

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEURE  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE BATNA

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR  
DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE POUR OBTENIR LE DIPLÔME

**D'INGENIEUR D'ETAT**

**Spécialité : MÉCANIQUE**  
**Option: Energétique Thermique**

PAR

**KICHAH ABDEREZAK**

---

**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION  
DE POMPAGE PAR ENERGIE SOLAIRE.**

---

*Soutenu le ... Juin 2002*

Encadré par:

Dr : L. MASSOUDI

## **RESUME :**

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche CRSTA. Notre but est de réaliser une installation optimisée de pompage solaire dans la région d'El-Madher et sur un terrain d'environ 1 ha et contenant un puits. Dans ce contexte, notre objectif est d'aborder les calculs d'avant projet pour la réalisation de cette installation qui concerne notamment les systèmes de pompage, d'irrigation et de stockage de l'eau. En choisissant le système d'irrigation le plus rentable et la pompe solaire qui répond le plus à nos besoins en eau, les résultats que nous avons obtenus nous semble très corrects.

## **ABSTRACT :**

This work lies within the scope of a CRSTA research project. Our goal is to carry out an optimized installation of solar pumping in the area of El-Madher and on a ground from approximately 1 ha and containing a well. In this context, our objective is to approach calculations of preparatory project for the realization of this installation which relates in particular the pumping and irrigation systems and a water storage. By choosing the most profitable system of the irrigation and the solar pump which meets more our requirements out of water, the results which we obtained seems us very correct.

## **ملخص:**

هذا العمل مسجل في إطار مشروع بحث علمي لدى CRSTA. وهدفنا هو تحقيق تركيبة لمضخة شمسية في منطقة المعذر على قطعة أرض تتربع على حوالي 1 هـ وبها بئر. و في هذا النطاق هدفنا هو تقدير الحسابات الأولية من أجل تجسيد هذا المشروع الذي يخص جهاز الضخ، الري و تخزين الماء. ولقد اخترنا جهاز الري الفعال و المضخة الشمسية التي تلبى حاجياتنا من الماء و النتائج المحصل عليها جيدة.



# Remerciements

Avant tout, je remercie le grand Dieu  
D'avoir guidé mes pas sur le bon chemin  
et c'est avec un grand plaisir que je  
remercie mon encadreur  
Dr.Messaoudi Laid  
pour son aide et ses conseils précieux  
tout au long de la réalisation de ce  
mémoire.

Egalement je remercie aussi qui m'ont  
Aidé de loin ou de prés pour la réalisation  
De ce mémoire.

A.Kichah

# Dédicace

A mes chers parents

A tous ceux qui m'aimes

A tout ceux qui veulent savoir

A tous les camarades de promotion mécanique 2002

A.Kichah

## **CHAPITRE I :**

## **BESOINS EN EAU**

I.1. L'eau dans le sol	03
I.1.1. Formes de l'eau dans le sol	04
I.2. Eléments climatiques	05
I.2.1. Température	05
I.2.2. Précipitation	05
I.2.3. Humidité relative de l'air	06
I.2.4. Vents	06
I.2.5. Insolation	07
I.2.6. Tension de vapeur	07
I.2.7. Quotient pluviométrique de l'Emberger	07
I.3. Estimation de l'évapotranspiration potentielle	08
I.3.1. Evapotranspiration réelle (ETR)	09
I.3.2. Evapotranspiration maximale (ETM)	09
I.3.3. Evapotranspiration potentielle (ETP)	10
I.3.3.1. Calcul de l'ETP par la formule de Penman modifiée	10
I.4. Estimation des besoins en eau des cultures	11
I.4.1. Coefficient cultural Kc	11
I.4.2. Précipitation utiles (Pu)	12
I.4.3. Calcul de réserve facilement utilisable (RFU)	12
I.4.4. Déficit pluviométrique (DP)	13
I.4.5. Le bilan hydrique	13
I.4.5.1. Bilan hydrique de pommier	14
I.4.5.2. Bilan hydrique de tomate	14
I.5. Détermination du volume et la dose d'arrosage	15

## **CHAPITRE II :**

## **SYSTEME D'IRRIGATION**

II.1. Irrigation superficielle	17
II.2. Irrigation par aspersion	17
II.2.1. Rampes mobiles	17

II.2.2.	Enrouleurs	18
II.2.3.	Couverture intégrale	19
II.2.4.	Micro-aspersion	20
II.3.	Exsudeurs souterrains	20
II.3.1.	Vases de céramique poreux	20
II.3.2.	Tuyaux poreux sectionnés	21
II.3.3.	Manchons de plastique perforés	22
II.4.	Irrigation souterraine	22
II.4.1.	Irrigation souterraine par contrôle des nappes phréatique	22
II.5.	Irrigation au goutte-à-goutte	23
II.5.1.	Système complet de goutte-à-goutte	23
II.5.2.	Avantages du goutte-à-goutte	25
II.5.3.	Contraintes du goutte-à-goutte	26
II.5.4.	Détermination du temps d'arrosage	26
II.6.	Calcul du diamètre des conduites d'irrigation	28
II.6.1.	Rampe	28
II.6.2.	Porte rampe	28
II.6.3.	Conduite principale	28

### **CHAPITRE III :**

### **CIRCUIT HYDROLIQUE**

III.1.	Equation de continuité	31
III.2.	Equation de Bernoulli	31
III.3.	Régime d'écoulement dans les conduites	32
III.3.1.	Écoulement laminaire	32
III.3.2.	Écoulement turbulent	32
III.4.	Nombre de Reynolds	32
III.5.	Pertes de charge	33
III.5.1.	Pertes de charge par frottement	33
III.5.2.	Pertes de charge singulière	35
III.6.	Systèmes complexes des conduites	36
III.6.1.	Conduites en série	36
III.6.2.	Conduites en parallèle	36

III.6.3. Conduite ramifiées	37
III.7. Tuyauteries	38
III.7.1 Tuyaux en fonte	38
III.7.2. Tuyaux en acier	38
III.7.3. Tuyaux en plastique	38
III.8. Calcul de la pression nécessaire au borne d'irrigation	39
III.8.1. Calcul de la pression nécessaire pour l'irrigation	39
III.8.2. Calcul de la hauteur d'élévation du réservoir	41
III.8.3. Calculs des pertes de charge dans la conduite liant le réservoir au abreuvoir	42

## **CHAPITRE IV :                    POMPAGE**

IV.1. Pompe solaire	44
IV.2. Pompage solaire	44
IV.3. Système de pompage solaire	45
IV.3.1. Le générateur solaire	45
IV.3.2. Le convertisseur d'énergie	45
IV.4. Dimensionnement d'une pompe solaire	46
IV.4.1. Analyse des besoins et des conditions d'exploitation	46
IV.4.2. Données de base	46
IV.4.2.1. Débit	46
IV.4.2.2. Hauteur manométrique totale (HMT)	46
IV.4.3. Groupes moto pompes	46
IV.4.3.1. Pompes centrifuges	47
IV.4.3.2. Pompes volumétriques	47
IV.4.3.3. Pompes de surface ou immergée	48
IV.4.3.4. Comparaison des caractéristiques hydrauliques entre une pompe immergée et une pompe de surface	48
IV.4.3.5. Principaux composants d'une pompe immergée	51
IV.5. Quelque type de pompes solaires	51
IV.5.1. Pompes solaires photovoltaïques série PG	52
IV.5.2. Pompes solaires série PSOLAPH0001	53

IV.5.2.1. Description	54
IV.5.2.2. Caractéristiques	54
IV.5.2.3. Références	55
IV.6. Choix de la pompe	55

## **CHAPITRE V :                    **RÉSERVOIRS****

V.1. Fonctions et utilités des réservoirs	57
V.2. Capacité des réservoirs	57
V.2.1. Généralités	57
V.2.2. Estimation de la capacité du réservoir	59
V.3. Emplacements des réservoirs	60
V.3.1. Implantation en plaine	60
V.3.1.1. Alimentation permanent	60
V.3.1.2. Alimentation nocturne	60
V.3.1.3. Réservoir d'équilibre	60
V.3.2. Implantation en terrain accidenté	61
V.3.2.1. Implantation du réservoir	61
V.3.2.2. Alimentation étagée	61
V.4. Construction des réservoirs	62
V.4.1. Généralités	62
V.4.2. Formes et proportions des réservoirs	62
V.4.2.1. Hauteur d'eau dans le réservoir	62
V.4.2.2. Formes des réservoirs	62
V.4.3. Matériaux et type de construction des réservoirs	63
V.4.3.1. Types de construction	63
V.4.3.2. Matériaux	63
V.4.3.3. Calcul des dimensions du réservoir	63

### **CONCLUSION GENERALE**

### **ANNEXE**

### **BIBLIOGRAPHIE**



## INTRODUCTION

Quelque soit le niveau d'industrialisation et de développement des nations, nul ne pourra nier que l'agriculture constitue un objectif primordial et très important par lequel doit commencer toute nation avant de penser à toute forme d'industrialisation.

L'énergie solaire est une source inépuisable et très importante. En effet, même si seulement un millième de l'énergie solaire disponible était utilisée, cela représenterait plus de trois fois la consommation énergétique de l'ensemble des habitants de la planète [14].

Selon l' "Office of Technology Assessment" du Congrès Américain, les réserves mondiales connues de pétrole seront épuisées en 2037 et parallèlement, la demande d'énergie ne cesse d'augmenter (la production mondiale d'électricité a triplé depuis 1960). Ainsi, l'énergie photovoltaïque semble plus que jamais être une énergie d'avenir.

Dans ces dernières années l'économie de l'eau et de l'énergie devient une stratégie indispensable, l'utilisation des dernières techniques d'irrigation développée et de l'énergie renouvelable est très important pour le développement des pays.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche CRSTA proposé par Dr BARKAT. Notre but est de réaliser une installation optimisée de pompage solaire dans la région d'El-Madher et sur un terrain d'environ 1 ha. Cette station servira éventuellement à de futurs essais expérimentaux. Dans ce contexte, notre objectif est d'aborder les calculs d'avant projet pour la réalisation de cette installation et qui concernant notamment les systèmes de pompage, d'irrigation et de stockage.

Ce mémoire se compose de cinq parties essentielles : dans la première partie nous déterminons la zone climatique de la région considérée, et nous calculons les besoins en eau des plantes. Dans la deuxième partie, nous exposons les différents systèmes d'irrigation avec le choix du meilleur système et le calcul des diamètres des conduites utilisées. La troisième partie est consacrée à l'étude des différents types d'écoulements dans l'installation et la détermination de la hauteur d'élévation du réservoir d'alimentation. Dans la quatrième partie, nous choisissons la pompe la plus adaptée à notre installation et en fin, dans la cinquième partie, nous déterminons la capacité du réservoir ainsi ses dimensions et nous terminons par une conclusion générale.

# CHAPITRE I

# Besoins En Eau



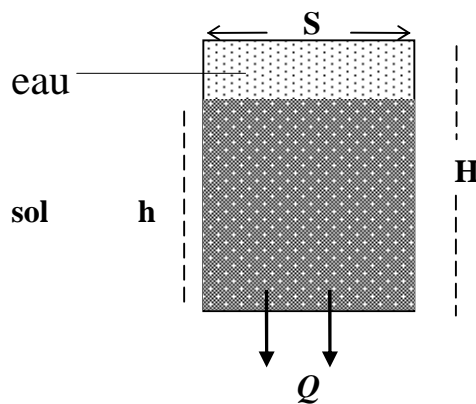
Il y'a beaucoup de formules qui calculent les besoins en eau des plantes, mais pour choisir la meilleure formule il faut d'abord déterminer dans quelle région bioclimatique se situe notre région, ensuite on applique la formule convenable pour cette région.

### I.1. L'EAU DANS LE SOL

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol. Près de la surface, le sol n'est pas saturé, les espaces vides contiennent de l'eau et de l'air; l'eau est soumise aux forces de gravité et de capillarité. A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus: le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau: cette zone saturée forme une nappe; les forces de gravité sont prédominantes. L'eau du sol ne représente que 0,064% de l'eau douce totale; son rôle est cependant essentiel puisque c'est l'eau qu'utilisent les racines des plantes.

La perméabilité  $k$  d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau;  $k$  est mesuré par la loi de Darcy [8] :

$$Q = k. s. H/h \dots\dots\dots(I.1)$$



**Figure I-1** : Différents paramètres pour le calcul de  $K$ .

$Q$  : débit [ $m^3/s$ ].

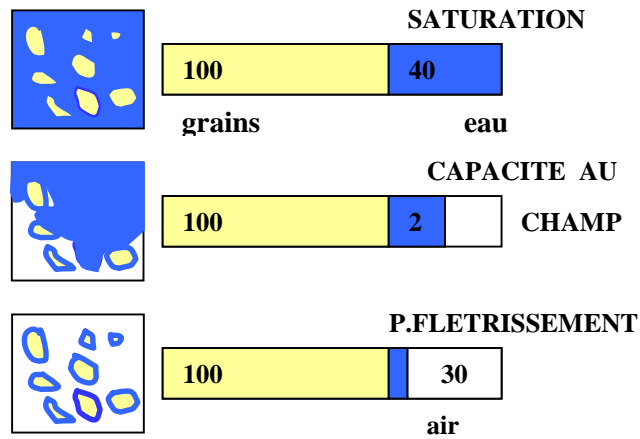
$s$  : section de la colonne de sol [ $m^2$ ].

$H$  : hauteur de la colonne d'eau[m].

$h$  : hauteur de la colonne de sol[m].

### I.1.1. FORMES DE L'EAU DANS LE SOL

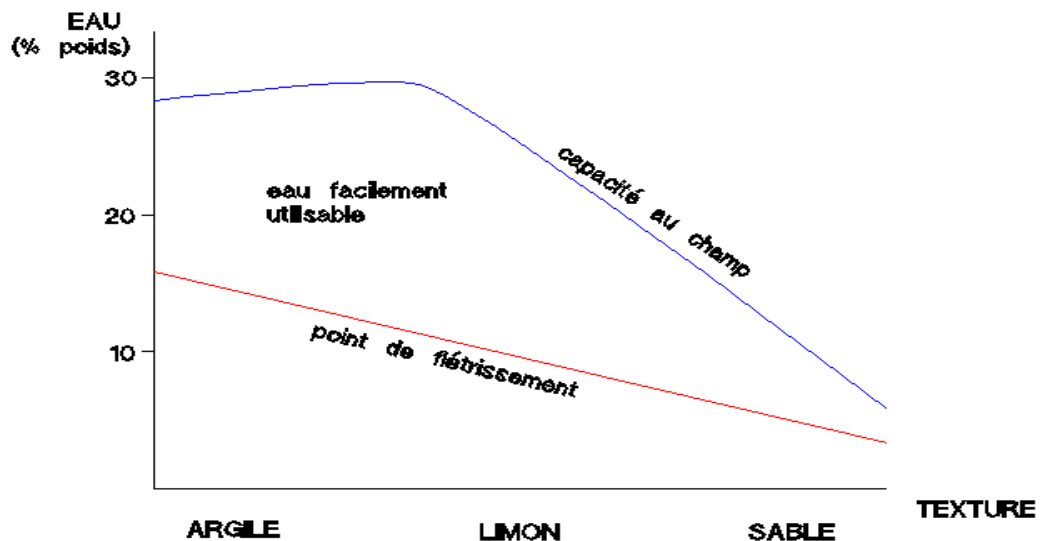
L'eau se trouve dans le sol sous trois formes principales donné par la figure I-2 :



**Figure I-2:** Etat de l'eau dans le sol.

- Saturation : l'eau s'écoule.
- Capacité de champ : le maximum d'eau est retenu sur le terrain ( saturation).
- Point de flétrissement : les racines ne peuvent plus vaincre les forces de rétention de l'eau.

La **figure I-3** montre la variation de l'état de l'eau avec les différentes textures de sol.



**Figure I-3:** Eau contenue dans le sol selon sa texture.

## I.2. ÉLÉMENTS CLIMATIQUES [ 6 ]

Les facteurs climatiques (précipitation, température, vent, humidité relative) influent d'une manière majeure sur le développement des cultures, une étude climatique sur la base des données établies sur 15 ans (1983-1997) observées à la station météorologique d'Ain-skhouna nous a permis de cerner les paramètres suivants :

### I.2.1. TEMPÉRATURE

L'élément température est un élément utilisé pour rendre compte de l'apport d'énergie à la végétation à défaut des observations du rayonnement.

Toutefois la température a un rôle très important dans le sens où elle indique la condition de passage de la chaleur d'une substance à une autre ; c'est également un facteur qui affecte la disponibilité de l'énergie et c'est grâce aux degré-jours que la végétation manifeste son rythme biologique.

**Tableau I.A :** *Température moyenne mensuelle en [ °C ].*

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T <sub>Mi</sub>	0.8	1.5	2.8	5.4	9.3	14	17	16.8	13.3	8.7	3.9	1.7
T <sub>Ma</sub>	9.8	11.1	13.6	17.4	22.5	29.3	32.9	32.2	26.7	19.9	14	10.8
T <sub>Mo</sub>	5.3	6.2	8.1	11.4	16.2	22	24.5	24.5	20	14.2	8.7	6.2

T<sub>Mi</sub> : Moyenne mensuelle des températures minimales.

T<sub>Ma</sub> : Moyenne mensuelle des températures maximales.

T<sub>Mo</sub> : Température moyenne mensuelle.

### I.2.2. PRÉCIPITATION

La précipitation c'est tous l'eau qui tombe sur la surface de la terre, tout sous forme liquide ou solide et les précipitations déposées ou occultes (rosés, gelée blanche, givre.....) qui se forment directement à la surface du sol.

La mesure des précipitations consiste à la détermination de la quantité d'eau tombée en temps donné sur une surface donnée. La connaissance de la quantité des précipitations et leur fréquence est un élément capital pour la planification de l'irrigation.

**Tableau I.B :** *Pluviométrie moyenne en [ mm ].*

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pt	27.3	29.3	38.9	27.1	32.1	19.6	9.9	18.9	36.9	27.6	28.5	33.8
Ptm	329.9											

Pt : Pluie tombée.

Ptm : Pluie tombée totale.

### I.2.3. HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR

On appelle humidité relative ou degré hydrométrique le pourcentage de vapeur d'eau qui existe réellement dans l'air par rapport à la quantité maximale que pourrait contenir l'atmosphère dans les mêmes conditions de température et de pression.

**Tableau I.C :** *L'humidité relative de l'air en [ % ].*

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H <sub>Mi</sub>	51	49	42	38	35	27	21	23	33	42	49	54
H <sub>Ma</sub>	90	90	87	87	85	78	64	67	83	86	90	92
H <sub>Mo</sub>	73	70	65	63	49	50	40	43	58	65	72	75

H<sub>Mi</sub> : Humidité relative minimale.

H<sub>Ma</sub> : Humidité relative maximale.

H<sub>Mo</sub> : Humidité moyenne relative.

### I.2.4. VENTS

L'existence de hautes et de basses pressions est à l'origine du vent, on le caractérise par sa direction et la vitesse de sa composante horizontale.

**Tableau I.D :** *Moyenne mensuelle de la vitesse de vent en [m/s] et leur direction.*

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
U	4.6	4.9	4.3	4.3	4.1	4	4.2	3.8	3.4	3.7	3.9	4.4
Dir	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	.....	.....	.....	.....

U : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent.

Dir : Direction de vent.

### **I.2.5. INSOLATION**

C'est une période durant laquelle les objets naturels opaques donnent lieu à des ombres portées nettement dessinées sur une surface horizontale.

**Tableau I.E :** *Insolation moyenne mensuelle en [heur/ jour].*

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
In	7.37	7.16	8.83	9.75	11.45	12.91	14.54	13.45	10.95	9.37	7.95	7.25

### **I.2.6. TENSION DE VAPEUR**

La tension de vapeur est liée à la température de l'air, elle est importante en été, elle atteint au mois de septembre 12.9 mbar, alors qu'en hiver sa valeur la plus basse au mois de janvier est de 5.9 mbar.

**Tableau I.F :** *Moyenne mensuelle des tensions de vapeur en [mbar].*

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tv	5.9	6.5	6.8	8.1	10.1	12.3	12.1	12.7	12.9	10.2	8	7

### **I.2.7. QUOTIENT PLUVIOMÉTRIQUE DE L'EMBERGER**

Le quotient pluviométrique de l'Emberger nous détermine le type de la zone climatique étudiée.

Emberger (1932), proposa une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel en tenant compte des précipitations et de la température [6].

$$I_p = 3.34 ( P_{tm} / T_M - T_m ) \dots\dots\dots(I. 2)$$

$I_p$  : Quotient pluviométrique d'Emberger [mm].

$T_M$  : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud °K.

$T_m$  : Température moyenne des minima du mois le plus froid °K.

Le coefficient 3.34 est un coefficient dimensionnel qui permis d'obtenir  $I_p$  sans dimension.

Valeur de $I_p$	Type du climat
$I_p > 100$	Humide
$100 > I_p > 50$	Tempéré
$50 > I_p > 25$	Semi-aride
$25 > I_p > 10$	Aride
$10 > I_p$	Désertique

D'après les données climatiques de la station météorologique de Ain-Skhouna :

$$P = 329,9 \text{ mm}$$

$$T_M = 36.9 + 273 = 309,9 \text{ °K}$$

$$T_m = 0.8 + 273 = 273,8 \text{ °K}$$

Après une application numérique, nous avons obtenu une valeur de  $I_p$  égale à **31,34** qui nous informe que notre région d'étude se situe dans l'étage bioclimatique **semi-aride**.

### I.3. ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

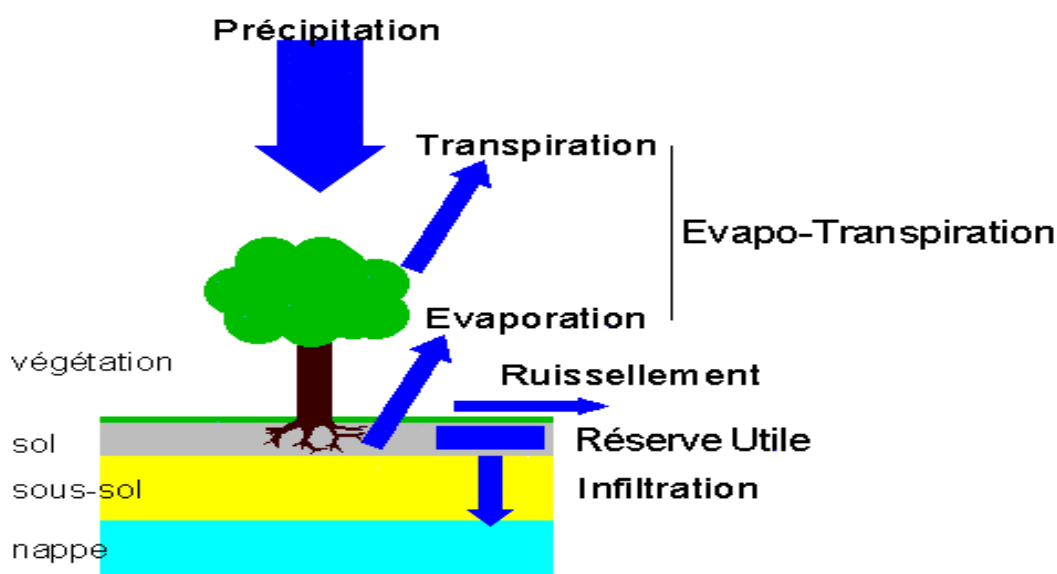
Une partie de l'eau qui pénètre dans le sol est évaporée de nouveau dans l'atmosphère soit directement (évaporation) soit par l'intermédiaire des plantes: l'ensemble de ces pertes en eau constitue l'évapotranspiration.



### I.3.1. EVAPOTRANSPIRATION RÉELLE (ETR) [8]

C'est la consommation d'eau observée par une culture dans les conditions pratiques. Sa valeur est essentiellement variable suivant la plante cultivée, son stade végétatif, les conditions de la culture est en particulier son niveau d'alimentation en eau.

Selon le degré de couverture du sol, elle peut être supérieure, égale ou inférieure à l'évapotranspiration maximale.



**Figure I-4:** place de l'eau du sol dans le cycle de l'eau.

### I.3.2. EVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE (ETM) [8]

L'évapotranspiration maximale d'une culture dépend d'abord du climat, mais aussi de la culture elle-même et des conditions de sa croissance, on est donc amené à définir un coefficient cultural  $K_c$  permettant le calcul de l'ETM d'une culture donnée à partir de la référence climatique que constitue l'évapotranspiration potentielle.

$$K_c = ETM / ETP \dots\dots\dots(I.3)$$

Donc l'évapotranspiration maximale c'est la quantité d'eau perdue durant les conditions extrêmes en tenant compte de l'espèce considérée.

### I.3.3. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP) [8]

L'évapotranspiration potentielle est définie comme étant l'évapotranspiration d'une couverture végétale bas, continue et homogène, dont l'alimentation en eau n'est pas limitée, et qui n'est soumise à aucune limitation d'ordre nutritionnel physiologique ou pathologique.

L'ETP ainsi définie correspond donc sensiblement à l'évapotranspiration d'une prairie ou d'un gazon en pleine croissance fauché régulièrement, correctement fumé et bien enraciné, sur un sol maintenu à une humidité proche de la capacité de rétention.

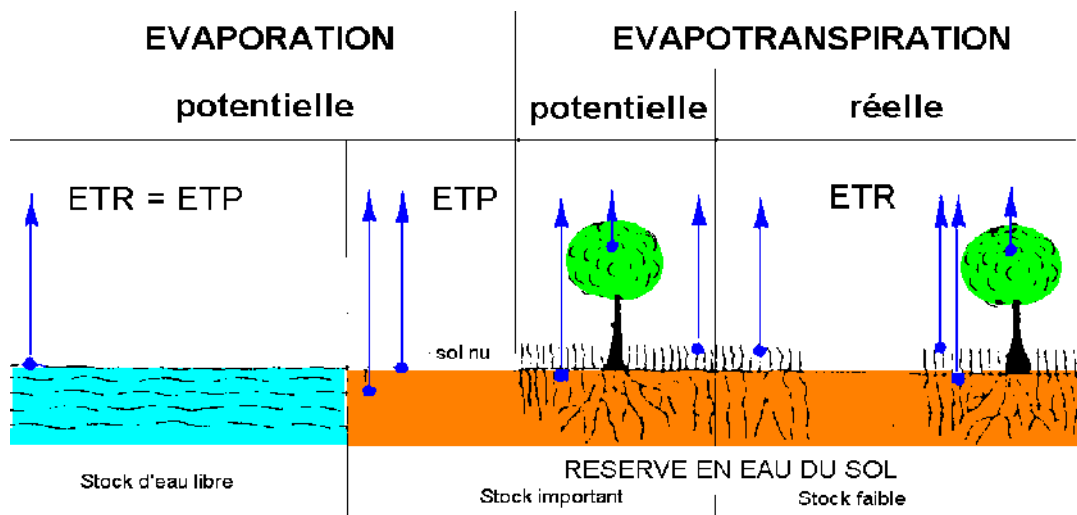


Figure I-5: Evaporation et évapotranspiration potentielle et réelle.

#### I.3.3.1. CALCUL DE L'ETP PAR LA FORMULE DE PENMAN MODIFIEE [6]

Dans les régions où l'on dispose de mesures de la température, de l'humidité, du vent, et des heures d'insolation effective ou du rayonnement, on préconise d'utiliser la méthode de Penman modifiée car c'est celle qui, vraisemblablement fournira les résultats les plus satisfaisants pour estimer l'effet du climat sur les besoins en eau des cultures.

$$ETP = C \cdot [ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(U) \cdot (e_a - e_d) ] \dots\dots\dots(I.4)$$

ETP : Evapotranspiration potentielle de la culture de référence en [mm/jour].

C : Facture de correction pour compenser les conditions météorologiques.

W : Facteur de pondération qui dépend de la température et de l'altitude.

Rn : Rayonnement net.

F(u) : Fonction liée au vent.

$$F(u) = 0.27 \cdot (1 + U_2) / 100 \dots\dots\dots(I.5)$$

U<sub>2</sub> : Vitesse de vent en [m/s].

ea : Tension de vapeur saturante moyenne en [mbar].

ed : Tension de vapeur réelle moyenne en [mbar].

**Tableau I.G :** Estimation de ETP par la formule de Penman modifiée.

Mois	C	W	(1-W)	Rn	F(u)	(ea-ed)	ETP(mm/j)	ETP(mm/M)
J	0.8	0.49	0.51	1.75	1.34	1.38	1.43	44.39
F	0.86	0.51	0.49	1.55	1.41	2.86	1.78	49.84
M	0.9	0.54	0.46	1.85	1.27	2.84	2.38	73.93
A	1.03	0.58	0.42	1.74	1.27	4.2	3.33	100.11
M	1.06	0.65	0.35	1.82	1.14	6.64	4.06	125.85
J	1.04	0.72	0.28	2.08	14.20	11	5.26	157.8
JT	1.15	0.75	0.25	2.55	1.24	15.3	7.6	235.6
A	1.08	0.75	0.25	2.4	1.15	14.2	6.35	196.86
S	1.10	0.70	0.30	1.81	1.06	8.45	4.33	130.02
O	0.93	0.63	0.27	1.76	1.13	4.97	2.43	75.53
N	0.83	0.55	0.45	1.8	1.18	2.44	1.9	57.02
D	0.85	0.51	0.49	1.77	1.30	1.5	1.5	48.74

## I.4. ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DES CULTURES [6]

### I.4.1. COEFFICIENT CULTURAL K<sub>c</sub>

K<sub>c</sub> est un coefficient qui est fonction de la nature de la culture, de la phase de vie végétale et des conditions climatiques.

Les valeurs de K<sub>c</sub> pour le pommier et la tomate sont représentées dans les tableaux suivants :

**Tableau I.K [6]: Coefficient  $K_c$  pour le pommier et Tomate.**

Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oc	No
Pommier	0.5	0.75	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85
Tomate	0.70	0.95	1.2	1.2	0.65	.....	.....	.....	.....

#### I.4.2. PRÉCIPITATION UTILES (PU)

Lorsque l'eau de pluie tombe sur la surface du sol, une partie s'infiltré dans le sol, une autre partie s'évapore dans l'atmosphère.

La précipitation utile est la partition d'eau tombée qui contribue à la satisfaction des besoins en eau de la culture.

$$Pu = Pt - R \quad \dots\dots\dots(I.6)$$

$$R = 0.15 ( Pt - 20) \quad \dots\dots\dots(I.7)$$

$Pt < 20 \text{ mm}$       $Pu = Pt$  avec  $R = 0$ .

$Pu$  : Pluies utiles.

$Pt$  : Pluies brutes.

**Tableau I.L [6]: La précipitation utile en [mm].**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pu	28.29	26.22	36.82	23.45	29.94	17.54	11.65	16.11	32.58	26.80	21.75	28.77

#### I.4.3. CALCUL DE RÉSERVE FACILEMENT UTILISABLE (RFU)

C'est la partition de la réserve utile qui correspond aux valeurs d'humidité permettant le rendement optima des plantes (entre le point de flétrissement et le point de rétention utilisé par les plantes). Suivant les auteurs on l'estime à 1/2 ou 2/3 de la réserve utile.

$$RFU = 3000 \cdot h \cdot Hpr \cdot da \quad \dots\dots\dots(I.8)$$

$h$  : Profondeur d'enracinement de la culture en [m].

Hpr : Capacité de rétention (Hpr = 25% =0.25).

da : Densité apparente du sol (da = 1.35 (g/cm<sup>3</sup>)).

Pour la tomate, nous avons choisi une profondeur d'enracinement de **0.70 m.**

Pour le pommier, une profondeur d'enracinement de **1.20 m.**

RFU(tomate) = 708.75 m<sup>3</sup>/h = **70.87 mm.**

RFU(pommier) = 1215 m<sup>3</sup>/h = **121.50 mm.**

#### **1.4.4. DÉFICIT PLUVIOMÉTRIQUE ( DP )**

Le déficit pluviométrique (Dp) d'une période donnée est comme étant la différence entre l'ETM et le module pluviométrique utile.

$$Dp = ETM - Pu \dots\dots\dots(I.9)$$

#### **1.4.5. LE BILAN HYDRIQUE**

Par définition, le bilan hydrique d'une culture donnée est la différence d'une part entre les besoins en eau des cultures tels que déterminés par le climat et les caractéristiques végétales (ETM) et d'autre part, la somme des apports effectifs des précipitations et de la contribution de la nappe phréatique.

Le calcul des volumes d'eau à apporter par irrigation est réalisé en effectuant période par période le bilan.

$$B = ETM - (Pu + x . RFU) \dots\dots\dots(I.10)$$

B : Volume d'eau à apporter par irrigation .

X : Pourcentage utilisable de la RFU du sol, compte tenu de la profondeur d'enracinement atteint.

### I.4.5.1. BILAN HYDRIQUE DE POMMIER

**Tableau I.M :** *Bilan hydrique de Pommier.*

Mois	Mar	A	M	J	Jt	A	S	O	N
ETP [mm]	73.93	100.11	125.85	157.8	235.6	196.86	130.02	75.53	57.02
Kc	0.5	0.75	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85
Besoins ETM [mm]	36.96	75.08	106.97	149.91	235.6	196.86	123.52	67.98	48.47
Dp [mm]	0.14	51.63	77.03	132.37	223.95	180.75	90.94	41.18	26.72
Stock en début de période RFU [mm]	121.50	121.36	69.73	0	0	0	0	0	0
Volume à apporter: Dp - stock d [mm]	0	0	32.7	132.37	223.95	180.75	90.94	41.18	26.72
Stock en fin de période [mm]	121.36	69.73	0	0	0	0	0	0	0
Volume à apporter aux plantes B [m <sup>3</sup> /ha]	0	0	327	1323.7	2239.5	1807.5	909.4	411.8	267.2

### I.4.5.2. BILAN HYDRIQUE DE TOMATE

**Tableau I.M :** *Bilan hydrique de tomate.*

Mois	Mar	A	M	J	Jt
ETP [mm]	73.93	100.11	125.85	157.8	235.6
Kc	0.70	0.95	1.2	1.2	0.65
Besoins ETM [mm]	51.75	95.10	151.02	189.36	153.14
Dp [mm]	51.75	95.10	151.02	189.36	153.14
Stock en début de période RFU [mm]	70.87	19.12	0	0	0
Volume à apporter: Dp - stock d [mm]	0	75.98	151.02	189.36	153.14
Stock en fin de période [mm]	19.12	0	0	0	0
Volume à apporter aux plantes B [m <sup>3</sup> /ha]	0	759.8	1510.2	1893.6	1531.4

## I.5. DÉTERMINATION DU VOLUME ET LA DOSE D'ARROSAGE

La dose d'arrosage c'est la quantité d'eau apportée à la parcelle par un système d'irrigation.

$$Da = B / e \dots\dots\dots(I.11)$$

Da : Dose d'arrosage.

B : Volume d'eau apporté aux plantes.

e : Coefficient d'efficacité qui dépend du système d'irrigation choisi.

Dans notre parcelle en à choisi le système d'irrigation goutte à goutte.

<b>Techniques d'irrigations utilisées</b>	<b>Efficacité en [%]</b>
<b>Micro-irrigation</b>	90
<b>Irrigation sous pression</b>	80
<b>Irrigation par infiltration</b>	50

Pour calculer le volume mensuel de notre parcelle nous utilisons la formule suivant :

$$Vm = Da . S . C \dots\dots\dots(I.12)$$

S : Superficie totale de la parcelle.

C : Rapport de la surface, couverte par la couronne des plantes et de la surface totale de la parcelle.

Notre parcelle est constituée de deux parties : la première d'une surface de 50 m \* 76 m, planté avec des pommiers, la deuxième de cinq serres, la surface de chacune est de 50 m \* 8 m.

**Tableau I.O : Répartition d'espèce d'arbres dans la parcelle.**

Espèce	Nombre de rangées	Nombre d'arbre par rangée	Nombre d'arbre total	Espacement		Superficie [m <sup>2</sup> ]
				Arb-arb [m]	Rang-rang [m]	
Tomate	5 serres* 8	60	2400	0.80	1	2000
Pommier	19	16	304	3	4	3800

**Tableau I.N : Doses d'arrosages pour les deux cultures.**

Culture	Mois	B [mm]	e	Da [mm]	S [ha]	C	Vm [m <sup>3</sup> ]
Pommier	Mars	0	0.90	0	0.38	0.45	0
	Avril	0	0.90	0	0.38	0.45	0
	Mai	32.7	0.90	36.33	0.38	0.45	62.1
	Juin	132.37	0.90	147.08	0.38	0.45	251.5
	Juillet	223.95	0.90	248.83	0.38	0.45	425.5
	Août	180.75	0.90	200.33	0.38	0.45	342.6
	Septembre	90.94	0.90	101.04	0.38	0.45	172.8
	Octobre	41.18	0.90	45.76	0.38	0.45	78.2
	Novembre	26.72	0.90	29.69	0.38	0.45	50.8
Tomate	Mars	0	0.90	0	0.20	0.65	0
	Avril	75.98	0.90	84.42	0.20	0.65	109.75
	Mai	151.02	0.90	167.8	0.20	0.65	218.14
	Juin	189.36	0.90	210.4	0.20	0.65	273.52
	Juillet	153.14	0.90	170.16	0.20	0.65	221.21



# CHAPITRE II

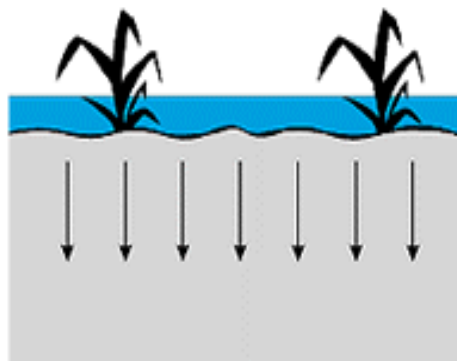
## Systeme D'irrigation



Le développement des techniques d'irrigation modernes doit avoir pour objectif d'utiliser au mieux l'eau, en même temps que les terres, les ressources humaines, l'énergie, les machines, les engrais et lutte phytosanitaire de façon à renforcer durablement la production agricole. On distingue cinq moyens d'arroser les cultures :

## II.1. IRRIGATION SUPERFICIELLE

Laisser couler l'eau à la surface ou inonder le sol et le laisser saturer jusqu'à une certaine profondeur. La méthode d'irrigation classique, consiste à inonder la terre jusqu'à une certaine profondeur de façon à saturer complètement le sol, puis à attendre quelques jours ou quelques semaines jusqu'à ce que l'humidité emmagasinée dans le sol soit pratiquement asséchée, avant de réinonder la terre. Dans ce système d'irrigation, basé sur l'application peu fréquente d'un grand volume d'eau sur la totalité de la surface cultivée, la terre traverse plusieurs cycles caractéristiques, consistant en une alternance de périodes où l'humidité du sol est excessive et de périodes où la teneur en eau est généralement insuffisante. Les conditions ne sont optimales que pendant une brève période de transition entre deux conditions extrêmes.



**Figure II-1 :** *Irrigation superficielle.*

## II.2. IRRIGATION PAR ASPERSION

Pulvériser de l'eau dans l'air et la laisser retomber en pluie sur les plantes et sur le sol.

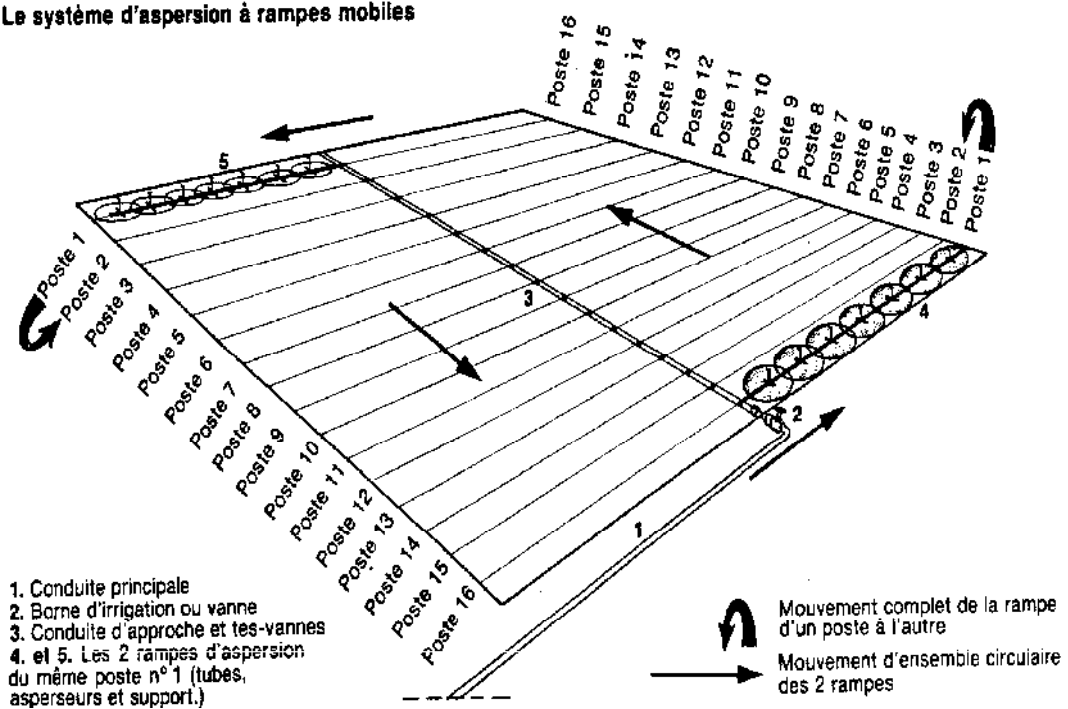
### II.2.1. LES RAMPES MOBILES

Dans chaque parcelle, là où les rampes d'aspersion en alliage léger sont déplacées à la main de poste en poste.

Chaque parcelle est alimentée à partir d'une dérivation montée sur la conduite principale. Pour les réseaux collectifs de distribution aux parcelles, une borne constitue la prise d'eau ou sont regroupées les fonctions suivantes :

- Vannage
- Régulation de pression
- Limitation de débit
- Comptage de volume d'eau
- Raccordement rapide à la conduite d'approche

**Le système d'aspersion à rampes mobiles**



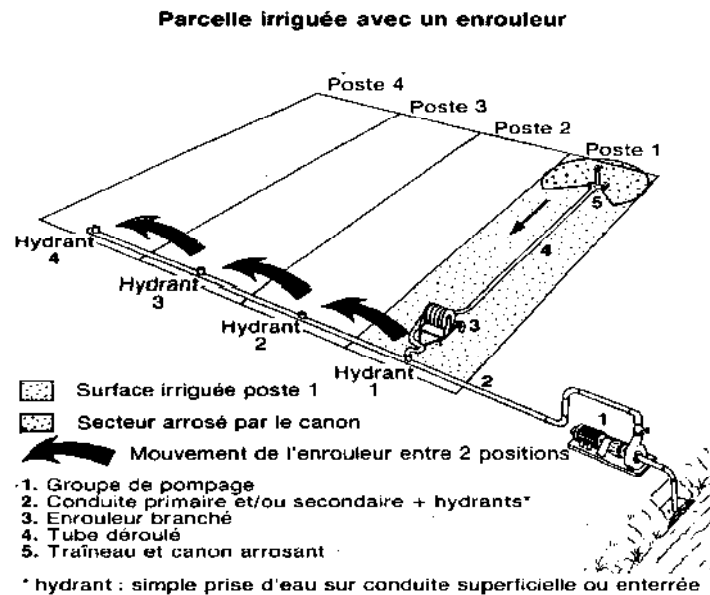
**Figure II-2 :** *Système d'aspersion à rampe mobile.*

## II.2.2. ENROULEURS

Les enrouleurs sont des appareils d'irrigation à grande capacité comportant :

- un châssis à roues
- un tube polyéthylène sur tambour
- un moteur hydraulique
- un traîneur porte-canon

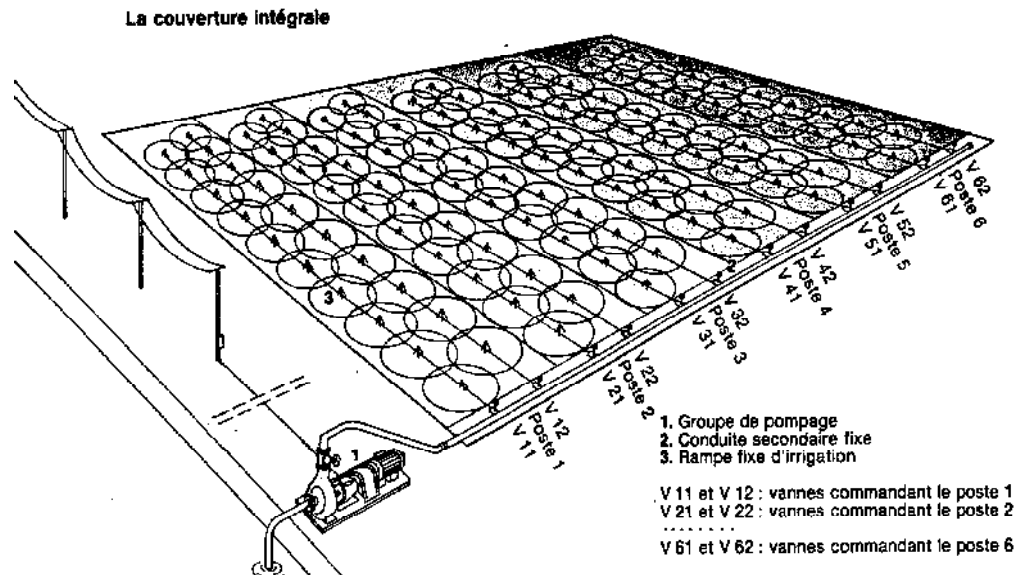
Le traîneau est mû par traction du tube polyéthylène qui s'enroule sur le tambour grâce au moteur hydraulique. On irrigue donc une bande de terre à chaque passage.



**Figure II-3 : Parcelle irriguée avec un enrouleur.**

### II.2.3. COUVERTURE INTÉGRALE

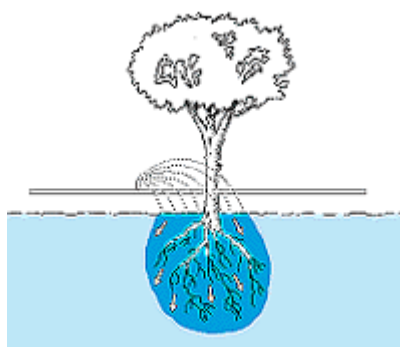
Dans ce système, le matériel une fois posé reste fixe pendant la saison d'irrigation. Ce dispositif permet de supprimer la main d'œuvre qui était nécessaire pour la couverture totale.



**Figure II-4 : couverture intégrale.**

## II.2.4. MICRO-ASPERSION

L'irrigation au moyen de micro-pulvérisateurs, également appelés mini-asperseurs ou gicleurs, se fonde sur le même principe que l'irrigation au goutte-à-goutte, en ce sens que seule une fraction de la surface du sol est arrosée. Cependant, l'eau ne sort pas goutte à goutte par les orifices étroits des goutteurs, mais est éjectée en jets fins par une série de gicleurs d'où elle tombe en pluie. Chaque gicleur peut arroser plusieurs mètres carrés, soit une surface bien plus grande que celle que mouille un goutteur. Le système de la micro-aspersion permet donc d'augmenter le volume de sol mouillé dans lequel les racines des plantes absorbent l'eau et les éléments nutritifs (sans avoir à installer de multiples goutteurs), ce qui est particulièrement intéressant pour les gros arbres.



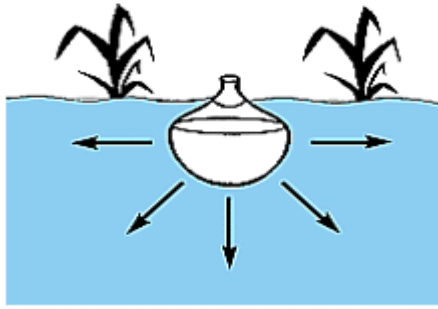
**Figure II-5 :** *Forme du mouillage du sol, sous micro aspersion.*

## I.3. EXSUDEURS SOUTERRAINS

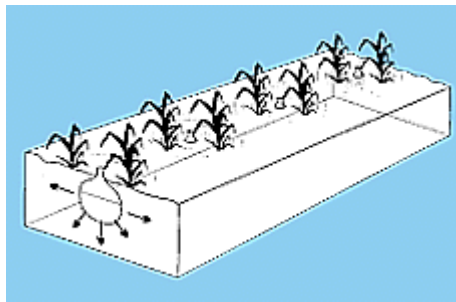
C'est le fait d'introduire l'eau directement dans la rhizosphère au moyen de réceptacles poreux.

### I.3.1. VASES DE CÉRAMIQUE POREUX

L'une des plus anciennes méthodes d'irrigation basée sur le déversement fréquent (ou continu) d'eau sur une partie du volume du sol consiste à enfouir des vases poreux dans le sol. On ne dispose pas d'informations certaines sur l'origine et l'ancienneté de cette méthode, mais de nombreux rapports attestent qu'elle était utilisée dans toute l'Afrique du Nord et le Proche-Orient (figures II-6, II-7).



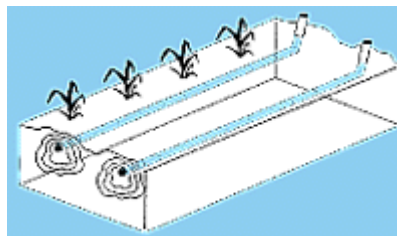
**Figure II-6 :** *Forme du mouillage du sol autour d'un vase d'argile poreux enfoui entre deux rangées de cultures*



**Figure II-7 :** *Forme du mouillage du sol irrigué par une série de vases d'argile poreux enfouis entre deux rangées de cultures*

### II.3.2. TUYAUX POREUX SECTIONNÉS

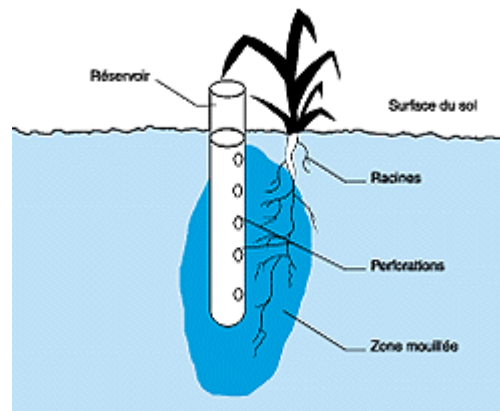
Cette variante de la méthode d'irrigation par jarres poreuses a pour but de répandre de l'eau dans le sol le long d'une bande horizontale continue, plutôt qu'en des emplacements éloignés les uns des autres. De ce fait, la méthode des tuyaux poreux est plus adaptée pour les cultures en ligne peu espacées, disposées en planches, comme les cultures maraîchères. Pour permettre le remplissage, le tuyau est recourbé à une extrémité et l'orifice dépasse le niveau du sol.



**Figure II-8 :** *Forme du mouillage d'un sol irrigué par des tuyaux souterrains d'argile poreux.*

### II.3.3. MANCHONS DE PLASTIQUE PERFORÉS

Il existe une variante intéressante de la méthode d'irrigation par exsudation souterraine, qui consiste à utiliser une fine gaine de plastique pour former un boyau en forme de manchon. Le principal avantage de cette méthode est son faible coût, mais elle a aussi plusieurs inconvénients qui limitent son champ d'application.



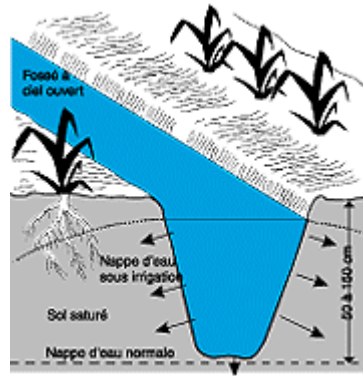
**Figure II-9 :** *Forme de la zone mouillée par un manchon de plastique rempli de sable, perforé sur un côté et placé à la verticale dans la rhizosphère.*

### II.4. IRRIGATION SOUTERRAINE

Elever la nappe d'eau par en dessous (dans les endroits où la nappe d'eau souterraine est peu profonde et contrôlable) de façon à ce que la rhizosphère soit humidifiée par capillarité.

#### II.4.1. IRRIGATION SOUTERRAINE PAR CONTRÔLE DES NAPPES PHRÉATIQUES

L'irrigation souterraine consiste à amener de l'eau jusqu'à la zone racinaire des plantes en régularisant, par des moyens artificiels, la hauteur de la nappe souterraine. Cette méthode peut être appliquée dans les endroits où la nappe est naturellement haute, ce qui est souvent le cas le long des vallées fluviales ou dans les plaines recouvrant des strates imperméables.



**Figure II-10 :** *Elévation ou abaissement de la nappe phréatique pour l'irrigation souterraine, en contrôlant le niveau de l'eau dans des fossés parallèles.*

On creuse habituellement des tranchées ouvertes jusqu'à une profondeur inférieure à la nappe, et le niveau de l'eau est contrôlé par des barrages régulateurs ou des vannes. De cette manière, les tranchées peuvent servir soit à drainer l'excédent d'eau partant, et à abaisser la nappe phréatique pendant les saisons humides, soit à élever la nappe en période sèche et, de ce fait, à humidifier la rhizosphère par en dessous.

## **I.5. IRRIGATION AU GOUTTE-À-GOUTTE**

L'installation qui a été choisie au niveau de notre verger est la micro-irrigation. On appelle irrigation au goutte-à-goutte l'application lente et localisée d'eau, littéralement au goutte-à-goutte, au niveau d'un point ou d'une grille de points sur la surface du sol. Si l'eau s'écoule à une vitesse inférieure à la capacité d'absorption ou d'infiltration du sol, celui-ci n'est pas saturé et il ne reste pas d'eau qui stagne ou ruisselle à la surface.

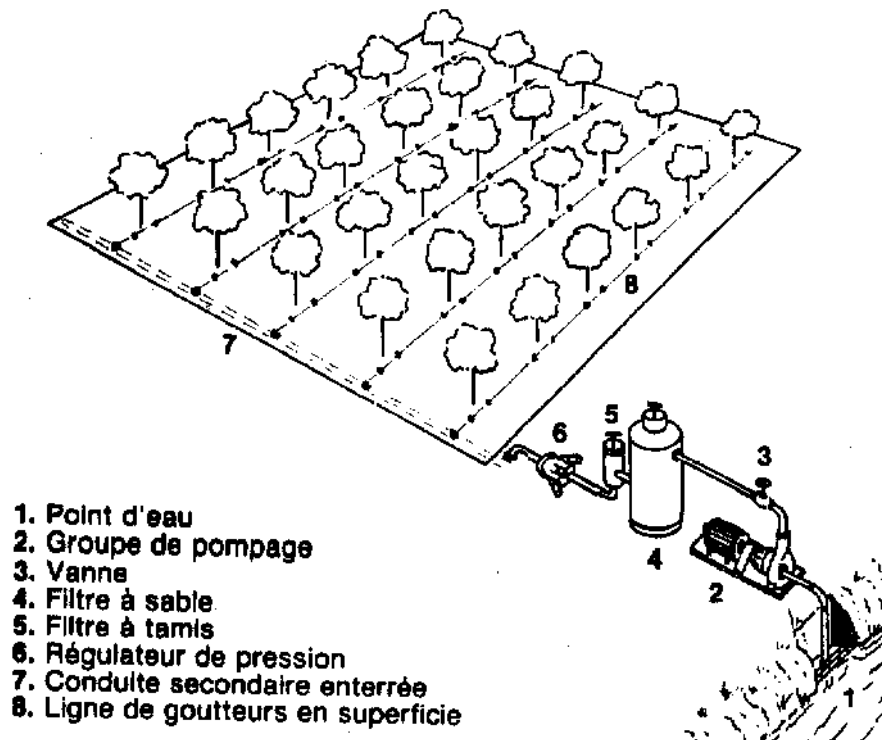
### **II.5.1. SYSTÈME COMPLET DE GOUTTE-À-GOUTTE**

L'eau est amenée jusqu'aux orifices de gouttage par un assemblage de tuyaux en plastique, généralement en polyéthylène opaque ou en PVC résistant aux intempéries. Des canalisations latérales, alimentées par une conduite maîtresse, sont posées sur le sol. Ces canalisations, généralement d'un diamètre de 10 à 25 mm, sont perforées ou munies de goutteurs spéciaux. Chaque goutteur doit déverser l'eau goutte à goutte sur le sol, à un débit prédéterminé, allant de 1 à 10 litres par heure.

La pression de l'eau dans les tuyaux est ordinairement comprise entre 1 et 2,5 atmosphères. Cette pression s'atténue par frottement lorsque l'eau s'écoule à travers les étroits passages ou orifices du



goutteur, si bien que l'eau sort à une pression atmosphérique sous forme de gouttes et non en jet ou aspersion.



**Figure II-11 :** Schéma d'un système classique d'irrigation au goutte-à-goutte

**Les goutteurs :** C'est le dispositif qui permet d'obtenir un faible débit à la sortie. Il y'a deux types de goutteurs; goutteur simple : ou le débit varie sensiblement avec la variation de la pression d'entrée aux rampes. Les goutteurs auto réglant : ou le débit ne varie qu'avec une variation considérable de la pression d'entrée.



**Figure II-12 :** Goutteur simple ou non auto-régulant.



**Figure II-13 : Goutteur auto-régulant.**

*La pression hydraulique* dans les conduites d'amenée ne doit pas nécessairement être créée par des pompes mécaniques. Il suffit d'installer le réservoir quelques mètres plus haut que la terre à arroser pour créer une pression de gravité suffisante pour irriguer au goutte-à-goutte une petite surface.

*Le filtrage* peut être assuré en interposant un simple récipient rempli de sable entre la source d'eau et les conduites d'irrigation. L'eau (trouble) qui arrive entrera au fond du récipient et se répandra vers le haut à travers les couches de sable, dont elle sortira filtrée, pour se déverser dans les conduites d'irrigation.

*La mesure du débit* est fondamentale pour garantir une utilisation efficace de l'eau. Si un système n'est pas équipé de débitmètres ou de valves doseuses, le débit doit être contrôlé en enregistrant la durée de chaque irrigation.

## **II.5.2. AVANTAGES DU GOUTTE À GOUTTE**

- efficacité de l'eau proche de 100%.
- pas de main-d'œuvre sauf pour le nettoyage des filtres,
- avantage agronomique : augmentation du rendement général et raccourcissement du cycle en climat tropical ; par exemple, l'irrigation au goutte à goutte des bananiers permet de réduire de 20% la durée du cycle de production et d'améliorer la qualité.
- le goutte à goutte permet de ne mouiller ni le tronc ni les frondaisons ce qui limite le développement des maladies cryptogamiques ;

- la distribution de l'eau étant limitée à une surface réduite.
- moins de pression et moins de débit entraînent une économie importante d'énergie ;
- injection des engrais et produits phytosanitaires plus faciles et plus précise.

### II.5.3. CONTRAINTES DU GOUTTE À GOUTTE

- goutteurs adaptés. Le système ne doit pas se boucher à l'usage. Le gouteur doit donc être conçu pour limiter ce risque, ce qui est le cas avec les goutteurs à labyrinthes.
- filtration de l'eau. De plus, l'eau doit être débarrassée des éléments indésirables qu'elle véhicule : tout ce qui flotte et tout ce qui est en suspension.
- qualité de l'eau. Lorsqu'il existe des risques de colmatage par précipitation chimique de sels de calcium ..., il faut dans certains cas prévoir des traitements spéciaux de l'eau.
- mobilité du système. Si pour les cultures pérennes, le goutte à goutte est fixe, pour les cultures annuelles, il sera nécessaire d'enrouler les rampe, pour permettre d'effectuer les façons culturales.

### II.5.4. DETERMINATION DU TEMPS D'ARROSAGE [1]

On choisi des goutteurs intégrés auto réglant de débit 2.24 l/h, la pression de travail est de 1 kg/cm<sup>2</sup> à l'entré de la rampe.

$$V_j = V_m / N_j \dots\dots\dots( II.1 )$$

$$V_p = V_j / N_a \dots\dots\dots( II.2 )$$

$$T_a = V_p / N_g \cdot Q_g \dots\dots\dots( II.3 )$$

V<sub>j</sub> : Volume journalier à apporter pour la parcelle [l/j].

N<sub>j</sub> : Nombre de jour correspondant à chaque mois.

V<sub>p</sub> : Volume journalier à apporter pour chaque plante [l/j].

N<sub>a</sub> : Nombre d'arbre à irriguer.

T<sub>a</sub> : Temps d'arrosage [heur].

N<sub>g</sub> : Nombre de goutteurs pour chaque plante.

Q<sub>g</sub> : Débit de goutteur en [l/heure].

**Tableau I.L :** Temps d'arrosage du culture.

Culture	Mois	V <sub>j</sub> [ l/j ]	N <sub>p</sub>	V <sub>p</sub> [ l/pl/j ]	Q <sub>g</sub> [ l/h ]	N <sub>g</sub>	T <sub>a</sub> [ h ]
Pommier	Mars	0	304	0	2.24	2	0
	Avril	0		0			0
	Mai	2003		6.59			1.47
	Juin	8384		27.58			6.16
	Juillet	13726		45.15			10.08
	Août	11052		36.36			8.11
	Septembre	5760		18.48			4.13
	Octobre	2523		8.30			1.85
	Novembre	1694		5.57			1.25
Tomate	Mars	0	2400	0	2.24	1	0
	Avril	3658		1.53			0.68
	Mai	7038		2.94			1.31
	Juin	9118		3.80			1.70
	Juillet	7136		2.98			1.33

## II.6. CALCUL DU DIAMÈTRE DES CONDUITES D'IRRIGATION

Le dimensionnement du système d'irrigation goutte à goutte consiste à déterminer les diamètres des conduites et tous les composants qu'il constitue (Figure II.14). Le calcul du diamètre est fonction du débit maximal qui passe dans la conduite.

### II.6.1. RAMPE

La rampe est la conduite qui porte les goutteurs, son diamètre est donné par le constructeur, dans notre installation suivant le débit des goutteurs, le diamètre de la rampe est de 16 mm [12].

### II.6.2. PORTE RAMPE

C'est la conduite qui distribue l'eau aux rampes, son diamètre est donné par la formule suivante [5] :

$$D_{prc} = \sqrt{Q_{pr}} \dots\dots\dots(II.4)$$

$$Q_{pr} = N_{ar} \cdot Q_g \cdot N_{gr} \dots\dots\dots(II.5)$$

$D_{prc}$  : Diamètre du porte rampe calculé [m].

$Q_{pr}$  : Débit à l'entrée du porte rampe [m<sup>3</sup>/s].

$N_{ar}$  : Nombre d'arbres dans la parcelle.

$N_{gr}$  : Nombre de goutteurs par rampe.

### II.6.3. CODUITE PRINCIPALE

C'est la conduite qui assure l'alimentation en eau des portes rampes. Ou c'est elle qui relie les portes rampes avec le grand réservoir d'alimentation.

Application Numérique :

\* Porte rampe cotée Tomate :

-  $Q_{pr} = 2400 \cdot 2,24 \cdot 1 = 5376 \text{ l/h.}$

$Q_{pr} = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.}$

-  $D_{prc} = \sqrt{1,49 \cdot 10^{-3}} = 0,038 \text{ m.}$

dans les diamètres normalisés des conduites en acier galvanisé, on a choisi

**Dprn = 40 mm**

\* Porte rampe coté Pommier :

-  $Q_{pr} = 304 \cdot 2,24 \cdot 2 = 1361,92 \text{ l/h.}$

$Q_{pr} = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s.}$

-  $D_{prc} = \sqrt{3,78 \cdot 10^{-4}} = 0,019 \text{ m.}$

dans les diamètres normalisés des conduites en acier galvanisé, on a choisi

**Dprn = 20 mm**

\*Conduite principale :

C'est le même calcul pour les portes rampe, mais en remplace le débit d'entrée du porte rampe, par la somme des débits de tous les rampes.

$$D_{pc} = \sqrt{Q_p} \dots\dots\dots (II.6)$$

$Q_p = Q_{pr} \text{ (Tomate)} + Q_{pr} \text{ (Pommier)}$

$Q_p =$  le débit dans la conduite principale.

Application numérique :

$Q_p = 1,49 \cdot 10^{-3} + 3,78 \cdot 10^{-4} = 1,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s.}$

$D_{pc} = \sqrt{1,87 \cdot 10^{-3}} = 0,043 \text{ mm.}$

dans les diamètres normalisés des conduites en acier galvanisés on choisi

**Dprn = 50 mm**

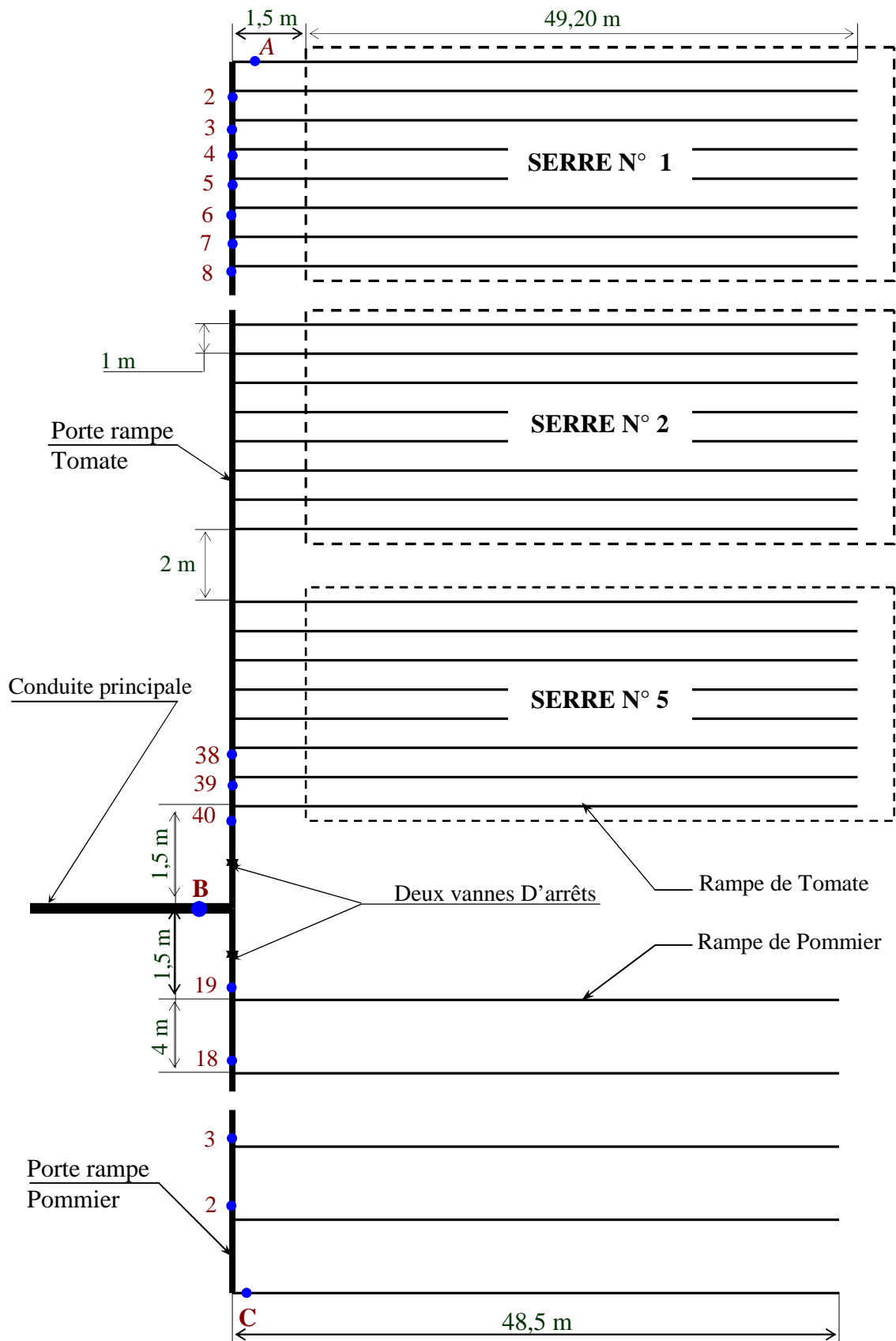


Figure II.14 : Présentation de différents types de conduites utilisées pour l'irrigation.

# CHAPITRE III

# Circuit Hydraulique





### III.1. EQUATION DE CONTINUITÉ [ 2 ]

On appelle débit la quantité de liquide qui passe à travers la section d'écoulement pendant l'unité de temps.

Pour un filet élémentaire dont les sections sont infiniment petites, on peut admettre que la vitesse réelle  $V$  est la même en tout point de chacune des sections. Pour un courant de dimension finies, dans le cas général, la vitesse a des valeurs différentes en chaque point de la section. Dans ce cas, le débit doit être calculé comme la somme des débits élémentaires des filets.

D'habitude on utilise la notion de la vitesse moyenne dans la section :

$$Q = V_m \cdot S \dots\dots\dots(III.1)$$

$Q$  : Débit volumique [m<sup>3</sup>/s].

$V_m$  : Vitesse moyenne [m/s].

$S$  : Section de passage [m<sup>2</sup>].

En se basant sur le principe de la conservation de la matière et que les parois sont impénétrables pour un écoulement permanent d'un liquide incompressible, on peut affirmer que le débit qui passe à travers toutes les sections d'un filet élémentaire est le même, c'est à dire :

$$Q = V_{m1} \cdot S_1 = V_{m2} \cdot S_2 = \text{const} \dots\dots\dots(III.2)$$

Cette équation est appelée l'équation de continuité.

### III.2. ÉQUATION DE BERNOULLI

Considérons l'écoulement permanent d'un liquide parfait qui se produit sous l'action d'une seule force massique (la pesanteur) et établissons pour ce cas l'équation générale qui lie entre elles la pression dans le liquide et la vitesse de son mouvement [2].

$$Z_1 + P_1/g + V_{m1}^2/2g = Z_2 + P_2/g + V_{m2}^2/2g \dots\dots\dots(III.3)$$

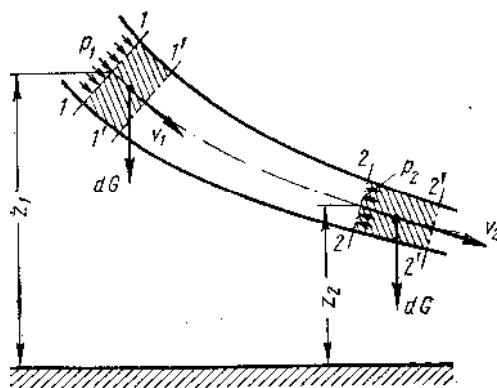
Cette équation est appelée l'équation de Bernoulli. Elle fut établie par Daniel Bernoulli en 1738.

Les termes de l'équation écrite sous la forme (II.3) ont une dimension linéaire et sont appelés :

$Z$  : la cote ou bien la hauteur de position.

$P/g$  : la hauteur piézométrique.

$V_{m2}^2/2g$  : la hauteur dynamique ou bien la hauteur due à la vitesse.



**Figure III-1 :** Définition des paramètres de l'équation de Bernoulli

### III.3. RÉGIME D'ÉCOULEMENT DANS LES CONDUITES

#### III.3.1. ÉCOULEMENT LAMINAIRE

C'est un écoulement stratifié qui à lieu sans brassage des particules liquides et sans pulsations de la vitesse dans un tel courant, la forme des lignes de courant est entièrement déterminée par la forme du canal dans lequel s'écoule le liquide. Dans le cas de l'écoulement laminaire d'un liquide dans un tuyau rectiligne de section constante, toutes les lignes de courant sont parallèles à l'axe du tuyau, c'est-à-dire quelle sont, elles aussi rectilignes. Un piézomètre connecté à un tuyau à l'intérieur du quel le mouvement du liquide est laminaire, montre que la pression (la vitesse) est constante dans le temps et que les pulsations font défaut. De ce fait, l'écoulement laminaire est un écoulement parfaitement ordonné qui est permanent au cas où la pression initiale est constante.

#### III.3.2. ÉCOULEMENT TURBULENT

C'est un écoulement qui s'accompagne d'un brassage intense du liquide et de pulsations des vitesses et des pressions. Dans un écoulement turbulent, les lignes de courant ne sont qu'approximativement déterminées par la forme du canal. Le mouvement des particules liquides est désordonné et leur trajectoires sont souvent des courbes de forme très compliquée. Ceci s'explique par le fait que dans un écoulement turbulent, outre le mouvement principal de translation du liquide le long du tuyau, ont lieu des déplacements transversaux et des mouvements rotatoires de volumes séparés de liquide.

### III.4. NOMBRE DE REYNOLDS

Le changement du régime d'écoulement dans un tuyau donné se produit à une vitesse

bien déterminée du courant qui est appelée vitesse critique. Comme le montre les expériences, la valeur de cette vitesse est proportionnelle à la viscosité et inversement proportionnelle au diamètre du tuyau, c'est à dire que [2] :

$$V_{cr} = k \frac{\mu}{d} \dots\dots\dots(III.4)$$

Il se trouve que le coefficient sans dimension k qui entre dans cette formule est universel, c'est-à-dire qu'il est le même pour tous les liquides et ne dépend pas du diamètre du tuyau.

Cela signifie que le changement du régime d'écoulement a lieu pour une proportion bien déterminée entre la vitesse, le diamètre et la viscosité, soit :

$$Re_{cr} = \frac{V_{cr} d}{\mu} \quad \text{ou} \quad Re = \frac{V d}{\mu} \dots\dots\dots(III.5)$$

- V : vitesse moyenne en m/s.
- D : diamètre du tuyau en m,  $r_0$  = rayon du tuyau en m
- $\mu$  : viscosité cinématique du fluide en  $m^2/s$ .

Ce nombre sans dimension est appelé nombre (critique) de Reynolds. Comme le montre les expériences, le nombre critique de Reynolds est d'environ 2300.

Ainsi nous obtenons un critère qui nous permet de juger du régime d'écoulement qui existe dans un tuyau. En fait, tant que  $Re < Re_{cr}$  l'écoulement ne peut être que laminaire. Quand  $Re > Re_{cr}$  l'écoulement est en général turbulent.

### III.5. PERTE DE CHARGE

A l'origine des pertes de charge lors du mouvement d'un liquide réels se trouve le processus de transformation irréversible de l'énergie mécanique du courant en chaleur. Cette transformation d'énergie est due à la viscosité moléculaire et turbulente du fluide en mouvement. On distingue deux aspects des pertes de charge :

#### III.5.1. PERTES DE CHARGE PAR FROTTEMENT

Les pertes de charges par frottement sont provoquées par la viscosité des liquide réels ; elle prennent naissance lorsqu'il y a mouvement, et résulte d'un échange de quantité de mouvement entre les molécules (écoulement laminaire) ou entre les divers particules

(écoulement turbulent) des couche voisines du liquide, qui se déplacent avec des vitesses différentes. Ces pertes ont lieu tout le longueur de la conduite.

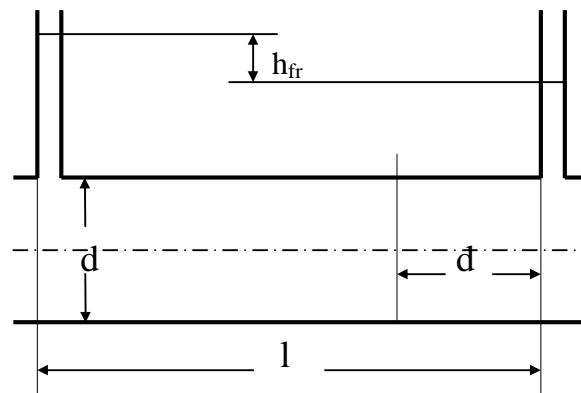
La perte de charge due au frottement peut être exprimée à l'aide de la formule générale des pertes hydrauliques de la façon suivante :

$$h_f = \zeta_f \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(III.6)$$

Cependant, il est plus commode d'exprimer le coefficient  $\zeta_f$  en fonction de la longueur relative du tuyau  $l / d$ .

Concédons un élément de tuyau de section circulaire dont la longueur est égale à son diamètre et désignons son coefficient de pertes de charge qui rentre dans la formule précédent par  $\lambda$ . Alors, pour un tuyau de longueur  $l$  et de diamètre  $d$  tout entier (voir figure ci-dessous), le coefficient de perte de charge sera  $l / d$  fois plus grand, c'est à dire que :

$$\zeta_f = \lambda \frac{l}{d} \dots\dots\dots(III.7)$$



**Figure III- 2 :** Pertes de charge due au frottement dans un tuyau.

et, à la place de la formule ( II.6), nous aurons :

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(III.8)$$

$h_f$  : Perte de charge linéaire par frottement dans la conduite [m].

$L$  : Longueur de la conduite [m].

$V$  : Vitesse dans la conduite [m/s].

$d$  : Diamètre de la conduite [m].

$\lambda$  : Coefficient de pertes de charge linéaire.

### a) Coefficient de pertes de charge linéaire [9]

On peut calculer mathématiquement le coefficient  $\lambda$  pour l'écoulement laminaire, mais on ne dispose d'aucune expression mathématique simple de la relation entre  $\lambda$  et le nombre de Reynolds pour le cas de l'écoulement turbulent. De plus, Nikuradse et d'autres chercheurs se sont aperçus que la rugosité relative du tuyau (le rapport de la taille des aspérités de surface  $\frac{\epsilon}{d}$  au diamètre intérieur du tuyau) influait aussi sur la valeur de  $\lambda$ .

a) Pour l'écoulement laminaire ( $Re < 2300$ ) dans tous les tuyaux et pour tous les fluides, la valeur de  $\lambda$  est :

$$\lambda = 64 / Re \quad \dots\dots\dots(III.9)$$

b) Pour un écoulement dit turbulent lisse ( $2300 < Re < 4.10^4$ ) le coefficient de perte de charge est donnée par la relation :

$$\lambda = 0.316 / Re^{0.25} \quad \dots\dots\dots(III.10)$$

c) Pour un écoulement dit turbulent rugueux ( $Re > 4.10^4$ ) le coefficient de perte de charge ne dépend plus de  $Re$ , ou très peu car la courbe  $\lambda/d$  est presque une droite horizontale.

\* Pour les conduites industrielles, on utilise la relation de Blench :

$$\lambda = 0.790 \sqrt{\frac{\epsilon}{d}} \quad \dots\dots\dots(III.11)$$

\* Pour les conduites expérimentales de rugosité uniforme on utilise la relation de Krman-Nikuradsé :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log\left(\frac{d}{2\epsilon}\right) + 1.74 \quad \dots\dots\dots(III.12)$$

### III.5.2. PERTES DE CHARGE SINGULIÈRES

Les autres pertes de charge sont généralement appelées «Locales». Elles proviennent d'un changement significatif des lignes de courant; elles se produisent donc lors de contractions et d'élargissements (brutaux ou graduels) des veines de courant dans les vannes, les aménagements,

les coudes etc., à l'entrée ou à la sortie d'un conduit. Dans certains cas, cette perte «Locale» peut être importante.

Les pertes dues à l'entrée se produisent lorsque le liquide, provenant d'un grand réservoir, entre dans un conduit; la perte dépend notablement de la forme du circuit d'entrée. Si l'entrée est bien arrondie, les pertes (d'entrées) sont infimes. Les pertes dues à la sortie se produisent lorsque le liquide débouche d'un tuyau dans un grand réservoir. Des pertes de contraction soudaine et d'expansion soudaine existent aussi lorsque la section du conduit varie rapidement. On peut encore observer des pertes dues à une expansion ou (contraction) graduelle lors d'une variation lente de la section du conduit.

L'étude théorique de ces diverses pertes mineures est très complexe, on les évalue empiriquement. Elles sont habituellement exprimées en fonction de la hauteur due à la vitesse ( $V^2/2g$ ).

$$h_s = \zeta \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(III.13)$$

- $h_s$  : Perte de charge locale [m].
- $\zeta$  : Coefficient de perte de charge locale.
- $V$  : Vitesse dans la conduite [m/s].

### III.6. SYSTÈMES COMPLEXES DES CONDUITES

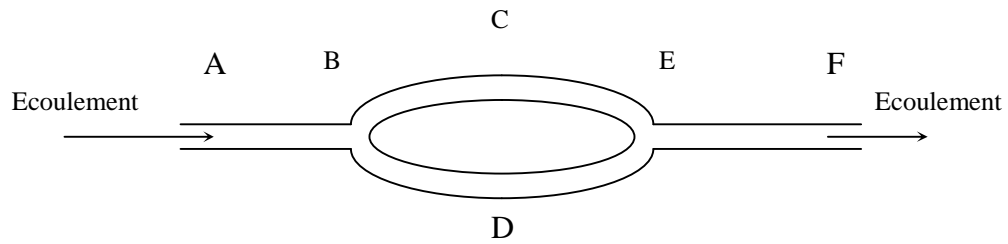
#### III.6.1. CONDUITES EN SÉRIE

Des conduites dites en série si, elle sont connectées bout à bout de sorte que le fluide s'écoule continûment sans branchement. Le débit volumique, à travers les conduites en série, reste constant. Par contre, les pertes de charge s'additionnent.

#### III.6.2. CONDUITES EN PARALLÈLE

Des conduites sont dites en parallèle si elles sont connectées de façon que l'écoulement se divise en deux ou plusieurs branches qui se rejoignent en aval, comme le montre la figure ci dessous. Dans cette figure, le fluide circulant dans la conduite AB se partage à la jonction B ; une partie du fluide traverse la tranche BCE, l'autre, la branche BDE. Les deux conduites se rejoignent en E et le fluide passe à travers la seule conduite EF (on notera que la figure III.3 représente une vue de dessus, les conduites sont donc dans un plans horizontal).

Pour résoudre les problèmes relatifs aux conduites en parallèle, on applique trois principes importants :

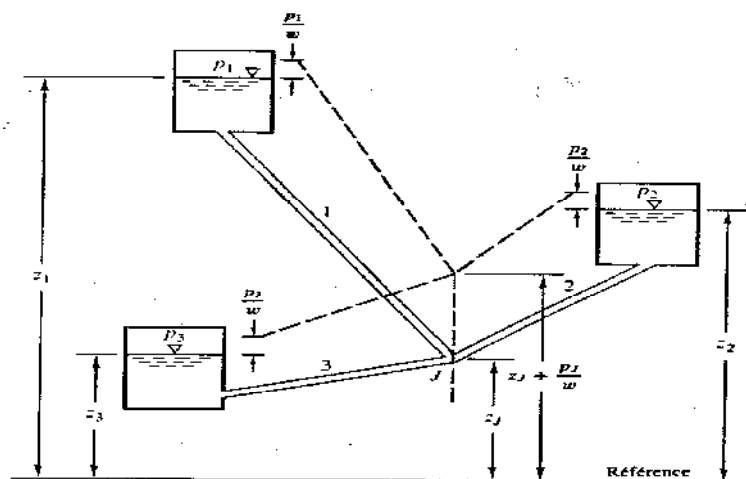


**Figure III-3 :** Conduites en parallèle.

- 1- Le courant total, entrant dans chaque jonction, doit être égale à celui qui en sort.
- 2- La perte de charge entre deux jonctions est la même dans toutes les branches connectées à ces jonctions.
- 3- Dans le domaine des vitesses courantes, le pourcentage du flux totale, dans chaque branche, est constant, et cela quelle que soit les pertes de charges entre les jonctions.

### III.6.3.CONDUITES RAMIFIÉES

Des conduites sont dites ramifiées, si elle se partagent en deux ou plusieurs autres (ou se combinent pour n'en former qu'une seule), sans se rejoindre en aval. La figure III-4 montre un exemple simple de système de conduites ramifiées où trois réservoirs, dans des conditions diverses de pression, sont connectés par trois conduites se rejoignant en J. L'écoulement peut se produire du réservoir supérieure gauche vers les deux autres, ou bien les deux réservoirs supérieurs vers le réservoir inférieur gauche. La direction de l'écoulement dépendra (1) des pressions et des cotes des réservoirs, et (2) des diamètres et des longueurs et de la nature des conduites.



**Figure III-4 :** Conduites ramifiées.

Le problème général, associé aux conduites ramifiées, est de trouver le débit de chaque conduite alors que d'autres données sont connues. On résout ce genre de problème en appliquant l'équation de continuité qui spécifie que le courant total, entrant en J, doit être égal au courant qui sort. Ainsi, sur la figure III-4,  $Q_3$  doit être égal à  $Q_1 + Q_2$  ou  $Q_2 + Q_3$  doit être égal à  $Q_1$ . Le débit, dans chaque conduite, se calcul à l'aide de formule, adéquates.

## III.7. TUYAUTERIES

Lorsque l'eau remplit entièrement la section de la conduite, elle peut être mise sous pression ; la conduite est alors dite en charge.

### III.7.1. TUYAUX EN FONTE

On réalise maintenant de façon courante, par centrifugation, des tuyaux en fonte ductile (plus souple et plus résistant que la fonte ordinaire), utilisable jusqu'à la pression de service de 50 bars pour les diamètres ne dépassant pas 0.60 m, leur épaisseur est environ 1/20 du rayon intérieur.

Les longueurs courantes sont de 6m jusqu'à 800 mm de diamètre et de 7 m à partir de ce diamètre ; on fabrique également des longueurs fractionnaires.

### III.7.2. TUYAUX EN ACIER

On réalise couramment des tuyaux en acier doux soudé, dans les mêmes diamètres que les tuyaux en fonte et des longueurs de 6 m à 16 m.

Ces tuyaux sont assemblés par soudure ; ils permettent une pose beaucoup plus souple. Pour les tuyaux en acier galvanisé sont assemblés par brides et des boulons. Pour notre installation nous utilisons des tuyaux en **acier galvanisé** assemblé par des manchons, et leur rugosité est de **0.00015 m**, ce choix est dû principalement à ce que notre site n'est pas protégé, c'est pour cette raison que nous avons évité le choix des conduites en PVC qui sont moins cher.

### III.7.3. TUYAUX EN PLASTIQUE

L'usage des tuyaux en plastique se répand de plus en plus pour des pressions et des diamètres modérés ; ils sont très lisses et faciles à cintrer (à chaude ou à froid) ; on effectue les joints par collage ou soudage à chaude.



### III.8. CALCUL DE LA PRESSION NECESSAIRE AU BORNE D'IRRIGATION

On détermine le trajet le plus long pour connaître la rampe la plus défavorable. Pour cela, il faut calculer la pression demandé par chaque parcelle pour l'irriguer.

#### III.8.1. CALCUL DE LA PRESSION NÉCESSAIRE POUR L'IRRIGATION

Pour les réseaux ramifiés le calcul de la pression à la sortie de la conduite principale est donné par :

$$P_B + Z_B = P_A + h + Z_A \quad \dots\dots\dots(III.14)$$

Les pertes de charge pour un écoulement turbulent sont donnés par la formule :

$$\sum h = \frac{(\sum \zeta + \lambda \cdot L / Dr) \cdot 16 \cdot Qr^2}{2 \cdot g \cdot \pi^2 \cdot Dr^4} \quad \dots\dots\dots(III.15)$$

Pour un écoulement laminaire, elles sont donnés par :

$$\sum h = \frac{128 \cdot \mu \cdot (Li + L) \cdot Qr}{2 \cdot g \cdot \pi \cdot Dr^4} \quad \dots\dots\dots(III.16)$$

$P_B$  : Pression à la sortie de la conduite principale [m].

$P_A$  : Pression de service de la rampe (10m) [m].

$h$  : Pertes de charge totale dans la conduite porte rampe [m].

$Z_B$  : Distance entre la conduite principale et point de référence [m].

$Z_A$  : Distance entre la conduite porte rampe et point de référence [m].

On considère le point de référence, le plans ou se situe les goutteurs, donc  $Z_B = Z_A = 0m$ .

$\sum \zeta$  : Somme des coefficients de pertes de charge locale dans la conduite porte rampe.

$\lambda$  : Coefficient de pertes de charge linéaire.

$L$  : Longueur réelle de la conduite porte rampe [m].

$Dr$  : Diamètre de la conduite porte rampe [m].

$Qr$  : Débit d'alimentation de la rampe [ $m^3/s$ ].

$g$  : Accélération de la pesanteur [ $m/s^2$ ].

$\mu$  : Viscosité cinématique d'eau =  $10^{-6}$  [ $m^2/s$ ].

$Li$  : Pertes de charge locales de la conduite porte rampe [m].

On faisant le calcul des pertes de charge, nous avons obtenu les résultats représentés sur les tableaux III.A et III.B. ci-dessous :

\* TOMATE.

**Tableau III.A :** Détermination des différents paramètres de calcul pour porte rampe Tomate.

N° serres	cond	Q [m <sup>3</sup> /s]	Re	Type d'écou		Q1/Q2		L [m]	h [m]
1	A - 02	3,73 10 <sup>-5</sup>	01187.30	Laminaire	0.549	0.50	1.7	1	0.00127
	02 - 03	7,46 10 <sup>-5</sup>	02374.59	T-Lisse	0.045	0.67	0.51	1	0.00029
	03 - 04	1,12 10 <sup>-4</sup>	03561.89	T-Lisse	0.041	0.75	0.55	1	0.00062
	04 - 05	1,49 10 <sup>-4</sup>	04749.18	T-Lisse	0.038	0.80	0.55	1	0.00106
	05 - 06	1,87 10 <sup>-4</sup>	05936.50	T-Lisse	0.036	0.83	0.62	1	0.00167
	06 - 07	2,24 10 <sup>-4</sup>	07123.77	T-Lisse	0.034	0.86	0.62	1	0.00235
	07 - 08	2,61 10 <sup>-4</sup>	08311.07	T-Lisse	0.033	0.87	0.62	2	0.00491
	08 - 09	2,99 10 <sup>-4</sup>	09498.37	T-Lisse	0.032	0.89	0.62	1	0.00400
2	09 - 10	3,36 10 <sup>-4</sup>	10685.66	T-Lisse	0.031	0.90	0.62	1	0.00498
	10 - 11	3,73 10 <sup>-4</sup>	11872.96	T-Lisse	0.030	0.91	0.7	1	0.00642
	11 - 12	4,11 10 <sup>-4</sup>	13060.25	T-Lisse	0.029	0.92	0.7	1	0.00767
	12 - 13	4,48 10 <sup>-4</sup>	14247.55	T-Lisse	0.029	0.92	0.7	1	0.00903
	13 - 14	4,85 10 <sup>-4</sup>	15434.85	T-Lisse	0.028	0.93	0.7	1	0.01049
	14 - 15	5,23 10 <sup>-4</sup>	16622.14	T-Lisse	0.028	0.93	0.7	1	0.01205
	15 - 16	5,60 10 <sup>-4</sup>	17809.44	T-Lisse	0.027	0.94	0.7	1	0.01372
	16 - 17	5,97 10 <sup>-4</sup>	18996.73	T-Lisse	0.027	0.94	0.7	2	0.02307
3	17 - 18	6,35 10 <sup>-4</sup>	20184.03	T-Lisse	0.026	0.94	0.7	1	0.01735
	18 - 19	6,72 10 <sup>-4</sup>	21371.33	T-Lisse	0.026	0.95	0.7	1	0.01932
	19 - 20	7,09 10 <sup>-4</sup>	22558.62	T-Lisse	0.026	0.95	0.7	1	0.02138
	20 - 21	7,47 10 <sup>-4</sup>	23745.92	T-Lisse	0.025	0.95	0.7	1	0.02355
	21 - 22	7,84 10 <sup>-4</sup>	24933.21	T-Lisse	0.025	0.95	0.7	1	0.02581
	22 - 23	8,21 10 <sup>-4</sup>	26120.51	T-Lisse	0.024	0.96	0.7	1	0.02817
	23 - 24	8,59 10 <sup>-4</sup>	27307.80	T-Lisse	0.024	0.96	0.7	1	0.03063
	24 - 25	8,96 10 <sup>-4</sup>	28495.10	T-Lisse	0.024	0.96	0.7	2	0.04862
4	25 - 26	9,33 10 <sup>-4</sup>	29682.40	T-Lisse	0.024	0.96	0.7	1	0.03584
	26 - 27	9,71 10 <sup>-4</sup>	30869.69	T-Lisse	0.024	0.96	0.7	1	0.03859
	27 - 28	1,01 10 <sup>-3</sup>	32056.99	T-Lisse	0.024	0.96	0.7	1	0.04144
	28 - 29	1,05 10 <sup>-3</sup>	33244.28	T-Lisse	0.023	0.96	0.7	1	0.04438
	29 - 30	1,08 10 <sup>-3</sup>	34431.58	T-Lisse	0.023	0.97	0.7	1	0.04742
	30 - 31	1,12 10 <sup>-3</sup>	35618.88	T-Lisse	0.023	0.97	0.7	1	0.05055
	31 - 32	1,16 10 <sup>-3</sup>	36806.17	T-Lisse	0.022	0.97	0.7	1	0.05378
	32 - 33	1,19 10 <sup>-3</sup>	37993.47	T-Lisse	0.023	0.97	0.7	2	0.08263
5	33 - 34	1,23 10 <sup>-3</sup>	39180.76	T-Lisse	0.023	0.97	0.7	1	0.06052
	34 - 35	1,27 10 <sup>-3</sup>	40368.06	T-Rugueux	0.028	0.97	0.7	1	0.07113
	35 - 36	1,31 10 <sup>-3</sup>	41555.36	T-Rugueux	0.028	0.97	0.7	1	0.07537
	36 - 37	1,34 10 <sup>-3</sup>	42742.65	T-Rugueux	0.028	0.97	0.7	1	0.07974
	37 - 38	1,38 10 <sup>-3</sup>	43929.95	T-Rugueux	0.028	0.97	0.7	1	0.08424
	38 - 39	1,42 10 <sup>-3</sup>	45117.24	T-Rugueux	0.028	0.97	0.7	1	0.08885
	39 - 40	1,46 10 <sup>-3</sup>	46304.54	T-Rugueux	0.028	0.97	0.7	1	0.09359
	40 - B	1,49 10 <sup>-3</sup>	47491.83	T-Rugueux	0.028	0.79	8.55	1	0.65175

Q1 / Q2 : Rapport entre le débit sortant de la conduite et le débit entrant dans la conduite.  
 $h = 1.92 \text{ m.}$

$$P_B = 10 + 1.92$$

$$P_B = 11.92 \text{ m.}$$

\* POMMIER.

**Tableau III.B :** Détermination des différents paramètres de calcul pour porte rampe Pommier.

conduite	Q [m <sup>3</sup> /s]	Re	Type d'écou		Q1/Q2		L [m]	h [m]
C - 02	1,99 10 <sup>-05</sup>	01267.57	Laminaire	0.050	0.50	2.15	4	0.02038
02 - 03	3,98 10 <sup>-05</sup>	02535.15	T-lisse	0.044	0.67	0.51	4	0.00055
03 - 04	5,97 10 <sup>-05</sup>	03802.72	T-lisse	0.040	0.75	0.55	4	0.00128
04 - 05	7,96 10 <sup>-05</sup>	05070.29	T-lisse	0.037	0.80	0.55	4	0.00225
05 - 06	9,95 10 <sup>-05</sup>	06337.87	T-lisse	0.035	0.83	0.62	4	0.00382
06 - 07	1,19 10 <sup>-04</sup>	07605.44	T-lisse	0.034	0.86	0.62	4	0.00546
07 - 08	1,39 10 <sup>-04</sup>	08873.01	T-lisse	0.032	0.87	0.62	4	0.00738
08 - 09	1,59 10 <sup>-04</sup>	10140.59	T-lisse	0.031	0.89	0.62	4	0.00959
09 - 10	1,79 10 <sup>-04</sup>	11408.16	T-lisse	0.030	0.90	0.62	4	0.01208
10 - 11	1,99 10 <sup>-04</sup>	12675.73	T-lisse	0.030	0.91	0.7	4	0.01645
11 - 12	2,19 10 <sup>-04</sup>	13943.31	T-lisse	0.029	0.92	0.7	4	0.01984
12 - 13	2,39 10 <sup>-04</sup>	15210.89	T-lisse	0.028	0.92	0.7	4	0.02354
13 - 14	2,59 10 <sup>-04</sup>	16478.46	T-lisse	0.028	0.93	0.7	4	0.02755
14 - 15	2,79 10 <sup>-04</sup>	17746.03	T-lisse	0.027	0.93	0.7	4	0.03187
15 - 16	2,99 10 <sup>-04</sup>	19013.60	T-lisse	0.027	0.94	0.7	4	0.03650
16 - 17	3,19 10 <sup>-04</sup>	20281.18	T-lisse	0.026	0.94	0.7	4	0.04144
17 - 18	3,39 10 <sup>-04</sup>	21548.75	T-lisse	0.026	0.94	0.7	4	0.04668
18 - 19	3,59 10 <sup>-04</sup>	22816.32	T-lisse	0.026	0.95	0.7	4	0.05224
19 - B	3,78 10 <sup>-04</sup>	24083.90	T-lisse	0.025	0.20	0.64	1,5	0.07399

$$h = 0.43 \text{ m.}$$

$$P_B = 10 + 0.43$$

$$P_B = 10,43 \text{ m.}$$

On voit que la pression nécessaire pour l'irrigation de la Tomate est plus grande que celle de pommier.

### III.8.2. CALCUL DE LA HAUTEUR D'ELEVATION DU RÉSERVOIR

Avec l'application de l'équation de Bernoulli entre la sortie de la conduite principale et la

sortie du réservoir en obtient :

$$H_r + P_r / g + V_r^2 / 2g = Z_B + P_B / g + V_{B2} / 2g + h_p \dots\dots\dots(III.17)$$

$$H_r = Z_B + P_B / g + V_{B2} / 2g + h_p - (P_r / g + V_r^2 / 2g) \dots\dots\dots(III.18)$$

$H_r$  : Hauteur du réservoir [m].

$P_r$  : Pression dans le réservoir [Pa].

$V_r$  : Vitesse à la sortie du réservoir [m/s].

$V_B$  : Vitesse à la sortie de la conduite principale ( $V_B = V_A$  : même diamètre).

$h_p$  : Somme des pertes de charge dans la conduite principale [m].

Application Numérique.

$$H_r = 0 + 11,92 + [(19,6 + 0,026 \cdot 28,2 / 0,05) (1,87 \cdot 10^{-03})^2 / 2 \cdot 0,05^{04} \cdot 10] - 10$$

$H_r = 2,10 \text{ m d'eau.}$

On prend des précautions en fait intervenir un coefficient de multiplication égal à 1,3 et on ajoute la distance entre la terre et la conduite (0,25 m) pour déterminer la valeur finale d'élévation de réservoir. On obtiens alors :  **$H_r = 3m.$**

**III.8.3. CALCUL DES PERTES DE CHARGE DANS LA CONDUITE LIANT LE RÉSERVOIR AU ABREUVOIR**

On calcul d'abord les besoins en eau des animaux représenté par le tableau III.C :

**Tableau III-C : Besoin en eau pour les animaux.**

Animaux	Nombre d'animale	Besoin l/j	Besoin totale l/j
Cheval	2	40	80
Vache	15	40	600
Mouton	150	5	750
Somme totale		1430	

Ce volume doit être distribué en 1 heure, donc le débit et de  $3,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , le diamètre de la conduite est calculé par la relation (II.4) qui nous donne un diamètre de 0.020 m, qui est un

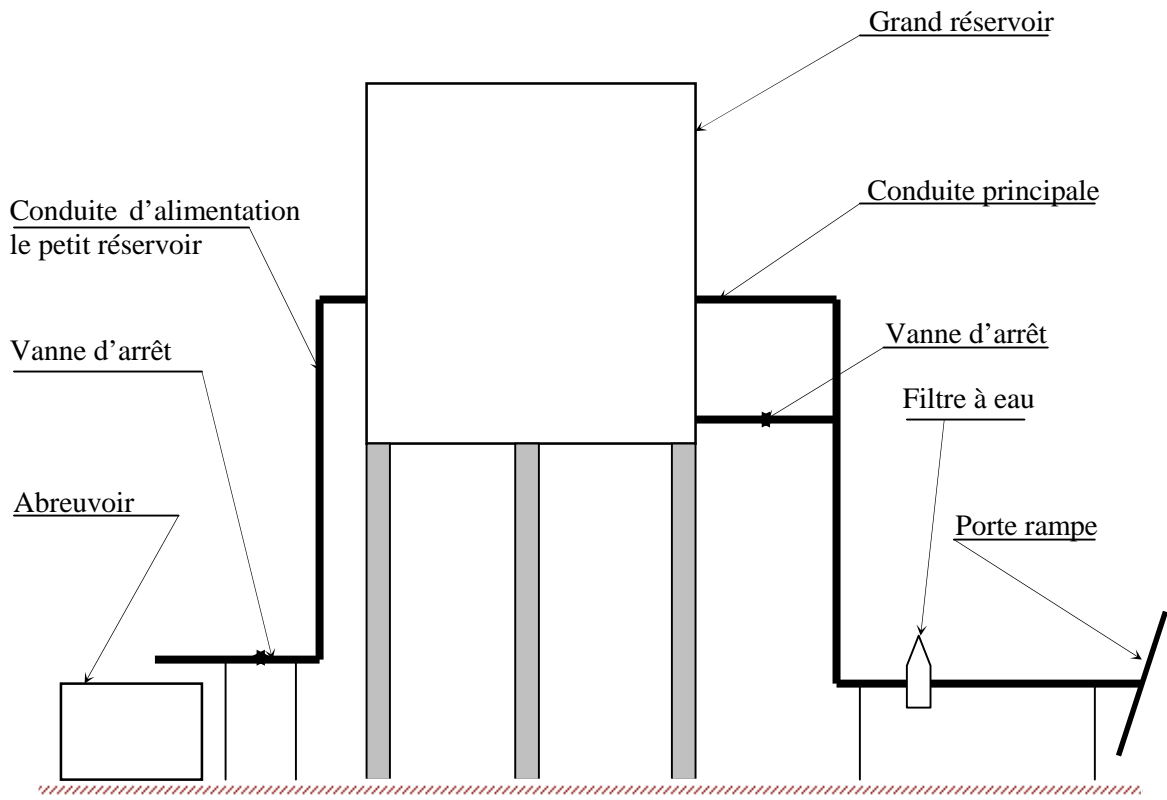
diamètre normalisé.

D'après le calcul du nombre de Reynolds, on trouve  $Re = 25273,81$ , qui indique que l'écoulement est turbulent lisse. Pour le calcul de la hauteur d'élévation du réservoir du côté de l'abreuvoir on applique toujours la relation ( III.18 ) :

$$h = ( 8,55 + 0,034 \cdot 15,8 ) \cdot ( 3,97 \cdot 10^{-4} )^2 / 2 \cdot 10 \cdot 0,02^4$$

**h = 0,33 m.**

D'après les résultats obtenues, on remarque que la hauteur d'élévation du réservoir (3 m) nous garantie la pression nécessaire pour l'irrigation et le remplissage du Abreuvoir.



**Figure III.5 : Réservoir d'alimentation.**

# CHAPITRE IV

# Pompage



Le pompage sert à véhiculer un fluide en l'aspirant, puis en le refoulant à une certaine pression.

- L'aspiration est provoquée en suscitant une dépression à l'intérieur du corps de la pompe. Le principe de base est simple : lorsqu'on crée le vide dans un tube plongé dans un fluide, celui-ci monte dans le tube sous l'action de la pression atmosphérique. La hauteur maximale théorique d'aspiration est de 10,33 m d'eau, hauteur correspondant à la pression atmosphérique, au niveau de la mère.

- Le refoulement est dû à la pression qu'exerce la pompe sur le fluide. Cette pression peut être créée en communiquant au fluide une vitesse de rotation (pompe centrifuge) ou en jouant sur des variations de volume à l'intérieur d'une enceinte fermée (pompe volumétrique).

#### **IV.1. POMPE SOLAIRE**

D'une manière générale, les pompes solaires sont utilisées pour des utilisations à forte valeur ajoutée (eau potable, maraîchage en saison sèche, etc.).

Le pompage photovoltaïque - qui permet d'obtenir des débits nettement plus importants - apparaît, selon les contextes locaux et dans une gamme de caractéristiques (max. 100 m<sup>3</sup>/jour - 100 mètres de HMT), comme une option de moindre coût.

#### **IV.2. POMPAGE SOLAIRE**

À de rares exceptions près, les pompes solaires fonctionnent " au fil du soleil " : les appareils consommateurs d'énergie électrique sont directement raccordés aux modules solaires, sans aucun stockage intermédiaire d'énergie électrique.

L'absence de stockage d'énergie implique :

- un pompage durant la journée uniquement. L'eau est alors stockée dans un réservoir et consommée en fonction des besoins ;

- une variation du débit en fonction de l'ensoleillement au cours de la journée et selon les saisons. Plus il y a de soleil, plus le débit est important.

## IV.3. SYSTÈMES DE POMPAGE SOLAIRE

### IV.3.1. GÉNÉRATEUR SOLAIRE

Il est composé de modules solaires photovoltaïques, eux-mêmes constitués de cellules au silicium mono ou multicristallin.

Le courant électrique produit, dont l'intensité varie selon la radiation solaire, est continu sous une faible tension.



**Figure IV-1 :** 32 modules solaires montés pour l'alimentation.

### IV.3.2. CONVERTISSEUR D'ÉNERGIE

La transformation du courant continu en courant alternatif, nécessaire pour améliorer le rendement et la fiabilité, se fait par l'intermédiaire d'un onduleur à fréquence variable. Il permet une variation de la vitesse de la pompe en fonction de l'ensoleillement, et de faire un suivi de la puissance maximale des modules de façon à optimiser le volume d'eau extrait.

Certaines unités, de faible puissance, fonctionnent en courant continu et les plus fiables utilisent des moteurs, sans balais, à commutation électronique.



**Figure IV-2 :** Convertisseur d'énergie.



## **IV.4. DIMENSIONNEMENT D'UNE POMPE SOLAIRE**

### **IV.4.1. ANALYSE DES BESOINS ET DES CONDITIONS D'EXPLOITATION**

L'analyse des besoins et des conditions d'exploitation doit permettre de déterminer la puissance et le type de pompe choisie pour la situation donnée. Trois paramètres techniques délimitent l'évaluation d'une pompe solaire :

- la quantité d'eau requise par jour.
- la disponibilité de l'eau.
- la ressource solaire.

### **IV.4.2. DONNÉES DE BASE**

#### **IV.4.2.1. DÉBIT**

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

#### **IV.4.2.2. HAUTEUR MANOMÉTRIQUE TOTALE (HMT)**

La hauteur manométrique totale (HMT) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement.

### **IV.4.3. GROUPES MOTO-POMPES**

Le groupe moto-pompe se décompose en deux parties :

- le moteur, immergé ou hors de l'eau, est à courant alternatif ou continu. Dans le premier cas, sa conception se rapproche des moteurs standards utilisés sur le réseau électrique. Dans le second, il peut être à balais ou à commutation électronique.
- l'hydraulique, en général centrifuge multicellulaire et parfois volumétrique. Les atouts et limites de chaque technologie sont précisés.

#### IV.4.3.1. POMPES CENTRIFUGES

Elles utilisent les variations de vitesse du fluide pompé combinées avec l'effet de la force centrifuge pour obtenir un accroissement de pression. L'énergie cinétique transmise au fluide est fournie par la rotation d'une roue munie d'aubes ou d'ailettes, c'est une partie de cette énergie qui est transformée en pression par réduction de vitesse.

Les caractéristiques des pompes centrifuges sont particulièrement intéressantes dans le cadre de l'utilisation des modules photovoltaïques :

- le couple d'entraînement de la pompe est pratiquement nul au démarrage : La pompe tourne même par très faible ensoleillement (mais il faut une certaine vitesse du moteur pour que la pression de l'eau soit suffisante pour sortir à l'extrémité du tuyau d'amenée d'eau) ;
- la puissance absorbée est bien adaptée aux modules solaires, fournissant un bon rendement global.

#### IV.4.3.2. POMPES VOLUMÉTRIQUES

Ici, le fluide est mis en mouvement par une variation du volume qui le contient. Les pompes volumétriques sont de deux sortes, les pompes volumétriques alternatives (exemple : pompe à piston, à membranes, etc.) et les pompes volumétriques rotatives (pompe à vis, etc.).

Leurs principaux atouts sont les suivants :

- elles sont destinées aux faibles débits (inférieur à  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) et aux grandes hauteurs ;
- elles ont de bons rendements, et les pompes de surface sont auto-amorçantes ;

Le couple de démarrage d'une pompe volumétrique (de 3 à 5 fois le couple nominal) et la caractéristique  $I = f(V)$  de ce type de pompe font que son fonctionnement en direct sur un panneau photovoltaïque n'est pas économiquement fiable.

Pour palier au problème de surdimensionnement du générateur résultant de cette inadaptation, un adaptateur d'impédance est utilisé pour permettre un rendement aussi élevé que possible de l'ensemble du système.

#### IV.4.3.3. POMPES DE SURFACE OU IMMERGÉE

Le choix d'une pompe se fera en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée (débit, hauteur manométrique totale, etc.) mais également en fonction des conditions particulières d'utilisation (puits, forage, pompage de rivière, etc.).

- Les pompes de surface : Compte tenu du pouvoir d'aspiration variable des unités au fil du soleil, seuls des groupes moto-pompes sur radeau seront utilisés. L'hydraulique sera ainsi immergée. Les multiples configurations locales rendent leur installation difficile. Sujettes aux variations de débit ou au marnage du cours d'eau, leur entretien s'avère souvent délicat.
- Les pompes immergées : C'est la configuration la plus communément utilisée. L'ensemble moto-pompe est immergé dans un forage, ou un puits.

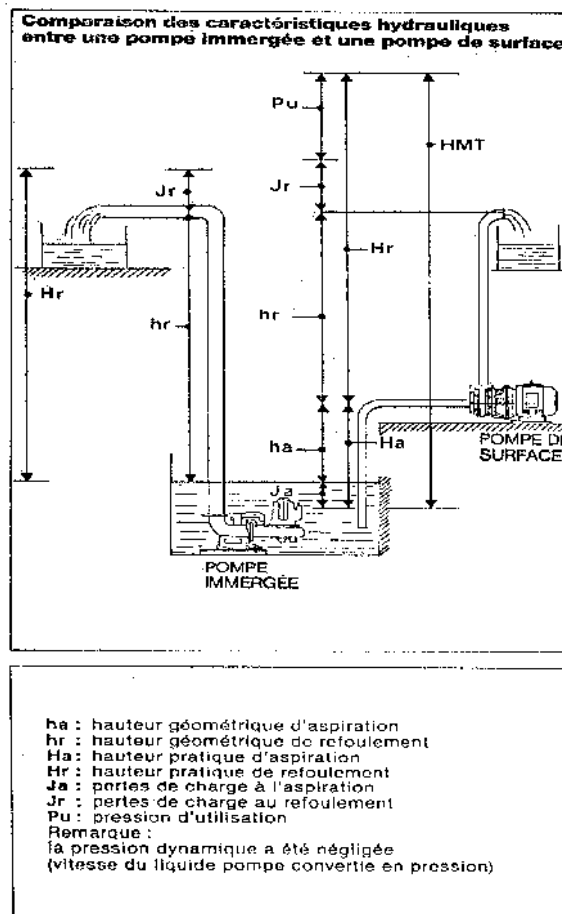
#### IV.4.3.4. COMPARAISON DES CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES ENTRE UNE POMPE IMMERGÉE ET UNE POMPE DE SURFACE [11]

**a) Hauteur géométrique d'aspiration (  $h_a$  ) :** C'est la distance verticale qui sépare le niveau du liquide à pomper de l'axe moyen de la pompe. Cette valeur peut être négative si le liquide à pomper est surélevé par apport à la pompe. C'est alors la hauteur géométrique de charge  $h_c$ .

**b) Hauteur géométrique de refoulement (  $h_r$  ) :** C'est la distance verticale qui sépare l'extrémité du tuyau de refoulement de l'axe moyen de la pompe.

L'axe moyen de la pompe est :

- l'axe de la pompe s'il s'agit d'une pompe centrifuge ou volumétrique à axe horizontal ;
- les plans moyens des arêtes d'entrées des arbres de la première roue pour une pompe centrifuge à axe vertical ;
- l'axe de la tige du piston pour une pompe à cylindre horizontale ;
- le point le plus haut des organes actifs pour une pompe volumétrique à axe vertical ;



**Figure IV-3 :** Comparaison entre une pompe centrifuge et une pompe de surface.

- c) Longueur développée de l'aspiration (  $L_a$  ) :** C'est la longueur totale de la conduite d'aspiration mesurée suivant son axe.
- d) Longueur développée de refoulement (  $L_r$  ) :** C'est la longueur totale de la conduite de refoulement mesurée suivant son axe.
- e) Perte de charge (  $J$  ) :** C'est la valeur de frottement que le liquide subit lors de son déplacement dans les conduites. Ce phénomène se traduit par une diminution de la hauteur d'élévation.
- f) Hauteur pratique d'aspiration (  $H_a$  ) :** C'est la hauteur qui, pratiquement, ne dépend que des conditions de l'installation à l'exclusion de la pompe.

$$H_a = h_a + J_a \dots\dots\dots(V.1)$$

Et par analogie :

$$\text{Hauteur pratique de charge : } H_c = h_c + J_a \dots\dots\dots(V.2)$$

**j) Capacité pratique d'aspiration (Ca) :** Caractéristique de la pompe, définie par la hauteur d'aspiration maximale à laquelle la pompe considérée est capable de faire face sans cavitation, pour une vitesse et un débit donné et sans cavitation, la hauteur énergétique d'aspiration  $H_a$  doit toujours être inférieure à la capacité pratique d'aspiration ( $H_a < C_a$ ). La hauteur de charge nette absolue (NPSH = net positive suction head, en anglais) caractérise l'installation et le fluide pompé.

NPSH disponible NPSH requis entraîne des conditions d'aspiration satisfaisantes et sans cavitation.

**h) Hauteur pratique de refoulement ( Hr ) :** Hauteur de refoulement. Elle ne dépend que des conditions de l'installation. Elle correspond à la somme de la hauteur géométrique de refoulement ( $h_r$ ), des pertes de charge dans la conduite de refoulement ( $J_r$ ), de la pression  $P$  (exprimée en mètres de colonne de liquide) régnant dans le réservoir (si la pompe refoule dans une cuve sous pression) et de la hauteur due à la vitesse  $V_r$  du liquide à l'extrémité de la conduite de refoulement.

$$H_r = h_r + J_r + P + V_r^2/2g \dots\dots\dots(V.3)$$

**i) Hauteur pratique d'élévation totale ( Ht ) :** Pour une pompe en aspiration, c'est la somme de la hauteur pratique d'aspiration et de la hauteur pratique de refoulement :

$$H_t = H_a + H_r = h_a + h_r + J_a + J_r + P + V_r^2/2g \dots\dots\dots(V.4)$$

Pour une pompe en charge, c'est la différence entre la hauteur pratique de refoulement et la hauteur pratique de charge prise avec son signe :

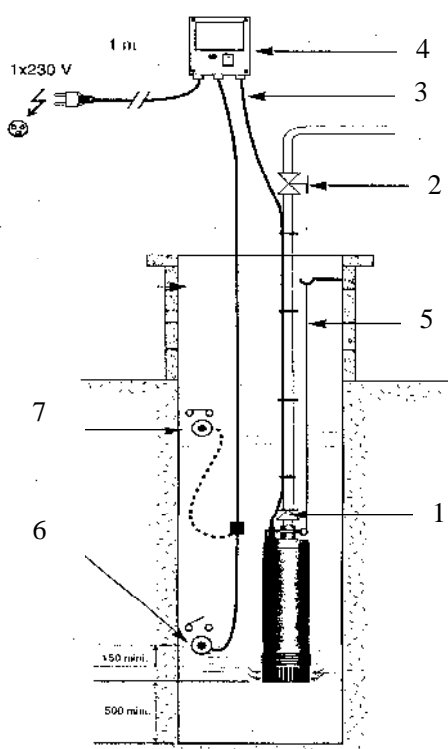
$$H_t = H_r - H_c = h_r - h_c + J_r - J_a + P + V_r^2/2g \dots\dots\dots(V.5)$$

En pratique, c'est le terme hauteur manométrique totale (HMT) qui est utilisé pour la hauteur d'élévation totale.

#### IV.4.3.5. PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UNE POMPE IMMERGÉE

Une pompe immergée est généralement composée des organes suivants (Figure IV.14) :

- 1- clapet anti-retour.
- 2- Vanne.
- 3- Câble d'alimentation.
- 4- Coffret de raccordement.
- 5- Filin.
- 6- Flotteur en position basse.
- 7- Flotteur en position haute.



**Figure IV-4 :** les composantes d'un pompe immergée.

#### IV.5. QUELQUE TYPE DE POMPES SOLAIRES

Il en va des pompes solaires, comme de tous les composants solaires: la recherche du meilleur rendement est la principale préoccupation du concepteur du système. En conséquence, des réponses précises au questionnaire de dimensionnement sont demandées. Il convient de garder à l'esprit que plus on aura besoin d'eau (Quantité), et plus la profondeur du puits ou du forage sera importante, plus le devis sera élevé. Le climat joue aussi son rôle... Deux systèmes

sont à prévoir: soit on stocke l'eau pompée pendant la journée dans un réservoir (bassin) soit on stocke de l'électricité, (Batteries) pour utiliser la pompe solaire à un moment précis. Les avantages du premier système sont: meilleur rendement (>40%) absence de batteries (Coût, transport, entretien) Inconvénients: le débit d'eau est variable en fonction des fluctuations d'ensoleillement. Le deuxième système présente l'avantage d'un débit régulier, la possibilité de pomper lorsque le soleil est absent. Inconvénients il est beaucoup plus cher, demande de l'entretien (batteries (renouvellement)).

#### **IV.5.1. POMPES SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES SERIE PG**

Les pompes solaires photovoltaïques de la série PG sont des pompes solaires à moyen débit (2 à 160 m<sup>3</sup> selon profondeur et dimensionnement)



**Figure IV-5 :** *Kit pompe solaire série PG.*

La pompe solaire PG est composée d'une boîte de dérivation, du câble électrique, le convertisseur et quelques modules solaires.

#### **GAMME DE POMPE SERIE PG**

Six modèles de base permettent par un choix judicieux de couvrir tous les besoins de 2 à 200 m de hauteur manométrique totale. Les débits sont fonctions, d'une part, des hauteurs, et de la puissance des modules solaires photovoltaïques installés et d'autre part, de la latitude du lieu de l'installation.

Le tableau IV-A montre les différents modèles de pompes solaires(Grundfos), en fonction des hauteurs manométriques totales (m) et leur débit journalier (m<sup>3</sup>/jour) [13].

**Tableau IV- A :** Pompe solaire série PG.

HMT	PG1028	PG1521	PG2A15	PG3A10	PG5A07	PG8A05	PG14A3
5							160
8							135
10							110
12						90	100
15					65	80	80
20					58	63	
30				37	44	36	
40				30	37		
50			19	25	25		
60			17	18			
70			14.5	15			
80		11	12.5				
90		9.5	11				
100	8	8.5	9.5				
110	7.2	7.5	8				
120	6.5	6.5	6.7				
140	5.5						
160	4.5						
180	3.4						
200	2.7						

Premièrement, il y a une relation naturelle entre la puissance solaire et le débit d'eau. Le débit d'eau augmente pendant les périodes de chaleur quand l'ensoleillement est fort. Inversement, le débit d'eau décroît quand le temps est froid et quand la luminosité est moins intense. L'eau peut être pompée et stockée pendant le jour. Et elle ne peut l'être pendant la nuit ou par temps nuageux. La possibilité de stocker l'eau pompée élimine l'utilisation des batteries dans le système.

#### IV.5.2. POMPE SOLAIRE SERIE PSOLAPH0001

Les pompes solaires PSOLPH0001 autorisent des débits de l'ordre de 1 à 3.5 m<sup>3</sup> par jour (Suivant ensoleillement, saison, puissance des modules solaires photovoltaïques, profondeur et hauteur de refoulement et situation géographique)





**Figure IV-4 :** *Pompe solaire photovoltaïque de 1000 à 3000 litres par jour*

#### **IV.5.2.1. DESCRIPTION**

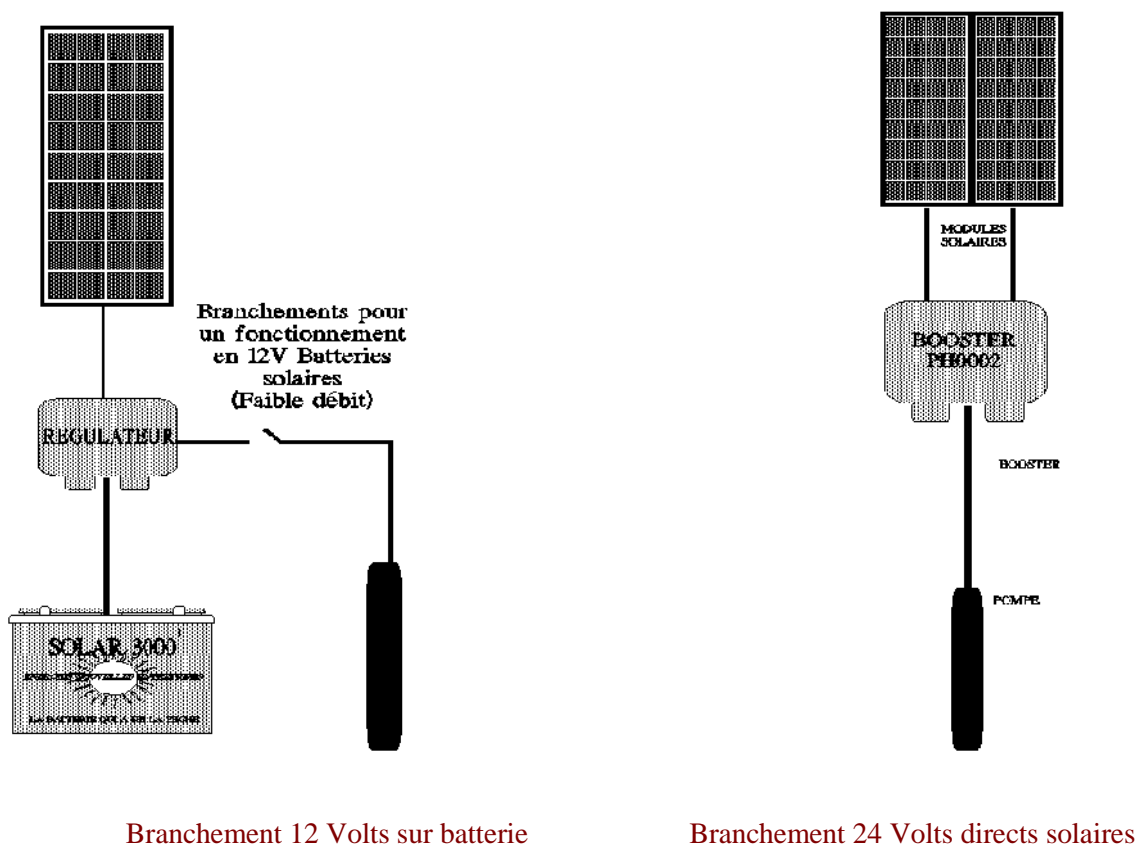
La pompe solaire PH0001 est une nouvelle pompe solaire électrique immergeable. Elle peut être alimentée directement à partir d'une batterie rechargée par des modules solaires, et fonctionner au coup par coup pour fournir l'eau sous pression à un bâtiment. Elle peut également fonctionner au travers d'un booster, en solaire direct (au fil du soleil), et ainsi alimenter une fontaine ou remplir un bassin. Dans ce cas, elle ne nécessite pas de batteries, mais son fonctionnement est soumis aux caprices du soleil (débit variable). Pour de faibles débits (et faibles profondeurs), cette pompe peut se satisfaire d'un seul module solaire de 22 W, à l'inverse, dans sa version 24 V, elle peut être alimentée par deux modules solaires de 85 Wc, elle atteint là les limites de ses possibilités, c'est à dire: un débit maximum instantané de 310 l/h à une profondeur de 70 m.

#### **IV.5.2.2. CARACTERISTIQUES**

- Diamètre 4" standards
- Construction matériaux composites
- Crépine d'aspiration intégrée
- Profondeur maxi 70 m.
- Débit maxi instantané 450 l/h
- Fonctionne avec 1 ou 2 modules solaires de 20 à 85 Wc.

### IV.5.2.3. RÉFÉRENCES

- Pompe: PH0001
- Booster: PH0002
- Structure de montage 1 module: SW0001
- Structure de montage 2 modules: SW0002



**Figure IV-5 :** Branchement de pompe série PH0001 et PH0002.

### VI.6. CHOIX DE LA POMPE

Pour choisir notre pompe, il faut d'abord déterminer les données de base (débit et hauteur manométrique totale).

Le débit est la somme maximum du volume journalier d'eau pour l'irrigation des deux parcelles en même temps, en plus, on rajoute la quantité d'eau pour faire boire les animaux.

**Tableau IV-B :** *Besoin en eau pour les animaux.*

Animaux	Nombre d'animale	Besoin l/j	Besoin total l/j
Cheval	4	20	80
Vache	15	40	600
Mouton	150	5	750
Somme totale		1430	

$$V = V_{jt} + V_{jp} + V_{ja}$$
$$= 7,14 + 13,73 + 1,43 = 22,30 \text{ m}^3/\text{jour.}$$

V : Volume journalier total d'eau qu'il faut fournir par la pompe.

V<sub>jt</sub> : Volume journalier d'eau en juillet pour l'irrigation de Tomate.

V<sub>jp</sub> : Volume journalier d'eau en juillet pour l'irrigation de Pommier.

V<sub>ja</sub> : Volume d'eau nécessaire pour les animaux.

La hauteur manométrique totale est de :

$$HMT = H_e - 0,50 + H_s + H_r + H_{re} + h$$

H<sub>e</sub> : Hauteur d'eau dans le puits [m].

H<sub>s</sub> : Distance entre l'eau dans le puits et la surface [m].

H<sub>r</sub> : Distance entre la terre est le réservoir d'alimentation [m].

H<sub>re</sub> : Hauteur du réservoir [m].

h : Perte de charge dans la conduite de refoulement [m].

$$HMT = 2 - 0,50 + 18 + 3 + 2 + 1,50$$

$$HMT = 26 \text{ m.}$$

On a donc un débit de 22,3 m<sup>3</sup>/jour et une hauteur manométrique totale de 26 m, la pompe conventionnelle pour notre installation est la pompe immergée de modèle SP5A pour connexion au convertisseur SA 1500 GRUNDFOS, de marque GRUNDFOS avec un débit entre 24 et 85 m<sup>3</sup>/jour et pour une profondeur entre 2 et 50 m. et un Module solaire photovoltaïque monocristallin de 120 W et de 7,1 A de courant moyen de charge. Le choix était fait avec la disponibilité du marché.

# CHAPITRE V

# Réservoirs



## V.1. FONCTIONS ET UTILITES DES RESERVOIRS

La présence d'un éventuel réservoir entre les ouvrages de captage de traitement et d'adduction d'eau et le réseau de distribution et l'irrigation, à consommation essentiellement variable, a une double fonction.

Tout d'abord, dans une installation bien dimensionnée, un réservoir permet de rendre optimal le débit d'équipement pour tous les ouvrages situés en amont de lui, soit que ces ouvrages fonctionnent en permanence (par exemple usine de traitement des eaux, adduction gravitaire). Soit même que leur fonctionnement soit volontairement intermittent (pompage nocturne profitant, des tarifs d'heures creuses de l'énergie). Le dimensionnement de ces ouvrages n'a plus alors à tenir compte seulement des variations relatives importantes du débit appelé mais aussi de leurs temps de fonctionnements.

D'autre part, un réservoir constitue une assurance contre les indisponibilités relativement de courte durée des ouvrages amont. Il permet en particulier l'alimentation des consommateurs pendant une panne de courant électrique, une réparation de la conduite d'adduction, etc. Toute-fois ces perturbations prévisibles ou non se traduiront par une modification des consignes d'exploitation des ouvrages alimentant le réservoir.

Ainsi, les dépenses occasionnées par la construction et l'entretien d'un réservoir trouvent-elles leur contrepartie dans :

- une économie sur les dépenses d'investissement et de fonctionnement des captages, traitements et adductions.
- une économie sur les organes nécessaires à assurer en cas de défaut d'une alimentation insuffisante, en particulier en cas d'incendie.

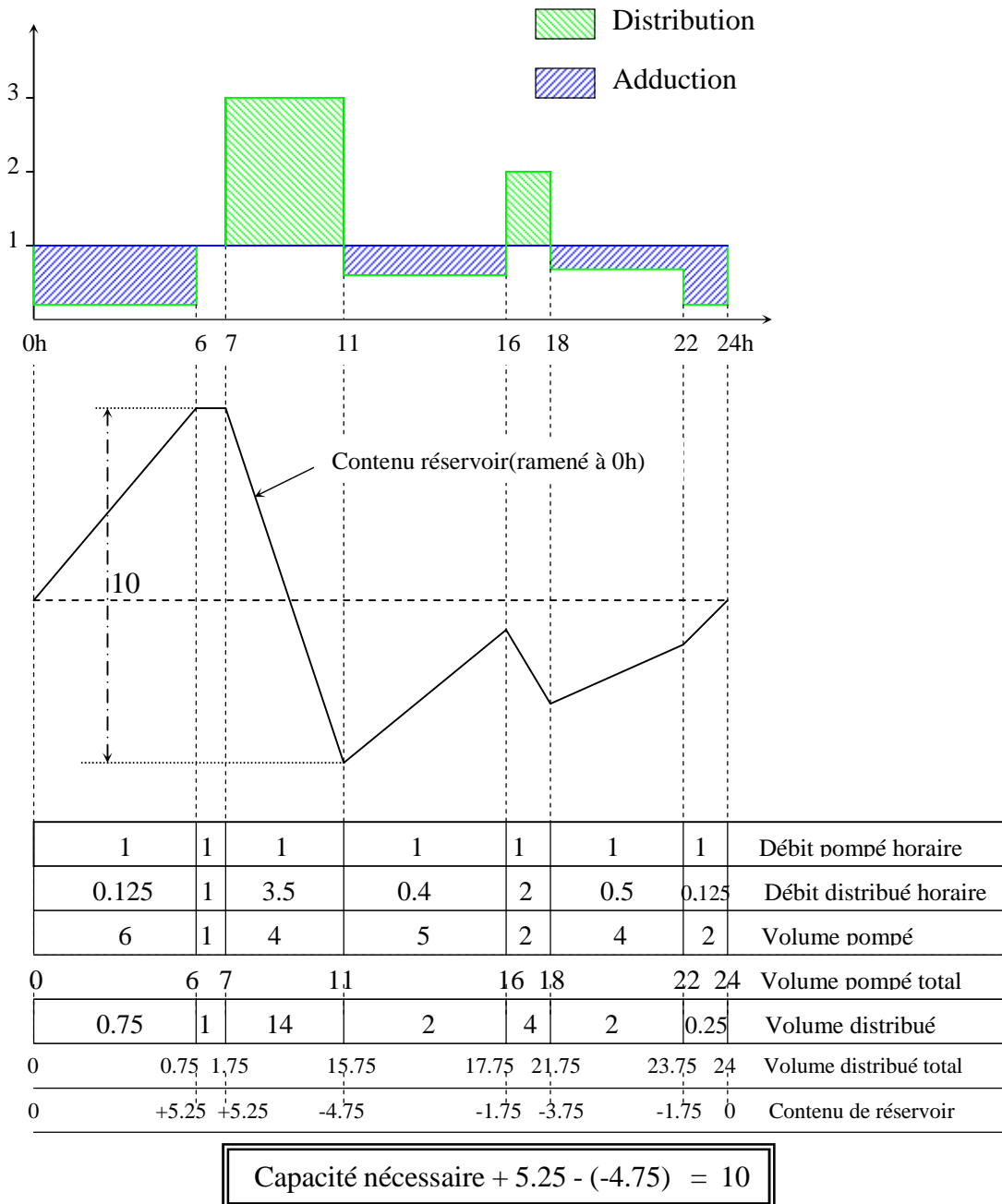
## V.2. CAPACITE DES RESERVOIRS

### V.2.1. GÉNÉRALITÉS

La capacité d'un réservoir doit être estimée en tenant compte des variations ,de débit à l'entrée comme à la sortie, c'est-à-dire, d'une part du mode d'exploitation des ouvrages situés en amont, et d'autre part de variabilité de la demande.

Dans ces conditions il est commode, pour estimer la capacité d'un réservoir journalier, d'avoir recours à un graphique tel que ceux de la Figure II-1. On trouve sur ces graphiques à la partie supérieure les variations en fonction du temps du débit pompé (entrant dans le réservoir) et

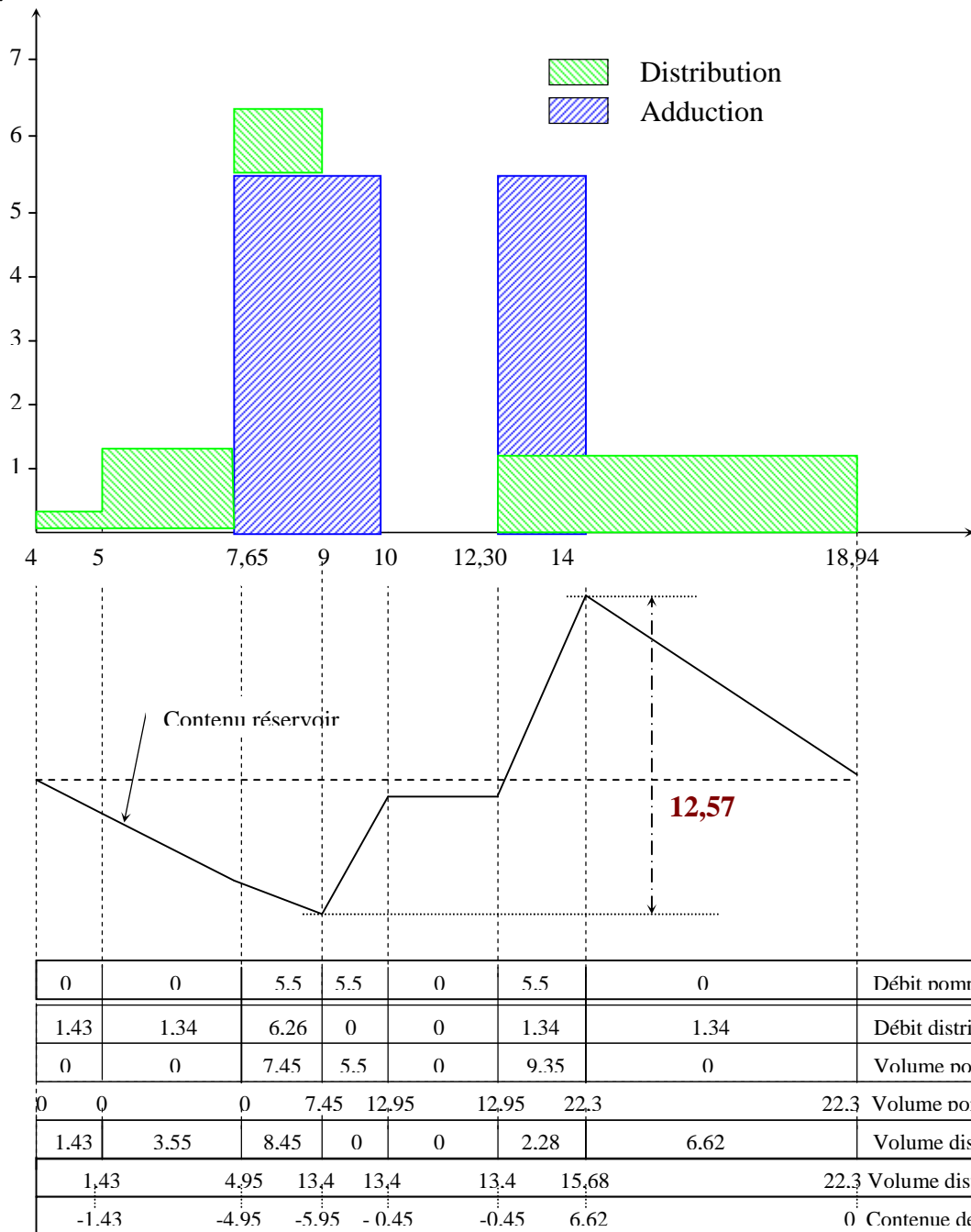
du débit distribué (sortant), et au dessous les variations du volume contenu dans le réservoir, à partir d'une origine arbitraire (ici 0 h) ce volume représente l'intégrale de la différence des deux débits précédents à la partie inférieure, un tableau donne, pour chaque période de fonctionnement les valeurs des débits et des volumes pompés ou distribués précédents et, aux instants correspondant à des changements de régime. Les totaux de ces volumes et leurs différences. La capacité du réservoir et son contenu à l'instant origine arbitraire sont déterminés de façon que son contenu ne soit jamais négatif.



**Figure V-1 :** Calcul de la Capacité du réservoir.

## V.2.2. ESTIMATION DE LA CAPACITÉ DU RÉSERVOIR

Le calcul de la capacité du réservoir est en fonction du débit d'entrée et le débit de sortie. Le débit d'entrée est celui de la pompe choisie qui est égal à  $5,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , le débit de distribution est le débit d'irrigation des deux parcelles, le débit horaire de l'irrigation de la parcelle tomate est de  $5,28 \text{ m}^3/\text{h}$ , et celle de pommier est de  $1,34 \text{ m}^3/\text{h}$ , est en fin les besoins en eau pour les animaux  $1,43 \text{ m}^3/\text{j}$ .



$$\text{Capacité nécessaire} + 6.26 - (-5.95) = 12.57 \text{ m}^3$$

Figure V-2 : Estimation de la Capacité du réservoir.

## **V.3. EMPLACEMENT DES RESERVOIRS**

### **V.3.1. IMPLANTATION EN PLAINE**

Lorsque l'agglomération à desservir est implantée en plaine, la localisation du réservoir, est très libre. Celui-ci doit d'ailleurs nécessairement être surélevé, ce qui influe sur son mode de construction.

#### **V.3.1.1. ALIMENTATION PERMANENTE**

Si l'alimentation du réservoir est effectuée nuit et jour (soit par gravité depuis un relief éloigné, soit par pompage permanent) on a intérêt à placer le réservoir le plus près possible des utilisateurs. En effet, on diminue ainsi la longueur des canalisations qui doivent transiter le débit de pointe, lequel occasionne à section égale des pertes de charge dix fois supérieures au débit moyen.

#### **V.3.1.2. ALIMENTATION NOCTURNE**

Si l'alimentation est effectuée par pompage nocturne seulement (8 heures par nuit), les débits servant de base au calcul des pertes de charge sont dû même ordre de grandeur ; néanmoins en plaçant le réservoir a proximité des consommateurs, on diminue sa hauteur. Dans le même esprit, si l'agglomération est étendue (urbanisation le long d'une voie principale par exemple) on a intérêt toujours pour diminuer la hauteur du réservoir, à le situer vers le milieu de l'agglomération. Si des considérations d'esthétique s'opposent à ce choix, on peut alors utilement, dès que l'importance de l'agglomération, et donc la capacité du réservoir, le justifient, disposer deux réservoirs de capacités sensiblement égales, aux deux extrémités de l'agglomération.

#### **V.3.1.3. RÉSERVOIR D'ÉQUILIBRE**

On peut également disposer un réservoir principal et un ou plusieurs réservoirs de quartiers, moins importants, qui ont pour but de faciliter la distribution pendant les périodes de pointe, et sont appelés réservoirs d'équilibre.

Comme nous l'avons vu au début de ce chapitre, les mêmes considérations d'esthétique peuvent conduire à rechercher une solution exempte de réservoir. Il convient alors bien entendu d'assurer un pompage suffisant en toutes circonstances, y compris en cas d'incendie, même si une pompe est défaillante ou si l'alimentation en énergie électrique vient à manquer.



## V.3.2 IMPLANTATION EN TERRAIN ACCIDENTÉ

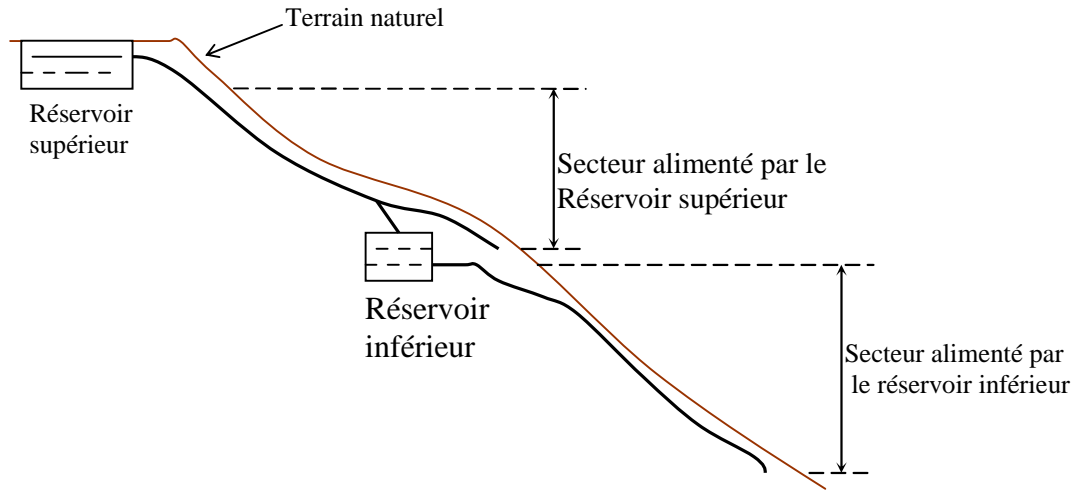
### V.3.2.1. IMPLANTATION DU RÉSERVOIR

Lorsque l'agglomération est située en terrain accidenté, on dispose généralement dans son voisinage immédiat de sites dont la cote excède des maisons les plus hautes d'une valeur suffisante (10 à 20 mètres) pour assurer leur alimentation correcte par simple gravité ; il est alors inexcusable de construire un réservoir surélevé. Le souci d'esthétique devrait alors conduire le plus souvent à la construction d'un réservoir souterrain ; l'économie pousse malheureusement à réaliser un réservoir semi enterré, pour lequel les frais de terrassement sont moins onéreux, et dont la couverture peut être plus légère.

Le choix du site du réservoir doit alors en général obéir à la règle simple suivante : trouver à la cote minimale d'implantation (assurant une desserte satisfaisante des maisons les plus hautes) le point le plus proche de l'agglomération, compte tenu bien entendu des possibilités de fondations sur la terrain.

### V.3.2.2. ALIMENTATION ÉTAGÉE

Il peut arriver que les différences de cotes d'implantation entre les maisons à desservir soient telles que les plus basses aient une charge d'alimentation trop élevée (on recommande de ne pas dépasser usuellement 40 mètres ; 60 mètres semblent représenter un maximum à ne jamais dépasser, compte tenu de ce que certains équipements ménagers ne peuvent en aucun cas supporter une charge supérieure à 70 mètres). Il est alors nécessaire de disposer, à une cote intermédiaire, un réservoir destinée à briser la charge. Si l'adduction est unique, ce réservoir sera alimenté par une conduite en provenance du réservoir supérieur et terminée à son extrémité inférieure par un robinet à flotteur. Si cette conduite est de section suffisante; la réserve d'incendie peut alors n'être constituée que dans le réservoir supérieur. Cette solution, appelée alimentation étagée est représentée par la figure II-7.



**Figure V-3 :** *Alimentation étagée.*

## V.4. CONSTRUCTION DES RESERVOIRS

### V.4.1. GÉNÉRALITÉS

Les réservoirs doivent impérativement maintenir l'eau à l'abri des risques de contamination, et, autant que possible, des fortes variations de température.

### V.4.2. FORMES ET PROPORTIONS DES RÉSERVOIRS

#### V.4.2.1. HAUTEUR D'EAU DANS LE RÉSERVOIR

La hauteur d'eau utile est limitée le plus souvent entre 1.5 et 6 mètres ; l'optimum, pour les agglomérations d'importance, petite ou moyenne, se situe le plus souvent vers 2 à 5 mètres. Pour les réservoirs de grande capacité la hauteur d'eau peut atteindre 7 à 10 mètres.

#### V.4.2.2. FORMES DES RÉSERVOIRS

La section en plan des réservoirs est le plus souvent circulaire (impérativement pour les réservoirs surélevés) et parfois rectangulaire.

Dans certains cas, il peut être intéressant de partager la capacité entre deux demi-réservoir, ce qui permet d'assurer encore la distribution pendant le nettoyage. On peut alors construire une cloison intermédiaire, soit au milieu d'un réservoir rectangulaire, soit entre deux réservoirs circulaires accolés par une corde commune pour les réservoirs surélevés, on peut même utiliser une séparation concentrique.

## V.4.3. MATÉRIAUX ET TYPE DE CONSTRUCTION DES RÉSERVOIR

### V.4.3.1. TYPES DE CONSTRUCTION

Les réservoirs peuvent être soit enterrés, soit semi-enterrés, soit surélevés (sur tour). Le premier type est beaucoup plus satisfaisant du point de vue esthétique. Le deuxième est le plus économique. Les réservoirs surélevés sont comme l'indique la figure II-8, le seul mode de construction possible en plaine ; mais ce sont en revanche les plus inesthétiques.

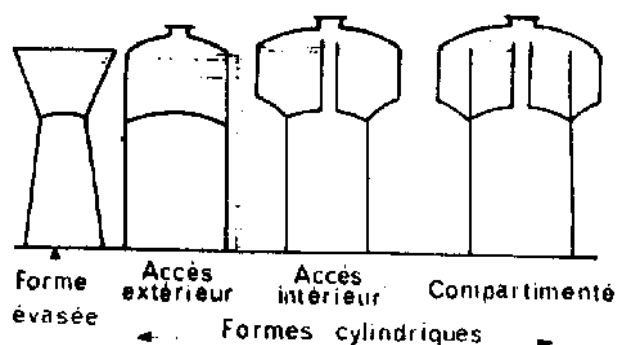


Figure V-4 : Réservoirs surélevés.

### V.4.3.2. MATÉRIAUX

Les matériaux utilisés pour la construction des réservoirs sont soit le métal, rivé ou soudé (principalement pour les réservoirs industriels), la maçonnerie avec enduit intérieur de ciment étanché, et maintenant surtout le béton armé, précontraint ou non, également enduit. Les réservoirs surélevés sont en béton armé ou parfois (industrie) en acier soudé.

### V.4.3.3. CALCUL DES DIMENSION DU RÉSERVOIR [10]

Pour prendre en considération le cas d'incendie, on multiplie la capacité du réservoir par un coefficient = 1,5. Donc la capacité du réservoir devient :

$$C_r = 1,5 \cdot 12,57$$

$$\underline{C_r = 19 \text{ m}^3}$$

**a) Calcul du diamètre du réservoir :**

Le diamètre est donné par la formule [10] :

$$D = 1,405 \sqrt[3]{Cr}$$

$$D = 1,405 \cdot 2,67 = 3,75 \text{ m.}$$

En prennent **D = 4 m.**

**b) Détermination de la hauteur utile de l'eau :**

La hauteur utile de l'eau est le volume de réservoir sur la surface de la base donc :

$$h = 4 \cdot V_r / D^2$$

$$h = 4 \cdot 19 / 4^2$$

$$h = 1,51 \text{ m.}$$

on prend donc : **h = 1,70m.**

Résumons ci dessous les résultats que nous avons trouvé, ainsi que le dessin simulé de l'installation en 3D [ 11 ] ; les détails sont regroupés en annexe.

#### \* **RÉSERVOIR :**

- Hauteur d'élévation 3 m.
- Hauteur de la cuve 1,70 m.
- Diamètre de réservoir 4 m.

Le coût global de ce réservoir est de : 65015 DA.

#### \* **SYSTÈME D'ARROSAGE :**

- Goutteur auto-réglant Ø 16 mm.
- Rampe pommier Ø 16 mm x 48,5 m.
- Rampe tomate Ø 16 mm x 50,70 m.
- Porte rampes pommier Ø 20 mm x 73,5 m.
- Porte rampes tomate Ø 40 mm x 44,5 m.
- Conduite principale Ø 50 mm x 28 m.
- Conduite d'abreuvoir Ø 20 mm x 17 m.

Le coût globale du système d'arrosage est de : 326615 DA

#### \* **SYSTÈME DE POMPAGE :**

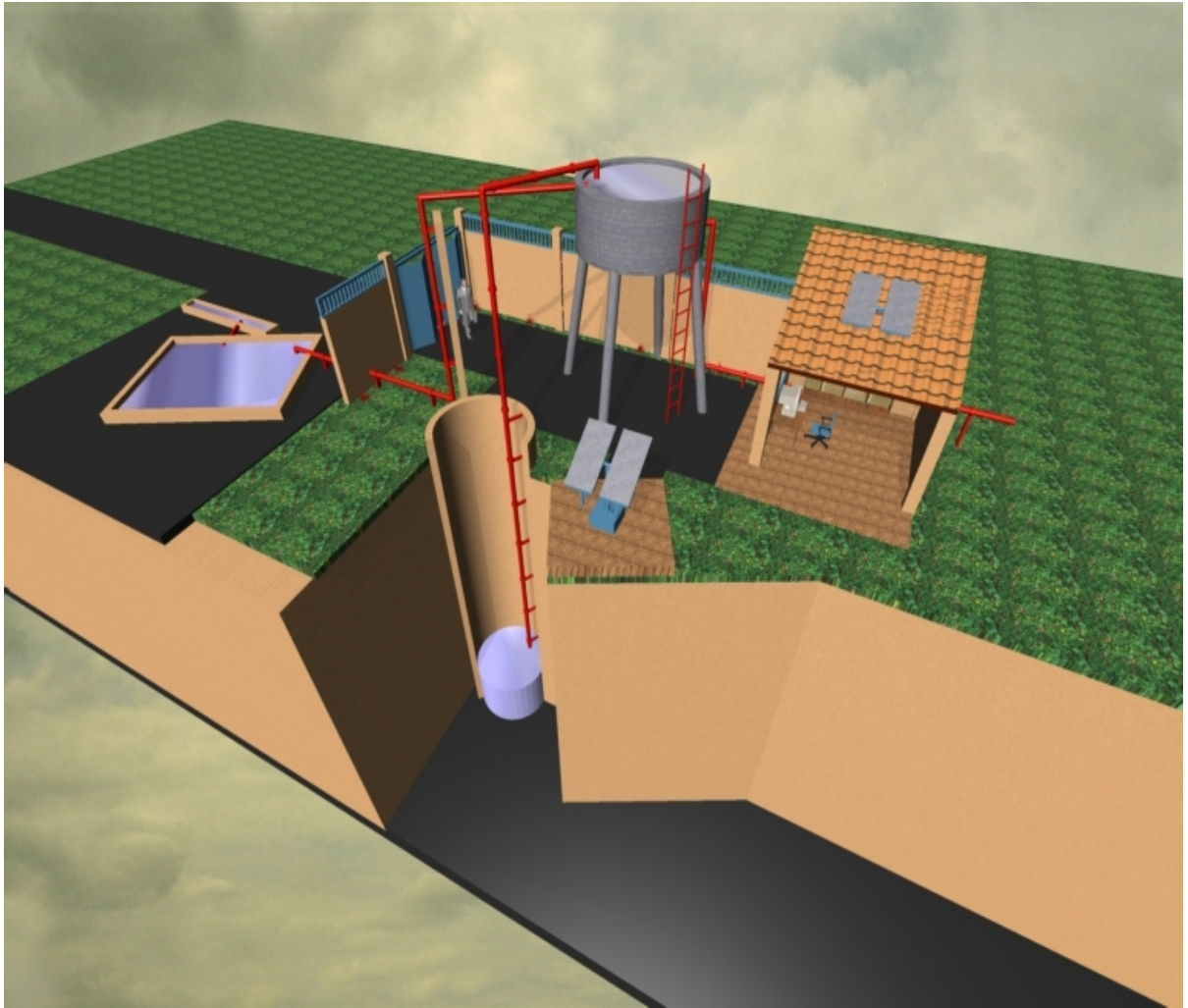
- Pompe solaire SP5A.
- Convertisseur SA 1500.
- Modules solaires A - 120
- Conduite de refoulement Ø 40 mm x 25 m
- Clapet anti-retour Ø 40 mm.
- Débit mètre Ø 40 Maddalena.

Le coût globale du système de pompage est de : 1518108,16 DA

#### \* **Serres**

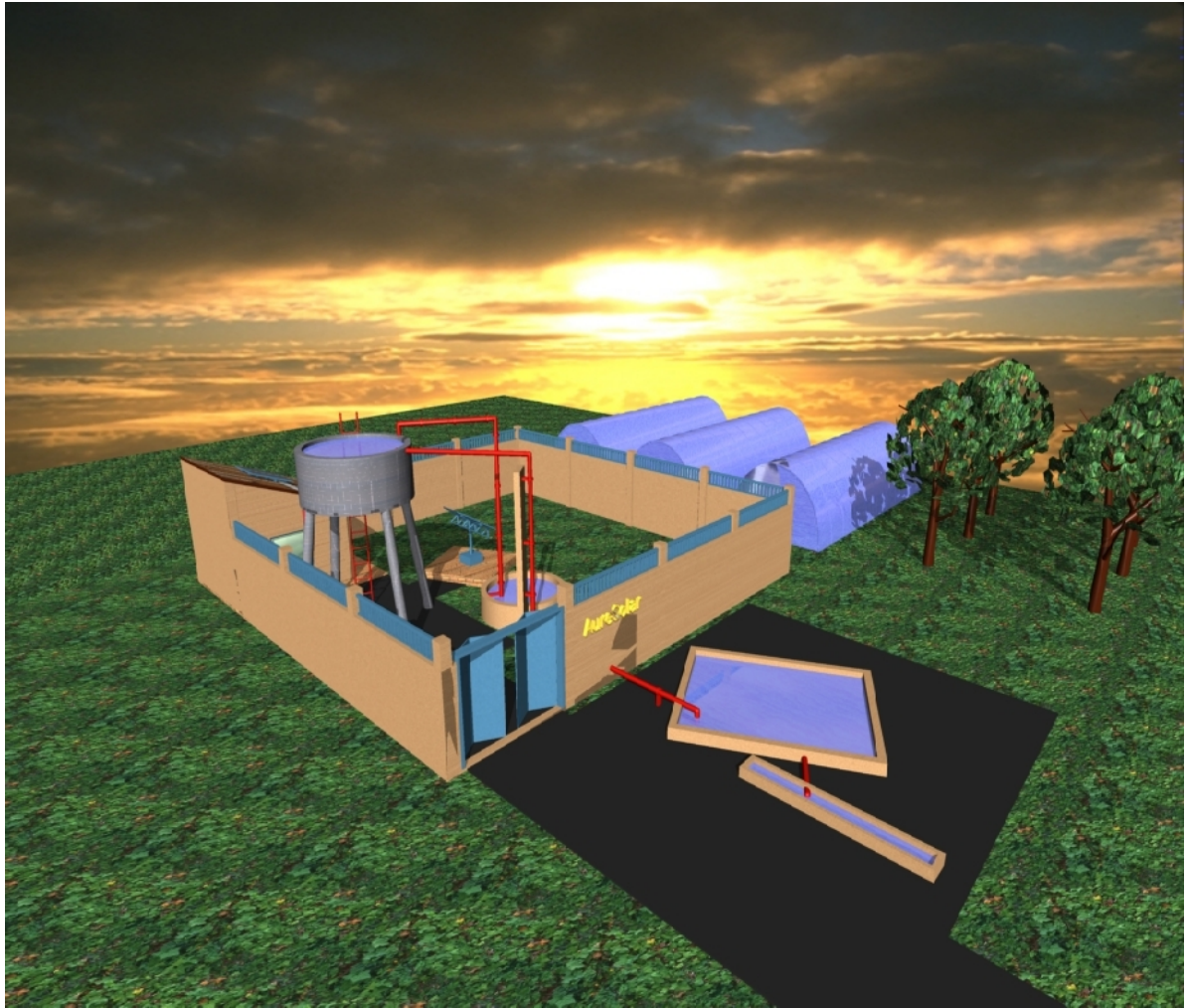
- Serres de 8 x 50 x 3 m.

le coût globale des serres est de : 577200 DA



**Figure V-5 :** *Verger en vue coupé.*





**Figure V-6 : Vue globale de la verger.**



**Figure V -7 : Vue de l'intérieur.**



## CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans cette étude, nous avons abordé un cas pratique d'installation de pompage pour lequel nous disposons uniquement d'un puits et d'une portion de terrain d'environ 1 ha. Pour cela, nous avons essayé de résoudre ce problème avec ces difficultés notamment pour les systèmes de pompage, d'irrigation et de stockage de l'eau qu'il fallait optimiser.

Nous avons utilisé le système le plus rentable d'irrigation qui est celui du goutte-à-goutte et nous avons choisi, d'après nos calculs, la pompe solaire qui répond le plus à nos besoins. Cette dernière étant de type SP5A GRUNDFOS et elle est alimentée par un panneau photovoltaïque de 120 W (7.1 A). Nous avons ensuite dimensionné l'installation avec ses différents composants (conduites d'alimentation et d'irrigation, réservoirs,...etc). L'estimation du coût de l'installation avec tous les équipements nécessaires est approximativement égal à 2500000,00 DA (sans le coût de la pose).

Les résultats que nous avons obtenus par ce calcul d'avant projet nous semble très corrects sauf pour le calcul des prix qui a été estimé pour certains accessoires dont nous n'avons pas obtenus d'informations.

En fin, et comme tout le monde le souhaite à la suite de toute étude théorique, il est bien recommandé de l'achever avec une réalisation pratique qui permettra de confirmer nos calculs et éventuellement d'en optimiser certains accessoires afin d'augmenter le rendement de cette installation.

# BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] MESSAHEL MEKKI, L'irrigation au goutte à goutte.  
O.P.U 1988
- [ 2 ] B. NEKRASSOV, Cours d'hydraulique.  
MTR 1967
- [ 3 ] I. E. IDEL'CLIK, Memento des pertes de charge.  
EYROLLES 5<sup>e</sup> 1986
- [ 4 ] TITOUNA RAFIK, Développement d'un logiciel pour le calcul, le dimensionnement et l'évaluation économique des stations de pompage utilisées dans le domaine de l'irrigation.  
Thèse de Magistère 1998
- [ 5 ] JACQUES BONNIN, Aide-mémoire d'hydraulique urbaine.  
EYROLLES 1982
- [ 6 ] HOUMED NABIL, Détermination des coefficient culturaux d'une culture d'orge dans la région de Batna.  
Thèse ING 2000
- [ 7 ] SITE INTERNET, [www.agriculture.ovh.org](http://www.agriculture.ovh.org)
- [ 8 ] SITE INTERNET, [www.u-picardie.fr](http://www.u-picardie.fr)
- [ 9 ] D<sup>r</sup> : MASSOUDI ELAÏD, Brochure de cours de Module TEC 371  
1999 / 2000
- [ 10 ] BENAZIZ TAREK, Etude et conception d'un château d'eau de capacité 500 m<sup>3</sup>  
Thèse T.S 2001
- [ 11 ] BARKET. B, Rapport annuel du projet "Auresolai"  
Code : J-0501-02-99
- [ 12 ] SITE INTERNET, [www.azud.com](http://www.azud.com)
- [ 13 ] SITE INTERNET, [www.energies-nouvelles.com](http://www.energies-nouvelles.com)
- [ 14 ] SITE INTERNET, [www.total-energie.fr](http://www.total-energie.fr)

ANNEXE



### A-I. Coût des serres.

N°	Désignation	Q <sup>te</sup>	Prix U	Montant [DA]
1	Films agricoles spéciaux 2Rlx (140 Kg).	05	20000.00	100000.00
2	Module de serres métallique.	05	93000.00	465000.00
3	Fil d'attache (40 Kg).	05	2440.00	12200.00
<b>TOTAL</b>				<b>577200.00</b>

### A-II. Coût des conduites et les accessoires de système de distribution.

N°	Désignation	Q <sup>te</sup>	Prix U	Montant [DA]
01	Tube galvanisé 20/27 longueur de 6m.	16	1050.00	16800.00
02	Tube galvanisé 40/49 longueur de 6m.	08	1425.00	11400.00
03	Tube galvanisé 50/60 longueur de 6m.	05	1625.00	8125.00
04	Coude 20.	03	30.00	90.00
05	Coude 40.	01	55.00	55.00
06	Coude 50.	02	150.00	300.00
07	Branchement en T 20.	19	30.00	570.00
08	Branchement en T 40.	40	110.00	440.00
09	Branchement en T 50.	02	140.00	280.00
10	Manchons 20.	10	35.00	350.00
11	Manchons 40.	05	65.00	325.00
12	Manchons 50.	03	95.00	285.00
13	Réduction 20 / 16.	19	25.00	475.00
14	Réduction 40 / 16.	40	35.00	1400.00
15	Réduction 50 / 20.	01	40.00	40.00
16	Réduction 50 / 40.	01	1000.00	1000.00
17	Vanne d'arrêt 20.	02	250.00	500.00
18	Vanne d'arrêt 40.	01	580.00	580.00
19	Vanne d'arrêt 50.	01	650.00	650.00
20	Tuyau émetteur avec fils de fer 16.	2950	50.00	147500.00
21	Goutteur auto réglant 2.24 l/s.	3010	45.00	135450.00
<b>TOTAL</b>				<b>326615.00</b>

### A-III. Coût de système de pompage.

N°	Désignation	Q <sup>te</sup>	Prix U	Montant [DA]
01	Pompe solaire SP5A avec convertisseur SA1500 et 16 modules solaires A-120 (Grundfos).	01	1490000.00	1490000.00
02	Arrêt manque de tension modulaire SKAMT2420.	01	9310.00	9310.00
03	Débit mètre Ø40 (Maddalena).	01	8500.00	8500.00
04	Tuyau polyéthylène Ø40 6 Bars.	26	314.16	8168.16
05	Vanne d'arrêt Ø40.	01	580.00	580.00
06	Clapet Ø40 Papillon.	01	550.00	550.00
07	Flotteur.	02	500.00	1000.00
<b>TOTAL</b>				<b>1518108.16</b>

### A-IV. Coût des réservoirs.

N°	Désignation	Q <sup>te</sup>	Prix U	Montant [DA]
01	Ciment.	3,5 T	5000.00	17500.00
02	Sable	4 m <sup>3</sup>	2400.00	9600.00
03	Gravier	8 m <sup>3</sup>	2400.00	19200.00
04	Acier rend lisse Ø 06.	0,25 T	16000.00	4000.00
05	Barres d'aciers Ø12.	0,20 T	22000.00	4400.00
06	Barres d'aciers Ø14.	0,10 T	22000.00	2200.00
07	Treillis soudés en fils lisse Ø6.	24 m	300.00	7200.00
08	Fil d'attache.	15 kg	61.00	915.00
<b>TOTAL</b>				<b>65015.00</b>