET ou des transistors de puissance fonctionnant à des fréquences importantes afin de générer les impulsions pour maintenir les batteries à une tension constante.

Le régulateur PWM gère de façon optimale les connexions et les déconnexions des modules au reste du système selon l'état de charge des batteries. Il effectue des coupures plus au moins longues et plus au moins fréquentes, cette technologie permet de charger des batteries à 100% de leur capacité.

Elle est de loin la plus utilisée dans les installations photovoltaïques autonomes à cause de cette excellente caractéristique de charge pour le système photovoltaïque qui peut aller jusqu'à 40 A et peut générer des fréquences pouvant interférer avec l'équipement de télécommunication.

#### **IV.5.3. Rôle du régulateur**

Le régulateur a un double rôle :

1. Protéger la batterie contre les surcharges éventuelles ;
2. Protéger la batterie contre la décharge profonde.

On limite la décharge de la batterie parce qu'une surcharge de la batterie entraîne :

- une perte en eau pour les batteries au Plomb ;
- un vieillissement prématuré.

Au dégazage important pour les batteries au Plomb étanches, on limite la décharge profonde de la batterie car en cas de décharge complète la batterie devient définitivement inutilisable.

## IV.6. Onduleur (Convertisseurs)

Un onduleur est un dispositif électronique permettant de convertir le courant continu en courant alternatif monophasé ou triphasé pour l'alimentation d'une charge extérieur ou connexion au réseau électrique. Certains onduleurs ont les particularités d'être réversible c'est-à-dire qu'ils sont aussi capables de transformer le courant alternatif provenant d'une source alternative (groupe électrogène, réseau de turbine hydraulique) en courant continu pour charger la batterie.

Il existe aussi d'autres types de convertisseur DC/DC c'est-à-dire qu'ils convertissent le courant continu d'un générateur en courant continu de tension adaptée à la charge utilisant le courant continu.

En ce qui concerne les convertisseurs DC/AC il existe deux types d'onduleurs .

**a) Les onduleurs tournants** : c'est un moteur utilisant le courant produit par le générateur photovoltaïque (type continu) entraînant un alternateur. Ce genre d'onduleur est utilisé surtout pour les générateurs photovoltaïques de grande puissance.

**b) Les onduleurs statiques** : c'est un montage des composants électroniques dont le fonctionnement est basé sur la fermeture et l'ouverture de l'interrupteur électronique qui transforme quasiment le signal continu en signal sinusoïdal. Le choix des convertisseurs dépend de l'appareillage d'utilisation précisant la fréquence et la tension de fonctionnement.

L'onduleur est caractérisé par :

- La tension d'entrée (courant continu) ;
- La tension de sortie ;
- Le rendement ;
- La puissance nominale  $P_n$ .

#### **IV.7. Autres accessoires du système photovoltaïque**

En dehors de principaux éléments du système solaire photovoltaïque cités précédemment, il existe d'autres matériels qui s'ajoutent pour le fonctionnement complet du système.

Ces matériels sont :

- Les câbles;
- Les interrupteurs ;
- Les appareils d'utilisations (lampes, moteurs ...) ;
- Les appareils de protections (disjoncteurs, fusibles...) ;
- Les supports de modules;
- Les boîtes de dérivations;
- Les prises, etc.

## Exemples d'un petit schéma de montage d'un système photovoltaïque

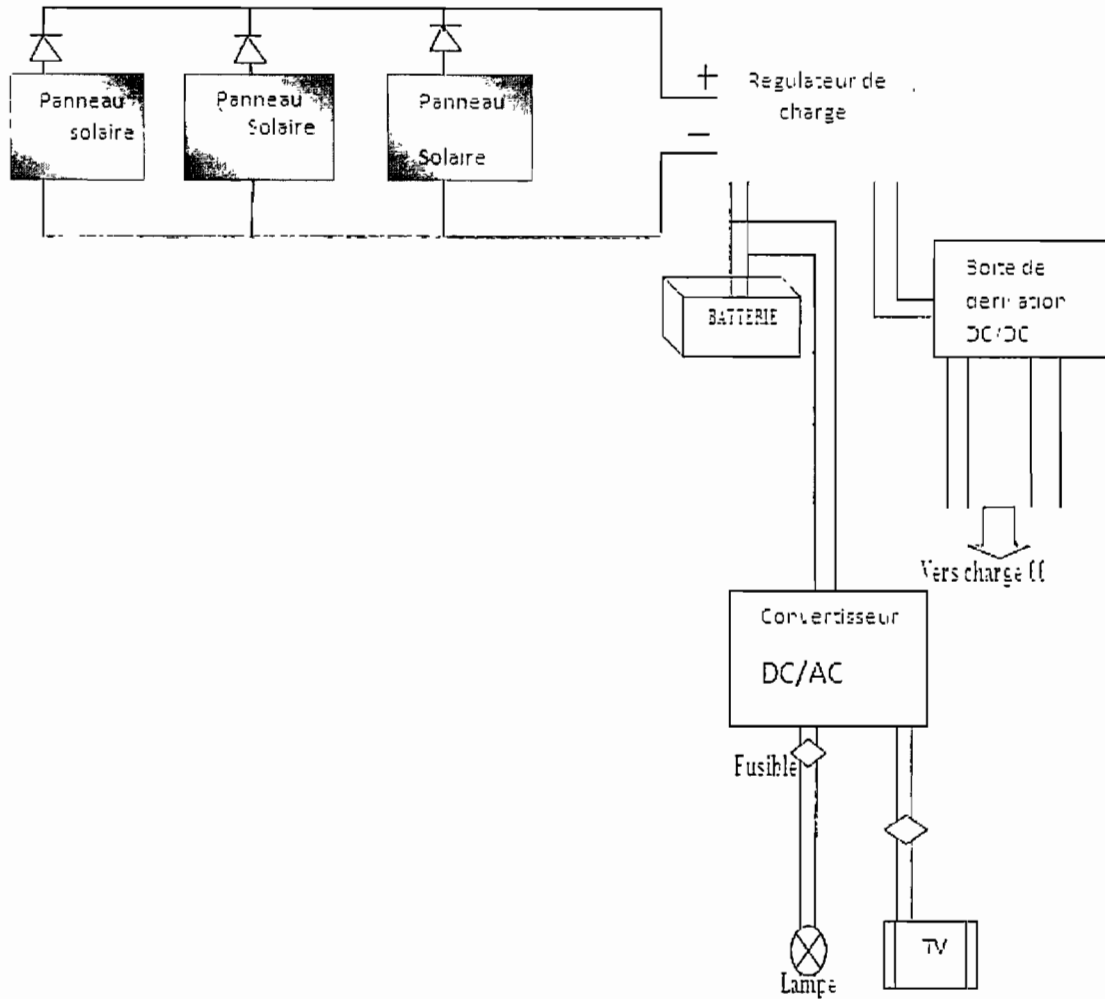


Schéma 29 : Petit schéma de montage de système Photovoltaïque

## **CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES EQUIPEMENTS SOLAIRES POUR LA STATION DE POMPAGE**

### **V.1 : But**

Après le passage en revue des divers composants d'un système photovoltaïque, nous allons aborder, dans ce chapitre, le dimensionnement et le calcul de la station de pompage afin de connaître la puissance nécessaire et le choix du système photovoltaïque adapté. Pour cela il est impératif de prendre en compte de nombreux paramètres pour ce dimensionnement à savoir :

- La détermination du système de pompage appropriée ;
- Evaluation des besoins en énergie ;
- Calcul des modules nécessaires;
- Le choix approprié des batteries et du régulateur ;
- Le plan de câblage;
- La protection des circuits.

### **V.2. Détermination du Système de pompage**

Les systèmes de pompage solaire qui peuvent être adoptés sont au nombre de trois.

1. Pompage au « fil du soleil» (Pompage sans batteries d'accumulateur) ;
2. Pompage avec batteries d'accumulateurs ;
3. Pompage mixte.

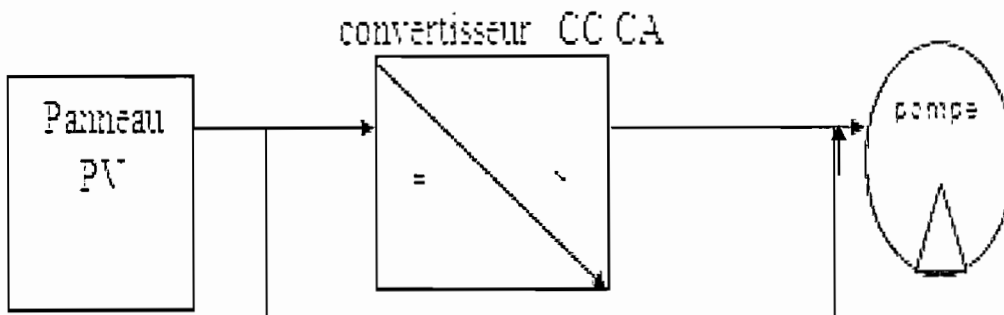
### V.2.1. Pompage au fil du soleil

Ce type de pompage ne nécessite pas des batteries d'accumulateurs d'énergie électrique. Le générateur PV (photo voltaïque) alimente le moteur entraînant la pompe via un convertisseur soit courant continu /courant continu ( CC /CC), soit courant continu/courant alternatif (CC/CA) tout dépend de type du moteur .

Ce système de pompage solaire a pour avantage un coût moins élevé et un faible entretien. Son mode de couplage est le plus simple et le plus fiable des chaines de pompages. Ce pendant, il présente de nombreux inconvénients notamment.

- Le débit d'eau pompé étant lié à la vitesse de la pompe, il varie donc selon la puissance électrique fourni par le générateur PV. Or cette puissance électrique varie suivant l'ensoleillement qui n'est pas constant durant toute la journée. Le débit de l'eau ne sera maximal que quand le soleil est au Zénith dans le ciel non couvert. C'est pour cette raison que l'on doit proposer un grand réservoir et une pompe plus puissante pour pouvoir stocker une quantité suffisante d'eau.
- Dans le cas d'une charge à courant alternatif on est obligé d'utiliser un convertisseur CC/CA à fréquences variable
- Pour obtenir de bonnes performances sans utilisation des batteries. On doit envisager l'utilisation d'un circuit électronique ou adaptateur dont le rôle est de transférer, des modules solaires à la charge de type continu, le maximum d'énergie quelque soit le flux lumineux.

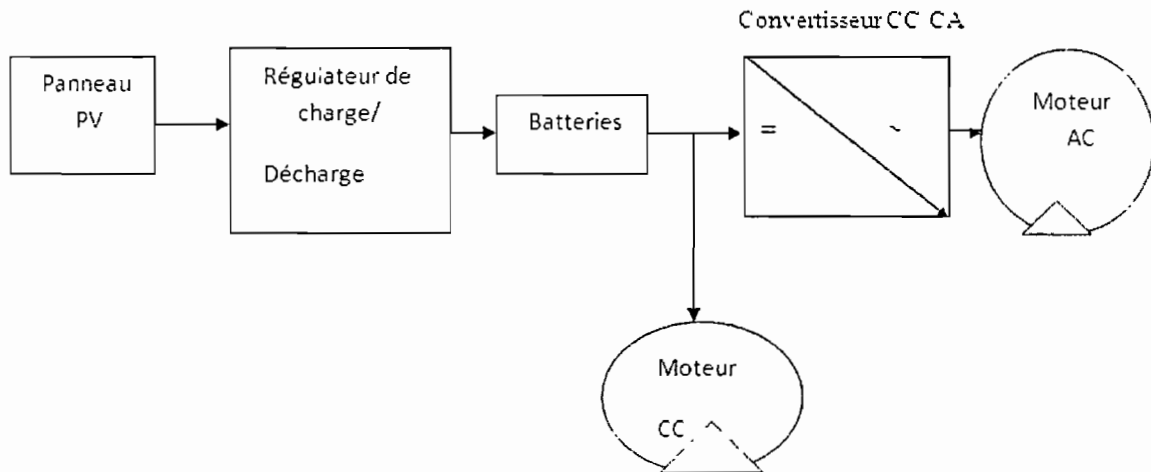
Le schéma de principe du type de pompage est le suivant :S



**Schéma 30 : Pompage au fil du soleil**

### V.2.2. Pompage avec batteries d'accumulateurs

Pour ce système, l'énergie électrique produite par le générateur PV est stocké dans les batteries ; un régulateur de charges sera intercalé entre le générateur PV et les batteries . Dans le cas d'une pompe à moteur électrique d'entraînement à courant alternatif, il s'avère nécessaire de mettre un convertisseur entre la batterie et le moteur comme le montre le schéma suivant.

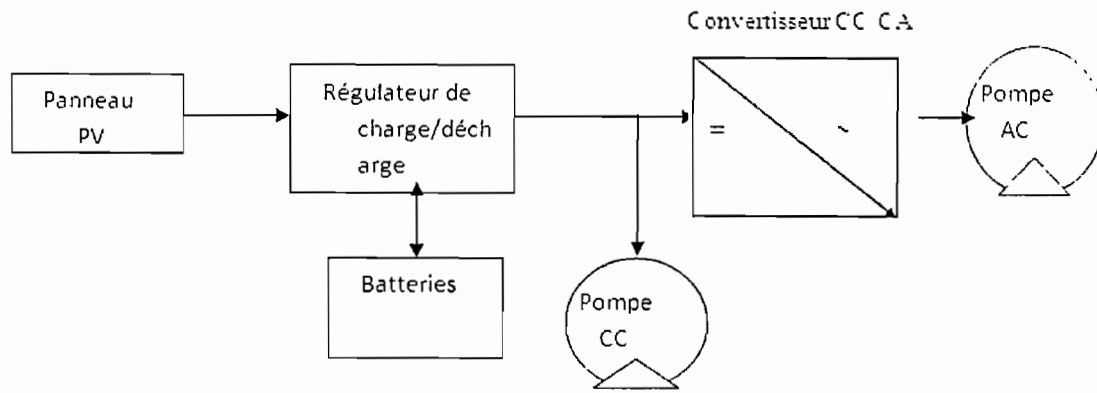


**Schéma 31 : Pompage avec batterie d'accumulateurs**

Ce système de pompage a pour avantage de mieux s'adapter aux caractéristiques des panneaux solaires en plus de l'énergie électrique fournie par le générateur PV. Celle stockée dans les batteries fait que le moteur tourne pleinement. Néanmoins, l'inconvénient majeur de ce pompage est le prix élevé vu des équipements nécessaires pour le réaliser.

### V.2.3. Système Mixte

Ce système de pompage est presque similaire au système précédent. La seule différence est que l'énergie produite est directement utilisée après le chargement complet des batteries.



**Schéma 32 : Pompage mixte**

#### V.2.4. Choix de la solution

Malgré que le besoin en eau soit d'une façon permanent et que la puissance électrique de système PV entraînant la pompe varie suivant l'ensoleillement, nous proposons une installation de pompage au fil du soleil avec un moteur à courant alternatif et un système mixte pour l'éclairage afin de diminuer le coût important des matériaux (batteries).

#### V.3. Evaluation des besoins

Comme dans toutes les stations de pompage, l'électrification en PV pour le cas en étude consiste donc en :

- L'éclairage de cabinet;
- L'alimentation de moteur d'entraînement du pompage ;
- L'éclairage du champ de modules PV.

### V.3 . Calcul de l'éclairage

#### V. 3.1. Détermination du flux total (F)

Le flux lumineux total nécessaire qui doit être émis par l'ensemble des sources lumière est donné par la relation suivante, il est exprimé en lumen (lm).

$$F = \frac{E \times S \times d}{\eta \times U} \quad (5.2)$$

Avec F : Flux total nécessaire (en lm) ;

E : Eclairement moyen en (lux) ;

S : Surface du plan utile (en m) ;

d: facteur de dépréciation ;

$\eta$  : Rendement du luminaire ;

U : facteur d'utilisation (utilance).

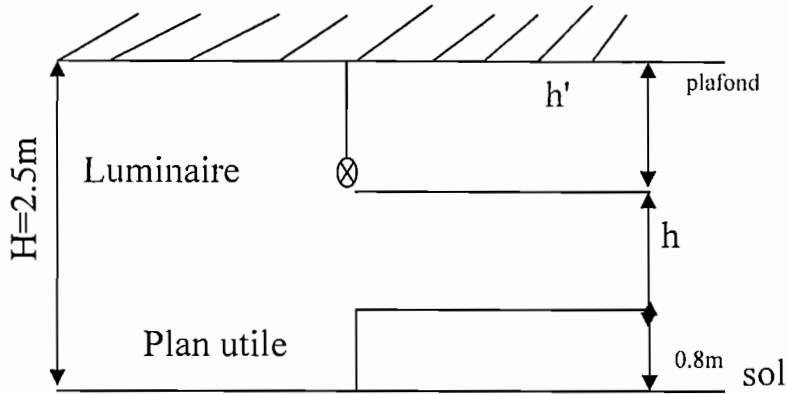
- Le facteur de dépréciation "d" compensera les effets du vieillissement. Il montre la diminution du flux lumineux d'une source avec le temps (dépôt des poussières sur les différents parois) . Le facteur de dépréciation varie de 1.2 à 1.5 si les appareils d'éclairage sont bien entretenue, on prend la valeur 1.2 dans le cas générale  $d = 1.3$  et le cas le plus défavorables  $d = 1.5$ .
- Pour le cas en étude, nous prenons le facteur de dépréciation de 1.3.
- Le rendement  $\eta$  est donné par le rapport

$$\eta = \frac{\text{flux sortant du luminaire}}{\text{flux émis par la source}} \quad (5.3)$$

$\eta$  : dépend du système d'éclairage choisi ;

- ❖ Pour l'éclairage direct  $\eta = 90\%$ ;
- ❖ Pour l'éclairage semi-direct  $\eta = 80\%$  ;
- ❖ Pour l'éclairage mixte  $\eta = 50\%$ .
- Le facteur de d'utilisation ou utilance U défini comme étant le rapport de lumens qui atteindront le plan utile, aux lumens totaux fournis par les lampes. Il est fonction de trois facteurs :

1) Le facteur  $J =$  rapport de suspension :  $J = \frac{h'}{h+h'}$ , (5.4)



**Schéma 33 : Plan utile**

Généralement dans les pièces de dimensionnement courantes, on prend pour  $h' = 1/6$  à  $1/4$  de la distance plafond-plan utile.

D'où  $h = H - (0.8 + h')$ .

Distance plafond-plan utile  $= 2,5 - 0,8 = 1,7\text{m}$

$J = h' = 1/6 + 1,7 = 0,283 \approx 0,3$

$h = 2,5 - (0,8 + 0,3) = 1,4\text{m}$

$J = \frac{0,3}{1,4 + 0,3} = 0,176$

puisque dans le tableau des utilances, on a  $J = 0$  et  $J = 0,33$  et que  $0,176 < 0,33$ , les valeurs des utilances se lisent pour  $J = 0$

2) Réflexion du plafond, des murs et du sol.

Le facteur de réflexion des couleurs ;

- blanc mat 70% ;
- couleur claire 50% ;
- couleur vive 30% ;
- couleur foncé 10% .

D'où le plafond blanc mat = 70% soit la valeur 7

mur à couleur claires = 50% soit la Valeur 5

sol à couleur foncé = 10% soit la valeur 1

3) Indice "K" du local

Elle est donnée par  $K = \frac{ab}{h(a+b)}$  (5.5)

où **a** est la longueur du local (en m) ;

**b** est la largeur du local (en m) ;

**h** est la distance source plan- utile (en m) .

### V .3. 2. Calcul des lampes nécessaires

Pour déterminer le nombre de lampes nécessaires à l'éclairage d'un local, il faut d'abord déterminer le flux lumineux F nécessaire pour l'éclairage idéal de ce local :

Le nombre des lampes N nécessaire est le rapport :

$$N = \frac{\text{Flux lumineux total}}{\text{Flux lumineux par lampe}} \quad (5.6)$$

Pour la station de pompage , nous proposons un éclairage direct avec des lampes à économie d'énergie comme l'indique le tableau ci-dessous.

**Tableau 9 : Performance des lampes à économie d'énergie par rapport aux lampes courantes**

Type de lampe	Puissance (W)	Dimension (cm)	Flux (lm)	Rendement (lm /W)	Rendement (rel)
Incandescence	25	D 6×10.5	325	13	0.8
	40	D 6 ×10.5	580	14.5	0.9
	60	D 6×10.5	980	16.3	1.0
Halogène	10	D 0.9 × 3.1	120	12	0.74
	20	D 0.9× 3.1	350	17.5	1.07
	50	D 1.2× 4.4	1000	20	1.23
	100	D 1.2× 4.4	2300	23	1.41
Led blanche	1	D 0.150.15	55	55	3.37
Fluo.droite	8	D 1.6×29	430	54	3.31
	13	D 1.6×52	950	73	4.48
Fluo.U(PL)	9	D 2.7×14.5	600	67	4.11
	11	D 2.7×14.5	900	82	5.03
Fluo.U(PL)	10	D 3.4×9.5	600	60	3.68
Fluo.droite	18	D 2.6×59	1450	81	4.97
	36	D 2.6×120	3450	96	5.89
Sodium	18	D 5.3×22	1800	100	6.14
	36	D 5.3×31	4800	137	8.41

### V.3.2.1. Eclairage à l'intérieur du station de pompage

#### 1) Cabine de la pompe

Eclairage moyen recommandé est comparables à une salle de dépôt selon (scheinder électrique).

E=100 lux

$$K = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{4,5 \times 3}{1,4(4,5+3)} = 1,28 \cong 1,25 \text{ d'après les tables d'utilances}$$

$$S = 3 \times 4,5 = 13,5 \text{ m}^2$$

$$d = 1,3$$

$$\eta = 0,9 \text{ ( pour éclairage direct)}$$

$$U = 0,79$$

$$F = \frac{E \times S \times d}{\eta \times U} = \frac{100 \times 13,5 \times 1,3}{0,9 \times 0,79} = 2468,3 \text{ lm}$$

$$\text{Nombres des lampes de 18 W} = \frac{2468,3 \text{ lm}}{1450 \text{ lm/tube}} = 2 \text{ tubes}$$

## 2) Salle où sont installées les batteries et onduleurs

$$E = 100 \text{ lux}$$

$$K = 1$$

$$S = 12,5 \text{ m}^2$$

$$\eta = 0,9$$

$$U = 0,72$$

$$F = \frac{E \times S \times d}{\eta \times U} = \frac{100 \times 12,5 \times 1,3}{0,9 \times 0,72} = 2507 \text{ lm}$$

$$\text{Nombres des lampes de 18W} = \frac{2507 \text{ lm}}{1450 \text{ lm/tube}} = 2 \text{ tubes}$$

## 3) Chambre de stockage des matériaux

$$E = 50 \text{ lux}$$

$$K = 1$$

$$S = 6 \text{ m}^2$$

$$\eta = 0,9$$

$$U = 0,66$$

$$F = \frac{E \times S \times d}{\eta \times U} = \frac{50 \times 6 \times 1,3}{0,9 \times 0,66} = 656 \text{ lm}$$

$$\text{Nombres de lampe de 8W} = \frac{656 \text{ lm}}{450 \text{ lm/tube}} = 1 \text{ tube}$$

## 4) Latrine

$$E = 100 \text{ lux} \text{ (éclairage recommandé)}$$

$$K = 0,6$$

$$S = 3\text{m}^2$$

$$\eta = 0,9$$

$$U = 0,56$$

$$F = \frac{E \times S \times d}{\eta \times U} = \frac{100 \times 3 \times 1,3}{0,9 \times 0,56} = 773\text{lm}$$

$$\text{Nombre des lampes de } 8\text{W} = \frac{773\text{lm}}{450\text{lm/tube}} = 1\text{tube}$$

### V.3.2.2. Eclairage extérieure du station de pompage

Nous proposons 4 tubes de 8 W, donc un tube pour chaque mur extérieur du station.

$$F_{\text{totale}} = 4 \times 430 = 1720\text{ lm}$$

### V.3.2.3. Eclairage du champ des modules

Pour l'éclairage du champ de modules nous prévoyons 4 tubes de 13 W, disposés dans les 4 coins du champ donc :

$$F = 4 \times 950 = 3800\text{ lm}$$

Nous estimons que cet éclairage suffira pour le gardiennage du site.

**Tableau 10: Récapitulatif pour l'éclairage**

Lieu	Nombre des tubes	Puissance / Tube (W)	Puissance Totale(W)	Durée d'utilisation (h/j)	Consommation journalière en Wh /j
Cabine+salle des Batteries	4	18	72	3	216
Chambre+Lettrine	2	16	16	4	32
Extérieur	3	8	24	10	240
Champs modules	4	13	52	10	520
Consommation totale journalière		1008 Wh/j			

### V.3.2.4 Autres récepteurs

Pour les autres récepteurs nous prévoyons un récepteur radio et une prise de charge d'accessoires.

**Tableau 11: Récapitulatif pour l'alimentation des autres charges**

Récepteur	Puissance du récepteur	Nombre de récepteur	Puissance totale	Durée d'utilisation	Consommation journalière
Chargeur des accessoires	1,5 W	1	1.5 W	4	6 Wh/J
Radio	8 W	1	8 W	4	32 Wh/J
Total				38 Wh/J	

## V.4. Dimensionnement des équipements d'éclairage

### V.4.1 Calcul des modules

L'irradiation journalière moyenne dans la région d'Imbo est de 3,65 KWh/m<sup>2</sup> /jr. L'énergie produite pratiquement par un panneau solaire de puissance crête PC, recevant une énergie de  $n \times kWh/j$  est de  $n \times PC \times 0,7 kWh/j$  avec 0,7 coefficient traduisant les pertes et les désadaptations. Ainsi le nombre total de panneaux solaires est données par :

$$N = \frac{\text{Consommation journalière}}{\text{énergie journalière moyenne fournie par un module}} \quad (5.7)$$

Pour le cas présent nous avons choisis un panneau solaire Polycristallin, un équipement de génération d'énergie écologique et économique. Il nécessite un faible investissement et peu d'entretien.

**Tableau 12 : Caractéristiques des panneaux solaires**

Puissance maximum au STC. (Pmax)	205 W
Tension Maximum d'opération(Vmp)	26.7 V
Courant Maximum de puissance (Iutin)	7.68 A
Tension de circuit ouvert (COV)	32.4 V
Courant de court-circuit (ISC)	8.44 A
La température nominale de cellules d'opération :	45 ± 2°C
Coefficients de température d'ISC	+0.049%/°C
Coefficients de température de COV	- 0.340%/°C
Coefficients de température de Pmax	- 0.430%/°C
Conditions normales d'essais (STC.)	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , la température de module 25 °C, Masse d'air (AM) =1.5
Tolérance de production d'énergie	± 3%

Sachant que la consommation totale de l'éclairage et autres accessoires est de  $1 \text{ Wh/j} \times 1008 + 38 = 1046 \text{ Wh/j}$

Nous pouvons donc en déduire :  $N = \frac{1046}{3,65 \times 205 \times 0,7} = 2 \text{ Modules}$

#### V.4.2. Détermination de la capacité des batteries pour l'éclairage

La capacité minimale des batteries exprimée en Ampère heures (Ah) est donnée par la relation suivante :

$$Ah_m = \frac{100 \text{ Wh}}{U.C_m} \quad (5.8)$$

où U : la tension d'utilisation de la batterie ;

Wh : Consommation électrique totale ;

Cm : Profondeur de décharge autorisée qui est généralement de 40%.

Tenant compte du fait que la batterie doit satisfaire aux besoins pendant les journées de ciel couvert et pour éviter que la batterie ne se décharge complètement, on corrige la relation précédente en la multipliant par le nombre de jour d'autonomie qui est la période durant laquelle la batterie est capable de fournir de l'énergie sans avoir besoin d'être chargée, soit  $N_j$  le nombre de jour d'autonomie de fonctionnement de la batterie. La capacité minimale de la batterie est donnée par :

$$Ah_m = \frac{100Wh / j \times N_j}{U.C_m} \quad (5.9)$$

Nous avons choisis une batterie solaire de marque VICTRON GEL 12V 220Ah, avec profondeur de décharge de 40%<sup>3</sup>. L'autonomie de fonctionnement de la batterie de 3jrs sans soleil :  $Ah_{min} = \frac{100 \times 10 + 6 \times 3}{12 \times 40} = 653,75Ah$

Le nombre de batteries nécessaires est de :  $\frac{653,75Ah}{220Ah} \cong 3 \text{ Batteries}$

#### V.4.3. Choix du régulateur

Le choix du régulateur dépend de la tension d'utilisation délivrée par le système photovoltaïque. Le modèle HSPV 205Wp-156-54M nous donne un courant maximal de 7,68A à une température de 25°C. Ainsi le courant du système serait de  $7,68 \times 2 = 15,36A$ . La tension étant de 12V, nous proposons donc un régulateur de charge type STECA Solarix PRS 2020 (20A 12V-24V).



<sup>3</sup> [www.solar.com](http://www.solar.com)

#### V .4.4. Choix du convertisseur pour éclairage

Le choix du convertisseur dépend de l'appareillage d'utilisation précisant la fréquence et la tension de fonctionnement.

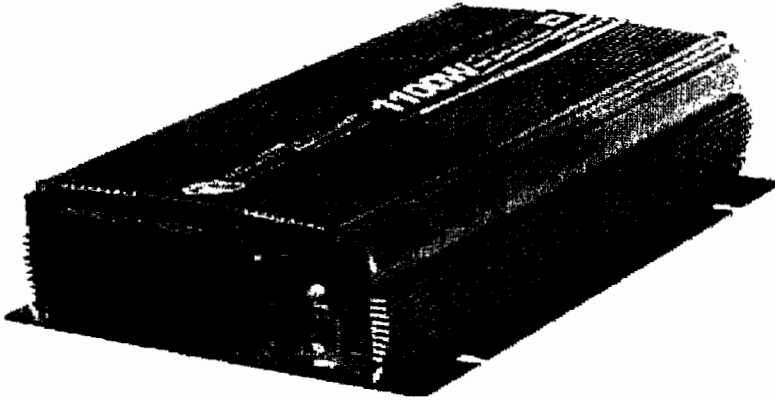
L'onduleur est caractérisé par :

- ✓ La tension d'entrée (courant continu) ;
- ✓ La tension de sortie (courant alternatif) ;
- ✓ Le rendement ;
- ✓ La puissance nominale.

Etant donné que la tension du convertisseur est de 12 V et que la puissance totale des récepteurs est de 1082 W, le choix est porté sur le convertisseur dont les caractéristiques sont les suivantes :

Convertisseur 12 V 1100 W/2200 W

- Puissance nominale : 1100 W ;
- Puissance maxi en crête : 2200 W ;
- Tension d'entrée : 12 V ;
- Tension de sortie : 220-240 Vac 50 Hz ;
- Type de signal: Pseudo sinus - 1 Prise en façade NF (Norme Française) ;
- Sortie protégée contre les courts-circuits ;
- Alarme batterie niveau bas: 11V +/- 0,5 V ;
- Protection thermique ;
- Ventilation pilotée par une sonde de température.



#### V.4.5. Détermination des sections de câbles de connexions

Dans un système photovoltaïque, les câbles doivent être soigneusement choisis pour éviter les pertes de puissance trop importantes. Les principaux critères de choix de câbles sont :

- Résistance au rayonnement solaire fort (UV) et aux intempéries ;
- Section de câbles afin d'éviter une chute de tension importante.

##### 1<sup>o</sup> En courant continu

La section de câble pour un système photovoltaïque à courant continu est plus importante qu'un système à courant alternatif. La 1<sup>ère</sup> règle à suivre est d'estimer quelles pertes en lignes sont acceptables, il faut compter la chute de tension sur les deux pôles pour le courant allant et revenant au récepteur.

Il faut également limiter le courant à  $7\text{A}/\text{mm}^2$  pour éviter un échauffement des conducteurs, nous donnons ci-après quelques chiffres pour une tension nominale de 12 V. Il est clair que ces valeurs seront proportionnelles pour des tensions nominales élevées.

- Pour la liaison panneau-régulateur, on peut accepter environ 0,5 V au courant nominal des panneaux.
- Pour les liaisons-régulateur-batteries il faudrait rester en dessous de 0,05 V si on veut garder une bonne précision de régulation.
- Pour le câblage des récepteurs, une perte maximale 0,5 V est tolérable (environ 4%).
- Pour la liaison entre panneaux solaires, et tous les câblages en extérieur, il faut utiliser des câbles souples multibrin à isolant résistant à l'ultraviolet.
- La détermination de section des câbles peut être effectuée alors de deux manières :

• En utilisant la formule :  $S_{\min} = \frac{2 \times L \times I_{\max}}{U_{\max} \times K}$  (5.10)

L : Longueur d'un seul fil de câble en m ;

K : Conductivité du cuivre = 58 Am/Vmm<sup>2</sup> ;

U<sub>max</sub> : Chute de tension tolérée en volts ;

I<sub>max</sub> : Courant maximal en Ampère.

• En utilisant l'abaque de détermination des sections de câbles en courant continu (source G .moine)

La longueur estimatives des câbles pour l'éclairage est la suivante

- ✓ Câbles inter- panneaux 4m : I<sub>max</sub> 7.6 8 A
- ✓ Câbles modules-régulateur 20m : I<sub>max</sub> 15.36A
- ✓ Câbles régulateurs-batteries 2m : I<sub>max</sub> 15.36A
- ✓ Régulateur- onduleur 2m : I<sub>max</sub> 13, 62A

En utilisant la première méthode pour la détermination des sections de câbles en courant continu nous avons :

Section inter-panneaux

$$S = \frac{2 \times 4 \times 7.68}{0.5 \times 58} = 2.18 \text{ soit } 2 \times 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (section normalisée)}$$

Module-régulateur

$$S = \frac{2 \times 20 \times 15.36}{0.5 \times 58} = 21.18 \text{ soit } 2 \times 25 \text{ mm}^2 \text{ (section normalisée)}$$

Régulateur -batterie

$$S = \frac{2 \times 2 \times 15.36}{0.05 \times 58} = 21.18 \text{ mm}^2 \text{ soit } 2 \times 25 \text{ mm}^2 \text{ (section normalisée)}$$

Régulateur-onduleur

$$S = \frac{2 \times 2 \times 13.36}{0.5 \times 58} = 1.87 \text{ mm}^2 \text{ soit } 2 \times 2.5 \text{ mm}^2 \text{ (section normalisée)}$$

## 2<sup>0</sup> En courant alternatif

En courant alternatif nous allons utiliser un tableau déterminant la section de câbles en fonction de puissance.

**Tableau 13 : Détermination de la section de câbles en fonction de puissance**

Puissance		Alimentation	Alimentation
		Monophasé	Triphasé
Ch	kW	220 V	380 V
1	0.736	1.5	1.5
1.5	1.104	1.5	1.5
2.5	1.84	1.5	1.5
3	2.2	2.5	1.5
5	3.68	4	1.5
7.5	5.52	6	2.5
10	7.36	10	4
15	11.04	16	10
20	14.72	16	10
30	22.08	25	16
40	29.44	50	25
50	36.8	50	25

D'après ce tableau, la section  $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$  est suffisante pour véhiculer le courant vers les charges.

### V.5. Détermination du nombre de modules pour le pompage

Type de pompe : Electropompe multicellulaires verticales série C-SV™

Puissance de la pompe : 15 kW

Durée journalière de pompage : 4,5 heures

L'énergie consommée par jour (en Wh/j) est de :  $15\ 000\ \text{W} \times 4.5\ \text{h} = 67\ 500\ \text{Wh/j}$

Ainsi le nombre de modules est  $= \frac{67\ 500}{3.65 \times 205 \times 0.7} = 128$  modules

Ces modules seront ainsi regroupés en 16 modules en parallèles et 8 modules groupés en séries montés sur châssis (montage adapté au montage) cela pour augmenter la tension de sortie (environ 96 V), afin d'éviter les chutes de tension importantes dans conducteurs.

### V.6. Choix du convertisseur pour pompage

Le convertisseur choisis pour le système répond aux critères de tension d'entrée (96 VDC), de puissance (15 000 W), et de tension de sortie (380 VAC), ses caractéristiques sont les suivantes :

- Point d'origine : Chine;
- Nom de marque : Je-Panda;
- Numéro de type : I-P-XDC-15000 VA ;
- Puissance de sortie : 15000 W;
- Type de rendement : Simple;
- Fréquence de rendement: 50HZ/60HZ;
- Tension de rendement : 100 V/110 V/220 V/230V/240 V ;
- Tension d'entrée : 96 V/192 V;
- Type : Inverseurs de DC/AC;
- Poids : 78 kg;
- Taille : 570\*265\*600 millimètre;
- Courant de sortie : Par la charge.

## V. 7. Dimensionnement des câbles

Pour le dimensionnement des câbles, on utilise la même méthode que celle utilisée pour la connexion de l'éclairage. Ainsi, on a en courant continu :

Longueur estimatif inter-panneau 100 m,  $I_{max}=7.68$  A ;

Longueur estimatif panneau-onduleur 20 m,  $I_{max}=156.25$  A.

Section inter-panneaux

$$S = \frac{2 \times 100 \times 7.68}{4 \times 58} = 6.62 \text{ mm}^2 \text{ soit } 2 \times 10 \text{ mm}^2 \text{ (section normalisée)}$$

panneaux-onduleur

$$S = \frac{2 \times 20 \times 156.25}{4 \times 58} = 26.93 \text{ mm}^2 \text{ soit } 2 \times 35 \text{ mm}^2 \text{ (section normalisée)}$$

Pour le courant alternatif (de l'onduleur jusqu'au moteur) le tableau précédent propose une section  $3 \times 16 \text{ mm}^2$  pour une puissance  $>14$  kW

## V. 8. Montage et protection des circuits

### V. 8.1. Montage

Le montage des systèmes photovoltaïques ne diffère pas beaucoup du montage électrique traditionnel, cependant, les particularités du courant continu et la basse tension liée aux grands courants imposent certaines précautions particulières. D'autre part, les panneaux solaires devant être montés à l'extérieur, toute une série de problèmes liés à l'environnement peuvent apparaître : corrosion ou vieillissement en fonction de la salinité des matériaux et le choix de montage.

L'installation de modules PV se fait en deux temps : le montage mécanique et la connexion électrique et dans cet ordre.

### a) Le montage mécanique

En ce qui concerne le montage mécanique, il existe cinq types principaux des montages à savoir :

- Le montage surimposé en toiture ou façade ;
- L'intégration au bâtiment;

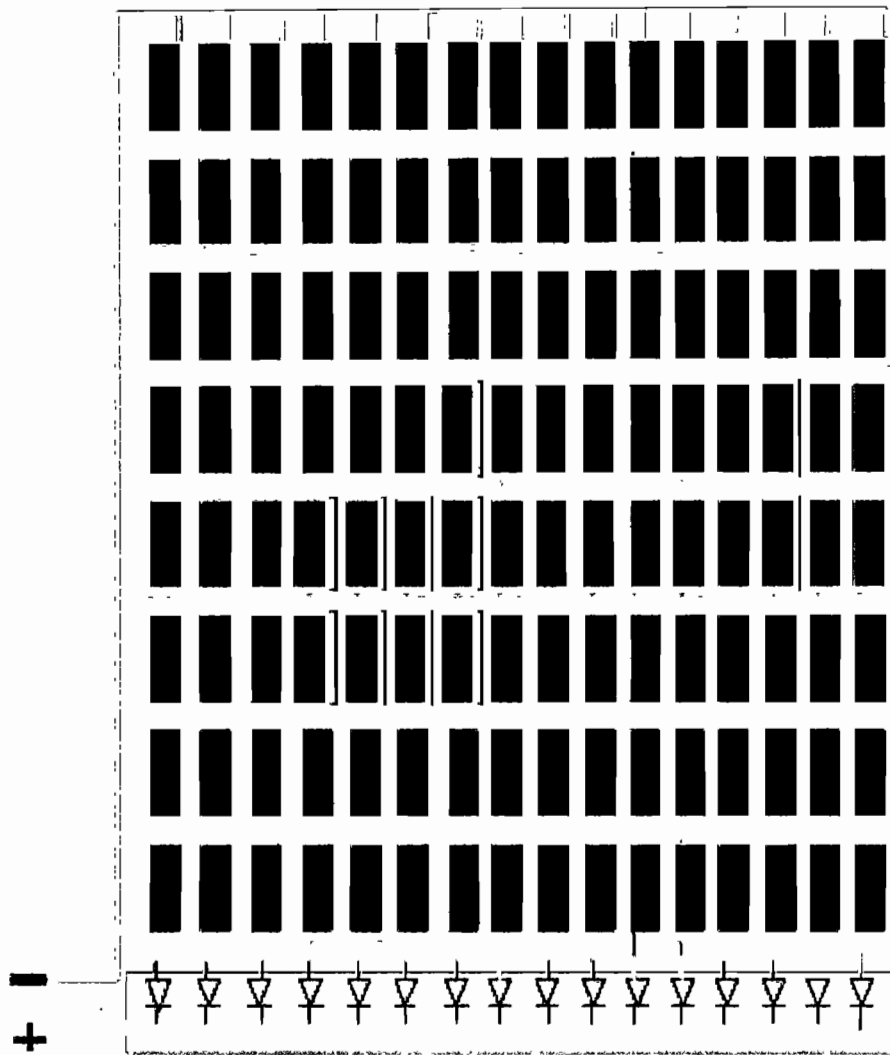
Ces deux montages sont adaptés aux bâtiments construits et s'appliquent surtout aux systèmes connectés au réseau.

- Le montage sur mât : utilisé surtout soit pour éviter le vol , soit pour s'affranchir d'obstacle qui feraient de l'ombre ou à l'endroit où il n'ya pas de place au sol ;
- Montage sur coffret permet d'intégrer de petits modules PV sur une application électronique notamment les modules amorphe ;
- Le montage sur châssis : montage classique ,utilisé en peu partout lorsque la surface de modules devient importante  $\geq 5m^2$ , indispensable sur terrain accidenté( en montagne).

Pour le cas présent, ce dernier montage est indispensable vu que le site se trouve sur la colline et le champ de modules est important.

Donc les 128 modules seront montés sur un seul châssis, 8 modules en série 16 modules en parallèle et les 2 modules pour l'éclairage en face et sont montés en parallèle.

Le champ de modules de la station de pompage sera monté de la façon suivante :



**Schéma 34 : Installation des modules solaires pour le pompage**

#### a) Les Connexions

Un module Photovoltaïque fournit une tension dès la présence de lumière. Avant d'être câblé, il est en circuit ouvert, il présente donc une tension au moins égale à 1.5 fois la tension nominale. Pour le système comportant plusieurs panneaux solaires en série comme pour le cas présent, on peut faire apparaître un arc électrique très facilement.

Il suffit d'une connexion douteuse ou d'une mauvaise isolation pour faire démarrer un arc électrique, qui ne disparaîtra que lorsque les contacts seront détruits ou qu'il fera nuit. Pour éviter ce risque, on va maintenir un tissu opaque sur les modules pendant toutes les opérations de câblages pour qu'ils ne produisent pas de l'électricité, ou de le faire en pleine nuit.

### **V.8.2. Protection du Système**

Comme toute installation électrique, les systèmes photovoltaïques doivent être protégés.

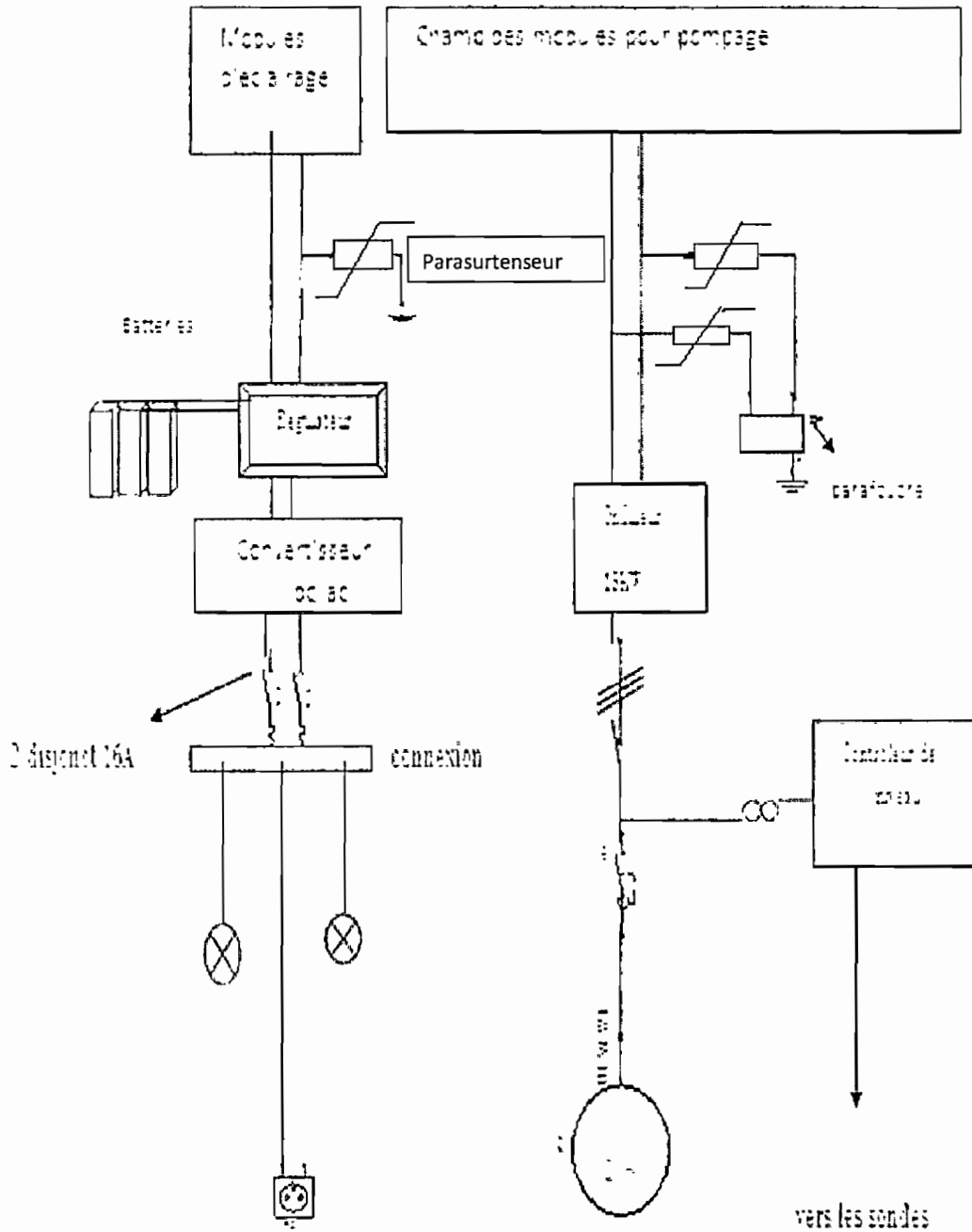
La protection contre la foudre est indispensable dans ces systèmes pour garantir une alimentation fiable, pour ce, on est sensé de réaliser :

- une protection pour des installations extérieures (éventuellement) un paratonnerre pour l'effet direct ;
- la pose de parafoudre pour se protéger des effets indirects.

Ces deux protections doivent être reliées à une prise de terre unique pour être réellement efficace. Pour une meilleure protection contre la foudre il est préférable de relier un ou deux pôles continus à la terre.

Pour éviter le phénomène de corrosion électrolytique au niveau de certains équipements (modules) il est préférables de relier le pôle positif à la terre surtout si la tension nominale est élevée. Si la condition ambiante (air humide et sale) n'est pas défavorable le moins à la terre est plus pratique. Du côté AC, on se sert de normes traditionnelles en électricité pour la protection des circuits.

Voici le schéma simplifié d'installation de notre station de pompage.



**Schéma 35 : Schéma simplifié d'installation de la station de pompage étudiée**

## CHAPITRE VI: DEVIS ESTIMATIF

Pour estimer le coût global des systèmes photovoltaïques calculés nous nous sommes basés sur les prix unitaires utilisés par les entreprises importatrices des équipements à consommation d'énergie solaire. Il s'agit des entreprises IMEX, NAHAV, SOLES, ITCO, SOLAR MODERN.

Nous avons aussi consulté les magasins en ligne sur Internet pour les prix des matériels que nous n'avons pas trouvé sur place.

Notons que les prix sont donnés hors taxes (HT) au niveau de l'Europe, et que dans l'estimation du coût global, les éléments suivants n'ont pas été tenus en considération :

Les frais de transport (maritime, terrestre, aerien) ;

Les taxes de port ;

Les frais de douane ;

Les frais de main d'œuvres, etc.

Par contre les imprévus et fluctuations monétaires ont été évalués sur 20% du coût total de projet.

**Tableau 14 : Tableau récapitulatif des besoins l'an 2014**

Produits		Quantité	Prix Unitaire ( hors taxes) en FBU	Prix Total (hors taxes) en FBU
Modules 205 W		130	500 000	65 000 000
Batteries Type VICTRON GEL 12V 220Ah		3	950 000	2 850 000
Régulateur de charge STECA Solarix PRS 2020 (20A 12V-24V		1	151 700	151 700
Convertisseur 12V 1100W/2200W		1	1000 000	1000 000
Groupe motopompe		1	10 000000	10 000 000
Onduleur		1	4 789 168	4 789 168
Câbles :	2×2,5mm <sup>2</sup>	12m	700	8400
	2× 25mm <sup>2</sup>	44m	2500	110 000
	3×0.75mm <sup>2</sup>	2400m	200	480 000
	2×10mm <sup>2</sup>	200m	800	160 000
	2×35mm <sup>2</sup>	40m	5000	200 000
	3×16mm <sup>2</sup>	24m	1500	36 000
	3×1.5mm <sup>2</sup>	25 rouleaux	50 000	1 250 000
Tubes fluorescents	18W	4	70 000	280 000
	16W	2	60 000	120 000
	13W	4	45 000	180 000
	8W	3	40 000	120 000
Prises		2	2000	4 000
Diodes		48	2000	96 000
Interrupteur simple		4	1000	4 000
Disjoncteur	16A	2	10 000	20 000
	32A	1	10 000	10 000
Support des panneaux		60	30 000	3 900 000
Support des batteries		1	100 000	100 000
Sondes		3	175 850	527 550
Contrôleur de niveau		1	72 000	72 000
Imprévus et la fluctuation de la monnaie		20%		18 293 764
Coût total				<b>109 762 583</b>

## **VI.1. Conclusion et recommandation**

Le problème majeur qui nous a poussé à faire cette étude est celui qui a été exprimé par la population (PCDC : Plan communal pour le Développement Communautaire) et que nous même avons constaté. Il s'agit d'une part d'un problème lié au manque d'eau potable, et d'autre part, le manque des centrales hydro-électriques produisant du courant électrique, ainsi que son cout élevé. Ce qui fait que les gens de cette Commune utilisent de l'eau salé source des certaines maladies souvent mortelles.

Dans notre étude, nous avons proposé un système de pompage solaire automatisé qui viendra, non pas résoudre complètement ces problèmes mais plutôt les alléger considérablement car la majorité de la population sera bénéficiaire de cette ressource naturelle, ce qui diminuera les maladies liés à la saleté.

En plus, l'utilisation de ce système photovoltaïque, non polluant et silencieux, donne aux populations un accès à l'électricité avec un cout, une maintenance et des difficultés de mise en œuvre réduits. Bien qu'une installation solaire demande un investissement très couteux, celui-ci est récupéré à long terme. Bien plus, presque les équipements d'une installation solaire ne demandent presque pas d'entretien mais ont aussi une longue durée de vie allant jusqu'à 30 ans.

L'automatisation de ce système aura un grand avantage pour la population puisque l'excès d'énergie (pendant l'arrêt de pompe) sera utilisé pour charger les batteries, les téléphones portables qui effectuent de longue distances pour ce service. Nous espérons que le présent projet sera d'une grande utilité pour les gestionnaires des projets d'adduction d'eau en milieux ruraux mais aussi pour les populations rurales car il s'appuie sur les deux grandes sources gratuites à savoir l'eau et le soleil. Ainsi, nous accueillons joyeusement toutes les suggestions et les critiques pour approfondir ce travail afin qu'il soit enrichi et nous invitons tous ceux qui voudraient faire une recherche plus approfondie dans le domaine des ressources inépuisables (éolienne par exemple) pour compléter le système photovoltaïque.

## BIBLIOGRAPHIE

### I. Ouvrages

1. Energie solaire photovoltaïque 3<sup>ème</sup> édition  
Anne Labouret .Michel Viloz ,2006
2. Les Pompes et les Stations de Pompage/André Savatier,François Gabelle.3<sup>ème</sup> édition mise à jour et complétée. \_Paris : Ministère de la Coopération ,1994.
3. Les pompes et les petites stations de pompage (établi) par la Société Grenobloise d'Etude et d'Application Hydraulique (SOGREAH) \_Paris : Ministère de la Coopération , 1976
- 4.Les stations de pompage d'eau /Travaux de la comission distribution de l'eau de l'AGHTM ( Association Générale des Hygienules et Techniciens Minicipaux, Paris Technique et Documentation :Lavoisier,1986
4. Calcul des pertes de charge/A.Boussichaud. \_Paris : Chaud froid Plomberie, 1983

### II. Mémoires et projet de fin d'études

5. Denis NIYONZIMA : Etude d'une réalisation d'une station de Pompage solaire de NYAMITOTOMA Alimentant le centre de BUSIGA :Université du Burundi,Faculté des Sciences Appliquées, 2004
6. HARUBURUNDI (Moïse-Hervé) : Conception et réalisation de la commande automatique d'une station de pompage d'eau :Université du Burundi, Institut Technique Supérieur , Département du Génie Electromécanique,1989
7. Aviateur NIBARUTA : Energie solaire comme Atout à l'Accessibilité Technologies de l'Information et des Communications : Cas des antennes relais :Université du Burundi, Institut Technique Supérieur , Département du Génie Electromécanique,2010
8. Audace NKUNZIMANA : Etude et Dimensionnement d'un système solaire couplé pour le centre de santé de KIRIRI :Université du Burundi, Institut Technique Supérieur ; Département du Génie Electromécanique,2010
9. Cyriaque MANIRUMVA : Etude et Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation en énergie électrique du centre de santé de

BUZIRACANDA (Commune NDAVA) :Université du Burundi, Institut Technique Supérieur ; Département du Génie Electromécanique,2010

10.Cours :-Mécanique de fluide 3<sup>ème</sup> Année ITS.

-Installation électrique 3<sup>ème</sup> Année ITS.

### **III. Sites Web**

10. [www.motralec.com](http://www.motralec.com)

11. [www.wipanda.en.alibaba.com](http://www.wipanda.en.alibaba.com)

# ANNEXES





**Contrôleurs de niveau enfichables compacts  
Pour le contrôle de niveau de matériaux  
Conducteurs (liquides et solides), en 1 ou  
2 points**

- Large gamme de modèles : disponibles en types longue distance, Haute et basse sensibilité et deux fils.
- Fonctionnement possible en 24/100/110/120/200/220/230/240 V c.a.
- Installation facile sur rail DIN.
- Electrodes basse tension (c.a.).
- Voyant de fonctionnement LED rouge.
- Conforme aux directives CEM et LVD.
- Homologation UL/CSA.

**Onduleur 15 kW**



**Dispositifs**

Facile à installer. Pour configurer un système solaire, les clients le relient seulement aux panneaux solaires et aux batteries et permet la gestion d'unité centrale de traitement, il est aussi Multifonctionnel.