

## **Module N°2 : Hydraulique urbaine**

### **Chapitres :**

- 1) Généralités sur les pompes hydrauliques
- 2) Les énergies renouvelables et le pompage de l'eau
- 3) Les conduites d'eau
- 4) Les châteaux d'eau
- 5) Les réseaux de distribution
- 6) Optimisation du débit équipé dans une station de pompage
- 7) Calcul du prix de revient de l'eau
- 8) L'hydraulique villageoise

## Généralités sur les pompes hydrauliques

### I) Introduction :

Une pompe hydraulique est une machine constituée d'un ensemble d'organes électromécaniques aspirant l'eau au niveau d'un point pour le refouler vers un autre. Dans le choix technico-économique d'une pompe au sein d'un projet on doit tenir compte des aspects suivants :

- Il faut que l'eau arrive jusqu'à l'utilisateur en débit et pression demandés.
- Assurer un bon rapport qualité/prix.
- Il faut que la qualité du matériel choisi procure une durée de vie aussi longue que possible des différents organes.

### II) Les pompes centrifuges :

Ce sont les pompes les plus utilisées en pratique. Ces pompes donnent des débits qui varient en raison inverse des hauteurs de refoulements. Le système de pompage est soit thermique, soit électrique. (Le pompage solaire et éolien font partie du domaine des énergies renouvelables qu'on verra dans le prochain chapitre).

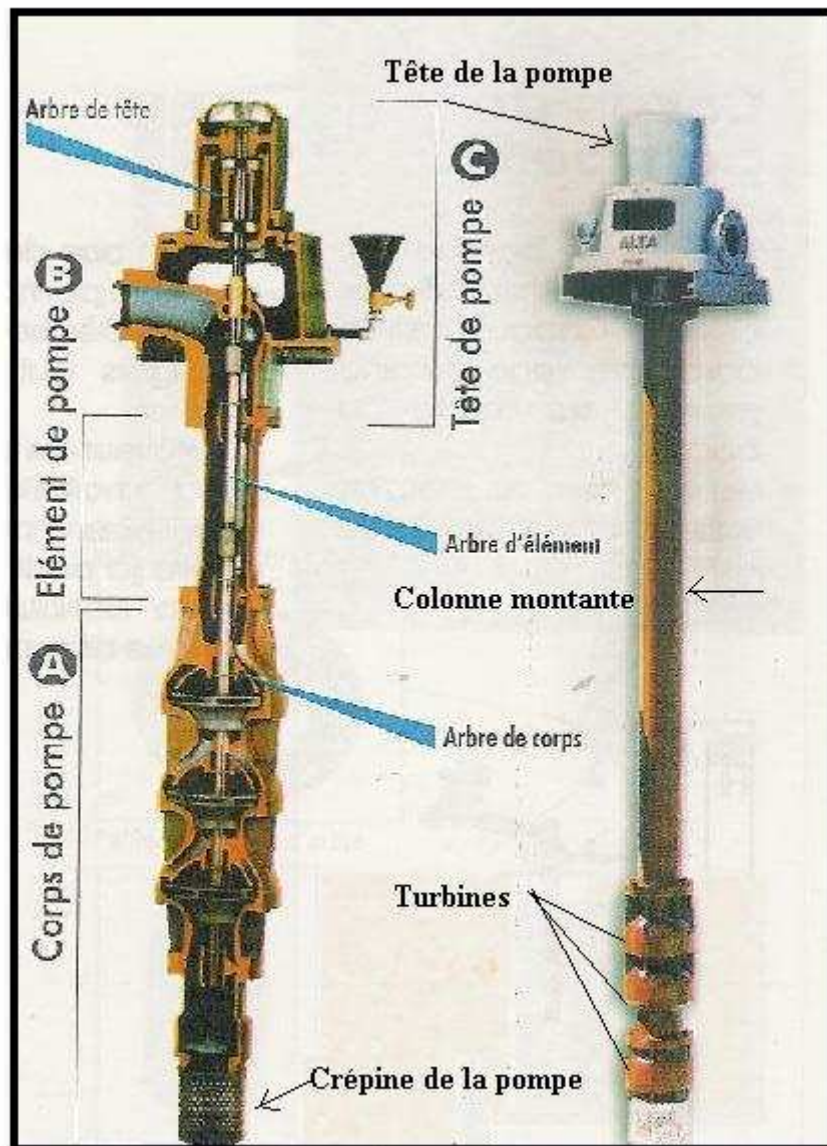
- pompage thermique : pompe mécanique à axe vertical ou horizontal entraînée par un moteur diesel.
- Pompage électrique : pompe électrique alimentée par le réseau de l'ONE (office national de l'électricité) ou par un groupe électrogène.

**Définition :** un groupe électrogène est une machine électrique constituée d'un moteur diesel qui actionne un alternateur et ce dernier produit de l'électricité. La consommation normale en fuel est de l'ordre de 160 à 180 g/cv/heure.

Un groupe électrogène



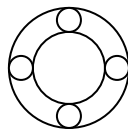
## II.1) pompe mécanique à axe vertical :



Ces pompes sont très utilisées en milieu rural Marocain et notamment pour l'irrigation. Ces pompes se composent de :

- La tête de la pompe qui supporte tout le poids du système et reçoit le mouvement de rotation du moteur par l'intermédiaire d'une courroie. Ce mouvement est transmis au corps de la pompe par le biais de la poulie.
- Un corps de turbine (une ou plusieurs turbines), le nombre de turbines varie en fonction de la hauteur de refoulement. Dans la partie inférieure se trouve la crépine qui permet à l'eau d'entrer et d'être aspirée tout en bloquant les corps étrangers. A l'intérieur de la crépine se trouve un clapet anti-retour permettant à la colonne de refoulement de rester pleine.

- Une colonne montante qui est constituée d'éléments en acier (galvanisés à chaud dans le meilleur des cas) avec une longueur de 2,5 m. Ces éléments sont reliés entre eux par des brides

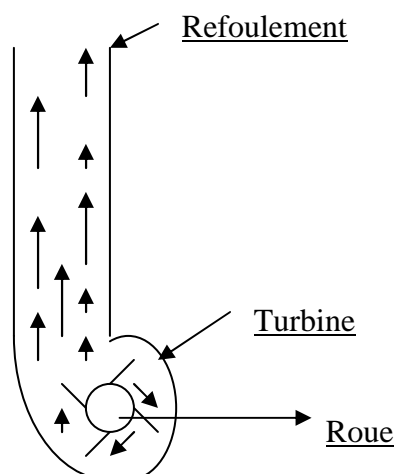


Une bride

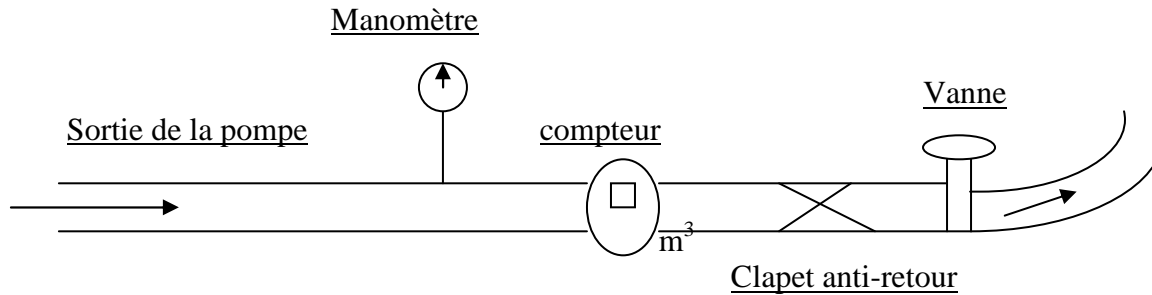
L'axe d'entraînement vertical est centré dans la conduite de refoulement, c'est un arbre généralement en acier sur lequel sont fixées la ou les turbines, c'est donc cet axe qu'il faut faire tourner à une vitesse donnée pour que les turbines puissent fouetter l'eau et la déplacer. La colonne montante est livrée dans le commerce selon son diamètre exprimé en pouces (1" = 2,54 cm) en fonction du débit désiré :

Débit en m <sup>3</sup> /h	Vitesse de rotation en tr/min	Diamètre de la colonne en pouces
20 à 25	1500 à 1750	2,5
25 à 40	1750 à 2500	3
32 à 50	1500 à 2000	3,5
50 à 60	1750 à 2250	4

- un moteur diesel à démarrage électrique (souvent par batterie de 12 V) fournit l'énergie à la pompe par l'intermédiaire de la courroie. La vitesse de rotation est souvent comprise entre 1500 et 3000 tr/min. L'eau introduite par l'orifice d'aspiration arrive au centre du corps, elle est entraînée en rotation par les aubes de la roue. La force centrifuge projette l'eau à la périphérie du corps de la pompe d'où elle s'échappe par l'orifice de refoulement, le vide partiel créé par l'aspiration assure l'arrivée continue de l'eau.



La liaison entre une pompe et une conduite de refoulement se présente souvent comme suit :

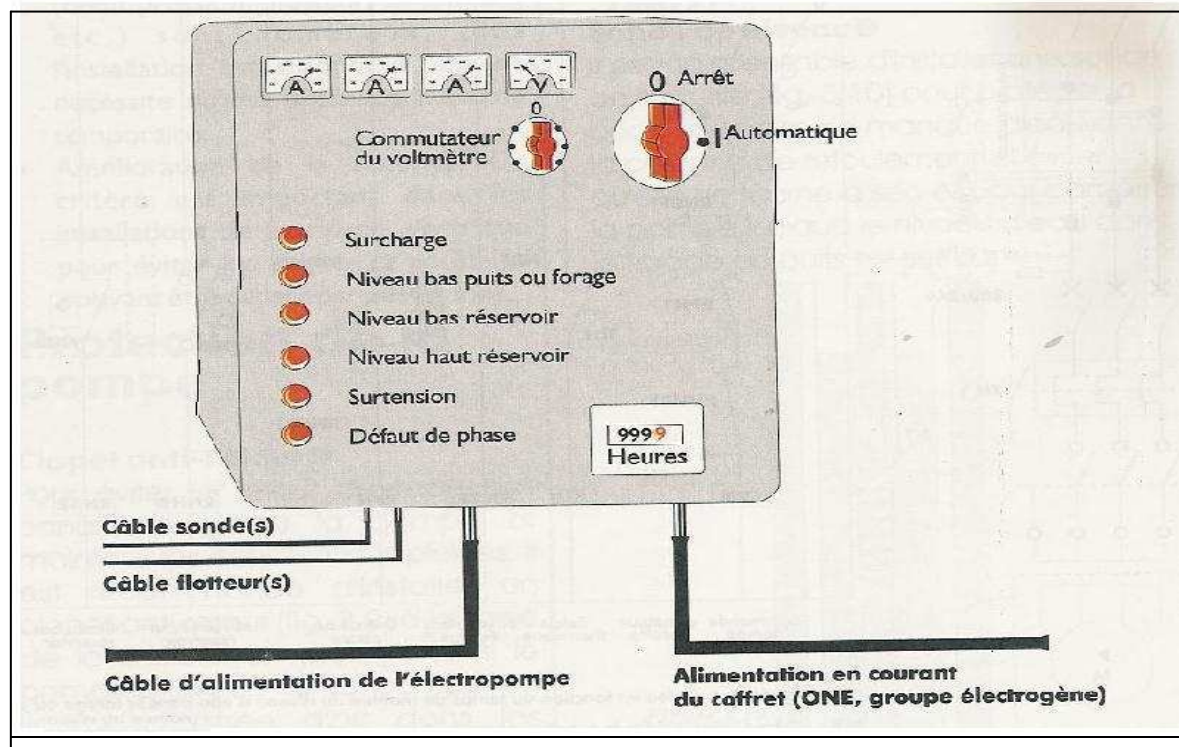


## II.2) Pompe mécanique à axe horizontal :

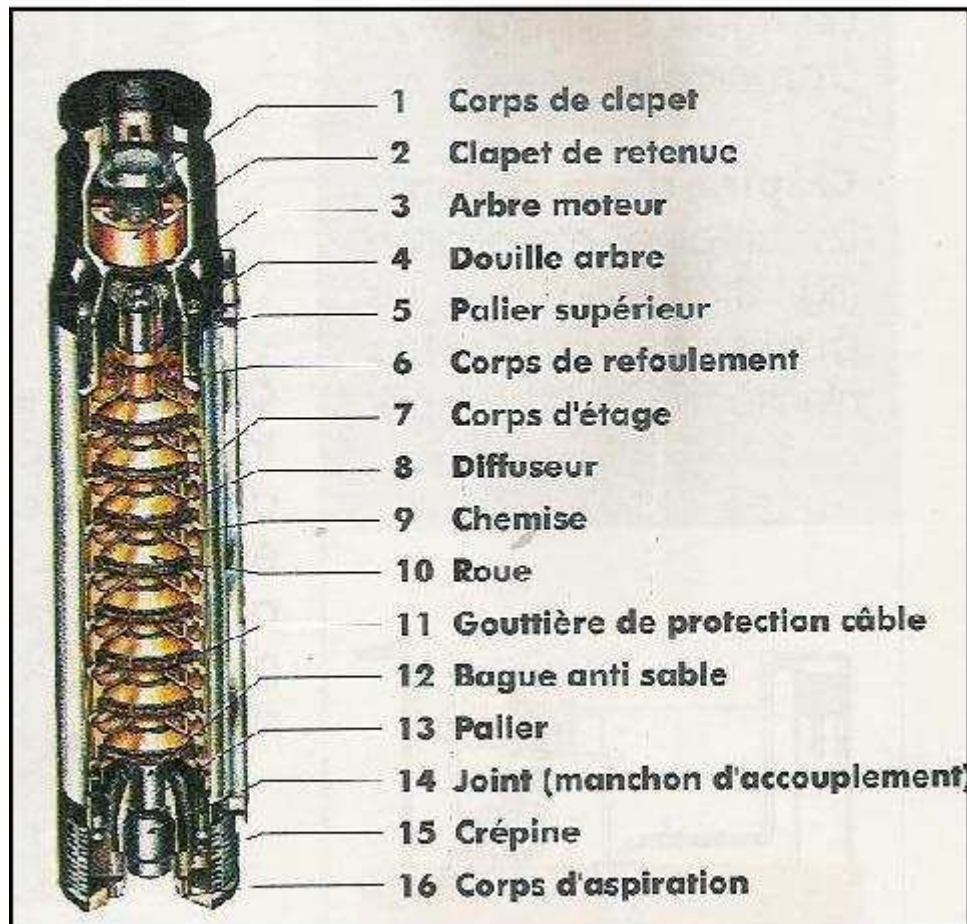
On les emploie souvent pour pomper dans une rivière, un canal ou un puits peu profond. Le principe est le même qu'une pompe à axe vertical seulement que l'axe est cette fois-ci horizontal.

## II.3) les pompes immergées :

Ce type de pompe doit son appellation au fait que le corps de la pompe ainsi que le moteur sont prévus pour être noyés dans l'eau. Il est même indispensable que le moteur le soit, car son refroidissement est obtenu par la circulation de l'eau autour du moteur. Ces pompes sont livrées sous une tension de 220 ou 380 V en circuit triphasé et sous une fréquence de 50 Hz. Leur vitesse étant voisine des 3000 tr/min, le moteur est accouplé en direct avec la pompe. Un câble électrique également noyé dans l'eau relie le moteur au boîtier de démarrage placé dans un abri en surface. Ce boîtier est lui-même relié à la source d'énergie électrique (réseau ONE ou groupe électrogène).







Une pompe immergée est multicellulaire composée d'étages qui portent chacun une roue comme le montre la figure précédente.

L'armoire de commande d'une pompe électrique dispose d'indicateurs et de voyants lumineux, il est souvent constitué de métal galvanisé et est placé sous abri pour être protégé vis-à-vis des aléas climatiques. Les dimensions sont souvent standard, (pour les petites installations, on a généralement 40 cm de longueur, 30 cm de largeur et 20 cm d'épaisseur). Les éléments indiqués sont souvent comme suit :

- Interrupteur pour la mise en marche (position 1) et arrêt (position 0), manuel et automatique.
- Température du moteur, si celle-ci est supérieure à la température préconisée par le constructeur, un voyant s'allume.
- Voltmètre pour la tension d'alimentation.

- Ampèremètre avec commutateur pour la mesure des courants dans les trois phases.
- Un compteur horaire pour le fonctionnement de la pompe.
- Les relais de niveau pour la régulation automatique.
- La marche à sec ou surcharges, au cas où la puissance absorbée dépasse la valeur nominale, le moteur s'arrête.

Le groupe électrogène qui va éventuellement alimenter la pompe doit être bien précisé en matière de caractéristiques techniques et en premier lieu la puissance en KVA qu'on verra plus loin et ensuite les paramètres du **moteur, l'alternateur et le tableau de commande**.

**Exemple :**

**1) Moteur :**

- marque : X
- refroidissement par air
- injection directe
- démarrage manuel
- filtre à air, filtre à gasoil, filtre à huile
- option : démarrage électrique avec batterie de 12 V
- intensité sonore : x décibels

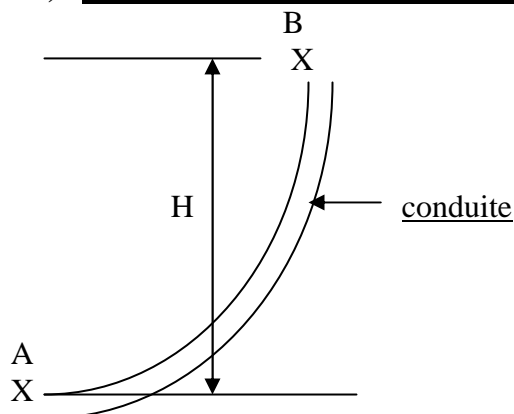
**2) Alternateur :**

- régime : 1500 tr/min
- tension : 220/380 V
- auto régulé, auto excité
- isolation tropicale

**3) Tableau de commande :**

- monté avec silentblocs sur l'alternateur et comprenant :
  - 1 voltmètre avec commutateur
  - 1 ampèremètre avec commutateur
  - 1 disjoncteur magnéto-thermique
  - 2 boutons marche et arrêt
  - 1 voyant lumineux

**III) Hauteur manométrique totale (HMT) :**



Pour amener une particule liquide du point A vers le point B par le biais d'une pompe, celle-ci doit vaincre la hauteur  $H + \Delta H$  (A-B) avec  $\Delta H$  (A-B) = pertes de charges entre A et B. la somme de la hauteur géométrique et la perte de charge est appelée hauteur manométrique totale entre A et B. une pompe centrifuge est toujours caractérisée par le couple (Q, H).

$$HMT = H + \Delta H \text{ (A-B)}$$

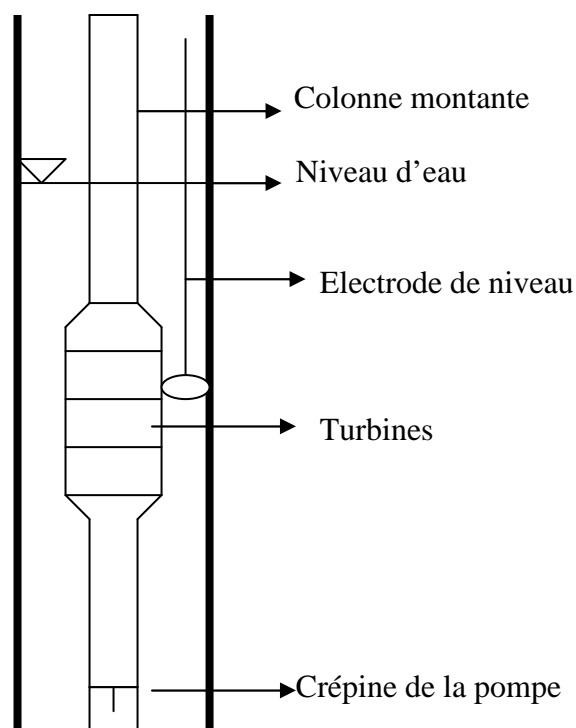
Lorsqu'il s'agit d'une pompe immergée, la vitesse étant invariable, il suffit de définir le nombre de turbines nécessaire pour atteindre la hauteur manométrique requise, les courbes caractéristiques fournies par le constructeur (qu'on verra plus loin), permettent de faire ce choix. Ex : pour une pompe de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  tournant à 2900 tr/min, la hauteur par turbine est de 8 mètres.

Lorsqu'il s'agit d'une pompe à axe vertical, la vitesse pouvant être variable, il faut en premier lieu choisir la vitesse à laquelle on souhaite travailler sachant qu'elle peut varier de 1600 à 3600 tr/min pour les petites pompes et de 1500 à 2200 tr/min pour les grandes. Il n'est pas souhaitable d'utiliser la vitesse maximale.

Il arrive que dans certains projets mal dimensionnés, l'eau n'arrive pas à un point éloigné à cause du HMT mal calculée. Il existe dans le commerce des surpresseurs pour remédier à la situation. Un surpresseur de 6 bars par exemple procure une HMT additionnelle de 60m. Ces surpresseurs sont équipés de ballon servant de réserves d'eau à un volume V fixé (10 litres, 30 litres, 40 litres, 200 litres.. ; etc.)

#### IV) Protection de la pompe :

- **Clapet anti-retour** : il faut l'installer juste à la sortie de la station de pompage pour éviter le retour des eaux de la canalisation.
- **Electrodes de niveau** : lorsque la crépine est dénoyée, la pompe risque de tourner à vide et être grillée. Par mesure de sécurité, on installe des électrodes de niveau qui, une fois le niveau d'eau descendu, la pompe s'arrête automatiquement.





- **Vannage** : le démarrage de la pompe doit être lent et progressif, ainsi la vanne installée à la sortie de la pompe doit être fermée lors de la mise en marche.
- **Compteur** : il permet le suivi quantitatif des volumes d'eau produits
- **Manomètre** : il permet de contrôler la pression de l'eau au moment du démarrage.
- **Dispositif anti-bélier** : les pompes doivent être généralement protégées contre les coups de bélier (augmentation ou diminution brutale de la pression) qui sont provoqués par les arrêts ou mise en marche brutaux. En pratique, on utilise des dispositifs anti-bélier (DAB) constitués par des réservoirs d'air sous pression. La dilatation ou la compression de cet air permet d'amortir les coups de bélier jusqu'à des valeurs supportables par le matériel.

#### **Ballon d'air pour le dispositif anti-bélier**



#### **- Paramètres de la cavitation :**

La cavitation est une formation de bulles de vapeur due à une baisse de pression lors de l'aspiration. Ceci se traduit physiquement par la naissance d'ondes de choc qui se propagent le long de la conduite en provoquant des bruits et des vibrations, ceci occasionne une détérioration du matériel. Ce phénomène se produit essentiellement à l'aspiration des pompes. La baisse de pression est principalement due aux causes suivantes :

- élévation géométrique au dessus du niveau libre de l'eau à l'aspiration de la pompe.
- pertes de charges excessives dans la tuyauterie d'aspiration
- énergie cinétique importante dans la roue de la pompe.

Les essais de cavitation effectués par les constructeurs se traduisent par une pression ou charge nette absolue à l'aspiration qu'il faut assurer à l'entrée de la pompe pour éviter la cavitation. Elle est souvent désignée par les initiales anglaises NPSH (net positive suction head), elle a la dimension d'une hauteur

Il faut toujours respecter le point de fonctionnement optimal d'une pompe, sinon on a soit un risque de surpression, soit un risque de cavitation.

#### **V) Section du câble électrique :**

Le câble qui alimente la pompe doit avoir une section adéquate en fonction de l'intensité du courant et de la tension d'alimentation, celle-ci est calculée par la formule :

$$q \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{3,1 \times l \times I \times \cos (\varnothing )}{(\text{PV}) \% \times U}$$

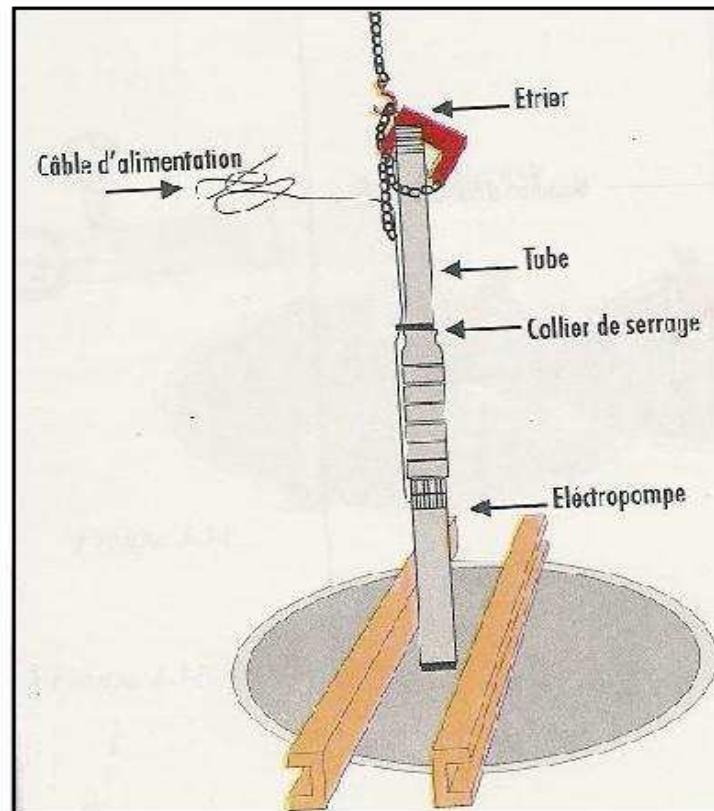
Avec  $l$  = longueur du câble,  $U$  = tension en volts (380 V),  $PV$  = chute de tension = 3%,  $I$  = intensité du courant en A,  $\cos (\varnothing) = 0,8$  (facteur de puissance)

Exemple : pour  $l = 60$  m,  $I = 17,6$  A, on obtient  $q = 2,22 \text{ mm}^2$ . La section adoptée sera de  $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$

La formule de calcul correspond à la température ambiante (25 à 30° C), à 40° C, on peut corriger la section en divisant par 0,85.

### **Remarques :**

- la section calculée par la formule précédente correspond à un mode de démarrage direct de la pompe. En cas de démarrage étoile-triangle, il faut diviser la section par 2, autrement dit la section est maximale en cas de démarrage direct.
- En pratique, on utilise des abaques pour le calcul de la section du câble.



# Dimensions des câbles en 3 x 400 V, 50 Hz

Chute de tension : 3%

Moteur	kW	I <sub>n</sub> [A]	Cos φ 100%	Dimensions [mm <sup>2</sup> ]															
				1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
2"	0,37	1,4	0,64	376	435														
4"	0,93	2,2	0,64	166	508	906													
4"	0,75	2,0	0,72	317	510	824													
4"	1,1	3,4	0,72	211	350	568	830												
4"	1,5	4,2	0,75	164	273	434	640												
4"	2,2	5,3	0,82	113	101	304	451	748											
4"	3,0	7,8	0,77	86	142	226	337	555	872										
4"	4,0	9,6	0,8	67	112	178	250	438	689										
4"	5,5	13	0,81	49	87	130	194	320	514	768									
4"	7,5	18,8	0,78		59	93	139	229	350	544	795								
6"	5,5	13,6	0,77	43	82	131	195	320	504	765									
6"	7,5	17,6	0,8	37	61	97	145	249	376	575	781								
6"	9,2	21,8	0,81		49	75	116	191	300	458	625	860							
6"	11	24,8	0,84		42	67	95	154	238	393	540	744	995						
6"	13	30	0,81			58	84	139	218	353	454	623	833						
6"	15	34	0,82				73	121	191	291	397	547	731	933					
6"	18,5	42	0,81				80	97	155	238	321	446	585	763	911				
6"	22	48	0,84					114	182	267	376	502	611	659	792	933			
6"	25	57	0,84					111	170	239	321	431	533	667	788	913			
6"	30	66,5	0,84					96	147	201	277	371	477	573	676	782	923		
6"	37	83,5	0,79						119	167	223	296	378	451	529	608	714	806	
8"	22	48	0,84				84	122	202	276	382	511	639	767	895	1023			
8"	26	56,5	0,85				70	111	170	233	322	432	537	671	794	922			
8"	37	78,5	0,85					98	150	205	281	381	497	592	701	814	967		
8"	45	96,5	0,82					80	122	169	232	317	401	483	572	664	785	903	
8"	55	114	0,85						102	140	193	267	330	396	466	539	633	723	
8"	63	137	0,83							135	159	214	270	333	394	457	543	622	
8"	75	152	0,86								147	187	240	289	345	400	469	531	
8"	92	186	0,85								119	160	206	249	295	343	409	469	
8"	110	224	0,87									140	163	203	241	281	334	381	
10"	75	154	0,84										140	169	200	233	279	322	
10"	92	194	0,82										157	203	244	288	334	393	452
10"	110	228	0,84										120	164	197	232	288	346	560
10"	132	270	0,84											130	167	197	228	271	309
10"	147	313	0,81												141	186	225	261	
10"	176	363	0,81													140	185	221	
10"	190	425	0,78														160	190	
12"	147	305	0,84															140	162
12"	170	343	0,85													147	170	202	230
12"	190	410	0,84														151	179	205
12"	220	445	0,83															158	181
12"	250	505	0,83																198

Intensité maxi pour câble [A]\*

\* Pour des conditions favorables de dissipation de la chaleur.

Longueur maxi en mètres du câble du disjoncteur à la pompe.

## VI) Critères de choix d'une pompe :

Le choix d'une pompe doit se faire en tenant compte d'un certain nombre de critères :

### - a) profondeur de l'eau :

Dans un canal ou rivière, les pompes à axe horizontal sont à retenir. Pour un puits ou un forage, le choix est à faire en fonction de la disponibilité ou pas d'énergie électrique. Il y a lieu de signaler que les pompes mécaniques à axe vertical sont limitées en matière de HMT, (100 m est pratiquement une limite).

### - b) énergie de pompage :

Les pompes électriques offrent beaucoup d'avantages technico-économiques. Toutefois, l'achat d'un groupe électrogène pour entraîner une pompe immergée est fortement déconseillé : cette formule est très coûteuse en investissement et également en entretien

### - c) débit désiré :

A titre indicatif, le tableau suivant définit les débits que l'on peut atteindre en fonction du diamètre extérieur d'encombrement de la pompe :

Pompe immergée		Pompe à axe vertical	
Encombrement	Q (maximal)	Encombrement	Q (maximal)
142 mm	30 m <sup>3</sup> /h	142 mm	30 m <sup>3</sup> /h
194 mm	150 m <sup>3</sup> /h	190 mm	100 m <sup>3</sup> /h
274 mm	400 m <sup>3</sup> /h	241 mm	200 m <sup>3</sup> /h
		286 mm	300 m <sup>3</sup> /h
		333 mm	400 m <sup>3</sup> /h

### - d) rendement du pompage :

Le rendement des pompes varie entre 60 et 80% en fonction du diamètre du corps et de la qualité. Ainsi les petites se situent autour de 60% et les grosses autour de 80%. Lorsque les pompes sont de mauvaise qualité ou mal entretenues, il est fréquent qu'elles perdent une dizaine de points de rendement.

## VII) Puissance et rendement :

Le rendement d'une pompe est le rapport entre la puissance efficace réellement fournie par la pompe et la puissance fournie au moteur de la pompe. Pour les pompes industrielles, le rendement est de 70 à 80%.

La puissance nécessaire au pompage est donnée par la formule suivante :

$$P \text{ (KW)} = 9,8 \times H \text{ (m)} \times Q \text{ (m}^3\text{/s)} / \eta$$

Avec H = hauteur manométrique exprimée en mètres

Q = débit de pompage en m<sup>3</sup>/s

$\eta$  = rendement global de pompage (pompe, moteur)

**Remarque** : il ne faut pas confondre la puissance nécessaire au pompage qui provient d'une source externe (réseau ONE ou groupe électrogène) et la puissance du moteur électrique de la pompe qui est intégré au corps de la pompe.

La puissance électrique en circuit triphasé est :  $P = U.I.\cos(\varnothing).\sqrt{3}$

Avec U= tension en Volts, I = intensité du courant en Ampères,  $\varnothing$  = déphasage courant-tension,  $\cos(\varnothing)$  = facteur de puissance (0,8)

La puissance est également exprimée en chevaux (CV ou HP : horse power en anglais), à retenir que 1 cheval = 736 Watts.

Sur la plaque signalétique d'une pompe, on trouve toujours les caractéristiques techniques données par le constructeur.

### VIII) démarrage d'une pompe électrique :

Le démarrage d'un moteur électrique nécessite au départ une puissance supérieure à la puissance nominale. Le tableau suivant montre dans quelles proportions varient les couples de démarrage et les courants de démarrage en fonction du mode de démarrage.

Mode de démarrage	Id/In	Cd/Cn
<b><u>Moteur à cage</u></b>		
* Direct (pleine tension)	5	1,5
* Auto transformateur	2,45	0,74
* Etoile- triangle	1,65	0,5
<b><u>Moteur à rotor bobiné</u></b>		
* Résistance rotorique	1,5 à 2,5	1,5 à 2,5
	Id= Courant de démarrage In= Courant nominal	Cd= Couple de démarrage Cn= Couple nominal

Donc pour calculer une puissance de démarrage, il faut calculer la puissance en Kw par la formule classique citée plus haut et diviser par 0.8/ (Cos  $\varphi$ ) pour passer à la puissance en K.V.A et ensuite majorer cette puissance selon le mode de démarrage adopté.(rapport Id/In)

### IX) courbes caractéristiques d'une pompe :

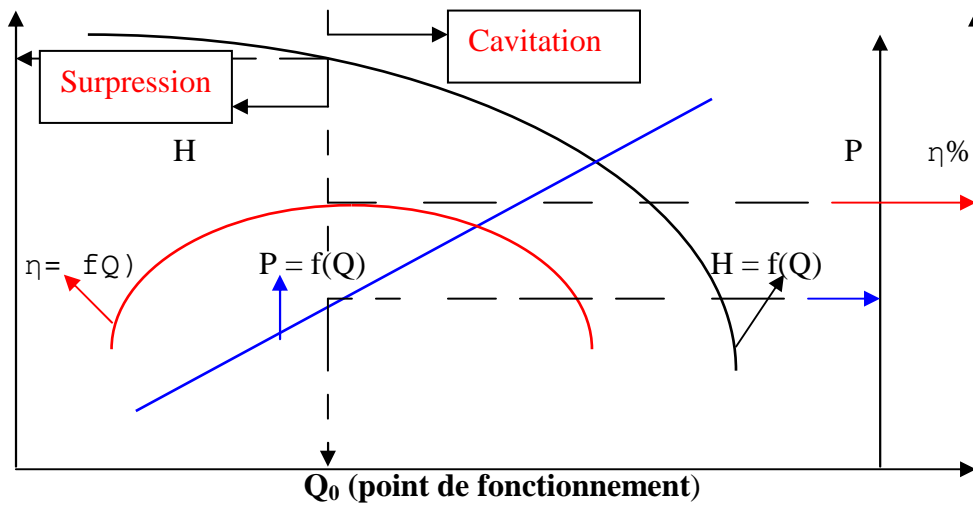
Cette particularité des pompes centrifuges permet d'effectuer facilement leurs réglages et de tracer les courbes de leur fonctionnement afin de définir le régime optimum de débit, de hauteur manométrique ainsi que d'économie d'énergie.

Pour une pompe donnée et une vitesse de rotation constante, on trace :

- une courbe des hauteurs manométriques en fonction des débits,  $H = f(Q)$
- une courbe des puissances absorbées en fonction des débits,  $P = f(Q)$



- une courbe des rendements globaux (pompe et moteur) en fonction des débits  $\eta = f(Q)$



**Remarque :**

Lorsque la vitesse de rotation d'une pompe varie de  $n_1$  tr/min à  $n_2$  tr/min (cas des pompes mécaniques à axe vertical), les points  $Q_1$ ,  $H_1$ , et  $P_1$  des courbes de fonctionnement à la vitesse  $n_1$  deviennent à la vitesse  $n_2$ .

$$Q_2 = (n_2 / n_1) Q_1$$

$$H_2 = (n_2 / n_1)^2 H_1$$

$$P_2 = (n_2 / n_1)^3 P_1$$

Par exemple une pompe qui tournerait deux fois plus vite, verrait son débit multiplié par 2, sa hauteur manométrique multipliée par 4, et sa puissance absorbée multipliée par 8.



Conduite branchée à une pompe dans un forage : manomètre, compteur, ventouse pour purger l'air

Stock de matériel de pompage dans un magasin de société



### Exemple de Fiche Technique de Matériel

Caractéristiques exigées	Caractéristiques du matériel proposé				
	Aïn Nekhla	Sidi Zemouri	Hamria Aouija	Chaala	Tlet Ziaida
	CR Bir Bir Ennasr	CR Bir Bir Ennasr	CR El Ghaba	CR S. Bettach	CR Ziaida
<b>1- Caractéristiques de la pompe</b>					
Marque : SAER ou Equivalent	Pedrollo	PEDROLLO	pedrollo	PEDROLLO	PEDROLLO
Origine	Italie	Italie	Italie	Italie	Italie
Type	4SR8/31	4SR8/23	4SR8/17	4SR8/23	4SR8/42
Débit selon spécifité du CPS	3l/s	2l/s	2l/s	2l/s	3l/s
HMT selon spécifité du CPS	80m	120m	80m	100 m	140m
Nombres de turbines	31	23	17	23	42
Rendement 60% au moins	65%	65%	65%	65%	65%
Marque	Pedrollo	pedrollo	pedrollo	pedrollo	pedrollo
Origine	Italie	Italie	Italie	Italie	Italie
Puissance (KW)	5,5 KW	4KW	3 KW	4 KW	7,5 KW
Tension d'alimentation (3x380 V; 50Hz)	3X380 V	3X380V	3X380 V	3X380 V	3X380 V
<b>2- Caractéristiques du groupe électrogène</b>					
<b>a- Moteur</b>					
Marque : Deutz ou Equivalent	VM SUN	VM SUN	Lombardini	Lombardini	réseau ONE
Origine	Italie	Italie	Italie	Italie	
Type	2105	2105	9 LD675/2	9 LD675/2	
Nombre de cylindres (2 cylindres au minimum)	2	2	2	2	
Vitesse (1500 tours par minute)	OUI	OUI	OUI	OUI	

Refroidissement à l'air	OUI	OUI	OUI	OUI	
Démarrage électrique	OUI	OUI	OUI	OUI	

page 2/2


Caractéristiques exigées	Aïn Nekhla		Hamria Aouija	Chaala	Tlet Ziaida
	CR Bir Bir Ennasr	CR Bir Bir Ennasr	CR El Ghaba	CR S. Bettach	CR Ziaida
<b>b- Alternateur</b>					
<b>Marque</b>	<b>MECCALTE</b>	<b>MECCALTE</b>	<b>MECCALTE</b>	<b>MECCALTE</b>	
<b>Origine</b>	<b>Italie</b>	<b>Italie</b>	<b>Italie</b>	<b>Italie</b>	
<b>Puissance (selon CPS)</b>	<b>16 KVA</b>	<b>16 KVA</b>	<b>10 KVA</b>	<b>10 KVA</b>	
<b>vitesse (1500 tours par minute)</b>	<b>1500 tr/min</b>	<b>1500 tr/min</b>	<b>1500 tr/min</b>	<b>1500 tr/min</b>	
<b>Accessoire du groupe électrogène système d'arrêt du groupe lorsque la pompe est mise à l'arrêt par l'électrode</b>	<b>chassis+tableau de commande+batterie avec système d'arrêt automatique du groupe</b>	<b>chassis+tableau de commande+batterie avec système d'arrêt automatique du groupe</b>	<b>chassis+tableau de commande+batterie avec système d'arrêt automatique</b>	<b>chassis+tableau de commande+batterie avec arrêt automatique du groupe</b>	
<b>3- Caractéristiques de la colonne montante :</b>					
<b>diamètre de 63mm en acier galvanisé à chaud avec brides</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>
<b>4- Caractéristiques du câble d'alimentation :</b>					
<b>en cuivre de section adéquate, souple pour immersion permanente</b>	<b>3 x 2,5 mm<sup>2</sup></b>	<b>3 x 4 mm<sup>2</sup></b>	<b>3 x 1,5 mm<sup>2</sup></b>	<b>3 x 2,5 mm<sup>2</sup></b>	<b>3 x 6 mm<sup>2</sup></b>
<b>5- Caractéristiques des armoires :</b>	<b>Composants Marque ABB (Allemagne)</b>	<b>Composants Marque ABB (Allemagne)</b>	<b>Composants Marque ABB</b>	<b>Composants Marque ABB</b>	<b>Composants Marque ABB</b>
<b>avec protection du groupe et contenant un ampermètre, voltmètre, compteur horaires, alarme sonore et relais de niveau</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>



## **Exemple de fiche technique**

**Localité :** Sidi Zemmouri

### **1) Pompe :**

- Marque : Pedrollo (Italie)
- Type : 4SR8/23
- Débit : 2 l/s
- Puissance absorbée : 4 Kw
- HMT : 120 m
- Vitesse : 2900 tr/min
- Rendement : 65%
- Nombre d'étages : 23
- Diamètre de refoulement : 2''  63mm
- Clapet anti-retour : incorporé
- Teneur maxi en sables : 150 g/m<sup>3</sup>

### **2) Moteur :**

- Marque : Pedrollo
- Type : IP5
- Puissance : 5,5 CV
- Tension : 3X380V
- Intensité : 10 A
- Câble d'alimentation : submersible avec une section de 3x4 mm<sup>2</sup>

### **3) Métallurgie du groupe**

- Corps de pompe : Acier INOX AISI 304
- Roues : Acier INOX AISI 304
- Arbres : Acier INOX AISI 431
- Diffuseur : Acier INOX AISI 304
- Crépine d'aspiration : Acier INOX AISI 304

### **4) Groupe électrogène :**

- Marque : VM SUN (Italie)
- Alternateur : Meccalte
- Puissance : 16 KVA
- Vitesse de rotation : 1500 tr/min

### **5) Armoire de commande :**

- Marque : ABB
- Origine : Allemagne
- Contenu : contacteur, relais de niveau, relais de phase, disjoncteur moteur, commutateur, 3 voyants (eau, marche, défaut), fusibles, presse étoupe, ampèremètre, voltmètre, compteur horaire.





PERFORMANCE DATA AT  $n = 2900$  1/min

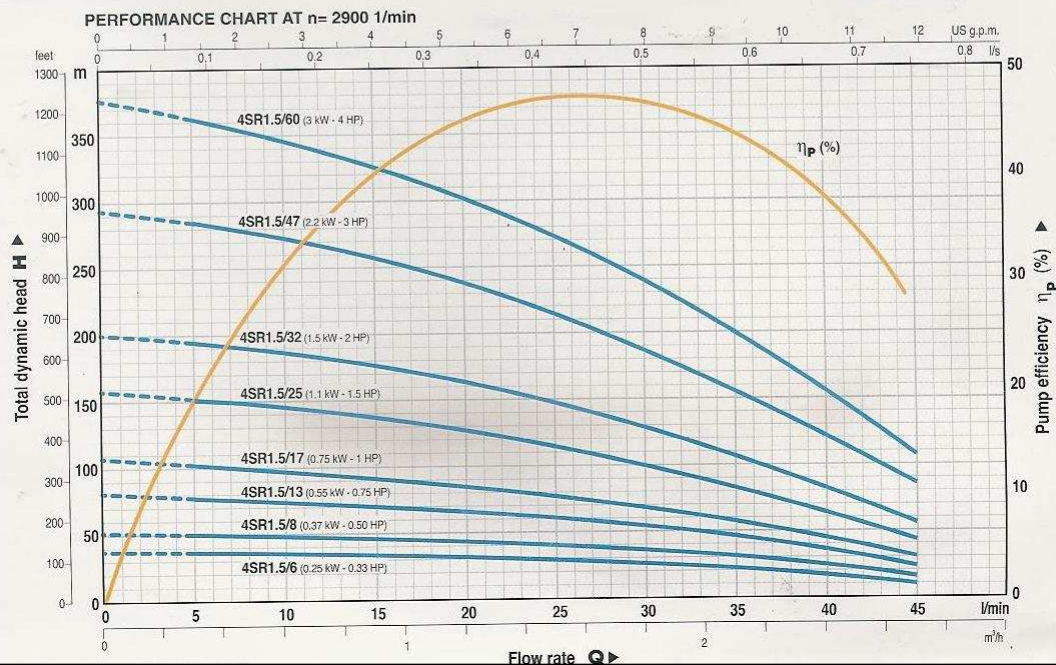
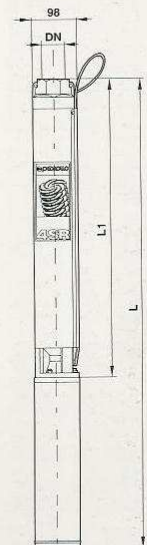
PUMP MODEL		POWER		Q m <sup>3</sup> /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
Single phase	Three phase	kW	HP		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
4SR1.5m/6	—	0.25	0.33	H m	38	36	34	33	30	27	24	20	15	11
4SR1.5m/8	4SR1.5/8	0.37	0.50		50	48	46	44	40	36	32	26	20	14
4SR1.5m/13	4SR1.5/13	0.55	0.75		81	78	75	71	66	59	52	43	33	23
4SR1.5m/17	4SR1.5/17	0.75	1		106	102	98	93	86	78	68	56	43	30
4SR1.5m/25	4SR1.5/25	1.1	1.5		156	151	144	136	127	115	100	83	64	45
4SR1.5m/32	4SR1.5/32	1.5	2		200	193	184	175	162	147	128	106	82	58
4SR1.5m/47	4SR1.5/47	2.2	3		294	283	271	256	238	216	188	156	120	85
—	4SR1.5/60	3	4		375	362	346	328	304	276	241	199	153	108

H = TOTAL DYNAMIC HEAD IN METERS. Q = FLOW RATE

PUMP MODEL	DN	DIMENSIONS mm		L1
		L Single phase	Three phase	
4SR1.5/6	1 1/4"	491	—	268
4SR1.5/8	1 1/4"	546	527	304
4SR1.5/13	1 1/4"	667	638	396
4SR1.5/17	1 1/4"	794	766	495
4SR1.5/25	1 1/4"	969	941	642
4SR1.5/32	1 1/4"	1128	1099	772
4SR1.5/47	1 1/4"	1534	1429	1073
4SR1.5/60	1 1/4"	—	1785	1362

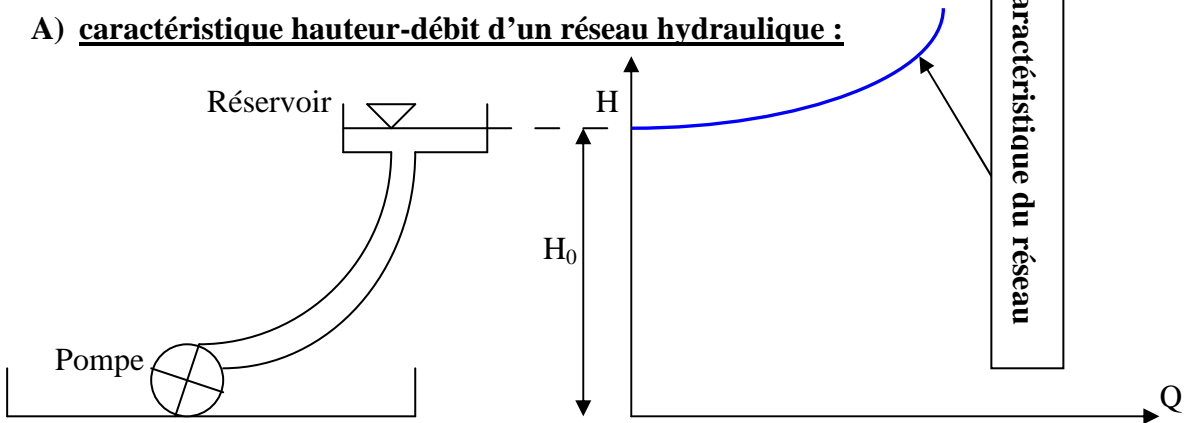
4 SR 1.5 / 6

- impellers number
- best efficiency point (m<sup>3</sup>/h)
- pump name
- well Ø (4")



**X) Fonctionnement d'une pompe sur un réseau hydraulique :**

**A) caractéristique hauteur-débit d'un réseau hydraulique :**

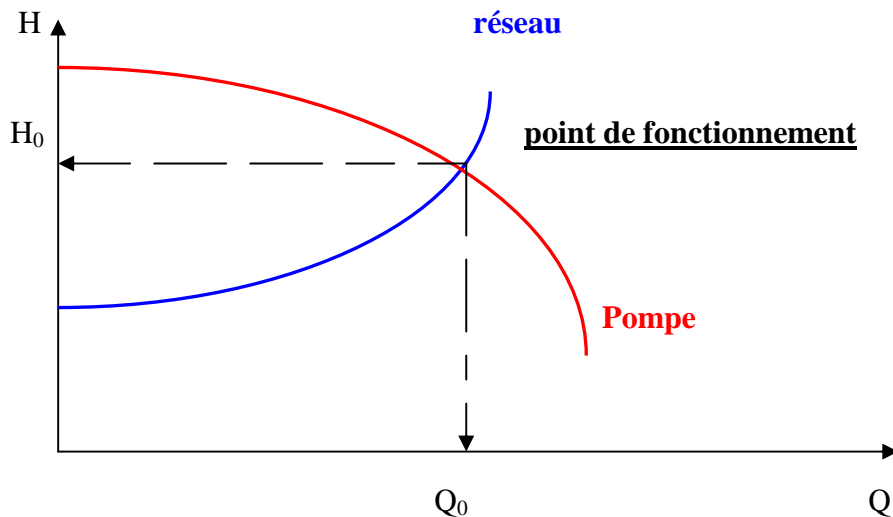


Dans la conception d'un réseau de distribution, l'eau doit parvenir au point le plus haut. L'eau doit donc vaincre une hauteur  $H = H_0 + \Delta H$  or  $\Delta H = KQ^2$  avec  $K = \text{constante}$

Donc  $H = H_0 + KQ^2$  c'est l'équation d'une parabole

**B) couplage d'une pompe et d'un réseau :**

La courbe caractéristique de la pompe  $Q = f(H)$  est une parabole décroissante, celle du réseau est une parabole croissante. Le point de fonctionnement est l'intersection des deux courbes.



**IX) le coût de l'énergie :**

**1) cas d'un pompage électrique :**

Lorsqu'il s'agit d'un pompage électrique, on a  $W_i = P \times N_i$  (1)

Avec  $W_i$  = énergie consommée en KWh  
 $N_i$  = nombre d'heures de fonctionnement  
 $P$  = puissance consommée

Or  $P = 9,8 \times Q \times \text{HMT} / 0,7$  (on a pris 70% comme rendement), donc  $P = 14 \times Q \times H$  (2)

Soit  $V_i$  le volume d'eau pompée,  $V_i = Q \times N_i \times 3600$  d'où  $Q = V_i / (N_i \times 3600)$  (3)

En combinant les équations (2) et (3), on obtient  $P = 0,004 \times V_i / N_i \times \text{HMT}$ ,  
D'après l'équation (1), on a

$$W_i = 0,004 \times V_i \times \text{HMT}$$

Avec  $W_i$  exprimé en KWh,  $V_i$  en  $\text{m}^3$  (volume d'eau pompé annuellement) et HMT en mètre

## 2) cas d'un pompage thermique :

Le raisonnement est le même que pour une pompe électrique mais on prendra un rendement de 50% uniquement. Ceci donnera à la fin :

$$W_i = 0,0054 \times V_i \times \text{HMT (m)}$$

Pour le pompage thermique, on adoptera une consommation de 0,34 litres de gasoil par KWh avec une majoration de 10% du coût global pour intégrer le coût des lubrifiants.

Exemple : avec un prix de gasoil de 8 Dh/litre, le coût énergétique annuel sera :

$$C = 0,0054 \times 0,34 \times 8 \times 1 \times V_i \times \text{HMT (m)}$$

$$C \text{ (Dh)} = 0,02 \times V_i \times \text{HMT (m)}$$

## IIIX) Quelques défauts de fonctionnement et causes probables :

### 1) la pompe ne fonctionne pas :

- pièces oxydés
- absence de jeu entre turbine et diffuseur
- voltage très bas
- fusible
- problème du moteur
- problème électrique

### 2) la pompe ne débite pas :

- immersion
- clapet ou crépine bouchée
- vitesse de rotation très basse
- rotation en sens contraire
- HMT élevé
- Arbre brisé
- Tuyaux obturés

### **3) débit insuffisant :**

- diamètre de la tuyauterie
- tuyauterie obturée partiellement
- vitesse de rotation très basse
- jeu entre diffuseur et turbine très grand
- turbine libre sur l'arbre (serrage)
- HMT élevée / capacité de la pompe
- Immersion insuffisante
- Tuyauterie percée ou non étanche
- Turbine brisée

### **4) pression insuffisante :**

- air ou gaz dans l'eau
- viscosité supérieure à la normale
- tous les points cités en (3)

### **5) la pompe débite puis coupe :**

- niveau d'eau inférieur à la première turbine
- immersion insuffisante
- $NPSH < NPSH_d$
- cavitation
- arbres non dressés

### **III.X) Coût du matériel de pompage :**

- Lorsque les caractéristiques techniques de dimensionnement sont fixés (Q, HMT, longueur colonne montante) pour la pompe et P (KVA) pour le groupe électrogène, les prix dépendent surtout de la qualité du matériel proposé et des marques présentes sur le marché. A l'heure actuelle, le choix est de plus en plus diversifié (mondialisation oblige).
- D'un autre côté, il y a les accessoires du matériel qui parfois et selon le maître d'ouvrage peuvent être nombreux (dispositif anti-bellier, pompes doseuses, automatismes...etc), tout dépend donc du cahier de charges. Citons toutefois que certaines marques sont connues à l'échelle internationale, à titre d'exemple :
  - **pompes** : Grundfos, SAER, Pedrollo, Lowara, Marelli
  - **groupes électrogènes** : Deutz, Lombardini, VMSUN
  - **Armoires de commande** : ABB

### **IV.X) les pompes doseuses :**

Afin d'assurer un traitement de l'eau à la sortie du captage pour aller rejoindre le château d'eau, on installe des pompes doseuses. On trouve sur le marché plusieurs types dont les caractéristiques techniques sont spécifiées par le constructeur.

**Exemple : Astral pool (marque espagnole)**

type	Débit en l/h	Pression en bar	Voltage et fréquence	Puissance en Watt	Ampérage
2-5	2	5	230 V 50-60 Hz	37	2,7
2-10	2	10	230 V 50-60 Hz	37	2,7
4-5	4	5	230 V 50-60 Hz	37	2,7
5-7	5	7	230 V 50-60 Hz	37	2,7
5-10	5	10	230 V 50-60 Hz	58	3,2
10-5	10	5	230 V 50-60 Hz	58	3,2
10-10	10	10	230 V 50-60 Hz	82	4,1
20-5	20	5	230 V 50-60 Hz	82	4,1

Ces pompes doseuses sont équipées d'armoires de commandes contenant les éléments suivants :

- débit de produit injecté
- dose ou concentration de produit injectée

Le débit q (l/h) à injecter est donné par la formule suivante :

$$q(l/h) = (Q(m^3/h) \times C(g/m^3)) / (D \times 3,17)$$

Avec, Q = débit d'eau à traiter à la sortie de la pompe, C = concentration de chlore en g/m<sup>3</sup>, D = degré chlorométrique de la solution injectée, exemple 1 degré correspond à 3,17 g de chlore par litre d'eau de javel

**Exemple d'appel d'offre**

**RABAT**

**N° Ordre : 446843**

**Date limite : 09/07/2007**

**Date d'ouverture de pli : 11/07/2007 à 10:00**

**Objet : Alimentation en eau potable du centre de Sidi Addi et deux douars avoisinants (province d'Ifrane)**

**- lot : équipement**

**Équipement d'une station de pompage sur forage N°R E 1583/22 pour Q = 12 l/s - HMT = 78 m, y compris équipements électriques, de javellisation, et d'un ballon anti-bélier de 50 litres**

**NB. Délai d'exécution est de : 6 mois**

**NB. lot : équipement : Secteur : 22 ; Qualification : 22-8 ; Classe : 3**



### Exercices 1:

Une pompe dont les caractéristiques sont données par les équations suivantes :

$$H \text{ (m)} = -0,1 Q^2 + 2Q + 35$$

$$P \text{ (Kw)} = 0,6Q + 3$$

$$\eta \% = 1,6 QH / (Q+5) \text{ avec } Q \text{ en l/s}$$

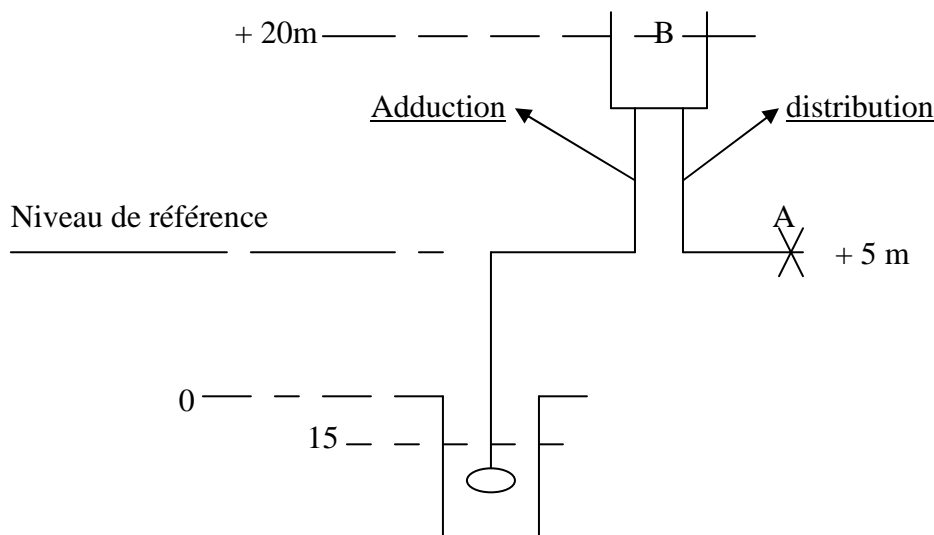
Refole d'une façon continue l'eau d'un puits dont le niveau dynamique se trouve à  $-15 \text{ m}$  par rapport au sol vers un réservoir dont le niveau du plan d'eau se trouve à  $+20 \text{ m}$  par rapport au sol.

- 1) déterminer l'expression de la caractéristique de la conduite de refoulement sachant qu'elle a une longueur  $l$ , un diamètre  $d$ , un coefficient de pertes de charges linéaires  $\lambda$  et un coefficient de pertes de charges singulières totales  $k$ .
- 2) sachant que les pertes de charges totales dans la conduite de refoulement (en m) et le débit (en l/s) sont liés par la relation  $\Delta H = 0,03 Q^2$

Déterminer le point de fonctionnement de la pompe ( $Q$ , HMT,  $P$ ,  $\eta\%$ )

Le réservoir alimente un point A situé à  $+5 \text{ m}$  par rapport au sol par une conduite de  $500 \text{ m}$  de longueur, de  $20 \text{ cm}$  de diamètre et dont les coefficients de pertes de charges sont  $\lambda = 0,02$  et  $k = 3$

- 3) calculer le débit donné par la conduite sachant que celle-ci fonctionne d'une façon continue durant 8 heures/jour.
- 4) Calculer la pression disponible au point A



### Réponses :

$$1) H = H_0 + KQ^2 \quad \text{avec } H_0 = 35\text{m}, \quad \Delta H = \Delta H_L + \Delta H_s$$

$$\Delta H_L = \lambda l/d V^2 / 2g \quad \text{or } Q = VS = v \Pi d^2 / 4, \quad \text{soit alors} \quad \Delta H_L = 8\lambda l Q^2 / \Pi^2 g d^5$$

$$\Delta H_s = K v^2 / 2g, \quad \text{soit } \Delta H_s = 8K Q^2 / g \Pi^2 d^4 \quad \text{d'où} \quad \Delta H = Q^2 ((8\lambda l / \Pi^2 g d^5) + (8k / g \Pi^2 d^4)) \quad (1)$$

$$H = 35 + Q^2 ((8\lambda l / \Pi^2 g d^5) + (8k / g \Pi^2 d^4))$$

$$2) H = H_0 + \Delta H, \text{ donc } H = 35 + 0,03 Q^2$$

$$\text{Puisque } H = -0,1 Q^2 + 2Q + 35, \text{ on aura alors } -0,1 Q^2 + 2Q + 35 = 35 + 0,03 Q^2$$

$$\text{La résolution de cette équation donne} \quad Q = 15,4 \text{ l/s}$$

En remplaçant Q par sa valeur dans les trois équations caractéristiques de la pompe, on obtient : **H = 42 m, P = 16 chevaux,  $\eta = 50\%$**

Calculons les pertes de charges totales dans la conduite en tenant compte des différentes valeurs données (équation 1), on obtient :

$$\Delta H = 2650 Q^2 \quad (2)$$

3)  $Q = 15,4 \text{ l/s}$ , en 24 heures le volume d'eau produit est  $V_j = 15,4 \times 3600 \times 24$  soit  $V_j = 1330 \text{ m}^3$ . La conduite de distribution doit donner ce volume d'eau pendant 8 heures,

$$\text{Soit } Q = 1330000 / 8 \times 3600 \quad \text{donc} \quad Q = 46 \text{ l/s}$$

$$\text{Pour ce débit et d'après l'équation (2), on obtient} \quad \Delta H = 5,6 \text{ m}$$

4) calculons la pression au point A par application du théorème de Bernoulli entre A et B

$$15 = P_A / \omega + 5,6, \quad \text{soit} \quad P_A / \omega = 9,4 \quad \text{d'où} \quad P_A = 1 \text{ bar}$$

## Exercice 2 :

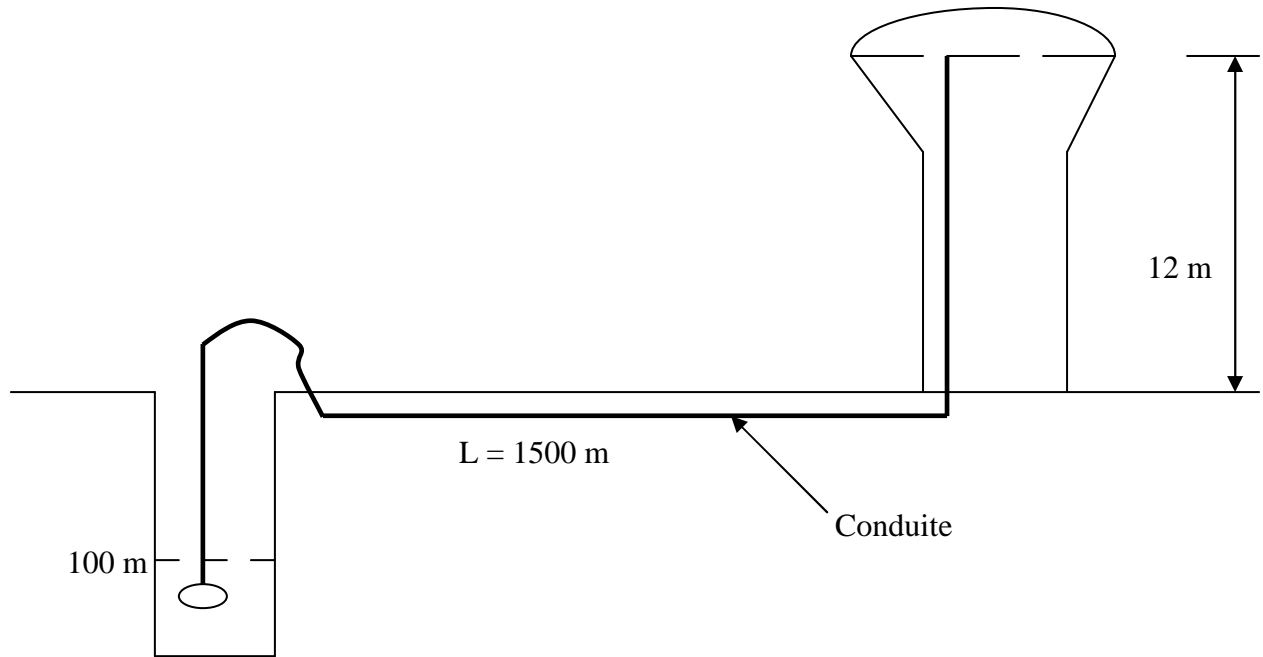
Pour alimenter en eau potable une agglomération de taille moyenne, une pompe électrique est installée dans un forage où le niveau dynamique est à 100m (niveau d'eau le plus bas après pompage). Le débit à refouler est de 15 l/s et ce dans un château d'eau surélevé dont la hauteur maximale du plan d'eau est à 12 m par le biais d'une tuyauterie de 1500 mètres de diamètre 150mm. Les coefficients de pertes de charges linéaires et singulières sont respectivement  $\lambda = 0,02$  et  $k = 0,3$ .

La localité à desservir en eau potable n'est pas électrifiée et on doit installer un groupe électrogène.

Déterminer les caractéristiques du matériel de pompage (prendre pour rendement global 70%.

Le volume annuel à produire pour satisfaire les besoins a été estimé à  $70000 \text{ m}^3$ , quel sera le coût énergétique annuel sachant que le tarif pratiqué est de 1,3 Dh/KWh.

**Réponses :**



1) la pompe aura un débit  $Q = 15 \text{ l/s}$

HMT = hauteur géométrique + pertes de charges

Hauteur géométrique =  $100 + 12 = 112 \text{ m}$

$$\Delta H = \Delta H_L + \Delta H_s \quad ; \quad \Delta H_L = \lambda l / d \cdot V^2 / 2g \quad ; \quad \Delta H_s = K v^2 / 2g$$

$$L = 1500 \text{ m} \quad d = 150 \text{ mm} \quad \lambda = 0,02 \quad k = 0,3$$

$$Q = VS = v \Pi d^2 / 4 \quad \text{d'où} \quad V = 4Q / \Pi d^2 \quad \text{A.N} \quad V = 0,85 \text{ m/s}$$

$$\Delta H_L = 0,02 \times 1500 / 150 \times 0,85^2 / 20 \quad \text{soit} \quad \Delta H_L = 7,2 \text{ m}$$

$$\Delta H_s = 0,3 \times 0,85^2 / 20 \quad \text{soit} \quad \Delta H_s = 0,01 \text{ m}$$

$$\Delta H = 7,21 \text{ m.}$$

$$\text{Donc HMT} = 112 + 7,21 = 119,21 \text{ m (on prendra HMT} = 120 \text{ m)}$$

2) la puissance nécessaire au pompage est  $P \text{ (KW)} = 9,8 \times 15.10^{-3} \times 120 / 0,7$  soit  $P = 25,2 \text{ KW}$

$25,2 / \cos(\Phi) = 25,2 / 0,8 = 31,5 \text{ KVA}$  ; en majorant cette puissance par un rapport  $I_d / I_n = 3$  ; on aura une puissance au démarrage de **95 KVA**. (**Nécessité d'un groupe électrogène de puissance 95 KVA**).

3) l'énergie électrique consommée en KWh est  $W_i = 0,004 \times V_i \times \text{HMT}$  avec  $V_i$  = volume annuel produit  $A.N = W_i = 33600 \text{ KWh}$ , soit un coût annuel de  $1,3 \times 33600 = \mathbf{43680 \text{ Dhs}}$

### **Exercice 3 :**

Une agglomération rurale s'alimente en eau potable à partir d'un puits équipé d'une pompe thermique de débit  $Q = 2 \text{ l/s}$  et une HMT = 60m. Sachant qu'au cours de l'année la pompe fonctionne en moyenne 5 heures par jour, quels seront les frais énergétiques annuels.

### **Réponses :**

D'après la formule établie en cours  $C \text{ (Dh)} = 0,02 \times V_i \times \text{HMT}$

La production d'eau journalière est  $V_j = 2 \times 5 \times 3600 = 36 \text{ m}^3$  ; au bout d'une année  $V_i = 36 \times 365 = 13140 \text{ m}^3$

$C = 0,02 \times 13140 \times 60 = \mathbf{15768 \text{ Dhs}}$

### **Exercice :**

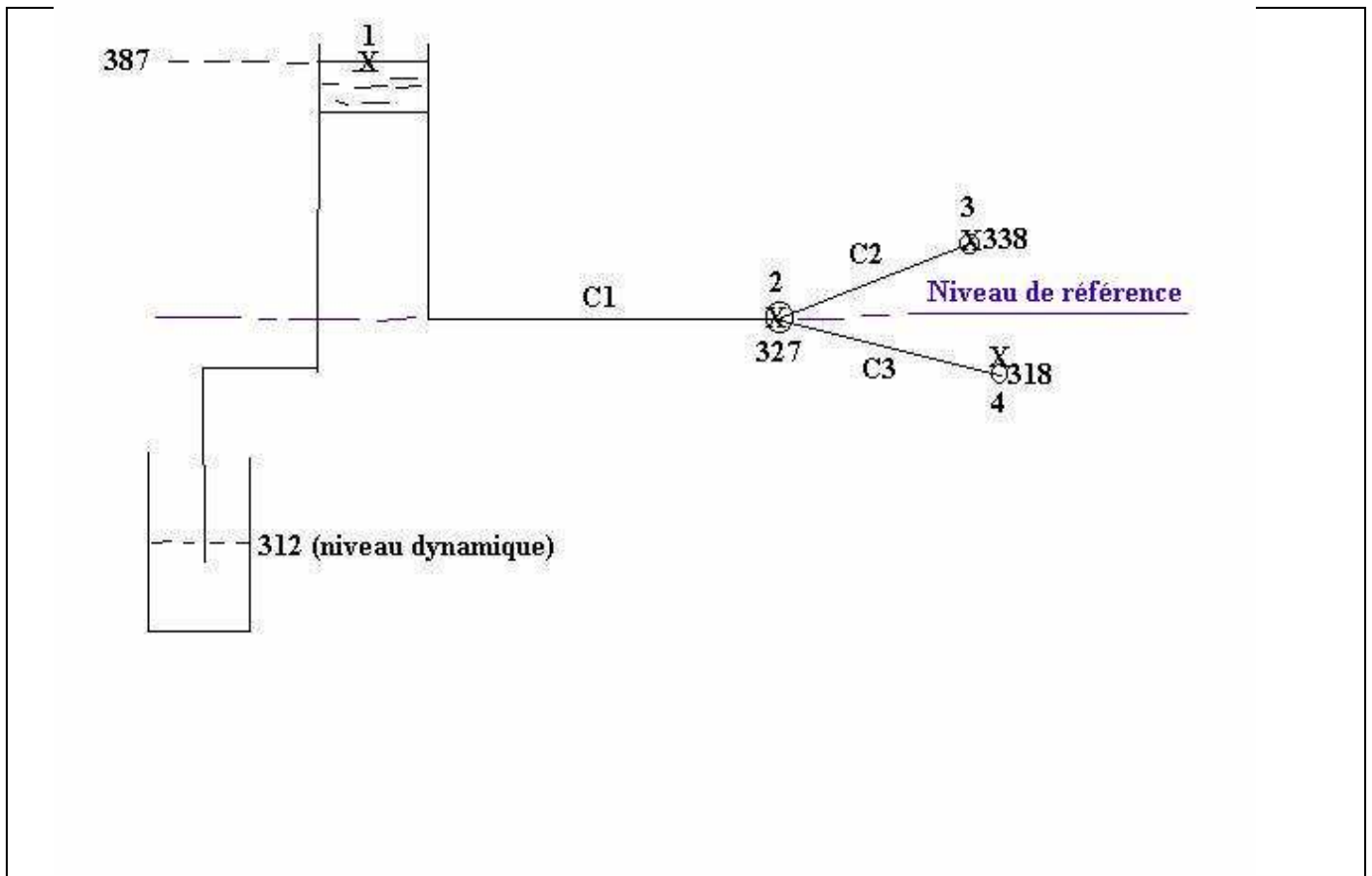
Un centre rural est alimenté en eau par le dispositif hydraulique schématisé ci-dessous, et dont les caractéristiques sont comme suit :

- Nombre total d'habitants : 4200
- Besoins de pointe (tout usages confondus) à l'horizon 2015 : 100 litres/jour/habitant
- Longueur de la conduite de refoulement : 150 m
- Pertes de charges dans la conduite de refoulement : 0,02 m/m
- C1 est une conduite d'adduction, C2 et C3 sont des conduites de distribution.

Conduite	Nombre d'habitants	Longueur (m)	Pertes de charges m/m	Vitesse admise en m/s
C1	0	1500	0,010	1,2
C2	1600	420	0,005	0,6
C3	2600	600	0,008	0,8

- 1) déterminer les caractéristiques de la pompe à installer sachant qu'elle sera entraînée par un groupe électrogène (prendre pour rendement global 65%).
- 2) Déterminer les diamètres des conduites C1, C2, et C3.

3) Calculer les pressions disponibles à l'aval de chaque conduite.



### Réponses :

la pompe doit pouvoir débiter  $Q = 4200 \times 100 \text{ l/j}$ , soit  $Q = 5 \text{ l/s}$ . la hauteur manométrique est  $HMT = \text{hauteur géométrique} + \text{pertes de charges}$ .

La hauteur géométrique =  $387 - 312 = 75 \text{ m}$ , pertes de charges =  $150 \times 0,02 = 3 \text{ m}$   
 $HMT = 75 + 3 = 78 \text{ m}$ .

La puissance à développer par le groupe électrogène est  $P(\text{kw}) = 9,8 \times 5 \cdot 10^{-3} \times 78 / 0,65$  soit  $P = 5,88 \text{ kw}$ ,  $P/\cos(\phi) = 5,88/0,8 = 7,35 \text{ KVA}$ , au démarrage on aura besoin d'une puissance d'environ  $3 \times 7,35 = 22 \text{ KVA}$  ;

1) le diamètre de la conduite C1 on a,  $Q_1 = V_1 S_1 = v \pi d^2 / 4$  or  $Q = 5 \text{ l/s}$ , soit alors  $d_1 = \sqrt{(4Q/\pi V)}$ , d'où  **$d_1 = 73 \text{ mm}$** .

Même raisonnement pour les conduites C2 et C3 avec  $Q_2 = 1600 \times 100 \text{ l/j} = 1,85 \text{ l/s}$  et  $Q_3 = 2600 \times 100 \text{ l/j} = 3 \text{ l/s}$ . tout calcul fait, on trouve  $d_2 = 62 \text{ mm}$  et  $d_3 = 70 \text{ mm}$ .

2) il suffit d'appliquer le théorème de Bernoulli entre 1 et 2, entre 2 et 3, entre 2 et 4

Entre 1 et 2 :



$$60 = P_2/\omega + 1,44/20 + (1500 \times 0,010) \text{ soit alors } \mathbf{P_2 = 4,5 \text{ bars}}$$

Entre 2 et 3 :

$$P_2/\omega + 1,44/20 = 11 + P_3/\omega + 0,36/20 + (420 \times 0,005) \text{ soit alors } \mathbf{P_3 = 3,2 \text{ bars}}$$

Entre 2 et 4 :

$$4,5/\omega + 1,44/20 = 9 + 0,64/20 + P_3/\omega + (600 \times 0,008) \text{ soit alors } \mathbf{P_3 = 3,1 \text{ bars}}$$

### Stations de pompage de L'ONEP



**Exemple de bordereau de prix extrait de CPS**

**FOURNITURE, TRANSPORT, ET INSTALLATION DE (04) QUATRE POMPES POUR L'EQUIPEMENT DE (04) QUATRE POINTS D'EAU DESTINES A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE (04) QUATRE AGGLOMERATIONS RURALES DANS LA PROVINCE DE CHICHAOUA – WILAYA DE MARRAKECH-**

**DETAIL ESTIMATIF**

N° des prix	Désignation des prestations	Unité de mesure ou de compte	Quant.	Prix unitaire en DHS (hors TVA) en chiffres	Prix total
1	2	3	4	5	6=4x5
1	<b>- Fourniture, transport et installation d'un groupe électro-pompe, immergé, ayant les caractéristiques suivantes :</b>  Q= 2 l/s; HMT = 220 m U= 380 v – triphasé. <b><u>L'Unité :</u></b>	L'Unité	02		
2	<b>- Fourniture, transport et installation d'un groupe électro-pompe, immergé, ayant les caractéristiques suivantes :</b>  Q= 2 l/s; HMT = 180 m U= 380 v – triphasé. <b><u>L'Unité :</u></b>		01		
3	<b>- Fourniture, transport et installation d'un groupe électro-pompe, immergé, ayant les caractéristiques suivantes :</b>  Q= 2 l/s; HMT = 130 m U= 380 v – triphasé. <b><u>L'Unité :</u></b>	L'Unité	01		
4	<b>- Fourniture et installation de colonnes montantes et conduites d'amenée en acier galvanisé Ø 65 mm y compris brides à encoches et boulons</b> <b><u>Le mètre Linéaire</u></b>	ML	725		
5	<b>- Fourniture et mise en place du câble électrique qui relie les groupes électrogènes et les armoires de commande y compris les accessoires nécessaires</b> <b><u>Le Mètre linéaire :</u></b>	ML	80		
6	<b>- Fourniture et mise en place du câble électrique qui relie l'armoire de commande et l'électro-pompe immergée.</b> <b><u>Le Mètre linéaire :</u></b>	ML	765		

DETAIL ESTIMATIF (Suite 1)					
N° des prix	Désignation des prestations	Unité de mesure ou de compte	Quant	Prix unitaire en DHS (hors TVA) en chiffres	Prix total
1	2	3	4	5	6=4x5
7	- Fourniture et installation du groupe électrogène pour alimenter les groupes électro-pompes sous 380 V de puissance 30 KVA. (1500 tr/min) <b><u>L'Unité</u></b>	U	01		
8	- Fourniture et installation du groupe électrogène pour alimenter les groupes électro-pompes sous 380 V de puissance 17 KVA. (1500 tr/min) <b><u>L'Unité</u></b>	U	01		
9	- Fourniture, et installation d'armoires de commande y compris tous les accessoires <b><u>L'Unité</u></b>	U	04		
10	-Fourniture et installation des vannes de sectionnement de diamètre 2 "1/2 y compris toutes les sujétions. <b><u>L'Unité</u></b>	U	04		
11	- Fourniture et mise en place de clapets anti- retour de diamètre 2" 1/2 y compris toutes sujétions. <b><u>L'Unité</u></b>	U	04		
12	Fourniture et installation de compteurs volumétriques y compris toutes sujétions. <b><u>L'Unité</u></b>	U	04		
13	- Fourniture et installation de ventouses y compris toutes sujétions. <b><u>L'Unité</u></b>	U	04		
14	- Fourniture d'un jeu complet de filtres (air, huile et gasoil) pour le moteur du groupe électrogène comme pièces de rechange. <b><u>L'Unité</u></b>	U	04		
15	- Fourniture et mise en place du câble électrique reliant les armoires de commande au réseau électrique de l'ONE. <b><u>Le mètre linéaire :</u></b>	ML	600		

## DETAIL ESTIMATIF (Suite 2)

N° des prix  1	Désignation des prestations  2	Unité de mesure ou de compte  3	Quant  4	Prix unitaire en DHS (hors TVA) en chiffres 5	Prix total  6=4x5
16	- Remise en état des dommages occasionnés sur les ouvrages de génie civil lors de la mise en place du matériel de pompage <b><u>Le Forfait:</u></b>	F	04		

Total hors T.V.A=

T.V.A (14 %) =

Total T.T.C =

**Arrêté le présent détail estimatif T.T.C à la somme de :**

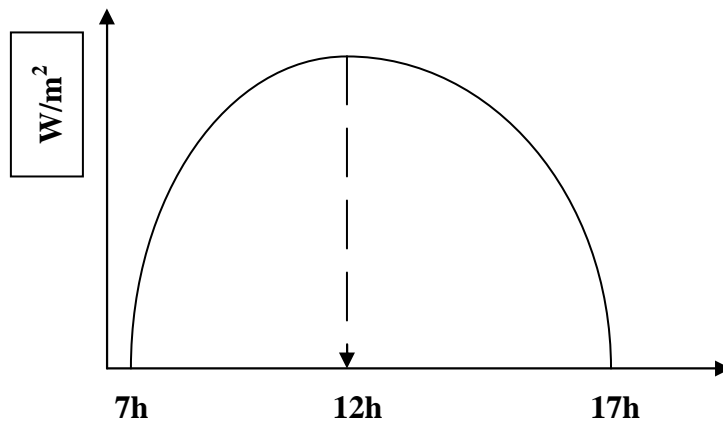
## Les énergies renouvelables et le pompage de l'eau

### **I) Introduction :**

L'application des énergies renouvelables dans le pompage de l'eau se matérialise principalement au niveau du pompage solaire et le pompage éolien. L'avantage principal de ces types de pompage est la gratuité de l'énergie, tant que le grand inconvénient réside dans l'investissement initial qui est trop lourd.

### **II) le pompage solaire ou photovoltaïque :**

Ce système de pompage est avantageux lorsque l'ensoleillement est important, ainsi le débit fourni par une pompe solaire est maximal au milieu de la journée et minimal pendant le matin et soir.



L'équipement du pompage solaire comprend :

- un générateur constitué de panneaux ou modules photovoltaïques qui convertissent le rayonnement solaire en courant continu
- un convertisseur (onduleur) à fréquence variable permettant la variation de la vitesse de la pompe au cours de la journée en fonction de l'intensité de l'ensoleillement. L'onduleur convertit le courant continu en courant alternatif triphasé pour alimenter le moteur de la pompe.
- une pompe centrifuge multicellulaire couplée à un moteur électrique. ce groupe motopompe est généralement d'un diamètre de 4'' pour  $Q < 25 \text{ m}^3/\text{j}$  ou de 6'' pour les débits de 25 à  $150 \text{ m}^3/\text{j}$ .

Le dimensionnement d'une installation de pompage photovoltaïque c'est-à-dire le nombre de panneaux est fonction de la puissance en crête

La puissance en crête  $P_C$  est la puissance maximale générée par un module photovoltaïque à température ambiante (généralement  $25^\circ\text{C}$ ) sous un flux de rayonnement solaire incident de  $1000 \text{ Watt/m}^2$ . (Le  $\text{W/m}^2$ ) est la puissance du rayonnement solaire par unité de surface.

La puissance crête est déterminée en fonction du débit, du HMT, et de l'ensoleillement au droit du site. (Il y a une carte d'ensoleillement du Maroc).



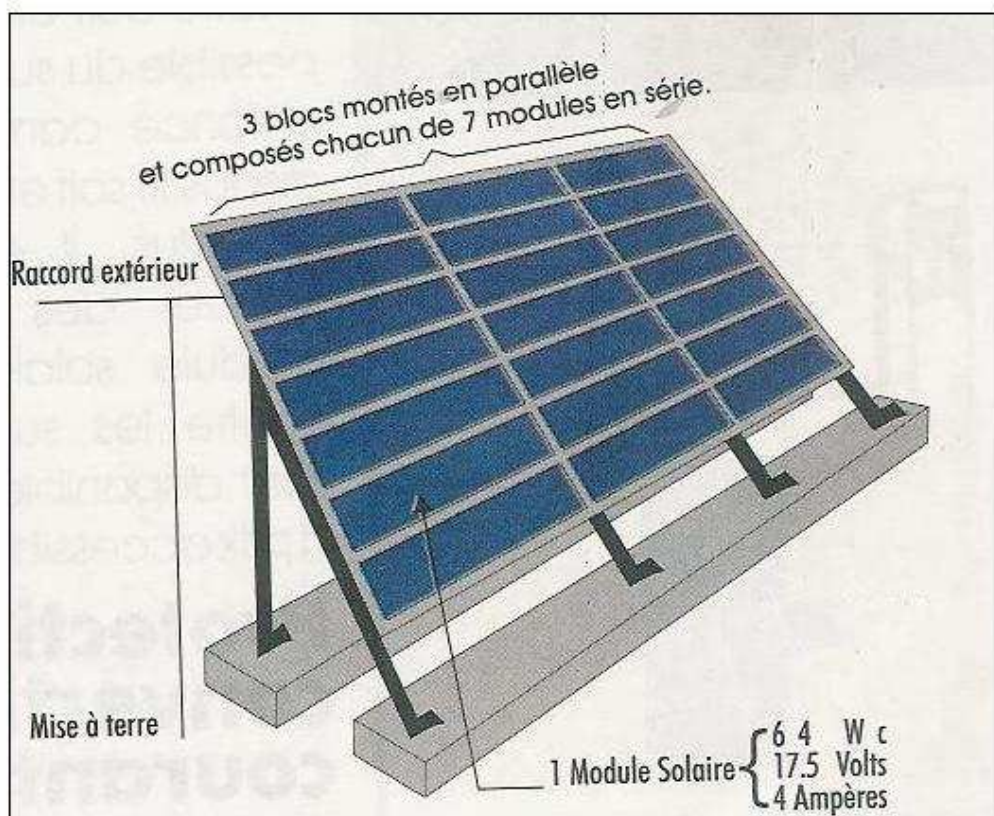
On parle également de Watt crête ( $W_C$ ) pour définir l'unité de mesure de puissance électrique d'un module photovoltaïque.

La puissance crête est calculée par la formule :  $P_C = 10 / (I_r \times Q \times HMT)$

Avec  $I_r$  = irradiation en  $KWh/m^2/jour$

**Exemple** :  $I_r = 5,5 KWh/m^2/jour$  ;  $Q = 18 m^3/jour$  ;  $HMT = 41 m$      $P_C = 1342 W_C$

Si le générateur solaire proposé est composé de modules de  $64 W_C$ , il faudrait 21 unités. Après, il faut voir de quelle manière (en série ou en parallèle) les blocs vont être montés.



La plage de fonctionnement des pompes solaires se trouve généralement dans la gamme suivante :

$$10 < Q < 150 m^3/j \quad (1,74 l/s \text{ en fictif continu})$$
$$15 < HMT < 60 m$$

Le pompage solaire n'est donc adapté que pour des débits faibles.

### III) le pompage éolien :

Ce type de pompage est intéressant dans les zones où la vitesse du vent est favorable (comprise entre 4 et 6 m/s, exemple région d'Essaouira).

Le pompage de l'eau par énergie éolienne peut se présenter selon les deux systèmes suivants :

- l'éolienne multipale couplée à une pompe à tringlerie.
- L'aérogénérateur produisant du courant électrique pour alimenter une pompe immergée.

Les performances du pompage éolien sont également limitées. En zone favorable, on a :

**$10 < Q < 30 \text{ m}^3 / \text{j}$  (0,35 l/s en fictif continu)**

**$15 < \text{HMT} < 50 \text{ m}$**

**Eolienne sur un puits dans la région d'Essaouira**



## Les conduites d'eau

### **I/- Introduction :**

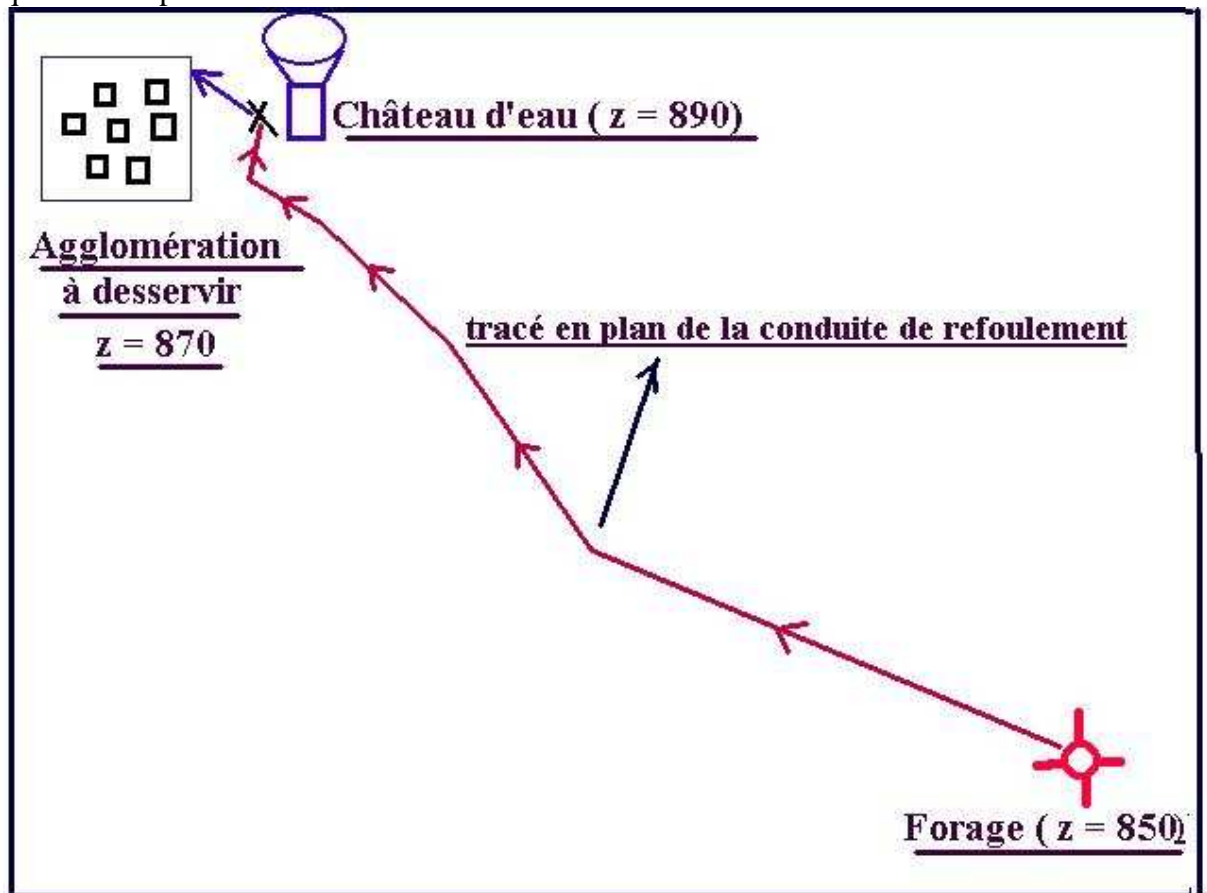
Les conduites constituent l'élément assurant le transfert de l'eau. Plusieurs caractéristiques sont à préciser lors du choix d'une conduite à savoir : nature, longueur, diamètre, pression de service. Ce sont ces 4 paramètres qu'il faut préciser dans le calcul d'une conduite. Il est clair qu'un dimensionnement d'une conduite doit être conçu de manière à minimiser les pertes de charges. Sur le plan économique, le calcul d'une conduite doit tenir compte des paramètres suivants :

- ❖ L'investissement initial
- ❖ Le phasage de réalisation (chronologie de réalisation)
- ❖ Les frais d'exploitation
- ❖ Les frais d'entretien et de renouvellement.

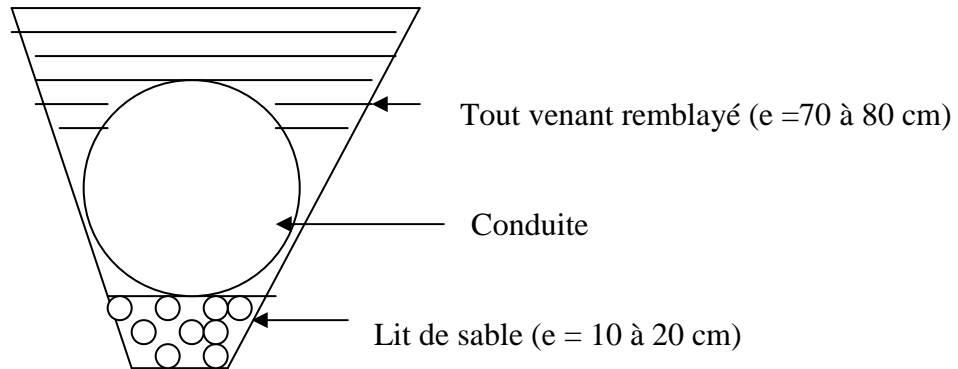
### **II/- Les paramètres de dimensionnement :**

#### **II-1- Longueur :**

La longueur de la conduite est tributaire du tracé de la conduite, lui même dépendant du profil topographique de l'amont jusqu'à l'aval. (De la pompe jusqu'à l'utilisateur). Pour protéger les conduites, il vaut mieux les enterrer. Certaines précautions doivent être prises pour protéger les conduites et en particulier contre les coups de Bélier qu'on verra plus loin.



Une conduite doit être généralement enterrée et posée sur une couche de sable (10 à 20 cm) puis remblayée par un tout venant sélectionné. En terrain meuble, le lit de pose sera constitué par du sable fin, en terrain rocheux par de la gravette. La conduite doit être auscultée de temps à autre et notamment en matière de fuites : c'est en fait ce qui conditionne le rendement et l'efficacité du réseau.



La conduite doit être aussi protégée contre la corrosion. Ce phénomène peut agir sur la paroi extérieure (exemple : à cause de l'humidité du sol) comme sur la paroi intérieure (cas d'une eau corrosive). Il convient à cet effet de passer sur la conduite et à l'intérieur un revêtement protecteur tel que les peintures.

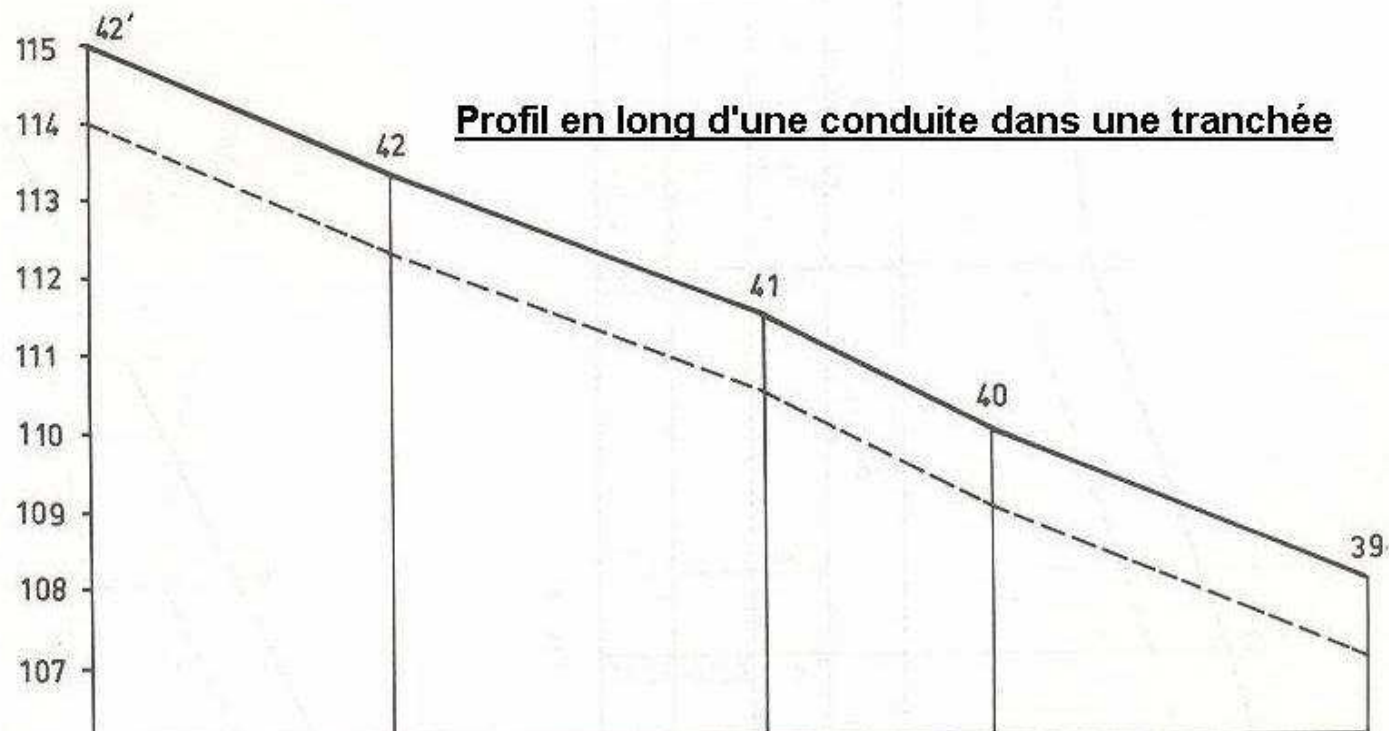
**Remarque :**

Lorsqu'un écoulement est conçu d'être gravitaire au sein d'une conduite, il faut que les pertes de charges totales soient inférieures à la hauteur géométrique disponible.

**Terrassement et pose d'une conduite**







La guitare



## **II-2- Pression de service :**

C'est la pression maximale à laquelle peut résister une conduite donnée sans éclatement ou fissuration. Cette pression dépend du matériau constituant la conduite et du diamètre. Cette pression est donnée par le constructeur et peut être testée avec des essais de pression en tranchée. Ainsi, on trouvera sur le marché PN6, PN10, PN16 etc. (pression nominale 6 bars, 10 bars, 16 bars). Remarquons au passage qu'il est toujours intéressant d'installer des manomètres sur les conduites afin de pouvoir contrôler la pression de l'eau.

L'essai en tranchée à une durée minimale d'une demi heure et ne devra en aucun cas excéder 2 heures.

### **Remarque :**

- La pression de service dépend aussi du régime de fonctionnement au sein d'un réseau hydraulique. En gravitaire, c'est la pression qui règne en tout point de la canalisation en régime statique. En refoulement, c'est la pression qui règne en régime dynamique. Ces valeurs sont souvent majorées de 1 à 2 bars pour résister aux coups de bélier.
- On appelle **classe d'une conduite**, la pression à laquelle elle est éprouvée en usine. Il est recommandé d'utiliser des conduites dont la classe est le double de la pression de service

## **II-3- Diamètre :**

Le choix du diamètre doit être optimal en tenant compte des considérations suivantes :

- ❑ En augmentant le diamètre, on augmente le prix de la conduite, mais en contrepartie, on diminue très vite les pertes de charges et par suite les dépenses en énergie pour faire circuler l'eau.
- ❑ En diminuant le diamètre, on augmente les pertes de charge et on crée des surpressions sur les parois de la conduite mais en contrepartie, on diminue le coût.

Il faut donc trouver un compromis et chercher un diamètre qui optimise les différents paramètres hydrauliques et en particulier, la vitesse, les pertes de charges et la pression. (Le débit à véhiculer est fixé une fois pour toutes, il doit correspondre au débit de pointe). Le diamètre à chercher est appelé diamètre économique. Les contraintes à respecter sont comme suit :

- ❖ La vitesse doit être de l'ordre de 1 m/s, la vitesse minimale est de l'ordre de 0,5 m/s pour éviter les dépôts, le maximum est de l'ordre de 1,5 m/s pour éviter les bruits et les coups de bélier)
- ❖ Les pertes de charges doivent être minimales
- ❖ La pression demandée au niveau de l'utilisation doit être assurée

**Remarque :** Pour le choix du diamètre, Il est obligatoire de tenir compte de l'horizon de l'étude pour satisfaire les besoins à travers le débit transitant.

Pou faire ce choix, il y a lieu de faire un certain nombre de simulations avec des diamètres donnés et choisir celui qui répond le mieux.

**Exemple pour l'alimentation en eau potable d'un petit douar:**

D (pouces)	Q (l/s)	V (m/s)	Re (Nombre de Reynolds)	$\lambda$	Longueur de la conduite (m)	$\Delta H$ (m)
1,5	1	0,88	29329	0,065	18	1,3
2	1	0,5	21997	0,058	18	0,28
2,5	1	0,32	17598	0,054	18	0,08
3	1	0,22	14665	0,051	18	0,03

**Solution retenue :** D= 2 pouces (diamètre minimisant les pertes de charges et permettant une vitesse acceptable).

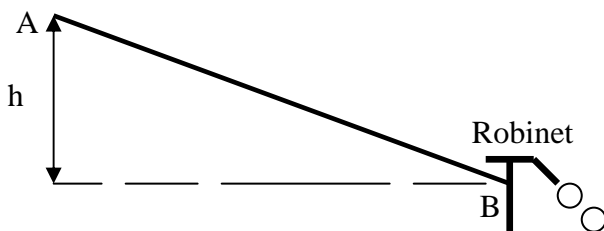
**N.B / :** La valeur de  $\lambda$  a été calculée sur ordinateur (Excel  $\equiv$  outils  $\equiv$  valeur cible)

**Autres approches:**

• **cas du pompage :**

On adopte directement  $V = 1\text{m/s}$ ,  $Q = VS = V\pi d^2 / 4$  soit  $d \text{ (m)} = 2 \sqrt{(Q/\pi)}$

• **cas du gravitaire :**

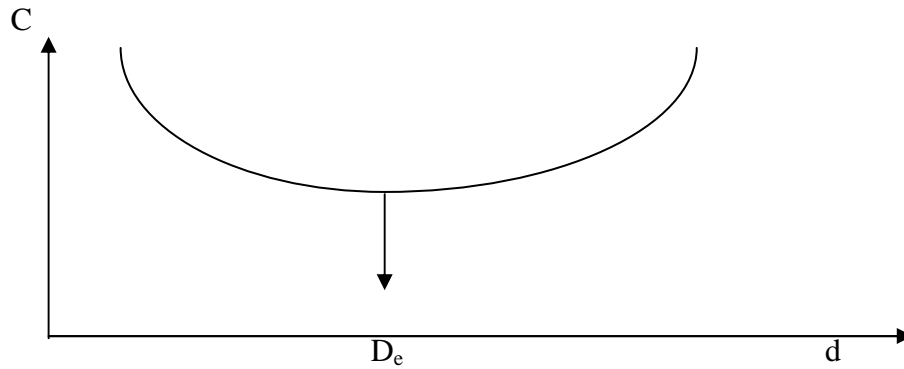


Pour que l'eau arrive du point A pour alimenter le robinet de la maison située au point B, il faut adopter un diamètre d tel que :  $\Delta H_{AB} < h$

**NB :** le débit unitaire d'un robinet est en moyenne de 6 litres/minute = 0,1 l/s. le nombre de robinets pour satisfaire les besoins d'une agglomération = **besoins de pointe à satisfaire (l/s)/0,1. La pointe journalière = besoins moyens (l/s) x Kp**, Kp est le coefficient de pointe journalier (24h/durée d'ouverture des robinets). En général, cette durée est prise égale à 8 heures ce qui donne **Kp =3**. Les conduites de distributions doivent donc avoir des diamètres capables de véhiculer ce débit

• **analyse économique :**

La méthode consiste à évaluer les différents coûts actualisés avec des taux de 8%, 10%,12% et tracer la courbe  $C = f(d)$  qui présente un minimum, c'est le diamètre économique.



Dans la pratique courante, on fait cette analyse avec 3 ou 4 diamètres proches, et on calcule le prix de revient du  $\text{m}^3$  d'eau avec les diamètres étudiés. Le diamètre économique est celui minimisant le prix de revient.

**Remarques** : le plus souvent et pour des réseaux comportant plusieurs conduites, on a recours de Plus en plus aux logiciels informatiques. **Exemple** : **Piccolo, Epanet, Loop**

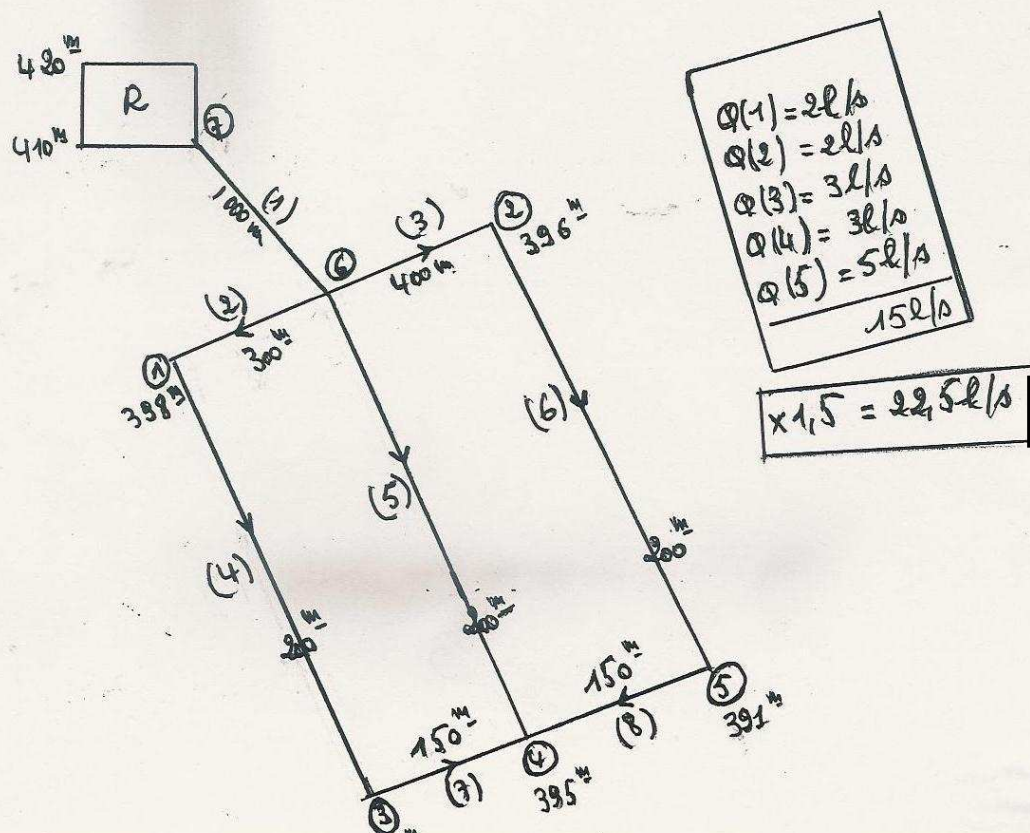
## Exemple de calcul de diamètre avec le logiciel Loop

T I T L E : AEP  
 NO. OF PIPES : 8  
 NO. OF NODES : 7  
 PEAK FACTOR : 1.5  
 MAX HEADLOSS/Km : 10  
 MAX UNBAL (LPS) : 0

## Simulation N°1

PIPE NO.	FROM Node	TO Node	LENGTH ( M )	DIA (MM)	HWC	FLOW (LPS)	VELOCITY (MPS)	HEADLOSS (M/KM)	HEADLOSS ( M )
1	7	6	1000.00	120	130	22.50	1.99	35.67HI	35.6
2	6	1	300.00	20	130	0.71	2.27	370.40HI	111.1
3	6	2	400.00	20	130	3.00	9.55	999.99HI	999.9
4	3	1	200.00	40	130	2.29	1.82	109.37HI	21.8
5	6	4	200.00	70	130	18.79	4.88	352.64HI	70.5
6	3	5	200.00	80	130	0.35	0.07LO	0.12	0.0
7	4	3	150.00	60	130	7.14	2.53	124.79HI	18.7
8	4	5	150.00	60	130	7.15	2.53	124.95HI	18.7

NODE NO.	FLOW (LPS)	ELEVATION ( M )	H G L ( M )	PRESSURE ( M )
1	-3.000	398.00	273.21	-124.79
2	-3.000	396.00	-1729.37	-2125.37
3	-4.500	392.00	295.09	-96.91
4	-4.500	395.00	313.81	-81.19
5	-7.500	391.00	295.06	-95.94
6	0.000	400.00	384.33	-15.67
7 R	22.500	410.00	420.00	10.00



Dans la littérature on peut trouver certaines formules empiriques pour le calcul du diamètre et dont les plus connues sont :

a- Formule de Bresse :  $D (m) = \sqrt[3]{Q}$  avec Q en m<sup>3</sup>/s.

b- Formule de Vibert : (pour les conduites en fonte).

$$D = 1,456(n.e)^{0,154} \times Q^{0,46}$$

$\phi$

Avec D = diamètre en mètre

n = nombre d'heures de pompage sur 24 heures

e = prix du kilowatt- heure d'énergie électrique

$\phi$  = prix du kilogramme de fonte

Q= Débit à véhiculer en m<sup>3</sup>/s

#### **II-4- Nature des conduites :**

Suivant les diamètres, les pressions supportées et les conditions d'installation, on est amené à réaliser les conduites en charge avec des matériaux de nature et de types différents.

##### **a- Tuyaux en fonte :**

Ils sont couramment utilisés pour la distribution comme pour l'assainissement. Ils supportent une pression de service atteignant 50 bars pour les tuyaux ne dépassant pas 0,60 m de diamètre et 40 bars pour les diamètres supérieurs.

##### **b- Tuyaux en acier :**

La pression de service dans ces canalisations peut atteindre :

- \* 60 bars jusqu'à 150 mm de diamètre (Ø 150)
- \* 50 bars jusqu'à 275 mm de diamètre (Ø 275)
- \* 40 bars jusqu'à 275 mm de diamètre (Ø 400)

L'inconvénient de ces conduites est qu'elles sont sensibles à la corrosion, pour remédier à ce problème on a recours à l'acier galvanisé.

##### **c- Tuyaux en béton :**

A cause de son prix bon marché par rapport au métal, le béton est utilisé lorsqu'il est possible pour la confection de tuyaux.

Les faibles effets dus à la pression dans les tuyaux usuels en béton rendent relativement importantes les charges extérieures dues au remblai qui couvre ces tuyaux ainsi qu'éventuellement aux véhicules. Les tuyaux doivent bien entendu résister à l'écrasement dû à ces charges. On définit pour estimer cette résistance, une charge de fissuration F et une charge de rupture R, toutes deux rapportées au mètre linéaire de canalisation. La charge de



fissuration est celle qui développe dans la conduite une fissure de 0,2 mm de largeur et de 1,30 m de longueur.

**d- Tuyaux en plastique :**

L'usage des tuyaux en plastique se répand de plus en plus, sous forme soit de plastique dur pour l'assainissement, soit de plastique dur ou de plastique mi- souple pour la distribution d'eau. Ces tuyaux beaucoup moins rugueux ont donc l'avantage de diminuer les pertes de charge. Les joints sont facilement réalisés soit par collage, soit par soudure à l'air chaud (cas du PVC).

Actuellement et compte tenu des progrès technologiques, les conduites en plastique utilisés sont de plus en plus le polyéthylène haute densité (**PEHD**), son grand avantage réside dans le fait qu'il épouse facilement la topographie du terrain puisqu'il est livré en rouleau.



**Rouleau de PEHD en usine**

Pour les petits diamètres, on a de Ø20 jusqu'à Ø110 avec des pressions de services de 6 bars, 10 bars et 16 bars. Pour les grands diamètres, on arrive jusqu'à Ø250 .

**Remarque :**

Il est fréquent de trouver plusieurs natures de conduites sur un même tracé et également avec des variations dans le diamètre.

**III) Equipement des conduites :**

En tenant compte de la topographie et du tracé de la conduite, il faut équiper les points hauts et les points bas, surtout lorsqu'il s'agit d'un linéaire de conduite très important.

**Points hauts :**

Le problème est souvent l'accumulation de l'air aux points hauts, on installe souvent **des ventouses à double effet** (dégazage et évacuation de l'air). Ce dispositif comporte généralement :

- une ventouse pour purgeage
- une vanne de garde pour le démontage et le remplacement de la ventouse.
- Un Té raccordé à la conduite par des joints.

Ces équipements sont placés dans un regard en béton armé doté d'un tampon de visite et une échelle pour accès.

### **Points bas :**

Ce sont les points où la pression d'eau est maximale, on installe souvent des vidanges composées de :

- un Té raccordé à la conduite par des joints
- une vanne de sectionnement
- un tronçon de conduite pour le raccordement au point de vidange

Le diamètre de la vidange doit être au minimum égal au  $\frac{1}{4}$  du diamètre de la conduite. Tous ces équipements doivent être également placés dans un regard.

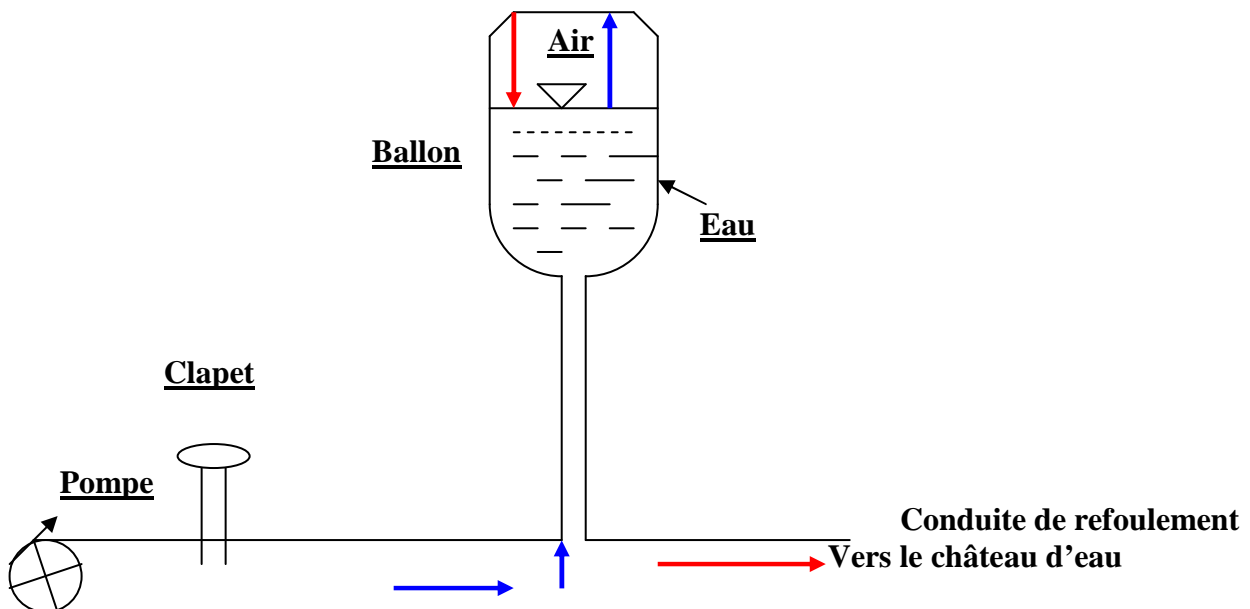
**Conduite ONEP (Ø800) desservant la ville de Marrakech à partir du champ captant de Nfis et débouchant sur un château d'eau  $V = 5000 \text{ m}^3$**



### **IV) le phénomène du coup de Bélier :**

On entend sous le terme «Coup de Bélier », un écoulement non permanent du liquide avec variations pratiquement sensibles de la pression qui peuvent devenir dangereuses pour la tuyauterie. Le coup de Bélier dans une conduite apparaît au moment de variation brusque de la vitesse d'écoulement par suite d'une fermeture ou ouverture rapide de la vanne, soit d'un brusque arrêt de la pompe consécutif à la disparition de l'alimentation électrique. La disparition de l'alimentation électrique d'une station de pompage est la cause la plus répandue d'un coup de Bélier. Ce phénomène peut conduire à des surpressions pouvant endommager la conduite et les équipements accessoires, soit à des dépressions pouvant occasionner une cavitation donnant naissance à des gaz.

Pour palier à ce phénomène, on installe des dispositifs anti-bélier (DAB) qu'on installe entre la pompe et le château d'eau. Il s'agit principalement de ballons d'air sous pression, la dilatation ou la compression de cet air permet d'amortir les coups de bélier jusqu'à des valeurs acceptables et supportables par le matériel. Ce système se pratique surtout pour des conduites en régime de refoulement.



Le dimensionnement d'un dispositif anti-bélier doit principalement déterminer la capacité du ballon ainsi que le diamètre de la vanne d'entrée.

Quatre paramètres sont fondamentaux pour dimensionner un dispositif anti-bélier :

- la longueur L de la conduite (en cas de faible longueur, le phénomène est minime).
- La vitesse V de l'eau
- La durée T de la perturbation
- La vitesse de l'onde de pression ou célérité ( $\alpha$ ), (généralement comprise entre 700 et 1300 m/s), on prend souvent une moyenne de 1000 m/s

La surpression maximale due au coup de bélier est donnée par la formule de **Joukowski** à savoir  $h \text{ (m d'eau)} = \alpha V/g$

Si H est la pression existant dans la conduite avant le coup de Bélier, la pression réelle va varier dans l'intervalle : **H-h** et **H+h**, la pression nominale de la conduite doit pouvoir supporter ces variations.

$\alpha$  se calcule par la formule d'**Allievi** à savoir  $\alpha = 1420 / (\sqrt{1 + (k/E \times d/e)})$  m/s avec

K= module de compression de l'eau

E = module d'élasticité du matériau constituant la conduite

d = diamètre de la conduite

e = épaisseur des parois

Les valeurs du rapport K/E sont comme suit :

Nature du matériau	K/E
acier	100
fonte	37
PVC	33

En pratique, il y a des logiciels qui ont été développés pour le dimensionnement du dispositif anti-bélier.

Le temps critique en matière de manœuvres est **T = 2L/α**

### **Formule de Michaud :**

La variation de pression engendrée dans une conduite pendant un temps de manœuvres T (arrêt ou fermeture) est exprimée en hauteur d'eau selon la formule suivante :

$$\Delta H = 2LV_0 / gT$$

### **Exemple :**

Sur une conduite de 1500 m véhiculant de l'eau à une vitesse de 0,6 m/s, et avec une célérité moyenne de 1000 m/s, le temps de manœuvre critique est  $T = 2 \times 1500 / 1000$  soit

**T = 3 secondes.**

En cas de fermeture rapide ( $T < 3s$ ), la surpression est de  $\Delta H = 2 \times 1500 \times 0,6 / 10 \times 3$ , soit  **$\Delta H = 60m$  : (6 bars)**. Si dans la même conduite, on arrête la pompe de manière progressive pendant 5 secondes, on aura une dépression  $\Delta H = 2 \times 1500 \times 0,6 / 10 \times 5$ , soit  **$\Delta H = 36 m$** .

Lorsqu'il s'agit de conduites gravitaires sur de longues distances, on installe souvent des soupapes de décharge.

### **V) Piquage sur les conduites :**

Pour desservir en eau certains points proches d'une conduite régionale existante, il est plus pratique d'effectuer un piquage sur cette conduite si le bilan ressources-besoins le permet. Pour ce faire, il est obligatoire d'avoir les documents suivants :

- le tracé en plan de l'adduction régionale au 1/50 000

- le profil en long et la ligne piézométrique prévue à l'horizon de saturation des installations et équipements existants.
- La cartographie au 1/50 000 des différents organes : stations de pompage, réservoirs, brises charges, ventouses, vidanges.
- L'implantation sur un fond au 1/50 000 des nouveaux points à alimenter.

A partir des données précédemment citées, on peut définir :

- le point de piquage adéquat
- la cote piézométrique et la pression disponibles
- le système de desserte à prévoir
- les ouvrages nécessaires pour la desserte.

### **VI) Les bouches d'incendie :**

Il s'agit d'un réseau souterrain de conduites accessibles par un regard et qui sont généralement placées en bordure de la chaussée. L'eau est sous pression (**de l'ordre de 1 bar**) et permet d'alimenter la tuyauterie des sapeurs pompiers. Ces bouches d'incendie sont souvent munies de colonne mobile. Le débit à prélever sur les canalisations est de l'ordre de  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  (17 l/s).

#### **Une bouche d'incendie**



**Exemple d'avis d'appel d'offre**

**ONEP : OFFICE NATIONAL DE L'EAU POTABLE**

**RABAT**

**N° Ordre : 446510**

Type : **APPEL D'OFFRES NATIONAL PUBLIC**

**Date limite : 03/07/2007**

**Date d'ouverture de pli : 05/07/2007 à 10:00**

Objet : - Réhabilitation des conduites d'adduction au niveau des centres de Benguérir et El kelaa des Sraghna province d'El kelaa des Sraghna

- lot : conduites

NB. Secteur : 3 - classe : 5 - qualification : 3-1

NB. Délai d'exécution : 6 mois

Caution provisoire (CP) : **15000** DH

Prix dossier (PD) : 250 DH

Journaux : MATIN du 04/06/2007,

Contact(s) : **Bureau** des Achats de la Direction Régionale du Tensift - ONEP, Boulevard Mohamed V - Angle Rue Badr Guéliz - Marrakech - Tél.: 024 43 93 46/024 43 07 31 - fax : 024 43 91 09- Bureau des Marchés de la Direction des Approvisionnements et Marchés de l'ONEP, 6 bis Rue Patrice Lumumba - Tél. : 037 72 12 81 - Fax : 037 20 30 98

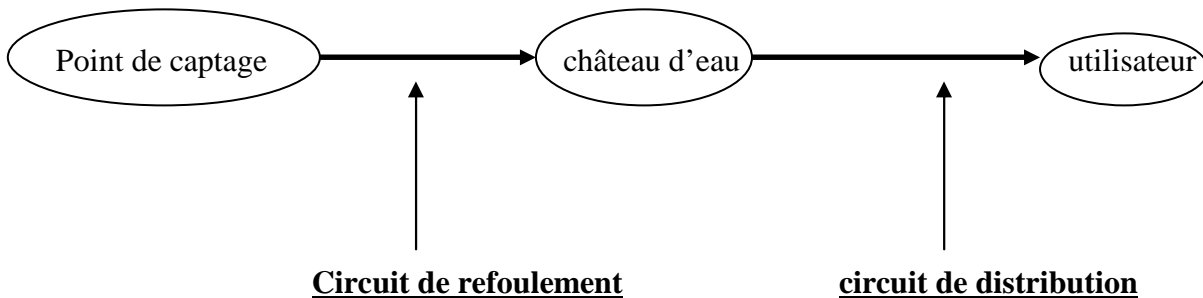
**RABAT**



## Les châteaux d'eau

### I) Introduction :

Au cours d'une même journée, le débit de la conduite d'adduction est constant alors que celui de la distribution est essentiellement variable dans le temps. Les châteaux d'eau jouent un rôle régulateur entre les deux régimes.



Les rôles à jouer par un château d'eau sont comme suit :

- régulariser le fonctionnement des pompes
- assurer le débit nécessaire pendant les heures de pointe
- assurer la mise en pression du réseau de desserte.
- Combattre efficacement les incendies (alimentation des bouches d'incendie, réserve de  $120 \text{ m}^3$  pour les grandes villes)
- Assurer l'alimentation en cas d'incidents sur les ouvrages de production (pannes de pompe par exemple)

Une agglomération urbaine peut avoir plus d'un château d'eau en fonction de la topologie du réseau de distribution. Lorsqu'il s'agit de capacités relativement faibles ( $10 \text{ m}^3$  à  $15 \text{ m}^3$ ), on parle également de bâches.

Le dimensionnement d'un château d'eau consiste à cerner les paramètres suivants : emplacement, forme et capacité.

### II) dimensionnement d'un château d'eau

#### II.1) Emplacement :

Le réservoir sera dans la mesure du possible proche du point de captage pour éviter des linéaires de conduites très importants. Il est toujours préférable à ce que le réservoir soit plus élevé par rapport à la côte maximale des localités à desservir pour pouvoir les alimenter par simple gravité.

Compte tenu de la topographie, les réservoirs peuvent être soit enterrés, semi-enterrés, ou surélevés. Le premier type est satisfaisant sur le plan esthétique, le deuxième est le plus économique. Les réservoirs surélevés sont le seul mode de construction possible en plaine.

## **II.2) capacité :**

La capacité théorique d'un réservoir dépend des variations en matière de consommation d'eau durant la journée. En réalité, ce paramètre est très difficile à cerner compte tenu des saisons ainsi que des habitudes dans le mode de vie.

En pratique, la capacité d'un réservoir est calculée pour une durée d'**autonomie** de 24 heures, soit une journée de consommation et pour les besoins de pointe avec une projection sur un horizon d'étude (10 ans, 15 ans, 20 ans, 25 ans). Il faut ajouter à cette capacité la réserve incendie. Pour les petites villes, on peut adopter une autonomie de 10 à 12 heures.

### **Remarque :**

Dans une station de pompage et afin d'éviter des démarrages répétitifs du moteur, on a parfois des débits équipés supérieurs aux besoins (si la ressource en eau le permet) avec des capacités de réservoirs également grandes. Ceci permet un planning de pompage optimal ainsi qu'une bonne gestion des ouvrages et équipements de la station de pompage. Pour les petites et moyennes installations, et dans bien de cas, le planning de pompage est de 8 à 10 heures/24 h. Pour les grandes villes, on peut atteindre 24 h/24 h.

Les capacités les plus courantes sont 10, 20, 25, 30, 40, 50 m<sup>3</sup> (milieu rural) puis 75, 100, 150, 200, 300 m<sup>3</sup> (ville moyenne) et enfin 300, 500, 750, 1000 m<sup>3</sup> ..... pour les grandes villes. A titre d'exemple, la capacité de stockage pour la ville de Marrakech en 2002 était de **92500 m<sup>3</sup>** dont un réservoir de **55000 m<sup>3</sup>** (route de l'ourika). Pour la ville de Casablanca en 2001, il y avait 36 réservoirs et châteaux d'eau totalisant une capacité de stockage de **608769 m<sup>3</sup>**.

### **Exemple pratique :**

Une ville moyenne compte actuellement 500 000 habitants. En adoptant une consommation de 80 l/j/habitant et une évolution démographique de 1,1%, quelle doit être la capacité de stockage en faisant une projection sur 10 ans. On prendra un coefficient de pointe de 1,5

### **Réponse :**

La population en 10 ans sera  $P = 500\,000 (1,011)^{10}$  soit  $P = 557804$  habitants. Avec cette population, les besoins moyens seront  $Q = 557804 \times 80$  soit  $Q = 516$  l/s.

Avec un coefficient de pointe de 1,5, les besoins de pointe seront d'ici 10 ans  $Q = 516 \times 1,5$  soit  $Q = 774$  l/s. Avec ce débit la consommation d'une journée sera  $V = 774 \times 3600 \times 24$  soit  **$V = 66873$  m<sup>3</sup>**

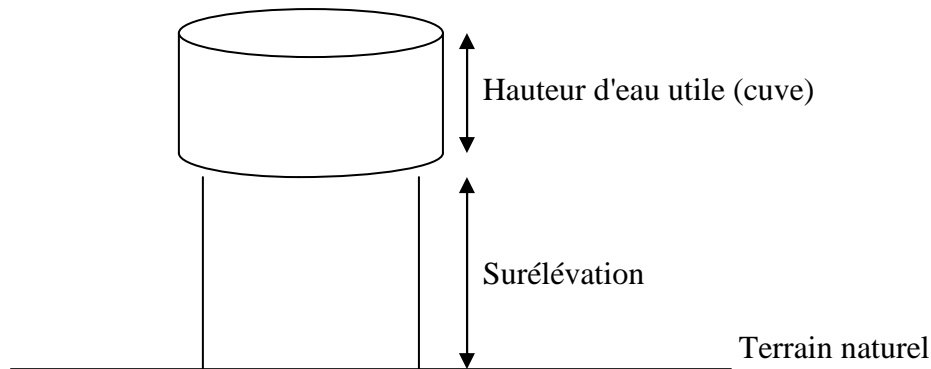
Il faudra donc construire 2 ou 3 châteaux d'eau totalisant une capacité de **66873 m<sup>3</sup>**

## **II.3) forme et proportions :**

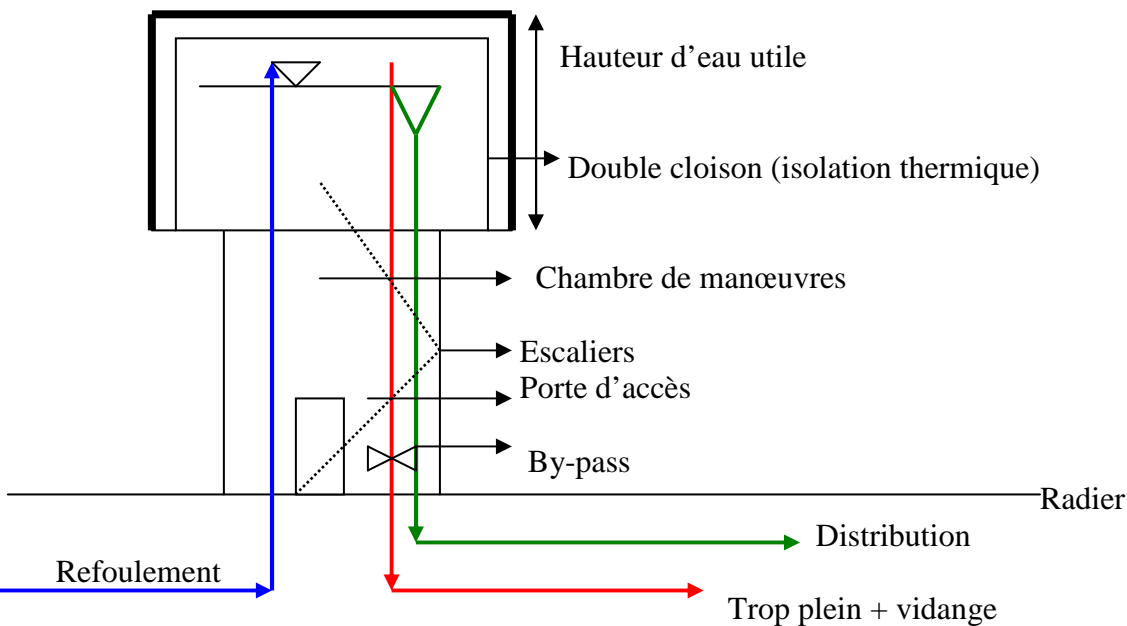
La lame d'eau dans un réservoir ou hauteur d'eau utile est le plus souvent entre 3 et 6 m. l'optimum pour les agglomérations d'importance petite ou moyenne se situe le plus souvent vers 4 à 5m. Pour les réservoirs de grande importance (grandes villes), la hauteur d'eau peut

atteindre 7 à 10m. La section en plan des réservoirs est le plus souvent circulaire, notamment pour des raisons de coût.

### Château d'eau surélevé



### III) Organes et accessoires d'un château d'eau :



### Terminologie :

- **Trop plein** : conduite permettant d'évacuer la totalité du débit arrivant au réservoir (souvent en acier galvanisé).
- **Vidange** : conduite partant du point bas du réservoir et se raccordant sur la canalisation de trop plein (souvent en acier galvanisé) , cette conduite est indispensable pour les réparations éventuelles et nettoyages périodiques.

- **Conduite de refoulement** : c'est la conduite qui doit permettre l'alimentation du réservoir. A son débouché dans le réservoir, elle doit s'obturer lorsque l'eau atteint un niveau maximal dans le château d'eau. (télésurveillance, automatisme, système de flotteur). (souvent en acier galvanisé)
- **Conduite de distribution** : c'est la conduite permettant d'alimenter les utilisateurs. le départ de cette conduite doit être à 0,15m environ au dessus du radier du château afin d'éviter d'introduire dans la distribution des boues ou des sables ayant décanté. (souvent en acier galvanisé)
- **By-pass** : en cas de travaux sur le réservoir, il y a lieu de prévoir une communication entre la conduite de refoulement et celle de distribution. le système by-pass permet de faire cette liaison.
- **Chambre de manœuvres** : elle se trouve au pied de la tour, les différentes vannes s'y trouvent. L'accès à la cuve s'effectue par une échelle ou un escalier.
- **Double cloison** : il est intéressant, voire impératif de prévoir une double cloison au niveau de la cuve afin d'assurer une isolation thermique. En effet, en période de forte chaleur, il peut y avoir un développement de bactéries.
- **Accessoirement des compteurs** à l'arrivée et au départ du château d'eau pour le suivi des données et établissement de ratios d'exploitation.
- **Un tampon de visite** (ou capot regard) pour des visites périodiques de l'ouvrage

**Remarque :**

Une fois la conception géométrique et architecturale du château d'eau arrêtée, il faut procéder à l'étude de béton armée (le maître d'ouvrage confie souvent cette étude à un bureau d'étude).

**Un château d'eau de 25 m<sup>3</sup> en milieu rural**



**IV) les matériaux de construction :**

La construction des châteaux d'eau nécessite principalement :

- l'hérissongage constitué de moellons calcaires de 20 cm d'épaisseur
- le béton de propreté B5 dosé à  $150 \text{ Kg/m}^3$
- le béton armé B2 dosé à  $350 \text{ Kg/m}^3$  pour l'ossature principale du réservoir (radier, parois verticales) avec un hydrofuge de masse type SIKa pour assurer l'étanchéité
- le béton armé B2 dosé à  $350 \text{ Kg/m}^3$  pour la dalle supérieure, la coupole....
- Les enduits constitués de mortier de ciment

Les bétons utilisés sont définis par leurs classes de résistance en fonction de la résistance à la compression mesurée à 28 jours sur cylindre comme le montre le tableau suivant :

Classe du béton	Classe du ciment	Résistance à 28 jours en bars	
		Compression sur cylindre (28)	Traction par flexion sur éprouvettes prismatiques
<b>B1, béton de résistance mécanique élevée</b>	<b>CPA ou CPJ 45 ou 55</b>	<b>300</b>	<b>24</b>
<b>B2, béton de résistance mécanique assez élevée</b>	<b>CPA ou CPJ 45 ou 55</b>	<b>270</b>	<b>22</b>
<b>B3, béton de résistance mécanique moyenne</b>	<b>CPA ou CPJ 45 ou 55</b>	<b>230</b>	<b>-</b>
<b>B4, béton de résistance mécanique peu élevée</b>	<b>CPA ou CPJ 35</b>	<b>180</b>	<b>-</b>
<b>B5, béton de résistance mécanique faible</b>	<b>CPA ou CPJ 35</b>	<b>130</b>	<b>-</b>

Un château d'eau bien conçu et bien réalisé, doit satisfaire les critères suivants :

- **résistance mécanique** aux différents efforts et pressions auxquels il est soumis et notamment la charge de l'eau lorsque la cuve est pleine.
- **Etanchéité**, c'est-à-dire qu'il ne doit y avoir aucune fuite dans l'ossature de l'ouvrage
- Durabilité en ce sens que le béton doit conserver ses propriétés mécaniques en contact avec l'eau.

#### **V) entretien des réservoirs :**

La cuve doit faire l'objet d'un soin particulier et notamment en matière de :

- Désinfection à l'aide de produits chlorés pour l'élimination des bactéries
- Vidange et traitement des dépôts sur les parois
- Auscultation générale en matière de fuites et suintements
- Diagnostic des équipements vétustes (vannes, robinets, conduites)

Lorsque l'ouvrage est bien réalisé et régulièrement entretenu, sa durée de vie est de 30 à 40 ans.

**Exemple de CPS (réservoir surélevé de 25 m<sup>3</sup> + 1 abri + 1 borne fontaine + conduites)**

**REALISATION DES TRAVAUX DE GENIE- CIVIL POUR L'EQUIPEMENT DE (05) CINQ FORAGES D'EXPLOITATION POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DE (05) CINQ AGGLOMERATIONS RURALES DANS LA PROVINCE DE CHICHAOUA - WILAYA DE MARRAKECH -**

**DETAIL ESTIMATIF**

N° des prix	Désignation des prestations	Unité de mesure ou de compte	Quant.	Prix unitaire en DHS (hors TVA) en chiffres 5	Prix total 6=4x5
1	2	3	4		
1	- Installation de chantier et repli du matériel et remise en état des lieux <u>l'Unité / :</u>	U	05		
2	- Fouilles en terrain de toutes natures <u>Le mètre cube / :</u>	M3	900		
3	- Remblais damé <u>Le mètre cube / :</u>	M3	500		
4	- Béton cyclopéen dosé à 200 Kg de ciment <u>Le mètre cube / :</u>	M3	100		
5	- Béton armé dosé à 400 Kg de ciment y compris ferrailage <u>Le mètre cube / :</u>	M3	200		
6	- Béton légèrement armé y compris ferrailage dosé à 350 KG/m3 <u>Le mètre cube / :</u>	M3	80		
7	- Forme en béton de 10 cm d'épaisseur <u>Le mètre carré / :</u>	M2	400		
8	- Hérissongage en moellons de 20 cm d'épaisseur <u>Le mètre carré / :</u>	M2	420		
9	- Maçonnerie en agglomérés de 0.20 x 0.40 x 0.20 m. <u>Le mètre carré / :</u>	M2	500		



10	- Marches d'escalier en béton <u>L'Unité</u> / :	U	10		
11	- Etanchéité au Flintkote ou produit similaire <u>Le mètre carré</u> / :	M2	120		
12	- Regards de 0.50x0.50x0.70m <u>L'Unité</u> / :	U	05		
13	- Regards de compteur de 1.20x0.80x1.00m <u>l'Unité</u> / :	U	05		
14	- Enduit étanche au Sikalatex ou produit similaire <u>Le mètre carré</u> / :	m2	300		
15	- Enduit ordinaire <u>Le mètre carré</u> / :	m2	1750		
16	- Peinture vinylique en 2 couches <u>Le mètre carré</u> / :	m2	1600		
17	- Peinture à l'huile en 2 couches <u>Le mètre carré</u> / :	m2	150		
18	- Porte en tôle de 4 mm de 1.20 x 2.20m (2 volets) <u>L'unité</u> / :	U	10		
19	- Trappe en tôle de 4 mm <u>L'unité</u> / :	U	05		
20	- Echelle en fer <u>Le mètre linéaire</u> / :	MI	60		
21	- Cadre grillagé de 1.20 x 0.80 <u>l'Unité</u> / :	U	15		
22	- Portail métallique de 2.25 x 3.00 m (2 volets). <u>L'Unité</u> / :	U	05		
23	- Passerelle métallique <u>l'Unité</u> / :	U	05		
24	- Tuyau Polyéthylène Ø 63 mm (PEHD) PN 16 <u>Le mètre linéaire</u> / :	MI	2000		
25	- Tuyau galvanisé Ø 65 mm <u>Le mètre linéaire</u> / :	MI	210		
	- Robinet vanne Ø 65 mm				

26	<u>L'Unité</u> / :	U	15		
	- Tube galvanisé Ø 3/4				
27	<u>le Mètre linéaire</u> /:	MI	45		
	- Robinet vanne Ø 3/4				
28	<u>l'Unité</u> / :	U	05		
29	- Robinet de puisage chromé Ø ¾ "	U	20		;
	<u>l'Unité</u> /:				
30	- Buses en ciment comprimé Ø20 cm	ml	25		
	<u>Le mètre linéaire</u> / :				
31	- Grillage en fil de fer galvanisé n°17 hauteur de 2 m.	ml	185		
	<u>Le mètre linéaire</u> / :				
32	- Tube galvanisé en col de cygne Ø 3 "	U	05		
	<u>L'Unité</u> / :				
33	- Maçonnerie en agglomérés de 0.15 x 0.20 x 0.40 m pour isolation thermique de la cuve.	m2	240		
	<u>Le Mètre Carré</u> / :				
34	- Echelle interne d'accès à la cuve en tube de fer galvanisé Ø ¾ pouces.	ml	20		
	<u>Le Mètre linéaire</u> / :				
35	- Double cadre avec barreaux Ø 18 mm	U	05		
	<u>l'Unité</u> /:				

Total hors T.V.A=

T.V.A (14%) =

Total T.T.C =

**Arrêté le présent détail estimatif T.T.C à la somme de :**

## Généralités sur les réseaux de distribution

### **I) Introduction :**

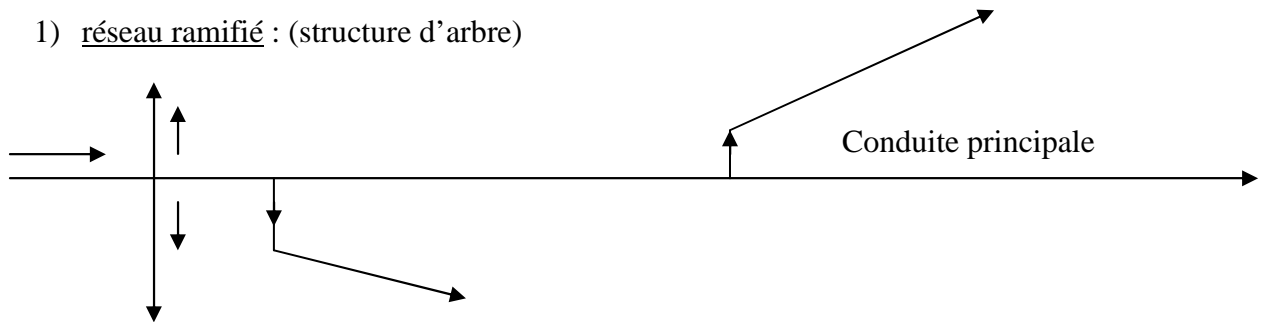
Un réseau de distribution est un ensemble de canalisations et d'équipements destinés à desservir les utilisateurs ou abonnés à partir d'un réservoir de stockage. La typologie du réseau dépend de l'étendue de l'agglomération à alimenter ainsi que de la topographie du site. Dans un réseau de distribution, on distingue trois sortes de conduites :

- conduites principales ou réseau primaire (juste à la sortie du réservoir)
- conduites de transit ou réseau secondaires (desservant les quartiers et grandes agglomérations).
- Conduites d'alimentation ou réseau tertiaire (desservants les maisons, administrations).

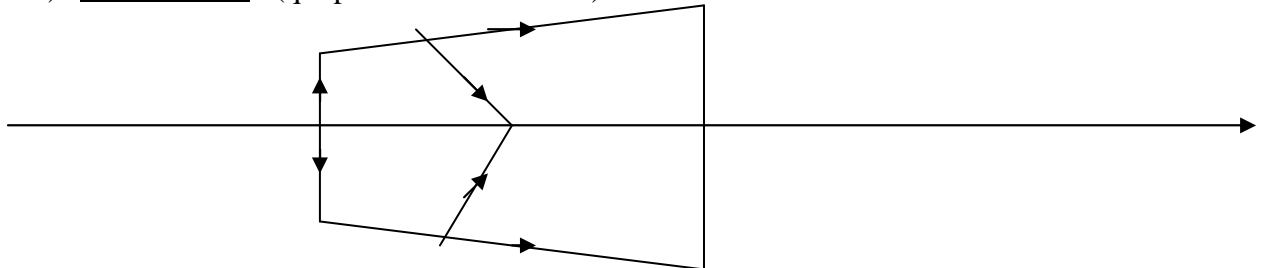
### **II) les différents types de réseau :**

On distingue quatre types de réseau :

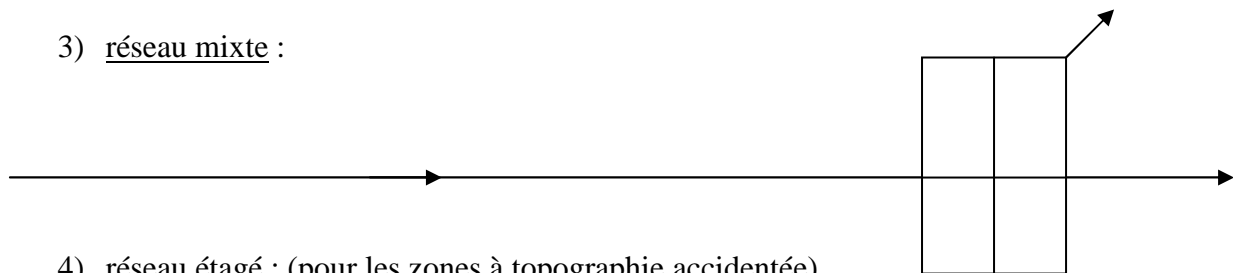
#### 1) réseau ramifié : (structure d'arbre)



#### 2) réseau maillé : (qui présente des mailles)



#### 3) réseau mixte :



#### 4) réseau étagé : (pour les zones à topographie accidentée)

- réseau haut
- réseau bas

### III) Caractéristiques d'un réseau de distribution :

Les canalisations doivent être calculées de manière à assurer le débit maximal demandé en période de pointe horaire. Les conduites doivent être enterrées au minimum de 80 cm par rapport à la génératrice supérieure et doivent se situer obligatoirement plus haut que les conduites d'assainissement afin d'éviter toute contamination.

\* La vitesse de l'eau doit être de l'ordre de 0,6 à 1,2 m/s :

- une vitesse inférieure à 0,6 m/s favorise les dépôts.
- Une vitesse supérieure à 1,2 m/s favorise les bruits.
- la pression maximale dans un réseau de distribution doit être de 40 m (4 bars). Afin d'éviter des fuites dans les canalisations, la détérioration des joints et des bruits désagréables, on prévoit pour les immeubles les pressions suivantes :
  - pour 1 étage : 12 à 15m (1,2 à 1,5 bars)
  - pour 2 étages : 16 à 19 m (1,6 à 1,9 bars)
  - pour 3 étages : 20 à 23 m (2 à 2,3 bars)
  - pour 4 étages : 24 à 27 m (2,4 à 2,7 bars)
  - pour 5 étages : 28 à 32 m (2,8 à 3,2 bars)
  - pour 6 étages : 33 à 36 m (3,3 à 3,6 bars)
  - pour 7 étages : 37 à 40 m (3,7 à 4 bars)

La pression minimale au point de puisage le plus élevé doit être de 3 m (0,3 bars).

- le réseau de distribution doit comporter en milieu urbain des prises pour incendie sur des canalisations pouvant véhiculer ( $60 \text{ m}^3 / \text{h}$  : 17 l/s).
- le réseau doit être bien géré et contrôlé en matière de fuites, c'est ce qui conditionne l'efficacité du réseau. Exemple, en 2001 et sur le réseau de Lydec (Casablanca), 28220 fuites ont été réparées ce qui a permis une économie sur la ressource de  $22 \text{ Mm}^3$ .

#### Quelques indicateurs pour la RADEEMA (Année 2002)

<b>Investissements (Milliers de dirhams)</b>	<b>53440</b>
<b>Chiffre d'affaires (Milliers de dirhams)</b>	<b>169297</b>
<b>Achats annuels (Milliers de m<sup>3</sup>)</b>	<b>45129</b>
<b>Vente annuelles (Milliers de m<sup>3</sup>)</b>	<b>30640</b>
<b>Nombre d'abonnés</b>	<b>133594</b>
<b>Pointe de consommation (m<sup>3</sup> /j)</b>	<b>181230</b>
<b>Linéaire de conduites (Km)</b>	<b>1437</b>
<b>Capacité de stockage (m<sup>3</sup>)</b>	<b>92500</b>
<b>Rendement du réseau (%)</b>	<b>68</b>
<b>Consommation</b>	<b>Variable selon les quartiers : moyenne de 100 à 120 l/j/habitant</b>

#### **IV) Les paramètres hydrauliques d'un réseau de distribution :**

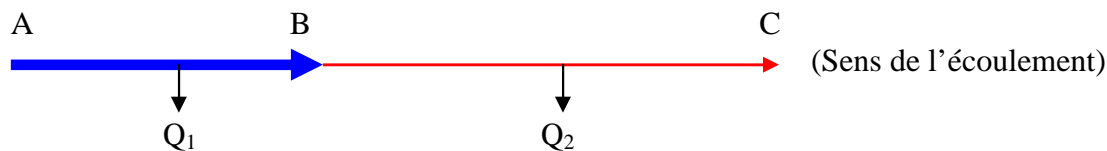
Au niveau d'un réseau, il est indispensable d'assurer au niveau de chaque point de puisage le débit de pointe horaire tout en ayant la pression requise. Pour cela, le réseau doit être bien conçu et avec des diamètres adéquats

##### **1) le débit de pointe horaire :**

C'est le débit de l'heure la plus chargée. En milieu urbain, on admet une consommation uniforme répartie sur 12 heures de la journée ( $C_p = 2$ ). En milieu rural, on admet une consommation uniforme sur 8 heures de la journée ( $C_p = 3$ ).

$$Q_p = C_p \times Q_m \quad Q_m \text{ est le débit moyen (l/s)}$$

##### **Cas d'une alimentation en cours de route :**



Le débit exigé dans le tronçon AB est  $Q_1$ , dans le tronçon BC,  $Q_2$

En matière de dimensionnement, on admet que le tronçon BC va être calculé pour  $Q_1$  et le tronçon AB au débit :  $q = Q_2 + 0,55Q_1$

##### **Remarque :**

- les diamètres de tronçons seront différents bien entendu.
- On définit également le débit de pointe journalière ce qui correspond à la consommation du jour le plus chargé de l'année. (on prend souvent 1,5 à 2)

##### **2) Pression nécessaire :**

###### **1<sup>er</sup> cas : desserte à partir d'une conduite ou réservoir existant :**

Tous les branchements ou points de puisage doivent satisfaire l'inégalité :

$$\text{Charge disponible (niveau piézométrique)} > Z_0 + h + 2 + J \quad (\text{exprimé en m})$$

$Z_0$  = côte du point à desservir

$h + 2m$  = hauteur du robinet le plus défavorisé (en milieu rural et lorsqu'il s'agit d'une borne fontaine, une pression minimale de 5 m est obligatoire)

## 2<sup>ème</sup> cas : réservoir à construire :

Il faut que le dernier point du réseau (orifice ou point de puisage) impose au réservoir le niveau piézométrique le plus élevé, deux paramètres sont déterminants : l'altitude et l'éloignement.

### 3) détermination des diamètres :

Le calcul d'un réseau maillé est similaire à celui d'un réseau électrique. Il existe deux sortes de relations appliquées respectivement aux nœuds et aux mailles du réseau. Ce sont les relations connues sous le nom de lois de Kirchhoff. La méthode de Hardy-Cross qu'on trouve dans la littérature est basée sur ces deux lois.

### Définitions :

- Un nœud est l'intersection d'au moins deux branches
- Une maille est un circuit fermé et qui est formé par l'adjonction d'au moins trois branches

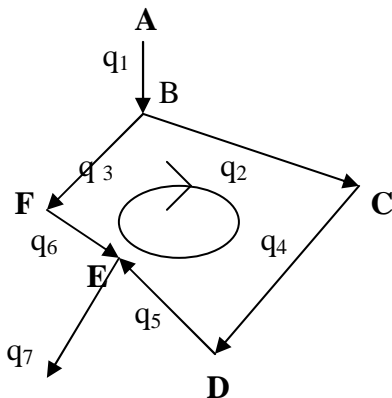
### 3.1) la loi des nœuds :

Cette loi exprime la conservation des débits au niveau de chaque nœud (principe de continuité).

### 3.2) la loi des mailles :

En choisissant un sens positif arbitraire, la somme algébrique des pertes de charges est nulle.

### Exemple :



Dans la maille BCDF, on peut écrire :

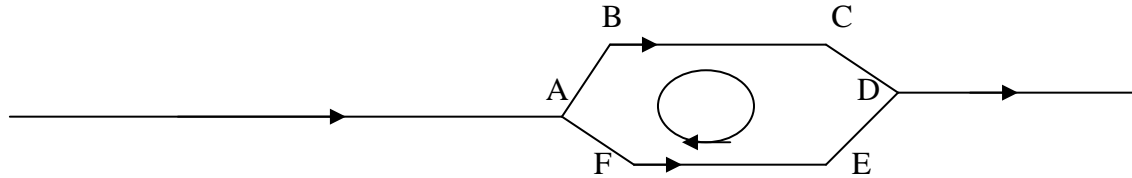
$$q_1 = q_2 + q_3 \quad (1)$$

$$j_2 + j_4 + j_5 - j_6 - j_3 = 0 \quad (2)$$



Les lois de Kirchoff sont assez complexes pour être résolues manuellement, surtout si le réseau comporte plusieurs conduites. En pratique, on utilise des logiciels (Loop, Piccollo, Epanet...)

**Exercice :**



Le débit arrivant au point A est  $Q = 10 \text{ l/s}$ , les pertes de charges dans les tronçons BC et FE sont respectivement :

$$\Delta H_1 = 0,01 Q_1^2 \quad \text{et} \quad \Delta H_2 = 0,03 Q_2^2$$

Calculer les débits dans chaque tronçon

**Réponse :**

Dans la maille ABCDEFA, les lois de Kirchoff s'écrivent :

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (\text{équation de continuité}) \quad (1)$$

$$J_{B-C} - J_{F-E} = 0 \quad (\text{loi des mailles}) \quad (2)$$

En combinant les équations (1) et (2), on obtient  $Q_1 = 6,3 \text{ l/s}$  et  $Q_2 = 3,7 \text{ l/s}$

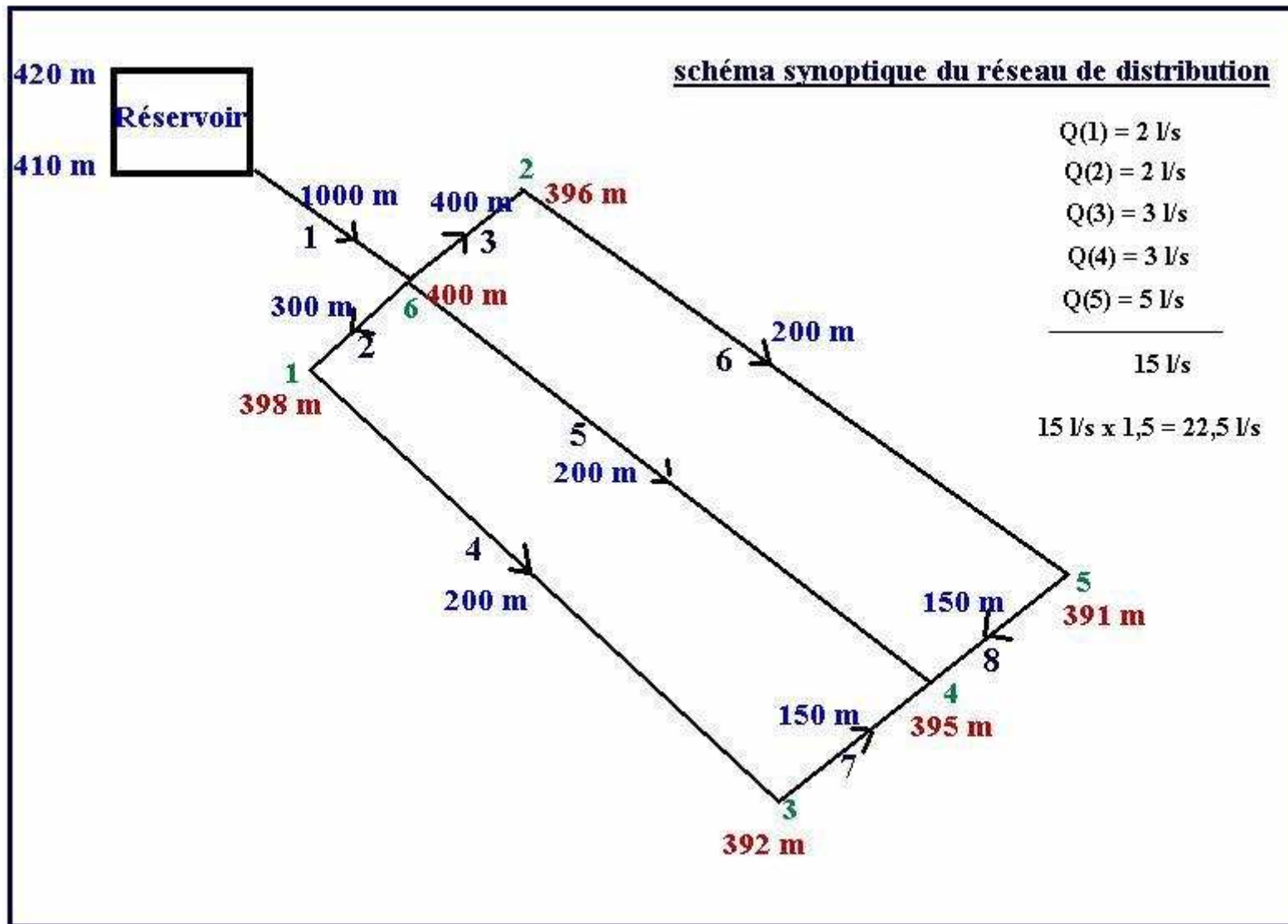
**Exemple de modélisation de réseau par le logiciel Loop**

- Title : AEP
- NO of pipes : 8
- NO of nodes : 7
- Peak factor : 1,5
- Max Headloss/Km : 10
- Max Unbal (LPS) : 0

**Simulation N°1**

Pipe N°	From node	To node	Length (m)	Dia (mm)	HWC	FLOW (lps)	Velocity (mps)	Headloss (m/km)	Headloss (m)
1	7	6	1000	120	130	22,5	1,99	35,67 HI	35 ?6
2	6	1	300	20	130	0,71	2,27	370,4HI	111 ?1
3	6	2	400	20	130	3	9,55	999,99HI	999 ?9
4	3	1	200	40	130	2,29	1,82	109,37HI	21 ?8
5	6	4	200	70	130	18,79	4,88	352,6HI	70 ?5
6	3	5	200	80	130	0,35	0,07 LO	0,12	0 ?0
7	4	3	150	60	130	7,14	2,53	124,79HI	18 ?7
8	4	5	150	60	130	7,15	2,53	124,95HI	18 ?7

↑  
Hazen Williams Coefficient



Node N°	Flow (lps)	Elevation (m)	HGL (m)	Pressure (m)
1	-3	398	273,21	-124,79
2	-3	396	-1729,37	-2125,37
3	-4,5	392	295,09	-96,91
4	-4,5	395	313,81	-81,19
5	-7,5	391	295,06	-95,94
6	0	400	384,33	-15,67
7R	22,5	410	420	10

Vu que les pertes de charges sont élevées dans la simulation 1 et que certaines vitesses sont trop basses, il faut passer à une deuxième simulation en agissant sur les diamètres correspondants.

### Simulation N°2

Pipe N°	From node	To node	Length (m)	Dia (mm)	HWC	FLOW (lps)	Velocity (mps)	Headloss (m/km)	Headloss (m)
1	7	6	1000	200	130	22,5	0,72	<b>2,96</b>	2,9
2	6	1	300	70	130	0,71	1,51	<b>40,42 HI</b>	12,1
3	6	2	400	80	130	3	0,60	<b>6,18</b>	2,4
4	3	1	200	90	130	2,29	0,44	<b>3,12</b>	0,6
5	6	4	200	90	130	18,79	2,15	<b>57,62HI</b>	11,5
6	3	5	200	80	130	0,35	0,36	<b>2,42</b>	0,4
7	4	3	150	80	130	7,14	0,69	<b>8,15</b>	1,2
8	4	5	150	90	130	7,15	0,89	<b>11,38HI</b>	1,7

Node N°	Flow (lps)	Elevation (m)	HGL (m)	Pressure (m)
1	-3	398	404,91	6,91
2	-3	396	414,56	18,56
3	-4,5	392	404,29	12,29
4	-4,5	395	405,51	10,51
5	-7,5	391	403,80	12,80
6	0	400	417,04	17,04
7R	22,5	410	420	10

De proche en proche, on change les diamètres jusqu'à avoir des vitesses et pertes de charges acceptables. (Voir simulation N°6)

### Simulation N°6

Pipe N°	From node	To node	Length (m)	Dia (mm)	HWC	FLOW (lps)	Velocity (mps)	Headloss (m/km)	Headloss (m)
1	7	6	1000	200	130	22,5	0,72	<b>2,96</b>	2,9
2	6	1	300	110	130	0,71	0,68	<b>5,37</b>	1,6
3	6	2	400	80	130	3	0,60	<b>6,18</b>	2,4
4	3	1	200	90	130	2,29	0,54	<b>4,46</b>	0,8
5	6	4	200	130	130	18,79	0,98	<b>8,84</b>	1,7
6	3	5	200	80	130	0,35	0,31	<b>1,86</b>	0,3
7	4	3	150	80	130	7,14	0,53	<b>4,88</b>	0,7
8	4	5	150	100	130	7,15	0,76	<b>7,36</b>	1,1

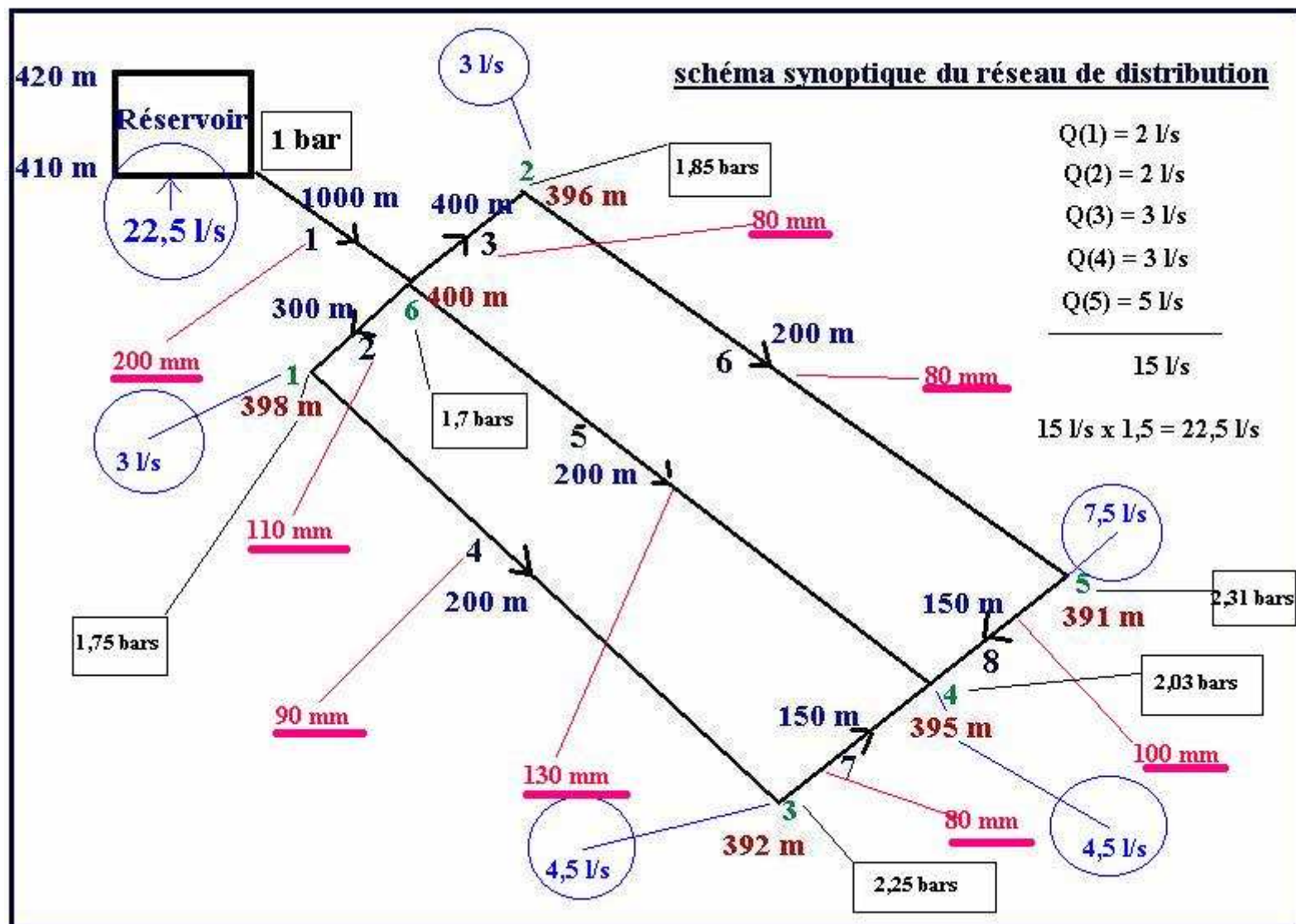
Node N°	Flow (lps)	Elevation (m)	HGL (m)	Pressure (m)
1	-3	398	415,43	17,43
2	-3	396	414,56	18,56
3	-4,5	392	414,54	22,54
4	-4,5	395	415,27	20,27
5	-7,5	391	414,16	23,16
6	0	400	417,04	17,04
7R	22,5	410	420,00	10

### Remarques :

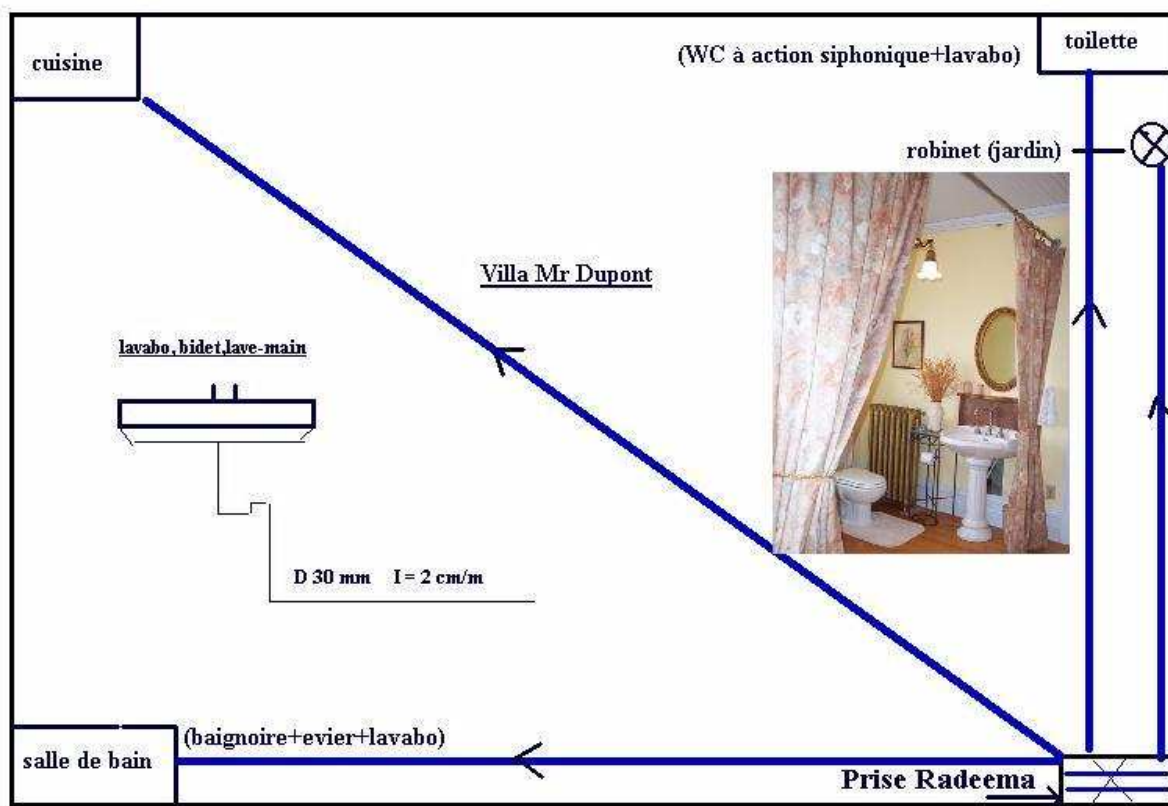
- Lorsqu'on veut procéder à de nouveaux branchements (nouveaux lotissements), il faut toujours procéder à des simulations pour visualiser les nouveaux paramètres hydrauliques.
- Il faut toujours prendre en considération le rendement du réseau ainsi que l'horizon de saturation.
- Un diagnostic permanent en matière de fuites doit être entrepris. Les techniques de détection se développent de plus en plus (exemple : sonde acoustique).
- La conception de réseaux internes au niveau des immeubles, villas, hôtels, restaurants, administration fait partie d'une nouvelle branche de l'hydraulique dite : la plomberie sanitaire. Toutes les lois de l'hydraulique étudiées jusqu'à présent (calcul de diamètre, pertes de charges, pressions ..) s'appliquent mais il faut surtout prendre en considération les appareils à brancher (baignoires, lavabo, bidet, lave-mains, évier, douche, urinoir, machine à laver, WC à action siphonique, nombre de robinets). Les débits unitaires pour chaque type d'appareil sont comme suit :

Appareil	Débit de base en l/s
Baignoire	1,2
Douche	0,5
Lavabo	0,75
Bidet-lave-mains	0,5
Evier	0,75
Bac à laver	0,75
Urinoir	0,5
Urinoir à action siphonique	1
WC à chasse directe	1,5
WC à action siphonique	1,5
Machine à laver le linge domestique	0,65
Machine à laver la vaisselle domestique	0,40

Les diamètres pour conduites d'évacuation sont souvent de l'ordre de 30 à 33 mm, pour les WC à action siphonique, ils sont de 60 à 70 mm. Les pentes pour ces diamètres sont généralement comprises entre 1 et 3 cm/m.



## Plomberie sanitaire d'une villa





**Exemple d'avis d'appel d'offre**

**Ville : TANGER**

**N° Ordre : 446578**

**Date limite : 02/07/2007**

**Date d'ouverture de pli :**

**Objet :** Dans le cadre de l'amélioration des conditions de distribution d'eau potable dans la ville de Tanger, Amendis projette l'équipement de la station de surpression au niveau du réservoir Mesnana 110

- Codes projet : 1D312 CZ 0002

- Équipement de la station de surpression Mesnana 110

le projet consiste en :

Équipements hydromécaniques

- Fourniture, transport et installation de trois (03) groupes électropompes de caractéristiques : Q nominal = 19 l/s / HMT nominale = 39,1 m

- Fourniture, transport et installation d'un ballon antibélier et hyrofort de capacité suffisante,

- Fourniture, transport et installation d'un ensemble de vannes et de tuyauterie en acier galvanisé à chaud

- Fourniture, transport et installation de débitmètre électromagnétiques pour la mesure des débits

Équipements électriques et d'automatisme

- Fourniture, transport, installation et câblage des armoires de commande des groupes de pompage y compris les variateurs de vitesse (un ! variateur par groupe)

- Fourniture, transport, installation et câblage de l'armoire d'automatisme y compris l'automate programmable

- Fourniture, transport et installation du système d'automatisme et de régulation

NB. la date de la visite des lieux est fixée au 12/06/2007 (lieu de départ siège Amendis 23, rue Carnot - étage n°10 - Tanger

## **Optimisation du débit équipé dans une station de pompage**

### **I) Introduction :**

Lors du dimensionnement d'une station de pompage et parmi les paramètres fondamentaux à déterminer est le débit de la pompe à installer (le débit équipé), ce paramètre dépend de :

- les besoins à satisfaire à court et à moyen terme.
- les potentialités en matière de ressources en eau (surtout lorsqu'il s'agit d'eaux souterraines).
- Le planning de pompage et heures de pompages (heures pleines, heures creuses).

En plus de ces paramètres et pour des considérations d'entretien du matériel, il est connu que pour toute machine électrique, il n'est pas pratique de procéder à des démarrages répétitifs.

Pour toutes ces considérations technico-économiques, il faut optimiser le débit équipé et ce en relation étroite avec la capacité du château d'eau.

### **II) choix du débit équipé :**

Lorsque la ressource le permet, il est toujours intéressant d'avoir un débit équipé supérieur aux besoins et adopter une capacité de château d'eau supérieure à celle prévue normalement. Ceci amènera à l'adoption d'un horaire de pompage réduit en intégrant de préférence les heures creuses (22 heures à 7heures) puisque le tarif du Kwh est relativement réduit en comparaison avec les heures pleines (7h à 22h).

### **III) exemple pratique :**

Soit à réaliser un projet d'alimentation en eau potable d'une agglomération comptant actuellement (2007) 10000 habitants. Les besoins sont évalués dans la région à 40 l/j/habitant. Pour satisfaire les besoins, un forage d'exploitation de 120 m à été réalisé, le débit d'exploitation maximal de cet ouvrage est de 15 l/s. Comment optimiser le débit équipé

### **Solution :**

#### **A) besoins en eau :**

En admettant un taux d'accroissement démographique de 1% et un coefficient de pointe de 1,5 ; les besoins dans le temps s'établissent comme suit :

Années	2007	2010	2015	2020
Besoins moyens en l/s	4,6	4,8	5	5,3
Besoins de pointe en l/s	7	7,2	7,5	8

## B) Capacité théorique du château d'eau :

La consommation journalière de pointe à l'horizon de l'étude est de  $8 \times 24 \times 3600 = 690 \text{ m}^3$ , avec une autonomie de 12 heures, on peut admettre la construction d'un château d'eau de capacité  $400 \text{ m}^3$

Avec un débit équipé de 5 l/s, le temps de remplissage du château d'eau est d'environ 22 heures (ceci représente un volume horaire relativement excessif).

Si on équipe à 10 l/s, le temps de pompage sera réduit de moitié (11 heures) et on peut proposer un planning de pompage comme suit :

- de 22h à 7h (heures creuses pour bénéficier des tarifs préférentiels de l'énergie)
- de 12h à 14h

Compte tenu de la durée de vie des pompes et moyennant un entretien adéquat, la pompe de 10 l/s couvrira les besoins en eau potable jusqu'à 2020. la capacité du château d'eau sera également suffisante à cet horizon.

## Tarifs de l'énergie électrique au Maroc (source : ONE)

### Tarifs (ONE) de la Moyenne Tension et haute tension:

#### 1) Tarif général (en dirhams, toutes taxes comprises)

	Très haute et haute tension	Moyenne tension (5 à 30 KV)
<b>Prime fixe par KVA et par an</b>	<b>280 dirhams</b>	<b>291 dirhams</b>
<b>Heures pleines</b> Hiver : (07h à 17h) Été : (07h à 18h)	<b>0,7179 dirhams</b>	<b>0,7216 dirhams</b>
<b>Heures de pointe</b> Hiver : (17h à 22h) Été : (18h à 23h)	<b>0,9769 dirhams</b>	<b>1,0614 dirhams</b>
<b>Heures creuses</b> Hiver : (22h à 7h) Été : (23h à 07h)	<b>0,4820 dirhams</b>	<b>0,4844 dirhams</b>

N.B: La T.V.A est de 7%

#### 2) Tarifs de base de la basse tension: pour l'éclairage patenté (activités qui ne nécessitent pas des appareils de force motrice (commerce, professions libérales, hôtellerie, etc.)

Tranches de consommations par mois	Prix du KWh TTC
Prime fixe par KVA et par an	280 dirhams
0 à 150 KWh par mois	1,1770 dirhams
> à 150 KWh	1,3080 dirhams

N.B: La T.V.A est de 7%

Les clients peuvent souscrire des contrats sans minimum avec une majoration de 20%

**3) Tarifs de Force motrice: pour l'éclairage des activités qui nécessitent des appareils de force motrice (moteurs électriques, four, poste de soudure bac d'électrolyse, etc.).**

Tranches de consommations par mois	Prix du KWh TTC
0 à 100 KWh par mois	1,0600 dirhams
101 à 500 KWh	1,1130 dirhams
> à 500 KWh	1,2720 dirhams

## Calcul du prix de revient de l'eau

### **I) Introduction :**

Avant de réaliser un projet quelconque, il faut étudier sa faisabilité économique et ce en intégrant le coût des différents organes (organes de captages, pompes, canalisations, châteaux d'eau....). L'analyse économique doit déboucher sur le prix de revient de l'eau.

### **II) les paramètres de calcul :**

Dans un projet d'hydraulique, il y a deux types de charges : les charges fixes et les charges variables.

#### **II.1) les charges fixes :**

Ces charges correspondent aux différents coûts de l'investissement initial :

- le coût de réalisation de l'ouvrage de captage : puits ou forage
- le coût du matériel de pompage : groupe électro-pompe
- le coût des ouvrages de génie civil : abri de pompage, château d'eau
- le coût des canalisations

#### **II.2) les charges variables :**

Ces charges correspondent aux coûts suivants :

- les coûts d'entretien : pièces de rechange par exemple
- les coûts de l'énergie : électrique ou thermique
- les coûts du gardiennage
- les coûts relatifs aux produits chimiques pour traitement de l'eau

Pour le matériel, les durées de vie techniques moyennes sont comme suit :

- ❖ Génie- Civil canalisations ;  $m = 40$  ans
- ❖ Equipement de refoulement ;  $m = 13$  ans
- ❖ Pièces spéciales ;  $m = 20$  ans

Les frais d'entretien sont généralement comme suit :

- ❖ Génie Civil, canalisations : 0,5 % par an du montant des investissements initiaux.
- ❖ Equipement électro-mécanique : 0,3 % par an du montant des investissements initiaux.

En plus des charges fixes et variables, il faut tenir compte de l'amortissement. Celui-ci tient compte de la durée de vie de chaque organe. Dans tout calcul de prix de revient de l'eau, il faut définir :

- l'année de **référence**, exemple : 2007
- l'année de **mise en service**, exemple : 2008
- l'année de **saturation**, exemple : 2025

### III) calcul des différents postes :

#### III.1) les charges fixes :

Il faut évaluer le coût de chaque organe mais en l'actualisant avec des taux préférentiels (8%, 10%, 12%) et ce jusqu'à l'horizon de l'étude.

$$\text{Investissement actualisé} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{I_i}{(1+a)^i}$$

a = taux d'actualisation (en général à 8 %, 10 %, et 12 %)

$I_i$  = Investissement à l'année  $i$

**Remarque** : l'investissement actualisé tient compte de la dévaluation de la monnaie.

#### III.2) les coûts d'entretien :

Il faut évaluer les différents coûts d'entretien mais en les actualisant également

$$\text{Entretien actualisé} = \sum_{i=1}^{i=n} T_i (1+a)^{-i}$$

$T_i$  = pourcentage d'entretien /an : 0,5% ou 0,3%

a = Taux d'actualisation. (8 %, 10 %, et 12 %)

**Rappel mathématique** : la somme des n premiers termes d'une suite géométrique de raison Q est

$$S = 1^{\text{er}} \text{ terme} \times \frac{Q^n - 1}{Q - 1}$$

#### III.3) les coûts de l'énergie :

Pour un pompage électrique et comme il a été démontré dans les cours précédents, on a :



$$W_i = 0,004 \times V_i \times \text{HMT}$$

Avec  $W_i$  = énergie électrique annuellement consommée (en Kwh)

$V_i$  = volume d'eau annuellement pompé (en  $\text{m}^3$ )

HMT = hauteur manométrique totale

#### **IV) le prix de revient de l'eau :**

Le prix de revient du  $\text{m}^3$  d'eau correspond à l'ensemble des charges actualisées rapportées au volume total d'eau susceptible d'être produit jusqu'à l'horizon de l'étude.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \text{charges actualisées}}{\sum_{i=1}^{i=n} V_i \text{ (Volumes d'eau annuellement produits jusqu'à l'horizon de l'étude)}}$$

#### **V) exemple :**

##### **Alimentation en eau potable du centre d'Agourai à partir du forage N°IRE : 1346/22**

#### **Données de calcul**

- Année de référence : 1995
  - Année de mise en service : 1996
  - Matériau : PVC
  - Rugosité : 0,05 mm
  - Débit : 25 l/s
  - Diamètre intérieur : 141 mm
  - Vitesse : 1,02 m/s
  - Longueur conduite : 3163
  - Hauteur géométrique : 109 m
  - Charge entrée conduite : 168,2 m
  - Rendement : 65%
  - Pièces spéciales : 10%
  - Coût Kwh : 0,95 Dh
  - Taux d'entretien :
- 
- conduites: 0,5%
  - pièces spéciales : 0,5 %
  - génie civil : 0,5 %
  - équipements électriques: 3%
  - ligne électrique : 1%

Libellé	Unité	Quantité	PU (Dh)	Coût en 1000 de Dh)	Entretien actualisé en 1000 de dirhams			Total actualisé		
					8%	10%	12%	8%	10%	12%
1) Canalisations	ml	5260	325	1709,5	67,7	60,7	55	1777,2	1770,2	1764,5
DN = 160 mm PN 16										
pièces spéciales				170,95	6,7	6	5,5	177,65	176,95	176,45
total canalisation				1880,45	74,4	66,7	60,5	1954,85	1947,2	1940,95
2) Génie civil										
station de reprise	m <sup>2</sup>	30	6200	186	7,4	6,6	6	193,4	192,6	192
bâche de reprise	m <sup>3</sup>	1	600000	600	23,7	21,3	19	623,7	621,3	619
total génie civil				786	31,1	27,9	25	817,1	813,9	811
3) équipements électromécaniques										
station de reprise				1115,3	264,9	237,7	215	1380,2	1353	1330,3
4) coût de l'énergie								2788	2467	2200
total général								<b>6940</b>	<b>6581</b>	<b>6282</b>

## Calculs détaillés pour a = 8%

$(1,08)^1$     $(1,08)^2$



1,08	1,1664	1,25	1,36	1,47	1,58	1,71	1,85	1,999	2,15	2,33	2,52	2,72
0,926	0,8573	0,8	0,7353	0,68	0,63291	0,5848	0,54054	0,50025	0,4651	0,429	0,3968	0,3676

↑

↑

$(1/1,08)$

$(1/1,08)^3$

$$8,55 = 1709,5 \times 0,5 / 100$$

8%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
8,55	7,9	7,3	6,8	6,3	5,8	5,4	5,0	4,6	4,3	4,0	3,7	3,4	3,1	<b>67,7</b>

**8,55x  
(1/1,08)**

$$0,85 = 170,95 \times 0,5 / 100$$

8%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
0,85	0,787	0,7287	0,68	0,625	0,578	0,53797	0,49708	0,45946	0,42521	0,3953	0,365	0,3373	0,3125	<b>6,7</b>

$$0,93 = 186 \times 0,5 / 100$$

8%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
0,93	0,861	0,7973	0,744	0,6838	0,633	0,58861	0,54386	0,5027	0,46523	0,4326	0,399	0,369	0,3419	<b>7,4</b>

$$3 = 600 \times 0,5 / 100$$

8%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
3	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	<b>23,7</b>

$$33,46 = 1115,3 \times 3 / 100$$

8%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
33,46	30,98	28,687	26,768	24,603	22,76	21,1772	19,5673	18,0865	16,7384	15,563	14,36	13,278	12,301	<b>264,9</b>

Calculs détaillés pour  $a = 10\%$ 

1,1	1,21	1,331	1,4641	1,611	1,77156	1,94872	2,14359	2,35795	2,5937	2,853	3,1384	3,4523
0,909	0,8264	0,7513	0,683	0,621	0,56447	0,51316	0,46651	0,4241	0,3855	0,35	0,3186	0,2897

10%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
8,55	7,773	7,0661	6,4237	5,8398	5,309	4,82625	4,3875	3,98864	3,62603	3,2964	2,997	2,7243	2,4766	<b>60,7</b>

10%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
0,85	0,773	0,7025	0,6386	0,5806	0,528	0,4798	0,43618	0,39653	0,36048	0,3277	0,298	0,2708	0,2462	<b>6,0</b>

10%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
0,93	0,845	0,7686	0,6987	0,6352	0,577	0,52496	0,47724	0,43385	0,39441	0,3586	0,326	0,2963	0,2694	<b>6,6</b>

10%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
3	2,727	2,4793	2,2539	2,049	1,863	1,69342	1,53947	1,39952	1,27229	1,1566	1,051	0,9559	0,869	<b>21,3</b>

10%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
33,46	30,42	27,653	25,139	22,854	20,78	18,8873	17,1703	15,6093	14,1903	12,9	11,73	10,661	9,6922	<b>237,7</b>

## Calculs détaillés pour a = 12%

1,12	1,2544	1,4049	1,5735	1,762	1,97382	2,21068	2,47596	2,77308	3,1058	3,479	3,896	4,3635
0,893	0,7972	0,7118	0,6355	0,567	0,50663	0,45235	0,40388	0,36061	0,322	0,287	0,2567	0,2292

12%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
8,55	7,634	6,816	6,0857	5,4337	4,851	4,3317	3,86759	3,4532	3,08322	2,7529	2,458	2,1946	1,9594	<b>55</b>

12%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
0,85	0,759	0,6776	0,605	0,5402	0,482	0,43064	0,3845	0,3433	0,30652	0,2737	0,244	0,2182	0,1948	<b>5,5</b>

12%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
0,93	0,83	0,7414	0,662	0,591	0,528	0,47117	0,42068	0,37561	0,33537	0,2994	0,267	0,2387	0,2131	<b>6</b>

12%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
3	2,679	2,3916	2,1353	1,9066	1,702	1,51989	1,35705	1,21165	1,08183	0,9659	0,862	0,77	0,6875	<b>19</b>

12%	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
33,46	29,88	26,674	23,816	21,264	18,99	16,9519	15,1356	13,5139	12,066	10,773	9,619	8,5883	7,6682	<b>215</b>

## Calcul du coût de l'énergie

Horizon	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Q moy refoulé (l/s)	11,33	13	14	15	16	16,9	17,8	18,7	19,6	20,5	21,4	22,3	23,2	
Vol refoulé en 1000 m <sup>3</sup> /an	357,3029	410,0	441,5	473,0	504,6	533,0	561,3	589,7	618,1	646,5	674,9	703,3	731,6	7244,84
HMT (m)	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	
Energie (1000 Kwh)	252,1	289,3	311,5	333,8	356,0	376,1	396,1	416,1	436,1	456,2	476,2	496,2	516,2	
Coût énergie (1000 Dh)	239,5	274,8	295,9	317,1	338,2	357,3	376,3	395,3	414,3	433,4	452,4	471,4	490,4	
Coût actualisé (1000 Dh)														
taux d'actualisation														Total
8%	221,8	235,6	236,8	233,2	230,1	226,1	220,0	213,7	207,3	201,6	194	187,1	180,3	<b>2788</b>
10%	217,7	227,1	222,3	216,6	210,0	201,7	193,1	184,4	175,7	167,1	159	150,2	142,1	<b>2467</b>
12%	213,9	219,1	210,7	201,5	191,9	181	170,2	159,7	149,4	139,5	130	121,0	112,4	<b>2200</b>

	<b>(1/1,08)</b>	<b>(1/1,08<sup>2</sup>)</b>												
8%	0,9259	0,8573	0,8	0,7353	0,6803	0,633	0,5848	0,540	0,5	0,465	0,43	0,396	0,3676	
10%	0,9091	0,8264	0,7513	0,683	0,6209	0,564	0,5131	0,466	0,424	0,386	0,35	0,318	0,2897	
12%	0,8929	0,7972	0,7118	0,6355	0,5674	0,507	0,4523	0,4039	0,361	0,322	0,29	0,256	0,2292	
	<b>(1/1,12)</b>	<b>(1/1,12<sup>2</sup>)</b>												



**Calcul du prix de revient de l'eau**

taux d'actualisation	total charges actualisées (1000 Dhs)	volume total produit (1000 m3)	prix de revient du m3 d'eau (Dh/m3)
8%	6940	7244,84	0,96
10%	6581	7244,84	0,91
12%	6282	7244,84	0,87

**Autre exemple** : irrigation par systèmes pivots (plaine de la Bahira centrale : 1985/1986)

- superficie irriguée : 807 ha
- volume d'eau produit pendant l'année considérée : **2 220 616 m<sup>3</sup>** (1)
- charges mobiles de l'année : 4510785,46 Dhs (semences, engrais, énergie, main d'œuvre....).
- coût annuel de l'amortissement par hectare : 2228,70 Dhs (calculé sur l'ensemble des équipements installés et en fonction de leur durées de vie : forages, pompes, conduites, abris...
- coût total de l'amortissement :  $807 \times 2228,70$  soit  $C_1 = 1798561,00$  Dhs
- charges totales annuelles = charges fixes annuelles + charges mobiles annuelles, soit  $C = 4510785,46 + 1798561$ , soit  **$C = 6309346,00$  Dhs** (2)
- **production agricole** : la campagne a porté uniquement sur le blé, le rendement obtenu est de 60 quintaux par hectare. Soit  **$P = 807 \times 60 = 48420$  quintaux**
- valeur financière de la production : durant cette année, 1 quintal de blé coûte 235 Dhs, le coût global de la production sera  **$C_p = 48420 \times 235 = 11378700,00$  Dhs** (3)
- **le prix de revient en matière de production d'eau** : charges totales (2) / volume d'eau global (1), soit  **$C_{\text{eau}} = 2,84$  Dh/m<sup>3</sup>**
- **coût de valorisation de l'eau** : le bénéfice sur la production annuelle est  $B = (3)-(2)$ , soit  **$B = 5069353,60$  Dhs** (4)

**Interprétation :**

Si on rapporte le bénéfice obtenu au volume d'eau produit, on obtient un gain de **2,28 Dh/m<sup>3</sup>**, autrement dit sur chaque m<sup>3</sup> d'eau produite, on gagne 2,28 Dh (toutes les charges étant comptabilisées)

**Prix de vente de l'eau potable pratiqués par les régions de distribution (1995)**

Ville	1 <sup>ère</sup> tranche : 0 à 24 m <sup>3</sup>	2 <sup>ème</sup> tranche (24 à 60 m <sup>3</sup> )	3 <sup>ème</sup> tranche (plus de 60 m <sup>3</sup> )	Consommation industrielle
<b>Marrakech</b>	<b>1,37</b>	<b>4,63</b>	<b>6,94</b>	<b>4,47</b>
<b>Fes</b>	<b>1,62</b>	<b>4,94</b>	<b>6,14</b>	<b>4,16</b>
<b>Agadir</b>	<b>2,62</b>	<b>5,92</b>	<b>7,55</b>	<b>5,12</b>
<b>Casablanca</b>	<b>2,43</b>	<b>7,15</b>	<b>9,87</b>	<b>5,63</b>
<b>Rabat</b>	<b>2,03</b>	<b>6,11</b>	<b>8,86</b>	<b>5,61</b>

## L'hydraulique villageoise

### **I) Introduction :**

Il s'agit de « petits projets » d'eau potable en milieu rural. L'infrastructure est généralement très simplifiée et de petite taille compte tenu du fait que la population à desservir n'est pas très importante.

Au Maroc et depuis 1995, le gouvernement a lancé un programme appelé PAGER : programme d'alimentation groupé en eau rurale). L'objectif est d'améliorer le taux d'accès à l'eau potable. Celui-ci est défini comme étant le rapport de la population desservie par la population totale.

### **II) problématique de la desserte en eau potable du monde rural :**

Les problèmes entravant le développement de ce service en milieu rural sont d'ordre technique, financier et institutionnel.

#### **A) le plan technique :**

- les besoins sont trop faibles (ne dépassent pas souvent 1 l/s pour un douar)
- l'habitat est très dispersé et ne permet pas toujours de rassembler les agglomérations rurales au sein d'un seul réseau hydraulique.

De tels constats et en cas de réalisation de projets d'eau potable rendent le prix de revient de l'eau relativement élevé.

#### **B) le plan financier :**

La réalisation de SAEP (système d'alimentation en eau potable) en milieu rural nécessite des enveloppes budgétaires importantes.

#### **C) le plan institutionnel :**

Qui doit faire quoi ? : Il faut qu'il y ait un organisme capable de gérer sur le plan technique et financier les SAEP réalisés afin de les pérenniser. Cet organisme doit entre autre adopter une politique tarifaire a même de permettre les recouvrements de coûts et par conséquent garantir un fond de roulement.

### **III) Principes de dimensionnement :**

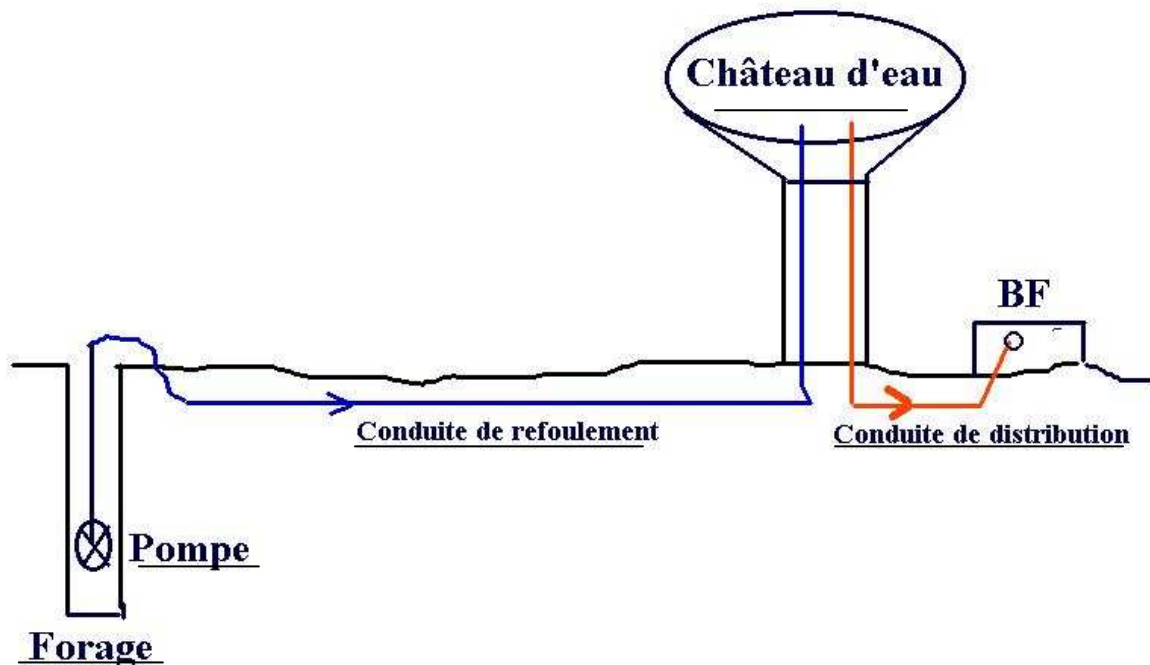
#### **A) Conception de la station de pompage :**

Une station de pompage pour l'AEP (alimentation en eau potable) en milieu rural est souvent de petite taille et se compose des éléments suivants : (ouvrages de génie civil et matériel de pompage)

- le point de captage (généralement un puits ou un forage)

- une pompe (thermique ou électrique). Dans le cas d'une pompe électrique, celle-ci est couplée soit à un groupe électrogène ou branchée directement au réseau de l'ONE. Le débit équipé est souvent de 2 l/s.
- un abri de pompage (local technique) pour la protection du matériel de pompage, les dimensions adoptées sont souvent : 3m x 3m x 3m.
- une conduite de refoulement assurant la liaison entre la pompe et le château d'eau.
- Un château d'eau de capacité variant souvent entre 25 et 50 m<sup>3</sup>
- Une conduite de distribution assurant la liaison entre le réservoir de stockage et la ou les bornes fontaines (souvent 1 à 2 bornes fontaines).
- Les bornes fontaines munies de robinets permettant la desserte en eau des populations. La BF (borne fontaine) peut être simple ou munie d'un abreuvoir pour alimenter le cheptel.

### Ossature générale d'un SAEP



### **B) les bases de calcul :**

Lorsque la typologie de l'habitat le permet, il est fortement conseillé de concevoir l'AEP des douars au sein d'un seul réseau hydraulique et ce pour amener le prix de revient de l'eau à des niveaux acceptables et en même temps pour augmenter de manière significative le taux d'accès à l'eau potable. Les formules et lois à appliquer sont exactement celles de l'hydraulique urbaine.

- La taille des douars est généralement petite, elle dépasse rarement 1000 habitants, les besoins sont calculés sur la base de 20 à 25 l/j/habitant en cas de desserte par BF, elle devient 40 à 45 l/j/habitant en cas de desserte par branchements individuels.

- **Consommations :**

- école :  $1 \text{ m}^3/\text{j/unité}$
- Mosquée :  $1 \text{ m}^3/\text{j/unité}$
- Souk :  $5 \text{ m}^3/\text{j/unité}$
- Services publics :  $0,83 \text{ m}^3/\text{j/unité}$
- Rendement du réseau de desserte : 90%
- Rendement de l'adduction de refoulement : 95%
- Coefficient de pointe journalière : 1,5
- Coefficient de pointe horaire : 2

**Borne fontaine avec abreuvoir dans la province de Chichaoua**



ROYAUME DU MAROC  
MINISTERE CHARGE DE L'AMENAGEMENT  
DU TERRITOIRE DE L'EAU ET DE L'NEVIRONNEMENT  
SECRETAREAT D'ETAT CHARGEE DE L'EAU

PAGER au 30/05/2005

**TAUX D'ACCES A L'EAU POTABLE**

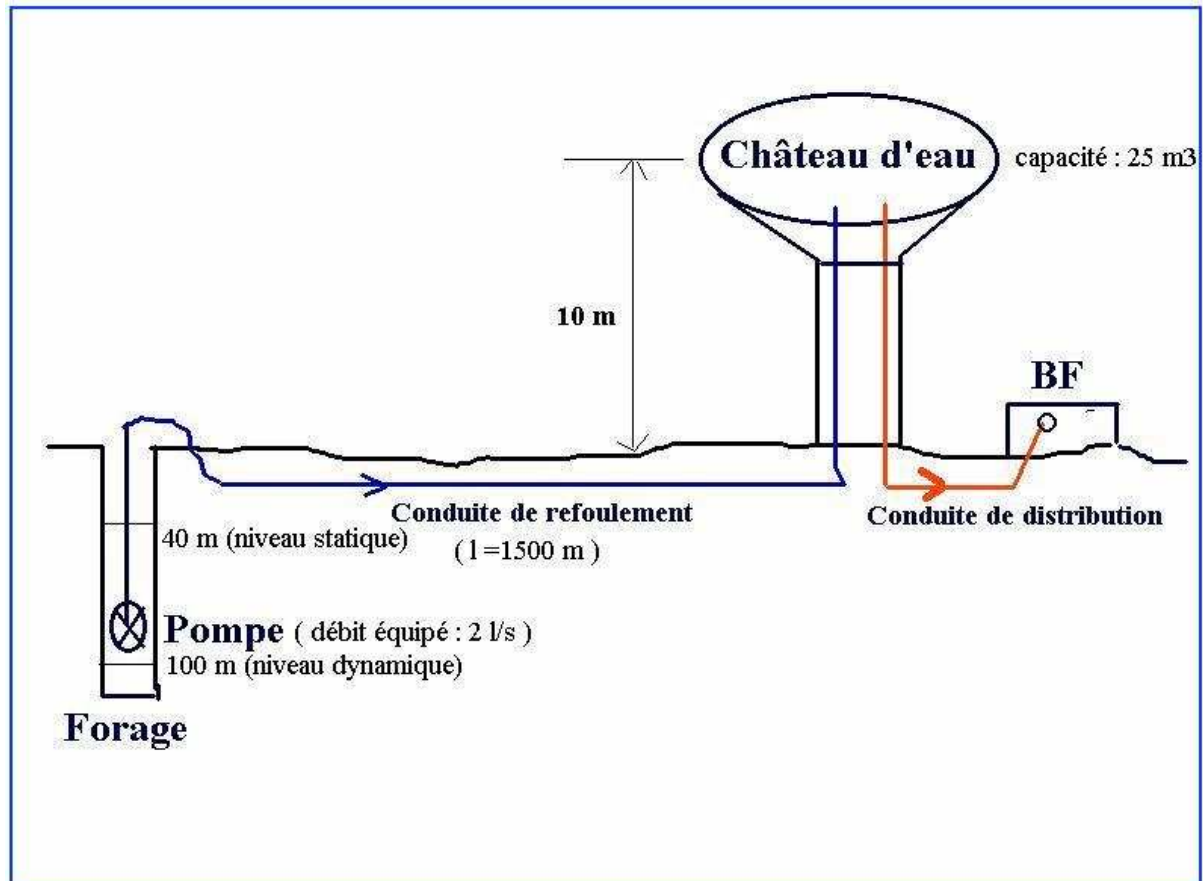
**Exemple de la province de Marrakech**

PROVINCE	COMMUNE	POP TOTALE	POP DESSER	NB LOC	P	FE	FR	AS	MT	GC	EQ	TAUX ACCES
<b>MARRAKECH-</b> <b>-</b> <b>-</b> <b>-</b>	SAADA	39071	25765	35	35					32	28	65,94%
	SIDI ZOUINE	1564	1447	10	11					7	5	92,52%
	AIT IMOUR	12164	8249	20	20					16	11	67,81%
	AGAFAY	11079	10442	25	20					19	17	94,25%
	LOUDAYA	26999	25230	31	22					21	13	93,45%
	TASSOULTANTE	30137	27100	29	29					29	22	89,92%
	SOUIHLA	19295	13807	24	22					20	20	71,56%
	OD HASSOUNE	19188	18815	45	46					27	28	98,06%
	AL OUIDANE	20925	20072	35	35					30	27	95,92%
	OD DLIM	14747	8396	27	24	3				17	21	56,93%
	HARBIL	17007	15957	20	20					18	18	93,83%
	MNABHA	11755	10668	23	22					21	21	90,75%
<b>TOTAL MARR-</b>	<b>12</b>	<b>223931</b>	<b>185948</b>	<b>324</b>	<b>306</b>	<b>4</b>				<b>257</b>	<b>231</b>	<b>83%</b>



### Exemple de SAEP :

Un douar dans la province de chichaoua compte en moyenne 500 habitants, les statistiques montrent que le taux d'accroissement démographique est de l'ordre de 1,5%. Le contexte hydrogéologique dans cette province fait que les points d'eau à aménager sont souvent des forages de profondeur moyenne 120 m et avec des niveaux d'eau statiques vers 40 m environ, les niveaux dynamiques se situent entre 100 et 150m Le débit d'exploitation de ces forages varie entre 5 et 50 l/s. Le taux d'électrification rurale est faible à travers la province et on est obligé d'utiliser des groupes électrogènes pour alimenter les pompes électriques. Étudier et commenter la réalisation d'un SAEP.



### Solution et analyse :

#### 1) besoins en eau :

Pour être large en matière de dimensionnement, on suppose qu'il y aura une desserte par branchements individuels (45 l/j/habitant). On adoptera un horizon de 10 ans en terme de planification. Le coefficient de pointe est pris égal à 1,5.

Compte tenu de ce qui précède, la population, les besoins, les volumes annuels refoulés seront comme suit :

Années	2007	2008	9	10	11	12	13	14	15	16	
Populations	500	508	515	523	531	539	547	555	563	572	
Besoins moyens en (l/s)	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	
Besoins de pointe (l/s)	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	
Volume annuel refoulé en m <sup>3</sup>	8213	8336	8461	8588	8716	8847	8980	9115	9251	9390	Volume total 87896

## 2) débit équipé :

le tableau précédent montre que même d'ici 10 ans et dans les conditions de pointe, le débit n'atteindra que 0,45 l/s. la pompe à installer aura un débit  $Q = 2 \text{ l/s}$  (le plus faible sur le marché).

## 3) le château d'eau :

Il sera implanté au sein du douar, puisqu'il s'agit d'une zone de plaine, on choisira un château d'eau surélevé, la hauteur totale sera de 10 m (pression hydrostatique de 1 bar). En matière de capacité, et en adoptant une autonomie de 12 heures,  $C = 0,45 \times 3600 \times 12$  litres, soit  $C = 20 \text{ m}^3$  en intégrant une éventuelle mosquée, école....on peut arrondir la capacité du château d'eau jusqu'à  $25 \text{ m}^3$

## 4) conduite de refoulement :

La longueur est de 1500m (distance entre le forage et le château d'eau), on utilisera une conduite en PEHD, PN16 vus les avantages technico-économiques qu'il offre.

Pour le diamètre, on peut faire des simulations avec trois valeurs ( $\varnothing 60$ ,  $\varnothing 65$ ,  $\varnothing 70$ ) et ce à l'aide du logiciel Loop. Les résultats se présentent comme suit :

	V (m/s)	$\Delta H$ (m)
60 mm	0,71	17,77
65 mm	0,60	12,03
70 mm	0,52	8,39

On peut choisir 65 mm comme diamètre.

## 5) matériel de pompage :

- pompe  $Q = 2 \text{ l/s}$
- HMT =  $100 + 10 + 12,03 = 122 \text{ m}$
- Puissance du groupe électrogène  $P = 9,8 \times 2.10^{-3} \times 122 / 0,7$  soit  $P = 3,5 \text{ KW}$
- $3,5 / 0,8 = 4,4 \text{ KVA}$ , en adoptant  $I_d / I_n = 3$ , on peut retenir  $P = 11 \text{ KVA}$ .

## 6) phénomène du coup de bélier :

Prenons une célérité d'onde égale en moyenne à 1000 m/s, le temps critique de manœuvre est  $T = 2l/\alpha$ , soit  $T = 3s$ .

En cas de fermeture rapide ( $T < 3s$ ), la surpression calculée par la formule de Michaud ( $\Delta H = 2LV_0/gT$ ) donne  $\Delta H = 6$  bars.

Si on arrête progressivement pendant 5 s, on aura une dépression  $\Delta H = 36$  m (3,6 bars)

La pression nominale adoptée (16 bars) est largement suffisante pour supporter les coups de bélier.

## 7) calcul du prix de revient de l'eau :

### 7.1) charges fixes :

- forage : 300000,00 Dh
- château d'eau : 100000,00Dhs
- Abri de pompage (3m x 3m x 3m) : 30000,00 Dhs
- 1 borne fontaine : 20000,00 Dhs
- conduite : 50 x 1500 = 75000,00 Dhs (y compris toute sujétion)
- pompe : 80000,00 Dhs (y compris toutes sujétions)
- groupe électrogène : 35000,00 Dhs

### 7.2) charges variables annuelles :

- gardiennage : 12 000,00 Dh/an
- énergie électrique :  $W = 0,004 \times V \times HMT$  (on adoptera le tarif 1,2 Dh/Kwh)

Années	2007	2008	9	10	11	12	13	14	15	16	
Volume annuel refoulé en m3	8213	8336	8461	8588	8716	8847	8980	9115	9251	9390	
Energie consommée en Kwh	4008	4068	4129	4191	4254	4317	4382	4448	4515	4582	
Coût de l'énergie en Dh	4809	4881	4955	5029	5104	5181	5259	5338	5418	5499	
Coût actualisé à 8%	4453	4185	3964	3698	3472	3279	3075	2885	2710	2558	34279
Coût actualisé à 10%	4372	4034	3722	3435	3169	2924	2699	2490	2298	2120	31263
Coût actualisé à 12%	4294	3891	3527	3196	2896	2625	2379	2156	1954	1771	28688

## Gardiennage :

Années	2007	2008	9	10	11	12	13	14	15	16	
Coût annuel en Dh	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	
Coût actualisé à 8%	11111	10288	9600	8824	8164	7595	7018	6486	6003	5581	80669
Coût actualisé à 10%	10909	9917	9016	8196	7451	6774	6158	5598	5089	4626	73733
Coût actualisé à 12%	10715	9566	8542	7626	6809	6080	5428	4847	4327	3864	67803

**AEP d'un douar dans la province de Chichaoua**

libellé	unité	quantité	PU (dh)	Coût	Entretien actualisé			Total actualisé		
					8%	10%	12%	8%	10%	12%
<b>forage</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>300000</b>	<b>300000</b>	<b>2017</b>	<b>1843</b>	<b>1695</b>	<b>302017</b>	<b>301843</b>	<b>301695</b>
<b>Ouvrages de génie civil : château+abri+borne fontaine</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>150000</b>	<b>150000</b>	<b>3025</b>	<b>2765</b>	<b>2543</b>	<b>153025</b>	<b>152765</b>	<b>152543</b>
<b>conduite</b>	<b>ml</b>	<b>1500</b>	<b>50</b>	<b>75000</b>	<b>1513</b>	<b>1383</b>	<b>1271</b>	<b>76513</b>	<b>76383</b>	<b>76271</b>
<b>Matériel de pompage : pompe+groupe électrogène</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>115000,00</b>	<b>115000,00</b>	<b>3865</b>	<b>3533</b>	<b>3249</b>	<b>118865</b>	<b>118533</b>	<b>118249</b>
<b>Coût de l'énergie</b>								<b>34279</b>	<b>31263</b>	<b>28688</b>
<b>Coût du gardiennage</b>								<b>80669</b>	<b>73733</b>	<b>67803</b>
<b>Total général</b>								<b>765368</b>	<b>754520</b>	<b>745249</b>

**Taux d'entretien appliqués :**

- forage : 0,1 % /an
- génie civil et conduites : 0,3 % /an
- matériel de pompage : 0,5 % /an

**Calcul du prix de revient de l'eau :**

<b>Taux d'actualisation</b>	<b>Prix de revient en Dh/m<sup>3</sup></b>
<b>8%</b>	<b>8,70</b>
<b>10%</b>	<b>8,58</b>
<b>12%</b>	<b>8,48</b>

**Commentaire :**

- le prix de revient est relativement trop élevé ce qui pose des problèmes au niveau de la tarification.
- En tant qu'investissement initial et rien que pour les charges fixes, le SAEP étudié nécessite 640 000,00 Dhs. Si on adopte la même démarche pour tous les douars de la province (1000 environ), ceci nous amènera à une enveloppe budgétaire de 640 Mdh (640 millions de Dirhams : 64 milliards de centimes !!).
- Le forage est l'organe le plus coûteux, il débite entre 5 et 50 l/s alors qu'on en exploite moins de 1 l/s ! (il faut valoriser l'eau et rentabiliser les équipements).

D'après ce qui précède, il est clair que l'AEP du monde rural doit être conçue de manière collective au sein de réseaux regroupant le maximum de douars et ce pour rentabiliser les investissements mobilisés et en même temps valoriser l'eau . Ceci nous amène au cadre institutionnel et organisationnel afin d'assurer la bonne gestion technique et financière des projets réalisés et par conséquent les pérenniser.