

CHAPITRE 3:

Équipement d'irrigation et techniques de raccordement

INTRODUCTION

Les systèmes d'irrigation comprennent diverses sortes de conduites, raccords de conduites, valves et autres équipements selon le type de système et d'installation. La plupart des installations ont des structures identiques, ce qui permet de couvrir les besoins de toute une région avec une gamme relativement réduite d'équipements.

Les différents équipements d'irrigation sont:

- les conduites;
- les raccords de conduites;
- les dispositifs de contrôle de l'écoulement;
- les filtres;
- le matériel d'injection pour l'irrigation fertilisante;
- les distributeurs d'eau;
- les dispositifs d'automatisation;
- les instruments de mesure;
- les systèmes d'exhaure.

Les principales caractéristiques des équipements d'irrigation sont:

- les matériaux, par exemple l'acier galvanisé, le PVC rigide, etc.;
- les dimensions: par exemple le diamètre nominal (DN) de la norme métrique ISO en millimètres (16–160 mm) et/ou de la norme de filetage BSP (British Standard Pipe) en pouces ($\frac{3}{4}$ –4 pouces);
- les types de raccords et joints, par exemple à filetage, raccords rapides, soudage par solvant, etc.;
- la pression de fonctionnement PN (pression nominale) ou PR (classe de pression) en bars, par exemple 6 bars;
- les normes nationales ou/et internationales conformes, par exemple DIN, ISO, BS, ASTM.

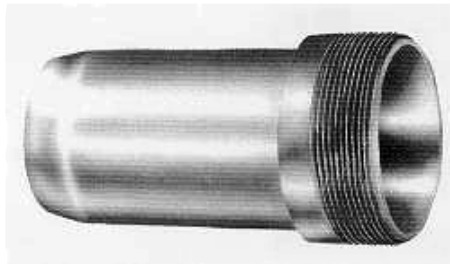
La pression de fonctionnement d'une conduite ou d'un raccord est la pression hydraulique interne maximale à laquelle la conduite ou le raccord sera soumis de manière continue en utilisation ordinaire, avec la certitude que la conduite ne connaîtra aucune défaillance. On distingue la pression nominale (PN) et la classe de pression (PR).

LES CONDUITES

Les conduites constituent la composante fondamentale de tous les réseaux d'irrigation par conduites. De nombreuses catégories et types de conduites sont disponibles dans diverses classes de pression et diverses dimensions (diamètres). Les conduites utilisées pour les systèmes d'irrigation au niveau de la parcelle sont principalement constituées de PVC rigide ou de polyéthylène (PE). Des tuyaux en acier léger à raccord rapide et des tuyaux plats (type pompiers) sont utilisés dans une moindre mesure. Les tuyaux en acier galvanisé à raccord fileté sont peu employés. Toutes ces catégories de conduites sont décrites ci-dessous.

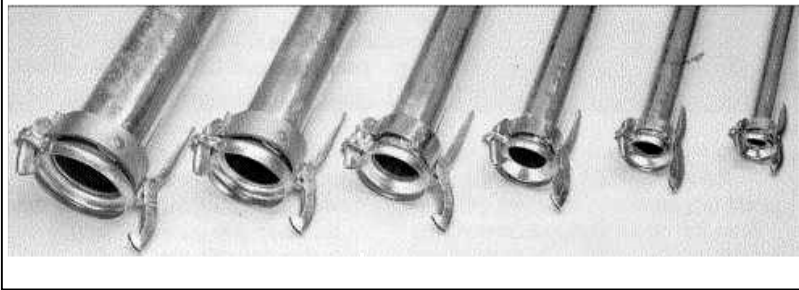
Les tuyaux en acier à raccord fileté. Les tuyaux en acier galvanisé ont été largement utilisés dans tous les pays pour toutes sortes de travaux hydrauliques. Dans le passé, ils étaient utilisés comme conduites principales et secondaires des réseaux fixes d'irrigation en conduites sous pression. En raison de leurs excellentes caractéristiques, ils étaient capables de résister aux contraintes, aux hautes pressions et de maintenir leur résistance tout au long de leur durée de vie, à l'inverse des tuyaux en plastique qui ont tendance à se déformer graduellement avec le temps et les fluctuations de température. Actuellement, ils sont peu utilisés en irrigation en raison de leur coût. Cependant, ils sont utiles pour de courtes pièces requises pour les prises à tube de rallonge des bornes, les tubes de connection dans les ouvrages de tête des réseaux et des applications similaires. Ils sont disponibles en diamètres nominaux (DN), habituellement dans des séries en pouces de $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{4}$, etc., qui correspondent plus ou moins à leur diamètre intérieur réel et dans plusieurs classes de haute pression, en conformité avec diverses normes et recommandations (ISO R-65, BS 1387, DIN 2440/41/42, ou avec les standards américains, etc.). Livrés en longueurs de 6 m, ils sont assemblés d'une manière permanente par des raccords vissés (filetés). Chaque tuyau est muni d'un embout interne fileté. Les tuyaux soudés en acier galvanisés par immersion à chaud ont une durée de vie moyenne de 15 à 20 ans s'ils sont posés à l'air libre et de 10 à 15 ans s'ils sont enterrés, selon les propriétés du sol. Il existe une large gamme d'accessoires et de raccords de connection des tuyaux, fabriqués en fonte malléable galvanisée (figure 3.1).

FIGURE 3.1 - Raccord fileté en acier (adaptateur mâle).



Les tuyaux en acier léger à raccord rapide. Ces tuyaux sont fabriqués en roulant des bandes d'acier légères galvanisées à chaud sur les deux faces. Chaque tuyau est équipé d'un dispositif de couplage rapide à levier manuel soudé à une extrémité, alors qu'à l'autre extrémité un raccord mâle est équipé d'un joint étanche résistant à la pression. La longueur standard de ces tuyaux est de 6 m et les pressions de service (PN) varient de 12 à 20 bars. Ils sont légers à transporter, faciles à installer et à enlever et utilisés comme conduites principales et secondaires, adducteurs et conduites latérales avec les asperseurs. Il existe une vaste gamme d'accessoires et de raccords pour un même type de raccord. Ils sont disponibles en plusieurs dimensions et en diamètres (DN) de 70, 76 et 89 mm, qui conviennent bien pour les techniques d'irrigation sous pression au niveau de l'exploitation (figure 3.2).

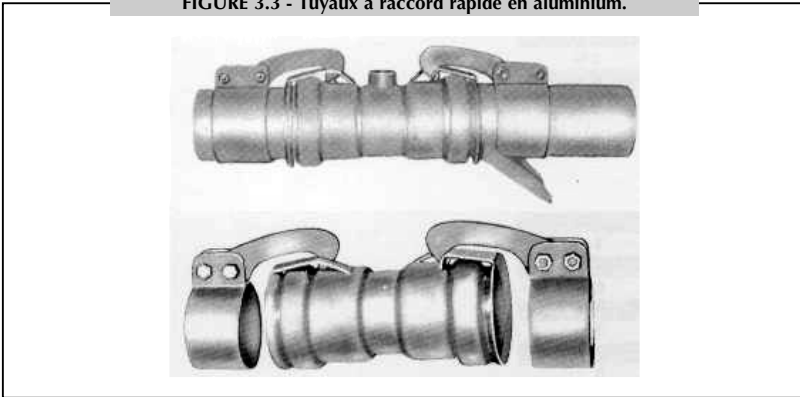
FIGURE 3.2 - Tuyaux et raccords en acier léger galvanisé à raccord rapide.



Les tuyaux en aluminium à raccord rapide. Ces tuyaux sont principalement utilisés, toujours en surface, comme lignes latérales mobiles dans les systèmes portables d'irrigation par aspersion. Constitués d'alliage d'aluminium extrudé ou soudé, ils sont légers (environ la moitié du poids des tuyaux en acier léger), relativement solides et durables. En conformité avec la norme ASAE S 263.2, ils sont fabriqués avec des diamètres nominaux exprimés en pouces, correspondant à des diamètres extérieurs de 2, 3, 4, 5 et 6 pouces (51, 76, 102, 127, et 159 mm). La pression de service minimale est de 7 bars. En accord avec la norme ISO 11678, les mêmes dimensions en système métrique sont 50, 75, 100, et 125 mm, etc., avec des pressions de service de 4, 10 et 16 bars. Ils sont livrés en longueurs standard de 6, 9 et 12 m, équipés de raccords rapides en aluminium. Ils sont soit détachables grâce à des colliers et anneaux mobiles, soit fixés en permanence sur les tuyaux. Avec l'utilisation de joints en caoutchouc en forme de U, les raccords deviennent automatiquement étanches lors de la mise sous pression, et permettent la vidange des tuyaux lorsque la pression s'abaisse en dessous de 1 bar. Il existe plusieurs types de raccords rapides qui permettent au fermier d'accoupler et découpler les raccords n'importe où sur la ligne. Le plus couramment utilisé est le système à loquet (simple ou double) avec une prise fileté de $\frac{3}{4}$ de pouce ou d'un pouce pour brancher une allonge d'asperseur ou un tuyau de rallonge (figure 3.3). Le raccord rapide permet

une grande flexibilité pour les tuyaux d'aluminium posés en terrain accidenté. La durée de vie de ces tuyaux est de 15 ans, à condition d'être manipulés avec soin. En plus de leur utilisation comme conduites latérales d'aspersion, il est aussi possible d'employer les tuyaux légers à raccords rapides, qu'ils soient en acier ou en aluminium, comme conduites d'adduction et de distribution. Dans les systèmes de micro-irrigation, ils sont souvent utilisés comme adducteurs. Ces tuyaux restent longtemps en bon état; on cite le cas d'exploitants agricoles revendant avec profit ces tuyaux, même après une utilisation intensive.

FIGURE 3.3 - Tuyaux à raccord rapide en aluminium.



Les tuyaux rigides en PVC. Extrudés à partir de polychlorure de vinyle non plastifié, ou uPVC, ces tuyaux sont idéaux pour l'irrigation, le transport à froid de l'eau et les lignes de distribution principales et secondaires. Dans bien des cas, ils sont aussi utilisés comme adducteurs et conduites latérales. Très légers, ils sont faciles à transporter et à manipuler sur place. La seule contrainte réside dans l'obligation de les garder enterrés en permanence pour les soustraire aux très basses ou hautes températures ambiantes, ainsi qu'aux radiations solaires. La vitesse maximum d'écoulement ne doit pas excéder 1,5 m/s. Ils sont livrés en longueurs standard de 6 m et en plusieurs séries et classes de pression de service, en conformité avec les normes nationales et internationales appliquées en Europe, aux États-Unis et ailleurs (ISO 161-1/2: 1996, ISO 3606, BS 5556, DIN 8062, ASTM D 2241, ANSI/SAE S376.1, ANSI/ASTM D 1785).

Ces normes, bien qu'équivalentes, varient pour les dimensions, c'est-à-dire les diamètres réels, les pressions de service (PN), les coefficients de sécurité, etc. Aux États-Unis, les tuyaux thermoplastiques sont essentiellement classifiés selon la dimension normalisée SDR (obtenue en divisant le diamètre extérieur du tuyau par l'épaisseur de sa paroi) ou par un numéro de série (pour les plus hautes pressions). En Europe, la résistance à la pression hydrostatique (contrainte annulaire) du matériau PVC commun

est de 100 bars. Aux Etats-Unis, plusieurs compositions sont utilisées avec différentes contraintes, ce qui se traduit par la production d'une grande variété de tuyaux, tous mesurés en pouces. En conformité avec les normes européennes et ISO 161, les tuyaux rigides en PVC sont disponibles en diamètres nominaux (DN) qui représentent approximativement des diamètres extérieurs de 50, 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160, 200 et 225 mm (figure 3.4). Les pressions de service sont de 4, 6, 10, et 16 bars à 24°C. Pour des températures supérieures, les pressions de service décroissent en conséquence. Habituellement, les tuyaux de petits diamètres jusqu'à 50 mm et les tuyaux mesurés en pouces ont une extrémité lisse et un embout préformé à l'autre bout, pour accouplement par collage avec une colle à solvant. Les tuyaux de plus grands diamètres sont munis d'un embout à emboîtement d'un côté, alors que l'autre extrémité est munie d'un embout préformé rainuré avec des parois épaissies qui reçoit un anneau d'étanchéité en caoutchouc, ce qui forme un joint mécanique intégral.

Il existe une gamme complète de dispositifs de connection pour ces tuyaux, certains en uPVC et d'autres en fonte ductile. Les raccords en polypropylène (PP) à compression sont également utilisables pour les tuyaux mesurant jusqu'à 110 mm. Tous les raccords et toutes les vannes des tuyaux en PVC enterrés doivent être bloqués pour empêcher la poussée hydraulique de les déplacer longitudinalement pendant le fonctionnement. La durée de vie moyenne des tuyaux enterrés en uPVC est estimée à 50 ans.

Les tuyaux rigides en PVC sont faits pour être enterrés, ce qui les protège des différences de température et risques liés à la circulation routière et aux pratiques culturales. Le terrain de la tranchée doit être aussi uniforme que possible, ferme, aplani et dépourvu de grosses pierres et autres matériaux abrasifs. En cas de soubassement rocheux ou de couche très dure, le fond de la tranchée doit être rempli sur environ 10 cm avec un matériau de remplissage compacté, sable ou terre granuleuse. L'épaisseur minimale de couverture sera de 45 cm pour les tuyaux mesurant jusqu'à 50 mm, de 60 cm pour les diamètres jusqu'à 100 mm, et de 75 cm au-dessus de 100 mm. Lorsque des tuyaux en PVC rigide sont posés sous une route, l'épaisseur de couverture ne sera pas inférieure à 1 m; à défaut, les tuyaux seront enfilés dans un tube protecteur en acier.

FIGURE 3.4 - Tuyaux en PVC rigide.



Les tuyaux en polyéthylène (PE). Les tuyaux flexibles en PE noir sont extrudés à partir de composants polyéthylènes contenant des stabilisants et 2,5 pour cent de noir de carbone qui protège les tuyaux du vieillissement, de la lumière solaire et des variations de température. Les tuyaux en PEFD (résine à faible densité) sont aussi appelés tuyaux en polyéthylène mou (PE25), tandis que les PEHD (résine à haute densité) sont des tuyaux en polyéthylène dur (PE50) (les chiffres correspondent aux résistances à la pression hydrostatique du matériel. Ces tuyaux sont fabriqués en conformité avec divers standards métriques et anglo-saxons en pouces (ISO 161–2, DIN 8072/8074, etc.). Les deux séries se sont révélées efficaces dans les techniques d'irrigation en conduites sous pression et sont prédominantes dans les systèmes de micro-irrigation. Toutes les conduites latérales avec des micro-distributeurs sont des tuyaux de PEFD de 12 à 32 mm. Les tuyaux en PEHD de plus grands diamètres sont utilisés pour les lignes principales et secondaires et les adducteurs. Ils sont aussi fréquemment utilisés pour les conduites d'adduction d'eau. Les tuyaux en PEFD sont moins affectés par les hautes températures que les tuyaux en PEHD. Les tuyaux en PE sont fournis, munis de bouts unis, en rouleaux de 50 à 400 m, selon les diamètres. Posés en surface, ils ont une durée de vie de 12 à 15 ans. Conformément aux normes européennes et internationales, ils sont disponibles dans les gammes de diamètres et pressions suivantes:

DN (diamètre extérieur) en millimètres:

12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, 90 et 110;

PN (pression de service) en bars:

2.0, 4.0, 6.0, 10.0 et 16.0.

Le raccordement des tuyaux en PE est simple. Une gamme complète de raccords en PP est disponible pour tous les diamètres et types de pression de 2 à 10 bars.

FIGURE 3.5 - Rouleau de tuyau en polyéthylène.



Les fabricants de tuyaux en PVC et PE recommandent que la vitesse d'écoulement maximale dans ces tuyaux ne dépasse pas 1,5 m/s. Sur cette base, le tableau 3.1 indique les débits dans les divers tuyaux plastiques avec une vitesse de 1,7 m/s, qui doit être considérée comme la vitesse maximale admissible dans des conditions normales de service.

TABLEAU 3.1 - Débits maximaux recommandés dans les tuyaux en plastique sans prises

PVC rigide 6 bars (DIN 8062)	DN mm	63	75	90	110	125	160
	dia. intér. (mm)	59,2	70,6	84,6	103,6	117,6	150,6
PEHD 6 bars (DIN 8074)	DN mm	50	63	75	90	110	
	dia. intér. (mm)	44,2	55,8	66,4	79,8	97,4	
PEFD 4 bars (DIN 8072)	DN mm	16	20	25	32		
	dia. intér. (mm)	12,4	16,4	20,6	27,2		
	m ³ /h	17	24	34	51	66	109
	m ³ /h	9	15	21	30	45	
	m ³ /h	0,75	1,3	2,0	3,5		

V = 1,7 m/s

Dimensionnement des tuyaux en PVC et PE. Les tuyaux en matériaux thermoplastiques (uPVC, PE, etc.) ont été beaucoup employés, ces dernières années, pour l'adduction de l'eau, l'approvisionnement en eau et l'irrigation. De nombreuses normes et spécifications nationales et internationales ont été créées, et beaucoup d'autres sont en cours de préparation pour ces tuyaux, qui respectent différentes recommandations et règles concernant l'épaisseur des parois des différents tuyaux par rapport à la pression et à la durée du service. L'épaisseur de la paroi des tuyaux s est calculée avec l'équation donnée dans la norme ISO/R 161:

$$s = p \frac{d}{2\sigma + p}$$

où p est la classe de pression, d le diamètre extérieur du tuyau, et σ la résistance à la pression hydrostatique, c'est-à-dire la contrainte admissible du matériau de la conduite pour le calcul de s . La valeur de s était auparavant basée sur la contrainte hydrostatique de dimensionnement, et comportait également un facteur de sécurité. Durant de nombreuses années, les fabricants ont proposé des tuyaux en plastique conçus pour des matériaux ayant des valeurs σ standard (PVC 100, PEHD 50, et PEFD 25). Les valeurs de la résistance à la pression hydrostatique (résistance au fluage) données en kPa étaient basées sur une contrainte de fluage de 50 ans (durée de vie) avec un facteur de sécurité de 2,5 et une pression interne de service maximale. Dans bien des cas, ces critères allaient au-delà des conditions réelles d'installation et de fonctionnement. Depuis, de nouveaux types de résine sont apparus sur le marché avec de meilleures résistances mécaniques, supérieures à ce qu'exigent les normes actuelles. Les caractéristiques des matériaux ont été mises à jour, les facteurs de sécurité modifiés et les spécifications des épaisseurs de parois amendées

conformément à la norme ISO 4065. La pression nominale de service (PN) n'est plus la seule base de spécification des dimensions.

En conformité avec la norme DIN 8062 (1988), les séries de tuyaux en polychlorure de vinyle non plastifié (uPVC) sont toujours conformes aux standards précédents. Dans les nouvelles normes, les tuyaux en uPVC sont classés selon les séries (S), la pression nominale (PN) et la dimension normalisée SDR (SDR: rapport entre le diamètre extérieur moyen et l'épaisseur minimale de sa paroi). Les dimensions des tuyaux (diamètre extérieur) n'ont pas été modifiées. Il existe de nombreuses séries et chacune correspond à une pression nominale et à une dimension normalisée (tableau 3.2). La norme ISO 4065 donne un numéro de série universel, qui correspond à des séries spécifiques selon d'autres standards (voir le tableau ci-dessous).

TABLEAU 3.2 - Séries de tuyaux en uPVC

Pression nominale PN en bars	PN 4	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16
Séries DIN 8062	2	3	–	4	–	5
Séries ISO 4422 (S)**	25	16,7	12,5	10	8	6,25
Ratio SDR	51	34,4	26	21	17	13,5
Diamètre extérieur d (mm)	Épaisseur de la paroi s en mm					
75	1,8	2,2	2,9	3,6	4,5	5,6
90	1,8	2,7	3,5	4,3	5,4	6,7
110	2,2	3,2	3,4*	5,3	5,3*	8,2
125	2,5	3,7	3,9*	6	6*	9,3
160	3,2	4,7	4,9*	7,7	7,7*	11,9

Remarques: * Jusqu'aux diamètres de 90 mm, c'est le facteur de sécurité de 2,5 qui est utilisé pour la désignation des tuyaux selon les normes ISO et DIN. Pour des diamètres supérieurs à 90 mm en ISO, le facteur de sécurité est de 2. Pour les tuyaux PN10 et PN16, l'épaisseur des parois en ISO est inférieure à celle en DIN pour les dimensions < 90 mm.
 ** Il existe des séries supplémentaires sous ISO 4422 (S20-SDR41-PN5), (S16-SDR33-PN6,3), (S4-SDR9-PN25).

Les dimensions des tuyaux indiquées ci-dessus sont définies pour une durée de vie de 50 ans à 20°C à la pression indiquée (PN). Les trois facteurs sont interdépendants et varient en conséquence, ce qui veut dire qu'une température supérieure joue proportionnellement à la fois sur la durée de vie et la pression de service; il en va de même lorsque la pression de service diffère de la valeur fixée. Des tableaux d'information figurent dans les documents standard et/ou dans les catalogues des fournisseurs.

En ce qui concerne les tuyaux d'irrigation en polyéthylène (PE), les fameux tuyaux en PEFD conformes à la norme DIN 8072 sont encore produits, bien que de nouvelles résines, et en particulier celles à haute densité (PEHD), soient maintenant disponibles avec de meilleures résistances mécaniques, plus élevées que celles requises par les normes précédentes. A côté des matières courantes PE25 et PE50, il existe maintenant les classes PE 32, PE 63, PE 80 et PE 100. Les chiffres correspondent à la valeur σ pour la désignation des tuyaux. Ainsi, pour une PN spécifique, les tuyaux diffèrent

TABLEAU 3.3 - Épaisseurs des parois de tuyaux en PE (50, 63 et 80) pour des pressions PN 6 et PN 10

	PN 6			PN 10		
	Résistance à la pression hydrostatique σ (en kPa)					
	PE 50	PE 63	PE 80	PE 50	PE 63	PE 80
	Séries de tuyaux (S) en ISO					
	S 8,3	S 10	–	S 5	S 6,3	S 8
Rapport de dimension normalisée (SDR)						
	17,6	21	–	11	13,6	17
Diamètre d en mm du tuyau	Épaisseur de paroi du tuyau s en mm					
50	2,9	–	–	4,6	–	–
63	3,6	–	–	5,8	4,7	–
75	4,3	–	–	6,8	5,6	4,5
90	5,1	4,3	–	8,2	6,7	5,4
110	6,3	5,3	–	10,0	8,1	6,6
125	7,1	6,0	–	11,4	9,2	7,4

Remarque: À une même PN avec différentes valeurs de contraintes hydrostatiques du matériau (σ) correspondent différentes caractéristiques (SDR, s, épaisseur de paroi et poids).

en SDR et épaisseur de paroi, selon la résistance à la pression hydrostatique de la matière de base utilisée. Il est donc maintenant possible de sélectionner plus précisément les tuyaux appropriés pour une application donnée, bien que ce choix soit aussi devenu plus complexe (tableau 3.3).

Les tuyaux plats. Les tuyaux plats sont employés en irrigation depuis de nombreuses années (figure 3.6). Ils constituent une alternative aux tuyaux en PVC rigide pour l'utilisation en surface comme adducteurs principaux et secondaires, pour le goutte-à-goutte ou pour les autres systèmes de micro-irrigation à basse pression. Ce tuyau est constitué de PVC mou renforcé avec une trame tissée en polyester. Les tuyaux plats sont souples, légers et disponibles en dimensions diverses (mm ou pouces) de 1 à 6 pouces et pour des pressions de service (PN) de 4 à 5,5 bars. Ils sont fabriqués sans embout et fournis en rouleaux de longueurs standard de 25, 50 et 100 m.

Il n'existe pas de raccords spécifiques pour les tuyaux plats. Les tuyaux sont raccordés en insérant de petits segments de tuyaux en PE, ou des raccords rapides métalliques aux deux extrémités des tuyaux. De petits tuyaux en PE permettent de brancher les conduites latérales sur les adducteurs en tuyaux plats; dans ce cas, des attaches en fil de fer sont fixées pour maintenir le raccord. Cependant, plusieurs industriels spécialisés en micro-irrigation ont conçu et fabriqué des raccords spéciaux pour connecter leurs lignes de goutte-à-goutte aux adducteurs en tuyaux plats.

FIGURE 3.6 - Un rouleau de tuyau plat.



LES RACCORDS DE CONDUITES

La fonte ductile filetée. Ces accessoires sont conçus pour être utilisés avec des tuyaux filetés en acier galvanisé et comprennent une vaste gamme de coudes, courbes, réducteurs, prises, tés, embouts et autres (figure 3.7). Ils se caractérisent par leur dureté et leur ductilité et constituent des joints solides capables de résister aux contractions et extensions des conduites, ainsi qu'aux autres contraintes. Ils sont fabriqués avec des joints à écrou mâles et femelles (filetages coniques) en conformité avec les normes BS 21, DIN 2999, ISO R 7 et les standards américains dans les dimensions nominales (diamètres intérieurs), comme pour les tuyaux en acier galvanisé. Les dimensions, habituellement exprimées en pouces, peuvent être converties en mm, c'est-à-dire: $\frac{1}{2}$ pouce pour une DN de 15mm, $\frac{3}{4}$ pouce pour 20mm, 1 pouce pour 25mm, $1\frac{1}{4}$ pouce pour 32mm, 2 pouces pour 50mm, etc. En règle générale ils sont conformes aux normes BS 143 et 1256, DIN 2950, ISO R 49 pour des pressions de service minimales de 14 bars.

Les raccords en polypropylène (PP). Les raccords (joints) en polypropylène (PP) sont essentiellement utilisés pour les tuyaux de plastique en PE. On trouve dans tous les pays des gammes complètes de tous types, sortes, dimensions de raccords en PP.

Il existe trois principaux types de raccords en PP avec plusieurs variantes:

- les raccords à blocage, insérés dans le tuyau, avec un anneau de verrouillage fixant solidement l'accessoire au tuyau, qui résistent aux hautes pressions;

FIGURE 3.7 - Raccords filetés pour les tuyaux en acier galvanisé.

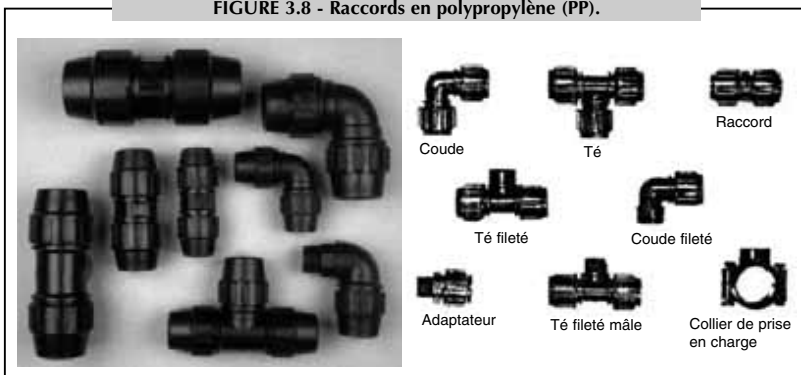


- les raccords avec rainures d'ancrage, également insérés dans le tuyau, mais disponibles dans des diamètres inférieurs à 20 mm pour des pressions maximales de 2 bars;
- les raccords de compression, disponibles pour tous les diamètres et pour de hautes pressions de 10 bars. Les raccords de compression sont aussi disponibles pour les tuyaux PVC rigide de plus grands diamètres. Ils se montent et démontent facilement sans couper le tuyau. Ils sont plus coûteux que les autres raccords, mais durent plus longtemps et peuvent être utilisés sur plusieurs systèmes.

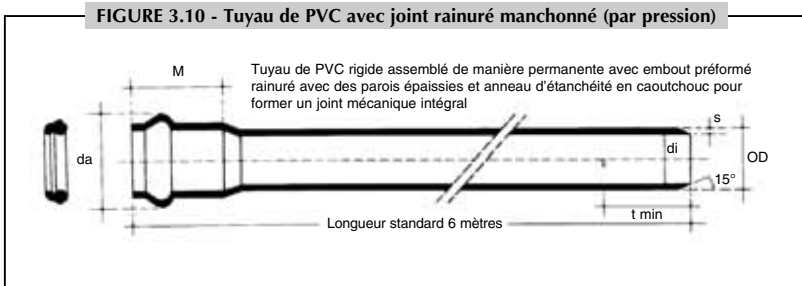
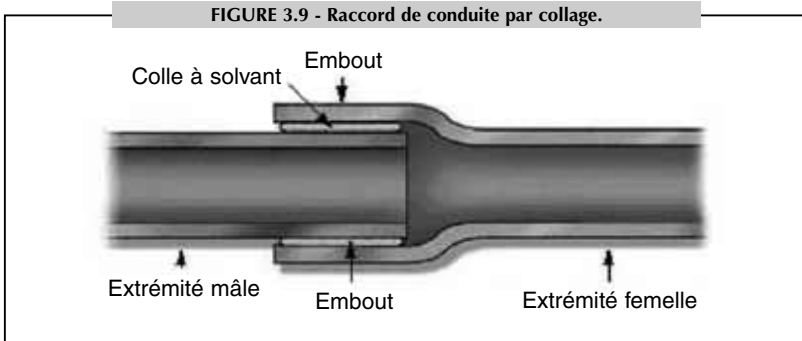
Tous les raccords en PP peuvent aussi être livrés avec l'une ou les deux extrémités filetées (figure 3.8).

Les raccords en PVC. Les raccords en PVC pour conduites sont disponibles dans le système anglo-saxon (pouces) selon les mêmes règles

FIGURE 3.8 - Raccords en polypropylène (PP).



que pour les tuyaux et raccords en métal, et dans le système métrique (en mm) conformément aux normes de dimensionnement ISO et DIN. Ils sont fabriqués pour l'accouplement par collage, filetage ou par jointoyage mécanique intégral (par pression) (figures 3.9 et 3.10).



LES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE DE L'ÉCOULEMENT

Par dispositif de contrôle, on entend tout dispositif installé dans un système hydraulique visant à assurer que le fluide atteigne la destination désirée au moment voulu dans les quantités requises (la valeur du débit) et avec la pression requise.

Comme un tel dispositif doit assurer un fonctionnement satisfaisant d'un système hydraulique, la sélection de son type, de sa dimension et de son emplacement est de la plus grande importance. Il faut donc, pour effectuer ce choix, bien connaître les diverses caractéristiques du dispositif et comprendre intégralement son fonctionnement. Un entretien correct du dispositif est également important afin d'assurer des performances adéquates et sans panne du dispositif. Constitués de matériau métallique

ou de plastique renforcé de haute technologie, les dispositifs courants de contrôle de l'écoulement utilisés dans les systèmes d'irrigation peuvent résister à de hautes pressions (PN 10 à 16 bars) avec des raccords à écrous munis de filetages internes ou externes permettant leur montage bout à bout sur de longues sections.

Il existe essentiellement trois catégories de dispositifs de contrôle de l'écoulement:

- les dispositifs directionnels ou vannes, qui servent à régler directement l'écoulement du fluide. Installés dans la conduite, ils servent à mettre en route ou arrêter l'écoulement et à fixer son débit, sa pression et sa direction. Des exemples de tels dispositifs sont les vannes de sectionnement, les vannes de contrôle et les vannes de réglage;
- les dispositifs de mesure. Il ne suffit pas, pour assurer un régime d'écoulement approprié, de seulement régler l'écoulement. Il est également nécessaire de rassembler des informations précises sur les paramètres de l'écoulement, afin de procéder aux ajustements requis, pour atteindre les conditions d'écoulement désirées. Les débitmètres et compteurs volumétriques, ainsi que les manomètres, appartiennent à ce groupe;
- les dispositifs auxiliaires. Ceux-ci n'agissent pas directement sur l'écoulement du fluide, mais permettent au système de fonctionner sans perturbation. Les purgeurs et les soupapes de sécurité font partie de ce groupe.

TABLEAU 3.4 - Résumé des dispositifs de contrôle de l'écoulement

Dispositifs directionnels ou vannes	Vannes de sectionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Vannes à boisseau sphérique • Vannes à papillon • Robinets-vannes • Vannes à disque* (sphère, angle et oblique ou vanne en Y) • Vannes radiales
	Vannes de contrôle (clapets anti-retour)	<ul style="list-style-type: none"> • Vannes de contrôle à battant • Vannes de contrôle parallèle
	Vannes de réglage**	<ul style="list-style-type: none"> • Vannes à disque* (sphère, angle et oblique ou vanne en Y) • Vannes radiales
Dispositifs de mesure	Compteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Débitmètres • Compteurs volumétriques
	Jauges	<ul style="list-style-type: none"> • Manomètres
Dispositifs auxiliaires	Purgeurs d'air Soupapes de sécurité	

* L'obturation d'une vanne à disque se fait soit par un piston soit par un diaphragme.

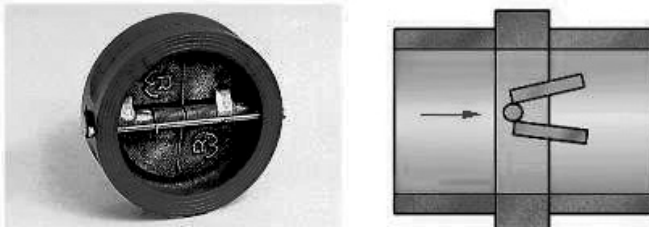
** Les vannes de réglage régulent la pression, le débit ou le niveau d'eau par une commande directe ou pilotée à distance.

FIGURE 3.11 - Diverses vannes de sectionnement. De gauche à droite: un robinet-vanne, une vanne à papillon et des vannes à boisseau sphérique.



Les vannes de sectionnement. Ce sont les vannes à commande manuelle les plus couramment utilisées (figure 3.11). Habituellement installées entre les extrémités de deux conduites, elles servent à démarrer ou arrêter l'écoulement du fluide d'une conduite. Les vannes de sectionnement sont utilisées uniquement dans deux situations extrêmes: soit entièrement ouvertes, elles laissent passer la totalité du débit, soit totalement fermées, elles empêchent tout écoulement. Les types les plus courants sont les robinets-vannes, les vannes à boisseau sphérique et à papillon, les vannes radiales et celles à disque. Dans les robinets-vannes, l'écoulement se fait en ligne droite sans résistance lorsqu'ils sont entièrement ouverts. Les robinets-vannes ne sont pas recommandés pour régler ou étrangler l'écoulement puisqu'ils doivent être entièrement ouverts ou fermés. Grâce à leurs nombreux avantages, les vannes à boisseau sphérique sont largement utilisées dans les petits diamètres de $\frac{3}{4}$ à 2 pouces. Elles permettent un fonctionnement rapide ouvert/fermé, ou à ouverture au quart, et elles peuvent équilibrer ou étrangler l'écoulement. Parmi les vannes à disque, le modèle le plus utilisé dans les réseaux d'irrigation est le modèle oblique (vanne en Y), idéal pour régler ou étrangler l'écoulement. Toutes ces valves sont fabriquées en laiton dans des dimensions de $\frac{1}{2}$ à 4 pouces et sont du type à écrou avec filetages intérieur ou extérieur, pour des pressions de service de 16 bars. Les vannes à disque oblique sont aussi fabriquées en matériau plastique (PP).

FIGURE 3.12 - Coupe schématique et photographie d'une vanne de contrôle.



Les vannes de contrôle. Les vannes de contrôle (ou clapets anti-retour) n'assurent un écoulement que dans une direction et empêchent tout retour d'écoulement dans le tuyau grâce à un mécanisme automatique de contrôle (figure 3.12). Elles sont conçues selon deux types de base: la vanne à battant, qui peut être installée dans des conduites aussi bien horizontales que verticales; et la vanne à clapet relevable, destinée uniquement aux conduites horizontales. Le courant de l'écoulement maintient la vanne ouverte, et la gravité ou une inversion de l'écoulement la ferme automatiquement. Les vannes sont installées sur la conduite au niveau du dispositif de contrôle de tête, directement après la pompe. Les vannes à battant sont utilisées avec les robinets-vannes, les vannes à clapet relevable avec les valves à disque. Les vannes de contrôle sont faites de plusieurs matériaux métalliques et de laiton, et sont munies de filetages (joints femelles), mesurées en pouces de $\frac{3}{4}$ à 4 pouces, pour des pressions de service de 16 bars.

Les vannes de réglage. Les vannes de réglage sont des dispositifs directionnels et semi-automatiques qui permettent de contrôler la pression et le débit dans un système d'alimentation en eau. Ces vannes fonctionnent sans aucune intervention de l'opérateur, mais leurs paramètres de fonctionnement doivent être préétablis manuellement ou par télécontrôle, conformément aux besoins du système d'approvisionnement en eau.

Il existe essentiellement trois catégories de vannes de réglage:

- les vannes de réduction de la pression aval;
- les vannes de maintien ou d'abaissement de la pression amont;
- les régulateurs de débit.

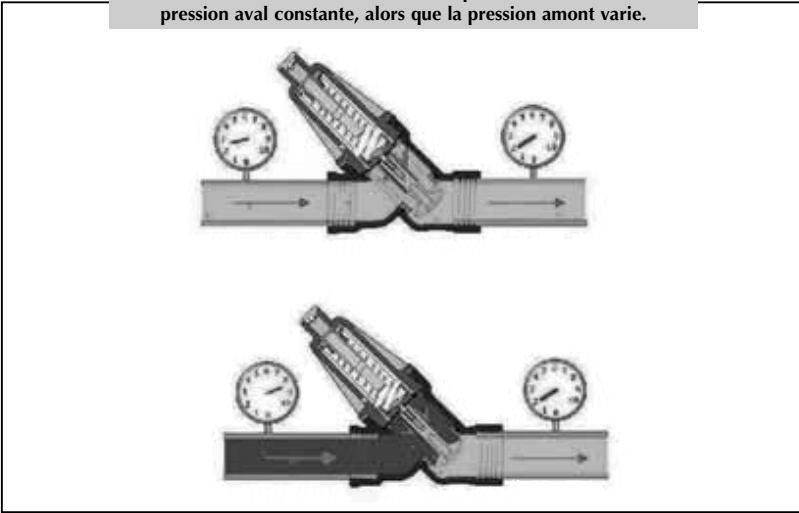
Une vanne de réduction de pression étranglera l'écoulement et maintiendra ainsi la pression aval à un niveau requis mais uniquement si la pression amont est supérieure au niveau préétabli. Par conséquent, l'écoulement n'est contrôlé que par la pression aval (figure 3.13).

Une vanne de maintien de la pression gardera la pression amont soit à son niveau maximum autorisé, en évacuant le débit excédentaire, soit à son niveau minimum requis en étranglant l'écoulement. Par conséquent, il n'est contrôlé que par le niveau de la pression amont.

Les régulateurs de débit sont des vannes placées en ligne qui maintiennent un débit constant pré-déterminé, indépendamment des variations de pression dans le système.

Tous les types de vannes de réglage fonctionnent selon le principe de l'étranglement de l'écoulement, basé sur le principe de la relation inverse entre la section transversale d'un orifice souple et la pression en ligne. Dans la plupart des cas, les vannes sont du type à disque (sphérique, angulaire et oblique ou en Y) ou radial. Les vannes radiales sont souvent préférées aux vannes à disque. Les robinets-vannes, les vannes à boisseau sphérique, à papillon et les autres types ne conviennent pas pour le réglage automatique.

FIGURE 3.13 - Vanne de réduction de pression maintenant une pression aval constante, alors que la pression amont varie.

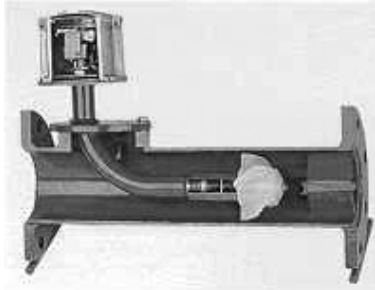


Les vannes de réglage sont soit actionnées directement, soit pilotées à distance. Les vannes de réglage de la pression sont souvent installées en tête des adducteurs pour assurer une pression de fonctionnement constante dans les conduites latérales. Ces vannes sont en laiton, bronze ou plastique et existent dans des diamètres de 1 à 3 pouces avec des raccords filetés.

Les compteurs. Il faut distinguer les compteurs volumétriques des compteurs débitométriques. Les compteurs volumétriques mesurent et enregistrent les volumes d'eau sans intégrer l'élément temporel. En lisant les résultats d'un compteur volumétrique on obtient des informations sur le volume d'eau passant à travers l'instrument durant une période, à partir de la dernière lecture ou du compteur à zéro. Le type le plus couramment utilisé pour les eaux d'irrigation est le modèle Woltmann avec une hélice dans l'axe de l'écoulement. La vitesse de l'eau active l'hélice et le nombre de tours est traduit en volume d'eau total qui s'affiche grâce à une série de roues réductrices. Il existe divers modèles de ces compteurs, fabriqués avec un corps en fonte, en unités compactes ou avec un mécanisme intérieur interchangeable. Les dimensions jusqu'à 2 pouces possèdent des joints filetés, alors que les plus grandes dimensions ont des joints à bride (figure 3.14).

Les compteurs débitométriques mesurent la vitesse d'écoulement ou, moins souvent, la quantité d'écoulement par unité de temps ou le débit. Le type le plus courant est le rotamètre, dont le flotteur de forme particulière se déplace librement dans un tuyau; ainsi la vitesse de l'écoulement est indiquée directement par un repère sur le flotteur.

FIGURE 3.14 - Coupe transversale d'un compteur volumétrique.



Les jauges de pression ou manomètres. La mesure de la pression aux points clés d'un réseau est essentielle pour l'opérateur d'un système hydraulique. Le manomètre doit être installé dans un endroit facilement accessible, afin de pouvoir être lu aisément et maintenu en bon état de fonctionnement. Le modèle le plus couramment utilisé dans les systèmes d'alimentation en eau et les services de distribution est le manomètre Bourdon, dans lequel l'élément principal est un tube métallique élastique (figure 3.15). Avec l'accroissement de la pression dans le tuyau, le tube ovale tend à devenir circulaire, ce qui le fait se dérouler légèrement.

FIGURE 3.15 - Manomètre de type BOURDON.



Les purgeurs d'air. Ces purgeurs sont de grande importance car ils protègent le réseau de conduites contre les dommages provoqués par des poches d'air emprisonnées dans le système ou leur mise sous vide. S'ils sont mal sélectionnés ou placés, ils peuvent causer d'importants problèmes de fonctionnement.

La présence d'air libre dans les installations hydrauliques peut causer de graves difficultés au démarrage d'un système, ainsi que pendant le fonctionnement ou la vidange. Les purgeurs d'air sont nécessaires pour évacuer ou admettre de l'air dans les conduites. Ni leur fonctionnement, ni le débit d'air ne peuvent être influencés par l'opérateur du système ou le fonctionnement de tout autre appareil (figure 3.16). Il existe trois catégories principales de purgeurs d'air:

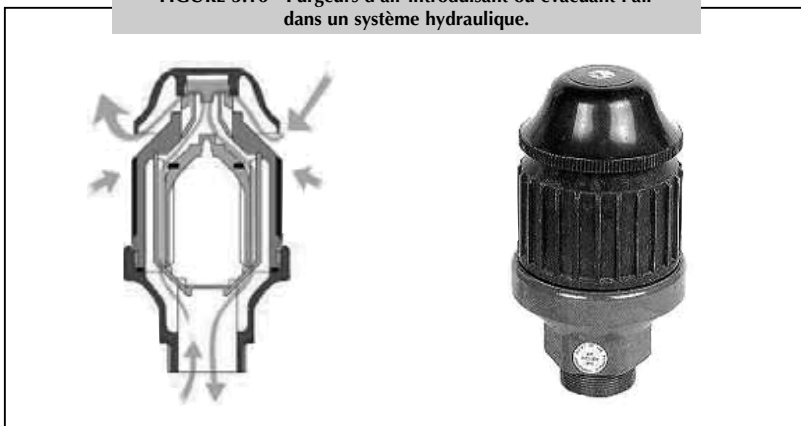
- ❶ Les purgeurs simples automatiques qui permettent l'évacuation automatique continue des poches d'air s'accumulant aux points hauts des conduites principales. Ces purgeurs simples sont de petites dimensions avec des raccords filetés de 1 pouce; de plus grandes dimensions ne sont pas nécessaires. Ils sont montés sur des tubes de rallonge au-dessus du terrain aux points hauts des adducteurs et conduites principales, ou tous les 200 m.
- ❷ Les purgeurs à large orifice, (basse pression cinétique) qui permettent l'évacuation ou l'admission d'air en vrac lors du remplissage ou de la vidange du système; ils ne fonctionnent pas sous pression. Dans des conditions normales de fonctionnement, un flotteur maintient l'orifice fermé sous l'effet de la pression dans le système. Des diamètres de 2 pouces conviennent pour les conduites de 160 mm. Ces purgeurs sont installés aux points hauts du système, après la pompe ou la borne principale du système au niveau de l'ouvrage de tête, et au début et à la fin de longs tronçons de conduites.
- ❸ Les doubles purgeurs d'air, qui sont une combinaison des deux types précédents. Ce sont les purgeurs les plus efficaces et les plus sûrs dans les adducteurs et conduites principales pour le remplissage, la vidange et le fonctionnement des systèmes d'irrigation sous pression. Le modèle de 2 pouces de purgeur double est la taille la plus appropriée pour la plupart des réseaux d'irrigation sous pression à la ferme, jusqu'à un diamètre de 160 mm.

En plus des purgeurs décrits ci-dessus, de petits briseurs de vide de 1/2 pouce sont disponibles pour éviter les vides dans les conduites latérales de goutte-à-goutte posées à la surface du sol et les protéger ainsi du colmatage.

Les purgeurs d'air sont fabriqués pour résister à de hautes pressions d'au moins 10 bars (pression nominale). Ils sont installés en ligne avec des raccords filetés intérieurs ou extérieurs.

Les soupapes de sécurité (aussi nommées soupapes de décharge de la pression). L'utilisation pratique des soupapes de sécurité a débuté avec les chaudières à vapeur pour permettre à la vapeur de s'échapper au-delà d'une pression critique, pour éviter l'éclatement de la chaudière et des tuyaux. Dans les systèmes hydrauliques, la faible compressibilité de l'eau

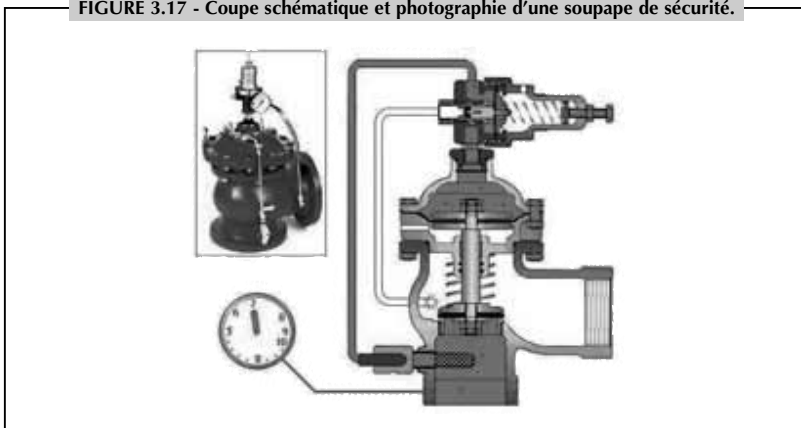
FIGURE 3.16 - Purgeurs d'air introduisant ou évacuant l'air dans un système hydraulique.



diminue le problème de sécurité. Toutefois, cette soupape est utilisée principalement pour assurer un fonctionnement satisfaisant du système en cas de panne des autres dispositifs de contrôle de la pression.

Les soupapes de sécurité sont des appareils en ligne d'un diamètre inférieur à celui de la conduite à protéger, équipées d'un ressort, et dans lesquelles la sortie est inclinée à 90° par rapport à l'entrée. Lorsque la pression dans le système excède une valeur prédéterminée, ces soupapes s'ouvrent en laissant échapper de l'eau à l'air libre. Ainsi, elles protègent les conduites contre l'éclatement qui pourrait être provoqué par les surpressions susceptibles de survenir subitement dans le système. On les place immédiatement à l'amont de la vanne principale du système; ces appareils sont disponibles dans les dimensions 1 à 3 pouces avec filetage (figure 3.17).

FIGURE 3.17 - Coupe schématique et photographie d'une soupape de sécurité.

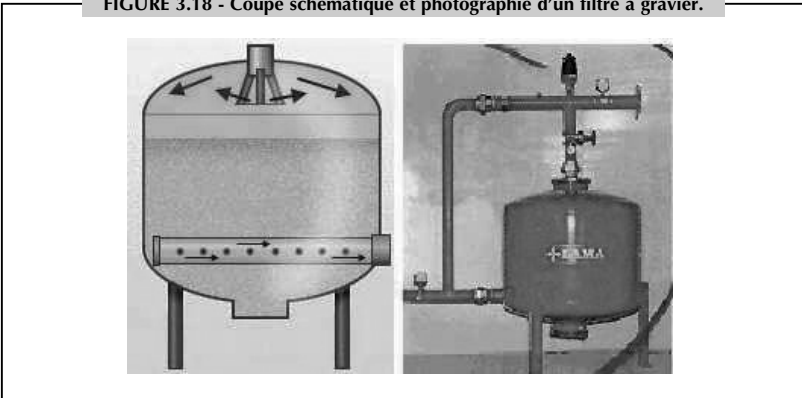


LES FILTRES

La filtration de l'eau d'irrigation est essentielle pour éviter d'endommager les distributeurs des systèmes de micro-irrigation par le bouchage. Le type de filtres utilisés dépend du type d'impuretés contenues dans l'eau et du degré de filtration requis pour les distributeurs. Leur dimension doit être la plus économique possible avec des pertes de charge minimales comprises entre 0,3 et 0,5 bar. Les différents types de filtres disponibles sont les suivants:

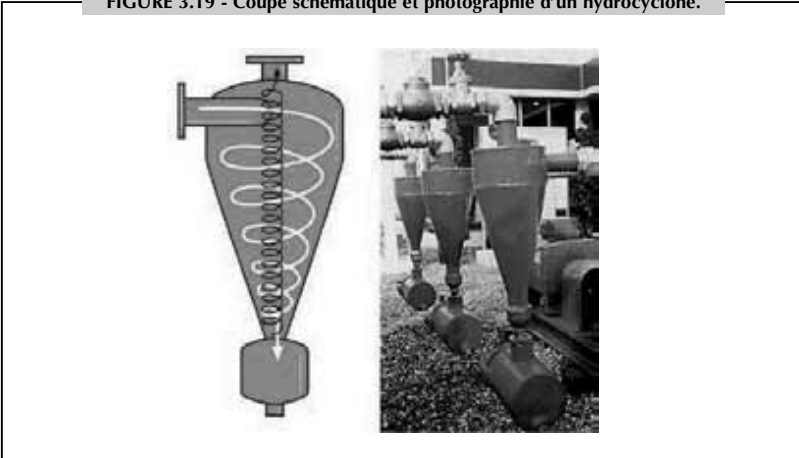
Les filtres à gravier. Ces filtres, aussi nommés filtres-médias, sont des réservoirs cylindriques fermés contenant du gravier à grain de 1,5 à 3,5 mm ou un lit de sable basaltique filtrant. Lorsque la source de l'eau d'irrigation est un réservoir ouvert, le filtre est installé avant l'ouvrage de tête du système. L'eau entrant à la partie supérieure du réservoir passe à travers le lit de gravier qui retient les grandes particules de matière organique entière, principalement des algues; l'eau ressort par une conduite à la partie inférieure du réservoir. Les filtres sont équipés de vannes d'entrée, de sortie et de drainage, ainsi que d'un dispositif de purge à contre-courant. Le corps du filtre est en métal revêtu de résine époxy, résistant à une pression minimale PN de 8 bars; d'un diamètre de 40 à 100 cm, il mesure de 50 à 80 cm de hauteur. Ces filtres sont disponibles avec des raccords filetés de 1 à 8 pouces (figure 3.18).

FIGURE 3.18 - Coupe schématique et photographie d'un filtre à gravier.



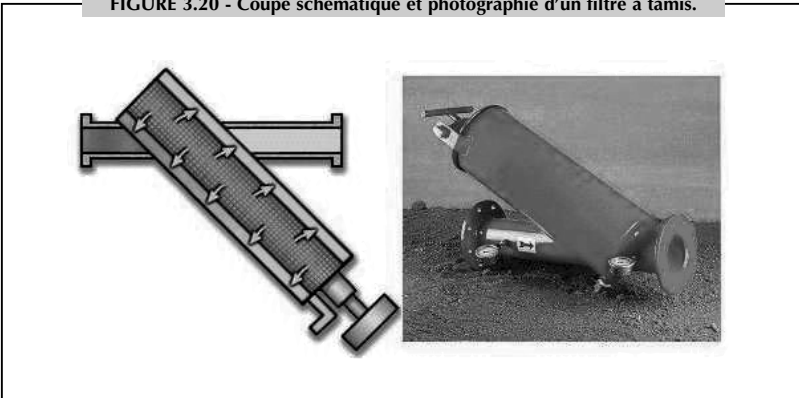
Les hydrocyclones (ou séparateur de dessablage). Ce sont des réservoirs coniques métalliques fermés, placés le cas échéant en tête de l'unité de contrôle. Ils éliminent le sable ou les autres petites particules solides des eaux de rivière ou de puits par une force centrifuge créée à l'intérieur du filtre. Cette force entraîne les solides vers le bas jusqu'à une chambre de collecte aménagée à la partie inférieure du filtre, laissant sortir l'eau filtrée. Ces filtres sont revêtus de résine époxy, fonctionnent sous une pression de service de 8 bars et sont munis de raccords filetés de $\frac{3}{4}$ à 8 pouces (figure 3.19).

FIGURE 3.19 - Coupe schématique et photographie d'un hydrocyclone.



Les filtres à tamis. Ils sont utilisés en filtration finale et servent de dispositifs de protection pour les eaux de qualité moyenne ou après une filtration primaire avec un filtre à gravier ou un séparateur de sable. Ils sont installés à l'extrémité de l'ouvrage de contrôle de tête avant la conduite principale. Ils sont fabriqués en métal revêtu de résine époxy, ou en plastique de haute technologie, et se présentent sous diverses formes cylindriques (horizontale en ligne, ou à angle droit, etc.). Ils sont équipés d'éléments filtrants interchangeables perforés, de vannes d'entrée, de sortie et de drainage, ainsi que de manomètres d'inspection. Ils peuvent résister à une pression de service (PN) de 8 bars. Le degré de filtration s'étend de 60 à 200 « mesh » (75 microns). Ils sont disponibles dans des dimensions de $\frac{3}{4}$ à 4 pouces. De plus petits modèles sont fabriqués en plastique renforcé (figure 3.20).

FIGURE 3.20 - Coupe schématique et photographie d'un filtre à tamis.



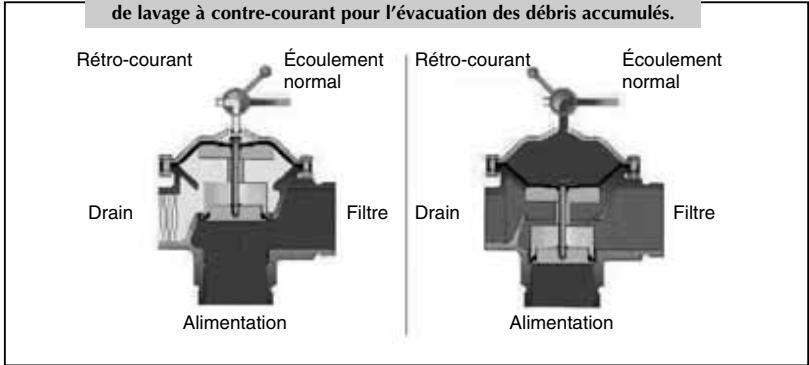
Les filtres à disques. Ces filtres sont cylindriques, faits de plastique renforcé, placés en ligne horizontalement ou verticalement. Les éléments filtrants sont une superposition de disques à rainures en plastique, avec de multiples intersections, créant une filtration à trois dimensions très efficace. Ils sont particulièrement efficaces car ils retiennent tous les types d'impuretés d'origine organique ou inorganique, y compris les algues. Le degré de filtration est compris entre 40 et 600 «mesh» (400–25 microns). Ils sont disponibles en plusieurs dimensions (3/4 à 6 pouces), pour une pression de service de 8 bars, avec des raccords filetés. Ils sont installés à l'extrémité de l'ouvrage de contrôle de tête avant la conduite principale (figure 3.21).

FIGURE 3.21 - Filtre à disques et cartouche (pile de disques à rainures).



Les filtres auto-nettoyants automatiques. La plupart des différents types de filtre peuvent être équipés d'un dispositif de nettoyage automatique déterminé en fonction du différentiel de pression, de l'intervalle de temps entre deux filtrations, de la durée de filtration, du volume d'eau filtrée ou d'une combinaison de ces critères. Le mécanisme de nettoyage,

FIGURE 3.22 - Filtre auto-nettoyant automatique utilisant le mécanisme de lavage à contre-courant pour l'évacuation des débris accumulés.



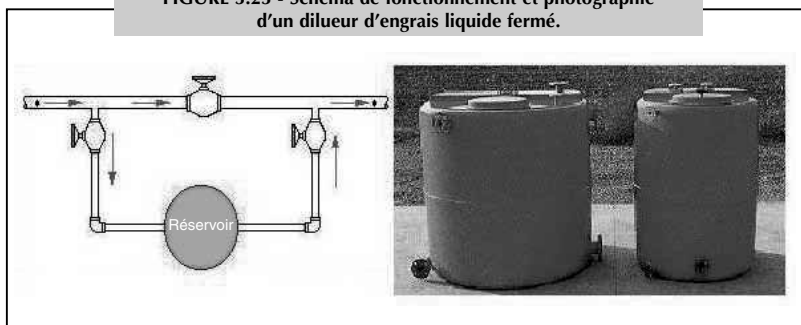
généralement à contre-courant, pour l'élimination des débris accumulés utilise la pression de l'eau dans le système. Il est activé: a) lorsque la différence de pression dans le corps du filtre augmente d'une valeur prédéterminée, par exemple 0,5 bar; et b) à des intervalles de temps fixes définis par une horloge électronique (figure 3.22).

LE MATERIEL D'INJECTION POUR L'IRRIGATION FERTILISANTE

Des engrais peuvent être mélangés avec l'eau d'irrigation au sein du réseau au moyen de dispositifs spéciaux appelés injecteurs d'engrais, installés sur l'ouvrage de tête. Il existe trois principaux types d'injecteurs d'engrais: le dilueur d'engrais fermé, l'injecteur de type Venturi et la pompe à piston. Tous sont actionnés par la force motrice de l'eau.

Le dilueur d'engrais liquide (fermé). Il s'agit d'un réservoir cylindrique pressurisé, revêtu de résine époxy et résistant à la pression du système, qui est connecté par une dérivation à la conduite d'alimentation de l'ouvrage de tête. Il est réglé par la pression différentielle créée par une vanne partiellement fermée, placée sur la conduite entre l'entrée et la sortie du réservoir. Une partie de l'écoulement est dirigée vers la conduite d'entrée située au bas du réservoir, où elle se mélange avec la solution de fertilisants, puis la dilution est injectée dans le système. Le taux de dilution ainsi que le taux d'injection ne sont pas constants. La concentration d'engrais est élevée au début et devient très basse en fin d'opération. Cet appareil est pourtant encore en service à très petite échelle dans certains pays, en raison de son faible coût et de sa fabrication aisée (figure 3.23).

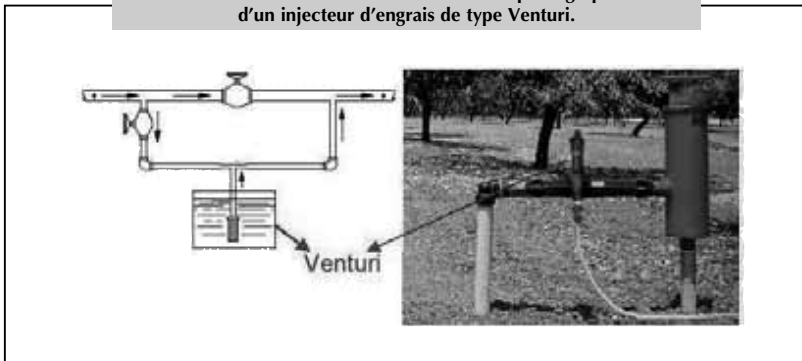
FIGURE 3.23 - Schéma de fonctionnement et photographie d'un dilueur d'engrais liquide fermé.



L'injecteur de type Venturi. Ce dispositif est basé sur le principe du tube de Venturi. Une différence de pression est nécessaire entre l'entrée et la sortie de l'injecteur. Par conséquent, il est installé sur une dérivation placée sur une cuve ouverte contenant le fertilisant. Le taux d'injection est très sensible aux variations de pression et il faut parfois poser de petits

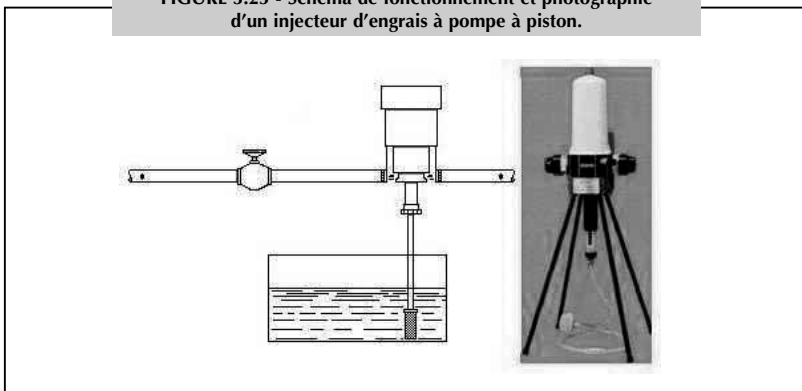
régulateurs de pression pour assurer une injection constante. Les pertes de charge sont d'environ 1 bar. Ces injecteurs en plastique existent en dimensions de $\frac{3}{4}$ à 2 pouces, avec des taux d'injection de 40 à 2 000 litres par heure. Ils sont relativement bon marché, comparés à d'autres injecteurs.

FIGURE 3.24 - Schéma d'installation et photographie d'un injecteur d'engrais de type Venturi.



La pompe à piston. Ce type d'injecteur est activé par la pression de l'eau dans le système et peut être directement installé en ligne et non sur une dérivation. L'écoulement dans le système active les pistons et l'injecteur fonctionne en injectant la solution d'engrais stockée dans une cuve tout en maintenant un taux d'injection constant. Le taux varie de 9 à 2 500 litres à l'heure selon la pression dans le système, mais il peut être réglé par de petits régulateurs. Faits de matière plastique résistante et durable, ces injecteurs sont disponibles en divers modèles et dimensions. Ils sont plus chers que les injecteurs de type Venturi (figure 3.25).

FIGURE 3.25 - Schéma de fonctionnement et photographie d'un injecteur d'engrais à pompe à piston.



LES DISTRIBUTEURS D'EAU

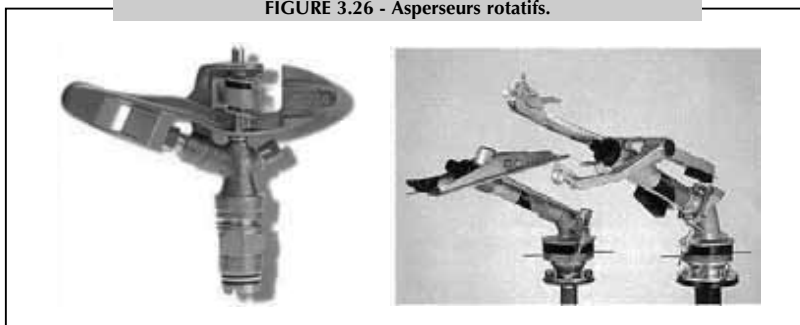
Les distributeurs d'eau définissent généralement la catégorie de système et, dans la plupart des cas, le type d'installation. Branchés sur les conduites latérales à intervalles réguliers, ils apportent l'eau aux plantes sous forme de jet de pluie, pulvérisation, brumisation, faible débit, fontaine ou gouttes continues. Il existe trois types de distributeurs auxquels appartiennent toutes les catégories de modèles actuellement utilisés: buse à petit orifice, vortex ou labyrinthe à circuit long. L'écoulement dans les distributeurs est turbulent. Quelques goutteurs à écoulement laminaire, utilisés dans le passé, ne sont plus utilisés.

Les asperseurs. La plupart des asperseurs agricoles sont actionnés par un batteur, du type à impact rotatif lent, à buse unique ou double. L'asperseur projette en l'air des jets d'eau, qui se répandent sous la forme de gouttes de pluie sur une superficie circulaire du champ. Ces asperseurs existent en divers débits, dimensions de buses, pressions de service, et diamètres du cercle mouillé (ou diamètre de couverture), en cercle complet ou partiel. Ils sont classifiés en basse, moyenne et haute pression/capacité, comme le montre le tableau 3.5; selon la hauteur du jet d'eau au-dessus de la buse, ils se divisent en modèles à angle faible (4–11°) et angle élevé (20–30°). Ils sont fabriqués en laiton ou plastique de haute technologie avec des raccords filetés internes ou externes de $\frac{3}{4}$ –1 $\frac{1}{2}$ pouce. Ils sont installés verticalement sur les conduites latérales, à 60 cm au-dessus du sol sur des tuyaux de rallonge de petits diamètres. L'espacement des asperseurs sur le champ, sur trame rectangulaire ou triangulaire, ne devra pas excéder 60 pour cent du diamètre de couverture de l'asperseur. Au besoin, le dispositif de filtration requis aura un calibre d'environ 20 «mesh» (figure 3.26).

TABLEAU 3.5 - Classification des asperseurs

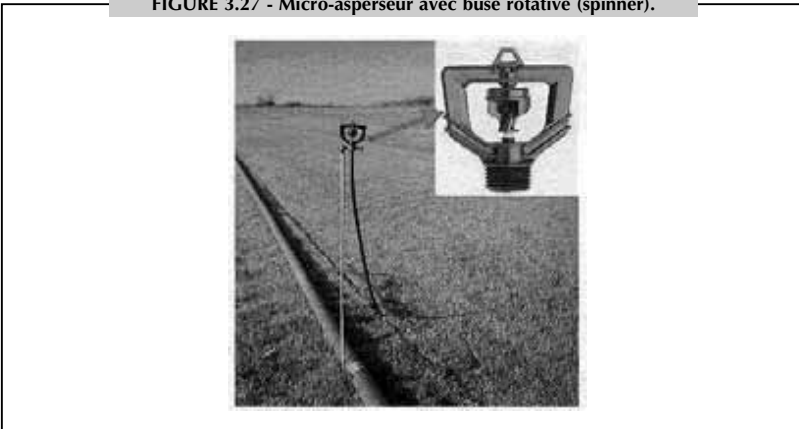
Asperseurs agricoles (deux buses)	Diamètre buse (mm)	Pression de service (bars)	Débit (m ³ /h)	Diamètre de couverture (m)
Basse pression	3,0–4,5 x 2,5–3,5	1,5–2,5	0,3–1,5	12–21
Moyenne pression	4,0–6,0 x 2,5–4,2	2,5–3,5	1,5–3,0	24–35
Haute pression	12,0–25,0 x 5,0–8,0	4,0–9,0	5,0–45,0	60–80

FIGURE 3.26 - Asperseurs rotatifs.



Les micro-asperseurs. Ce sont de petits asperseurs en plastique de faible capacité avec des débits inférieurs à 300 litres par heure. Leurs principales caractéristiques sont: leur vitesse rapide de rotation, moins d'une minute par rotation; le très petit diamètre des gouttes d'eau et le faible angle du jet d'eau au-dessus de la buse. Ils n'ont qu'une buse d'environ 2 mm de diamètre. Ils ont un débit de 150 à 250 l/h sous 2 bars de pression. Ils arrosent un cercle complet d'un diamètre de 10 à 12 m. Montés sur des piquets métalliques ou plastiques de 60 cm de hauteur plantés dans le sol, ils sont connectés aux conduites latérales en PE (25 ou 32 mm) par de petits tubes flexibles de 7 mm de diamètre, longs de 80 cm. La disposition des asperseurs sur le champ est similaire à celle des asperseurs conventionnels. L'espacement ne dépasse toutefois pas 6 m, soit 50 pour cent du diamètre mouillé. La norme de filtration est d'environ 60 «mesh» (300 microns) (figure 3.27).

FIGURE 3.27 - Micro-asperseur avec buse rotative (spinner).



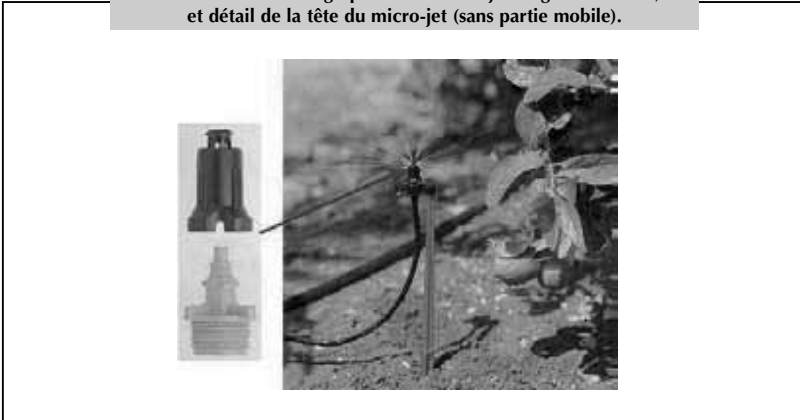
Les gicleurs, micro-jets et diffuseurs. Il s'agit de petits distributeurs en plastique, à faible débit et angle réduit, qui fournissent l'eau sous forme de fines gouttes distribuées sur un cercle complet ou par secteur de cercle. Ils sont utilisés principalement sur les cultures arbustives. Il existe différents mécanismes avec une large gamme de débits et diamètres de couverture. Ils ont tous de très petits diamètres d'émission, ce qui rend la filtration de l'eau essentielle. Leurs principales caractéristiques de fonctionnement sont:

- pression de fonctionnement: 1,5–2 bars;
- débit: 35–250 l/h (généralement 150 l/h);
- diamètre mouillé: 3–6 m;
- pluviométrie: 2–20 mm/h (généralement 4–8 mm/h);
- norme de filtration: 60–80 «mesh» (250–200 microns).

Les dispositifs sont fixés à de petites baguettes en plastique dépassant du sol de 20–30 cm. Ils sont connectés aux conduites latérales en PE avec de petits tubes en plastique flexible de 7 à 9 mm de diamètre, longs de 60

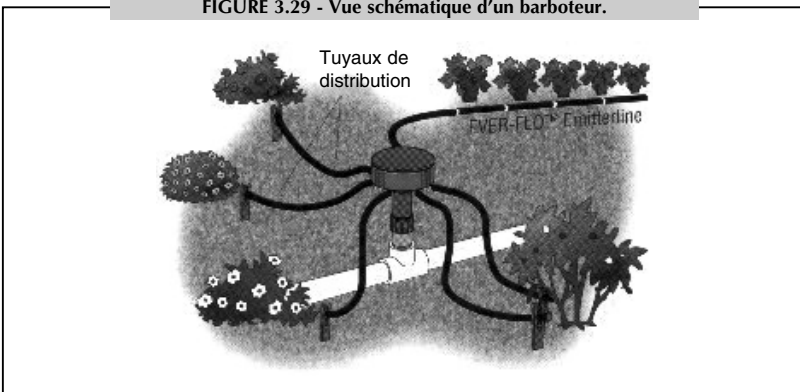
à 120 cm, munis de raccords à barbillons. On en place un par arbre, à 30-50 cm les uns des autres (figure 3.28).

FIGURE 3.28 - Photographie d'un micro-jet irrigant un citrus, et détail de la tête du micro-jet (sans partie mobile).



Les barboteurs. Les barboteurs à basse pression sont de petits distributeurs conçus pour l'irrigation localisée par submersion sur de petites superficies. L'eau est fournie par petits bouillonnements ou faibles débits au même endroit. Le débit, réglé en vissant (ou dévissant) la tête du barboteur, varie de 110 à 250 litres par heure sous une pression de 1 à 3 bars. Les barboteurs sont montés, comme les mini-jets, sur de petites tiges en plastique plantées en terre, et raccordés aux conduites latérales en PE par des tubes flexibles en plastique de 7 mm de diamètre et longs de 80 cm. Ils sont placés dans les bassins ménagés au pied des arbres, à raison d'un ou deux pour chaque arbre. Ce bassin est toujours requis pour stocker ou contrôler l'eau, car le débit délivré par le barboteur excède habituellement le taux d'infiltration du sol (figure 3.29).

FIGURE 3.29 - Vue schématique d'un barboteur.



Les goutteurs. Les goutteurs sont de petits distributeurs fabriqués en plastique de haute technologie. Ils sont montés à intervalles réguliers sur de petits tubes en PE mou. L'eau pénètre dans le goutteur à une pression d'environ 1 bar et est émise à pression nulle sous la forme de gouttelettes continues avec un faible débit de 1 à 2,4 l/h. Les goutteurs sont divisés en deux groupes principaux selon la manière dont ils dissipent l'énergie de la pression:

- les types à orifice, avec une section d'écoulement de 0,2 à 0,35 mm²;
- les types à circuit long, avec une section relativement plus élevée de 1 à 4,5 mm².

Les deux types sont fabriqués avec différents mécanismes et principes de fonctionnement, tels que la diode à vortex, le diaphragme ou le disque flottant pour les goutteurs à orifice, et les labyrinthes de différentes formes pour les types à circuit long. Tous les goutteurs actuellement disponibles sur le marché sont à écoulement turbulent.

Les goutteurs sont aussi caractérisés par le type de raccordement à la conduite latérale: en dérivation, c'est-à-dire inséré dans la paroi du tube à l'aide d'un poinçonneur, ou en ligne lorsque le tuyau est interrompu pour insérer le goutteur manuellement ou avec une machine (figure 3.30).

Les goutteurs à sorties multiples en dérivation sont aussi disponibles avec quatre à six sorties avec des micro-tubes de type «spaghetti».

FIGURE 3.30 - Goutteur en dérivation et goutteur en ligne.



Les gaines de micro-irrigation. Il s'agit de tuyaux à parois minces présentant des distributeurs espacés de 10, 20, 30, 45 cm ou tout autre espacement, et distribuant de plus petites quantités d'eau que les distributeurs habituels, à de très faibles pressions, c'est-à-dire 0,4 à 1 l/h à 0,6-1 bar. Dans ces tuyaux à distributeurs intégrés, ceux-ci sont disposés à l'intérieur des parois du tube avec des espacements prédéterminés au moment du processus de fabrication. Ces gaines de micro-irrigation constituent des conduites

latérales gouttantes prêtes à l'emploi permettant une très grande uniformité d'application. Elles sont faites en PEFD ou en tout autre matériel souple en PE, sont offertes en divers diamètres de 12 à 20 mm et plusieurs épaisseurs de paroi (0,1 à 1,25 mm). Grâce au système de filtration incorporé à l'intérieur du tube, ces distributeurs sont moins sensibles aux blocages mécaniques ou biologiques que les distributeurs conventionnels (figure 3.31).

Les distributeurs à compensateur de pression. Plusieurs asperseurs, distributeurs et autres micro-distributeurs sont disponibles avec des régulateurs de débit incorporés. Ces distributeurs fournissent un débit d'eau constant pour toute pression supérieure à celle de fonctionnement prédéterminée. Ils permettent un taux uniforme d'écoulement tout au long de la conduite latérale quels que soient le nombre de distributeurs, l'espacement, la longueur ou l'élévation de la ligne, lorsque la pression est excessive dans la conduite. Grâce à ce système, les variations de pression dues aux pertes de charge dans les conduites latérales peuvent excéder 20 pour cent. Par conséquent, des tuyaux de plus petits diamètres, moins coûteux, peuvent être installés dans certains cas. Toutefois, les distributeurs

FIGURE 3.31 - Schéma et photographie d'une gaine de micro-irrigation.

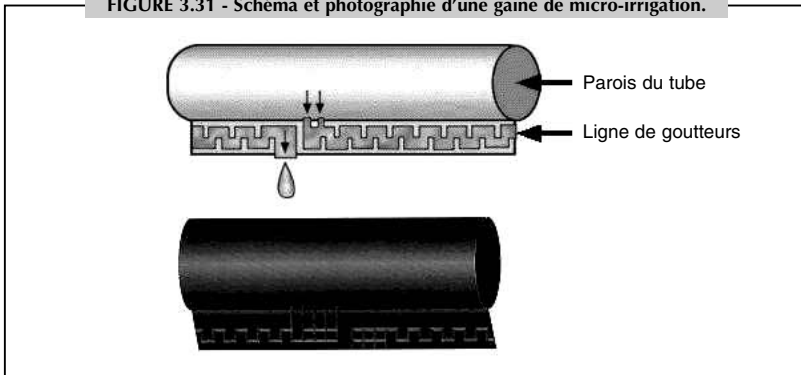


FIGURE 3.32 - Variations de débit entre un distributeur normal et un distributeur à compensateur de pression, (situations idéale et réelle).

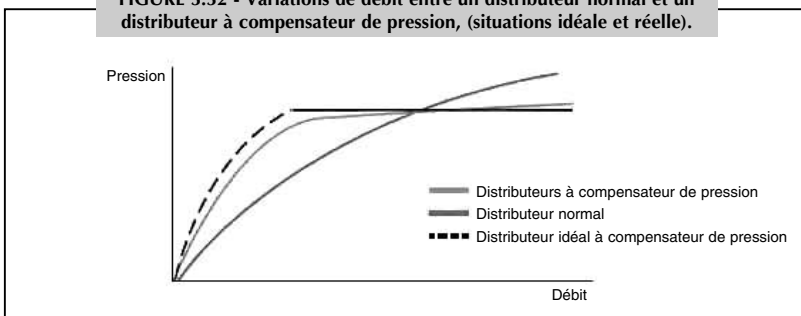
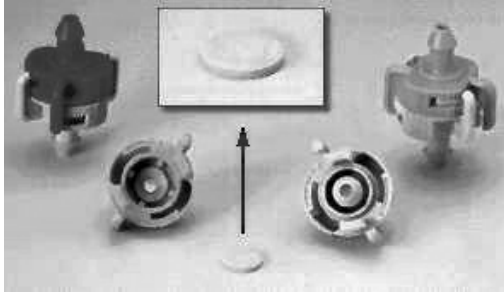


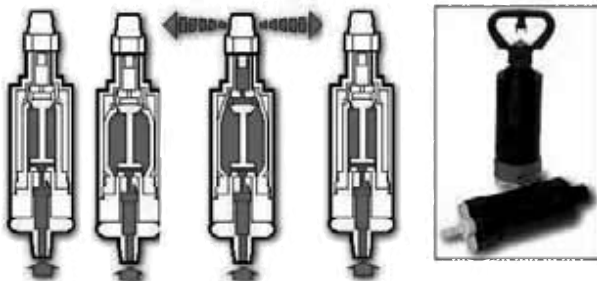
FIGURE 3.33 - Photographie d'un distributeur à compensateur de pression, montrant la membrane utilisée comme régulateur de débit.



auto-régulants, appelés à compensateur de pression, peuvent normalement fonctionner sous des pressions excédant les pressions de fonctionnement prédéterminées, mais sont plus coûteux que les distributeurs conventionnels (figures 3.32 et 3.33).

Les pulseurs. Les pulseurs sont de petits dispositifs hydrauliques en plastique utilisés dans les systèmes de micro-irrigation pour réduire les débits dans les distributeurs et les systèmes à de très faibles niveaux pour obtenir des efficacités plus élevées. Les pulseurs utilisent un goutteur intégré d'un débit de 4 à 8 l/h qui alimente un manchon intégral en silicone. Celui-ci fonctionne à son tour comme une minuscule pompe pulsante générant des centaines d'impulsions par heure qui font s'écouler l'eau. Ainsi, ces pulseurs peuvent convertir un écoulement lent et continu en une émission instantanée de courtes giclées d'eau sous pression. Ce procédé permet des taux d'applications de l'eau de 0,3 à 0,8 mm/h avec les gicleurs, les mini-asperseurs et les diffuseurs, et de 100–300 cm³/h avec les goutteurs. Ces dispositifs sont accouplés aux distributeurs, un pour chaque mini-asperseur ou diffuseur et un pour 20 à 70 goutteurs. L'eau fournie à

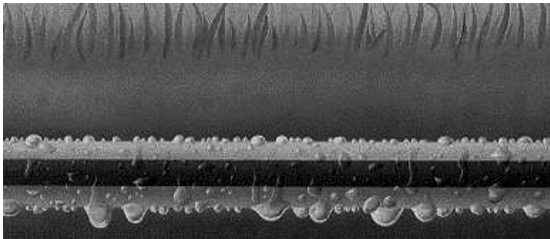
FIGURE 3.34 - Schéma de fonctionnement et photographie d'un pulseur.



chaque impulsion est de l'ordre de 0.5 cm³. Le manchon de silicone reste fermé lorsque la pression de l'eau s'abaisse en fin d'irrigation et évite la vidange du système. Il existe également des pulseurs à pression compensée pour l'utilisation en montagne et terrain accidenté (figure 3.34).

Les tuyaux poreux. Ces tuyaux sont des tubes de petits diamètres (environ 16 mm), flexibles et poreux, à paroi mince, faits de fibres de PE, de PVC, d'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) ou de caoutchouc. Sous une faible pression, ils permettent à l'eau et aux engrais solubles de traverser la paroi du tube par transpiration et d'irriguer les cultures. Le débit du tube poreux n'est pas précis, car les dimensions des pores sont variables et instables. Ces tubes sont utilisés comme conduites latérales d'irrigation en-dessous de la surface du sol. Leur application est limitée bien qu'ils offrent certains avantages (figure 3.35).

FIGURE 3.35 - Schéma d'un tuyau poreux.



Les tuyaux de jardin. Les tuyaux de jardin flexibles sont fabriqués à partir de divers matériaux plastiques, habituellement en PVC mou, renforcés avec de la trame de textile ou de polyester. Ces tuyaux à extrémités lisses sont fabriqués en diamètres nominaux d'approximativement 15, 19, 25, 32, et 38 mm. Ils permettent une vaste gamme d'application de l'eau (figure 3.36).

FIGURE 3.36 - Photographie d'un tuyau de jardin avec arroseur à jet.

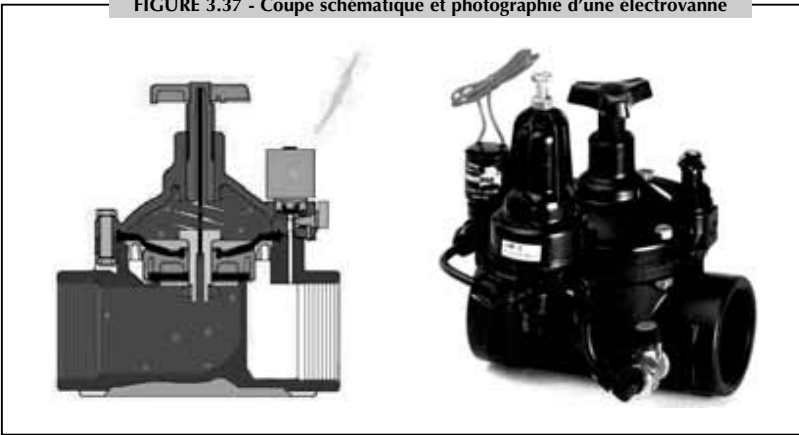


LES DISPOSITIFS D'AUTOMATISATION

Le dispositif d'automatisation d'un système d'irrigation comprend essentiellement les électrovannes, le dispositif de commande et les câbles in-situ, lorsque la transmission est électrique.

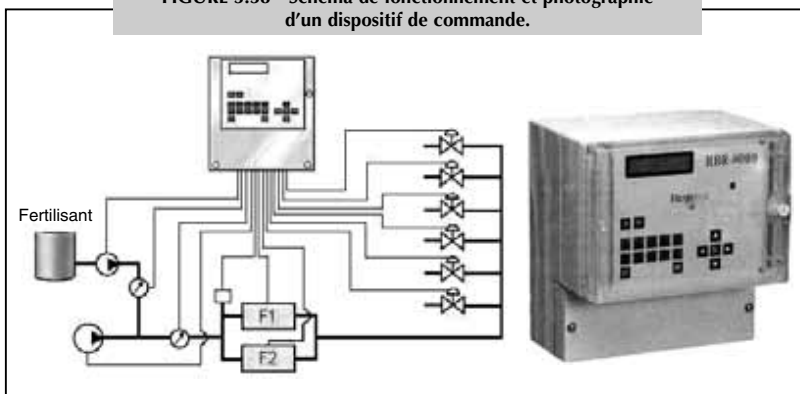
Les électrovannes (à solénoïdes). Ce sont des vannes automatiques qui sont commandées à distance pour ouvrir ou fermer l'écoulement de l'eau. Leur corps est conçu sur le modèle de la vanne sphérique. Elles s'ouvrent et se ferment grâce à un diaphragme flexible ou un piston, utilisant la pression hydraulique contrôlée par une valve à solénoïde actionnée électriquement et montée à la partie supérieure (figure 3.37). Réalisée en verre ou plastique renforcé, l'électrovanne, normalement fermée, est normalisée en pouces avec des raccords filetés et fonctionne sous une pression de 10 à 14 bars; une poignée permet le fonctionnement manuel et le contrôle de l'écoulement.

FIGURE 3.37 - Coupe schématique et photographie d'une électrovanne



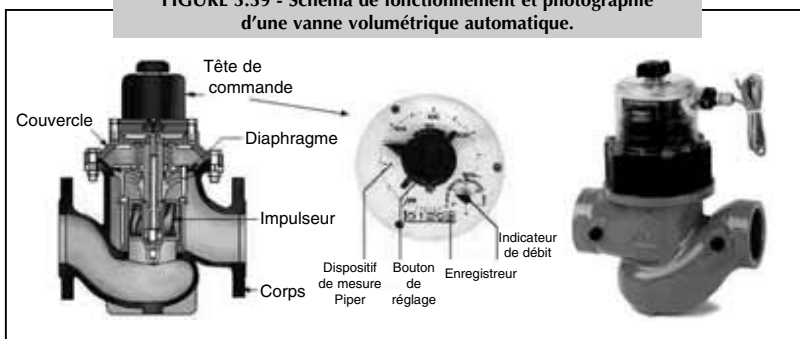
Les dispositifs de commande. Ce sont des dispositifs automatiques de programmation de la durée de fonctionnement qui commandent les vannes automatiques (électriques) à distance, par exemple pour leur ouverture et leur fermeture selon un programme pré-déterminé. Un transformateur transforme le courant du secteur en 24–30 V. Le courant émis par le contrôleur électrique est transmis à la valve électrique par un câble souterrain. Les principales composantes du dispositif comprennent les stations et les programmes. Chaque station ne commande habituellement qu'une valve. Le fonctionnement des stations est séquentiel. Il y a plusieurs types de dispositifs de commande disponibles pour plusieurs stations, jusqu'à 30, avec double ou triple programme pour différentes programmations et cycles variables de plus de 14 jours et pour un horaire de 0 à 12 heures au niveau de la station. Des dispositifs de commande alimentés par batteries sont aussi disponibles pour les stations indépendantes (figure 3.38).

FIGURE 3.38 - Schéma de fonctionnement et photographie d'un dispositif de commande.



Les vannes volumétriques automatiques à compteur. Ces vannes comprennent un compteur volumétrique, une commande de pilotage et un mécanisme de fermeture. Lorsque le volume prédéterminé a été distribué, la vanne se ferme automatiquement (figure 3.39). Les vannes de petites tailles, avec raccords filetés, sont actionnées mécaniquement, alors que les vannes plus importantes, en fonte avec raccords à brides, sont actionnées hydrauliquement par diaphragme ou piston. Toutes ces vannes n'ont qu'une application limitée, principalement en raison de leur coût élevé.

FIGURE 3.39 - Schéma de fonctionnement et photographie d'une vanne volumétrique automatique.



LES INSTRUMENTS DE MESURE

La gestion correcte d'un système d'irrigation exige que des contrôles simples et fréquents soient effectués sur le terrain, tant pour les sols que pour les eaux. Il existe à cet effet de nombreux instruments qui donnent des lectures directes des données.

Les capteurs d'humidité du sol. La mesure de l'humidité du sol est difficile, principalement en raison de la variabilité des types de sol, du calibrage du capteur, de la zone d'influence du capteur, et de l'extrapolation de ces mesures à la gestion des cultures. Fondamentalement, deux paramètres présentent de l'intérêt: i) le volume d'eau dans le sol, car il donne des indications sur le taux d'eau dans le sol par rapport au volume du matériau solide plus l'air (c'est une mesure très utile pour le contrôle de l'irrigation, car elle indique le volume d'eau requis pour combler les vides, ou «remplir l'éponge»); et ii) la tension d'humidité des sols, car elle renseigne sur l'effort que la plante doit fournir pour extraire l'eau du sol. Il existe actuellement diverses technologies pour la mesure de l'humidité du sol. Trois d'entre elles, en raison de leur pertinence, sont brièvement décrites ci-dessous:

- **Les tensiomètres:** la force maintenant l'eau dans le sol, appelée tension d'humidité des sols, est directement liée à l'humidité contenue dans le sol. Elle est mesurée en centibars au moyen de tensiomètres. Pratiquement tous les types de tensiomètres comprennent trois parties: un tube plastique fermé, à la partie inférieure une coupelle en céramique poreuse et, au sommet, un dispositif de mesure du vide. Ils sont disponibles pour diverses profondeurs et en plusieurs longueurs de 30 à 150 cm. Ils sont remplis d'eau désaérée et disposés de manière permanente dans des trous carottés dans le sol à proximité des plantes, toujours par paire et à deux profondeurs différentes, l'un à 30 pour cent de la profondeur effective d'enracinement et l'autre à 60 pour cent. Il faut assurer un bon contact avec le sol environnant. La disponibilité en eau est contrôlée facilement et des valeurs élevées de pression osmotique peuvent être assurées dans l'environnement des racines. Au stade de la capacité au champ, la tension de l'eau du sol est normalement de 10 cbars dans les sols sableux, 20 cbars dans les sols sablo-argileux et 30 cbars dans les argiles. Des relevés de moins de 10 cbars indiquent des sols saturés en eau, de 20 à 40, une excellente disponibilité d'eau dans le sol, et de plus de 55, un grave danger de stress hydrique. Dans les cultures vivrières, l'irrigation démarre lorsque le tensiomètre supérieur indique une tension de 18 à 25 cbars, selon le type de sols et le stade de croissance (figure 3.40).
- **Les réflectomètres temporels (RDT):** Réflectométrie à dimension temporelle. La méthode est basée sur le principe que la vitesse d'une onde électromagnétique dépend du milieu traversé. Plus la teneur en eau du sol est élevée, plus l'onde se déplacera lentement. Ainsi le temps de parcours de l'onde sur une distance de référence connue peut être lié à la teneur en eau du sol. Les principaux avantages de la méthode sont sa précision, sa continuité et qu'elle n'exige pas de calibration. Son principal désavantage réside dans la complexité et le coût de son équipement électronique.

Les conductivimètres. Ces instruments portables, fonctionnant sur batteries, permettent une détermination rapide et précise de la concentration en sels solubles dans les solutions du sol et dans l'eau

FIGURE 3.40 - Coupe schématique et photographies d'un tensiomètre et d'un réflectomètre temporel.

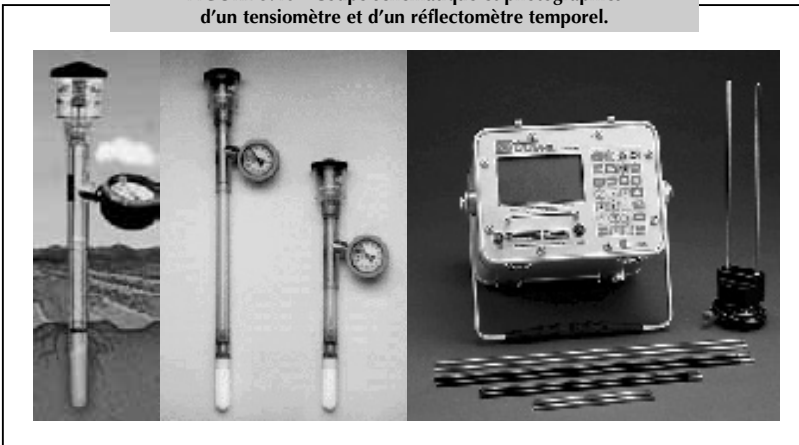


FIGURE 3.41 - Mesure directe des solutions du sol au moyen d'un conductivimètre et extracteurs installés dans un champ.



d'irrigation. Ils tiennent compte des variations de température mais nécessitent des calibrages fréquents (figure 3.41).

Les extracteurs de solutions de sol. Ces instruments, comme le tensiomètre, sont composés d'un tube de plastique présentant à sa base une coupelle en céramique poreuse et une seringue. Ils sont introduits par paires dans le sol dans la zone racinaire des cultures (en micro-irrigation, un tube sera placé près du distributeur, l'autre entre les lignes de distributeurs). Un vide créé dans le tube de plastique force l'humidité du sol vers l'extracteur au travers de la coupelle en céramique. La solution recueillie est ensuite retirée de la coupelle avec la seringue pour en

permettre l'examen. Ces instruments permettent un suivi continu des modifications de la salinité totale du sol, de la teneur en chlorure et en nitrate et du pH, qui résultent de l'irrigation intensive et de la fertilisation. Ils sont disponibles en diverses longueurs de 15 à 150 cm.

Le bac d'évaporation de classe A. Il s'agit d'un bac circulaire largement utilisé pour la mesure de l'évaporation. Il est constitué d'une plaque d'acier galvanisé (jauge 22), revêtu de peinture aluminium ou de métal de 0,8 mm (Monel). La taille du bac, soit un diamètre de 121 cm et une profondeur de 25,5 cm, est standard. Il est placé à 15 cm au-dessus du sol, sur un support en bois (figure 3.42).

Il est rempli d'eau jusqu'à 5 cm du bord. Un dispositif simple ou automatique permet de mesurer la baisse du niveau d'eau consécutive à l'évaporation. Les mesures sont effectuées chaque matin à la même heure. On rétablit le niveau d'eau quand son niveau s'abaisse à environ 7,5 cm en dessous du bord du bac.

FIGURE 3.42 - Un bac d'évaporation de classe A sur le terrain.



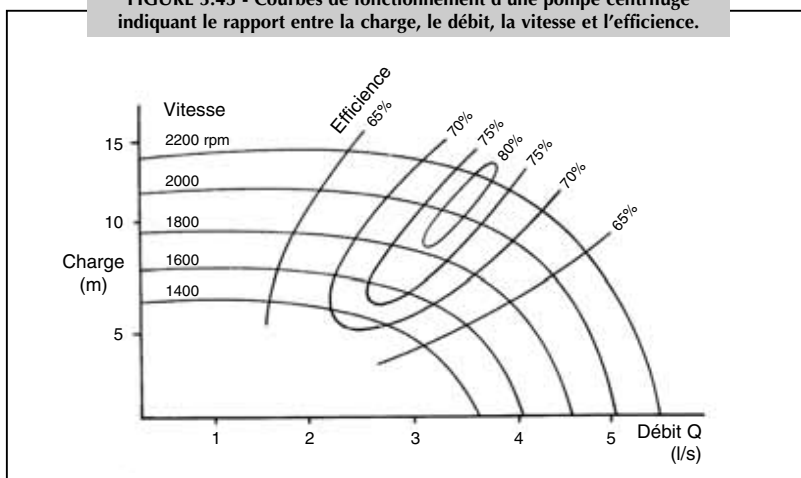
LES SYSTEMES D'EXHAURE (POMPAGE)

Les systèmes d'exhaure sont souvent classifiés selon le principe mécanique utilisé pour l'élévation de l'eau: élévation directe, déplacement, création d'une énergie cinétique, utilisation de la poussée d'un gaz ou gravité. La plupart des catégories se subdivisent en d'autres classes: réciproque/cyclique et rotative. La première classe se réfère aux dispositifs qui répètent la manoeuvre d'élévation de manière cyclique (par exemple, un récipient sur une corde est abaissé dans l'eau, plongé pour être rempli, élevé puis vidé, avant que le cycle se répète); dans ce cas, l'écoulement sortant est habituellement intermittent ou au mieux pulsé plutôt que continu. Les dispositifs rotatifs ont généralement été développés

pour accroître le volume d'eau pompé et ils sont aussi plus facilement couplés à un moteur ou à d'autres moyens mécaniques.

En pratique, il vaut mieux caractériser les différents moyens d'élévation de l'eau en mesurant leur débit en fonction de différentes hauteurs d'élévation et vitesses de rotation. Normalement, les performances d'une pompe sont présentées sur un graphique représentant la charge en fonction du débit (un graphique H/Q comme dans la figure 3.43) et, dans la plupart des cas, des courbes définissent la relation entre **H** et **Q** pour différentes vitesses de fonctionnement. Il y a invariablement une certaine charge, un certain débit et une certaine vitesse de rotation qui représentent l'efficacité optimale du dispositif, c'est-à-dire quand les paramètres permettent d'optimiser le débit sortant par rapport à la puissance d'alimentation. Certains dispositifs et certaines pompes sont plus sensibles aux variations de ces facteurs que d'autres; c'est-à-dire que certaines pompes ne fonctionnent bien que dans des conditions initialement prévues de vitesse, débit et charge (pression), alors que d'autres peuvent tolérer une vaste gamme de conditions de fonctionnement avec de faibles pertes d'efficacité. Par exemple, les caractéristiques de la pompe centrifuge, données sur la figure 3.43, indiquent qu'une efficacité optimale supérieure à 80 pour cent ne peut être obtenue que pour des vitesses de rotation d'environ 2 000 rotations par minute (rpm).

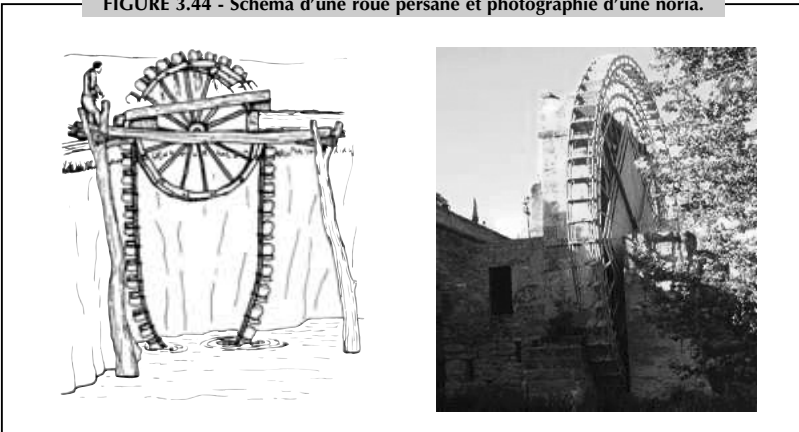
FIGURE 3.43 - Courbes de fonctionnement d'une pompe centrifuge indiquant le rapport entre la charge, le débit, la vitesse et l'efficacité.



Les dispositifs d'élévation directe. Ce dispositif inclut toutes les variations sur le thème du récipient et constitue la plus ancienne méthode artificielle pour élever et transporter l'eau. Généralement, on améliore l'efficacité, et par conséquent la productivité, si l'élément éleveur de

l'eau se déplace sur un chemin circulaire fixe. Une amélioration évidente par rapport à la simple utilisation du seau et de la corde est d'installer plusieurs petits godets à la périphérie d'une chaîne sans fin pour former un élévateur continu à godets. La version originale de ce dispositif est la roue persane, d'origine très ancienne, mais encore largement utilisée. La noria, une roue à pots en céramique, entraînée par le courant de l'écoulement, fonctionne sur le même principe (figure 3.44).

FIGURE 3.44 - Schéma d'une roue persane et photographie d'une noria.

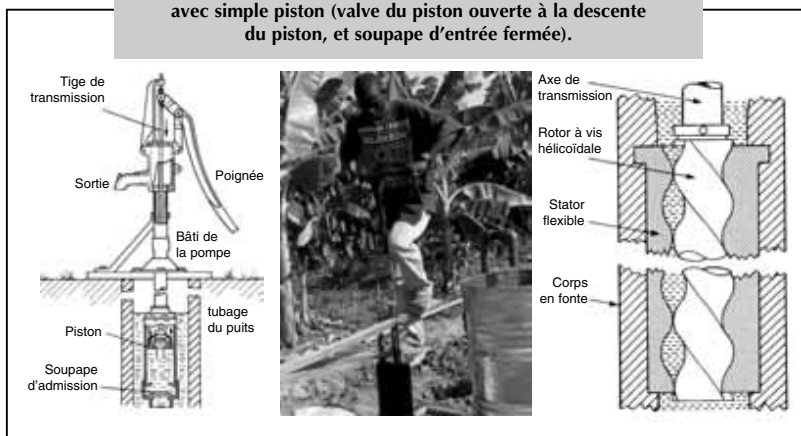


Les pompes volumétriques. La forme la plus commune et connue de pompe réciproque/cyclique est la pompe à piston, tandis que la plus représentative du type rotatif continu est la vis d'Archimède. Dans la pompe à piston, l'eau est aspirée à la montée du piston dans un cylindre à travers une soupape et la valve sur le piston est maintenue fermée par l'eau qui pèse sur elle; simultanément, l'eau au-dessus du piston est éjectée de la pompe. À la descente du piston, la vanne d'admission se ferme sous l'effet de son poids et de celui de la colonne d'eau, alors que la valve du piston s'ouvre, laissant s'échapper l'eau contenue dans le cylindre par le piston, qui se trouve prêt pour le cycle suivant.

Les pompes volumétriques à mouvement rotatif se basent sur le principe de la vis d'Archimède. D'autres concepts modernes sont apparus, telle la pompe à rotor hélicoïdal excentré (aussi nommée «monopompe»), qui tous présentent des similarités. Le principe est que la partie submergée de l'hélice puise de l'eau à chaque fois qu'elle plonge sous la surface et qu'au fur et à mesure de sa rotation, un certain volume d'eau est emprisonné dans la cavité, soit l'espace compris entre l'enveloppe de la vis et le bas de chaque spire. La pompe à rotor hélicoïdal, adaptée à des forages profonds, présente le grand avantage de s'adapter plus facilement aux variations de

charge que les pompes centrifuges. Elle est par conséquent recommandée pour toutes les situations où le niveau de l'eau est susceptible de varier significativement au cours des saisons (figure 3.45).

FIGURE 3.45 - Gauche: schéma d'une pompe manuelle avec simple piston (valve du piston ouverte à la descente du piston, et soupape d'entrée fermée).



Les pompes rotodynamiques. Leur mécanisme se fonde sur le principe que l'impulsion engendrée par de l'eau propulsée à grande vitesse peut être utilisée pour créer un débit ou une pression. Le système cyclique/réciproque est rarement utilisé alors que le système rotatif/continu est largement répandu. Les pompes qui utilisent ce dernier sont appelées pompes rotodynamiques; leur mécanisme est basé sur la propulsion d'eau au moyen d'une hélice tournante ou d'un rotor.

Puisqu'une simple pompe rotodynamique a un fonctionnement plutôt limité, les fabricants produisent une gamme de pompes utilisant plusieurs composants et couvrant un large spectre de débits et de hauteurs de refoulement. Lorsque de grands débits à faible charge sont requis (ce qui est courant pour les pompes d'irrigation), la pompe la plus efficace est de type à écoulement axial (similaire à une hélice dans une conduite). À l'inverse, pour de faibles débits à hautes charges, une turbine centrifuge (écoulement radial) est requise (figure 3.46).

Lorsqu'on a besoin d'une plus grande charge que celle fournie par une pompe unique, deux pompes peuvent être couplées en série. De la même manière, si un plus grand débit est requis, on installera deux pompes en parallèle (figure 3.47).

FIGURE 3.46 - Pompes rotodynamiques: (a) pompe radiale ou centrifuge et (b) pompe axiale.

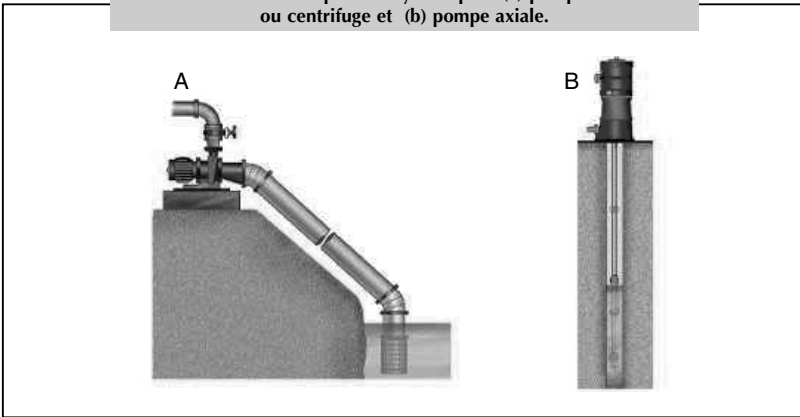
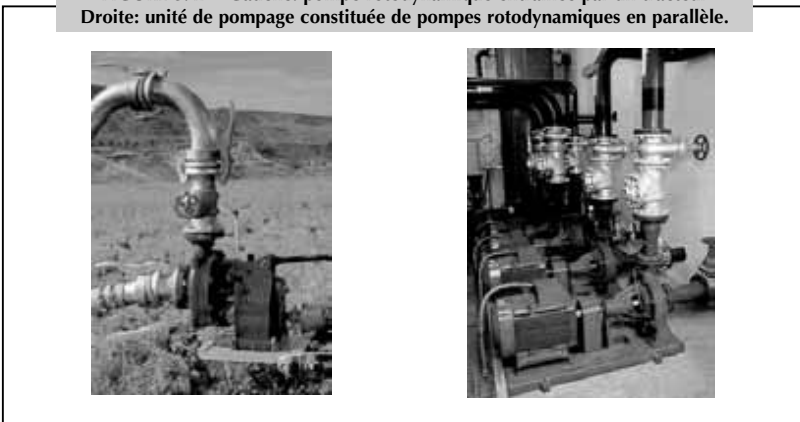


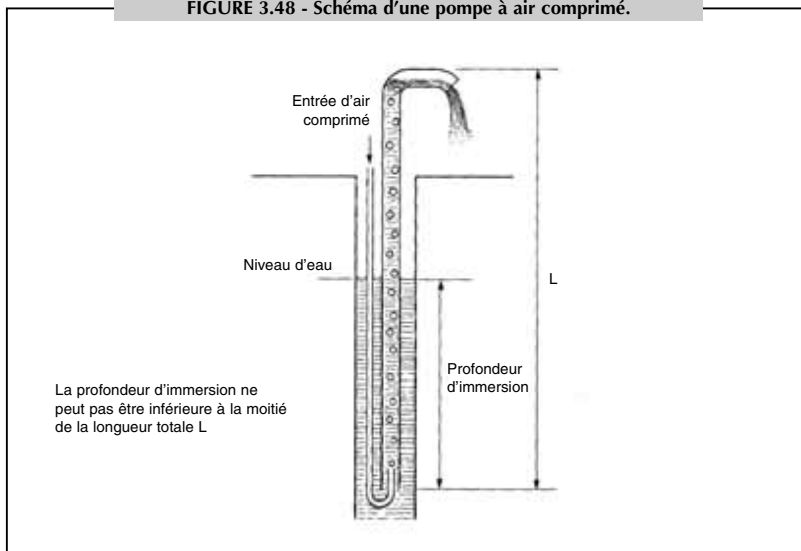
FIGURE 3.47 - Gauche: pompe rotodynamique entraînée par un tracteur
Droite: unité de pompage constituée de pompes rotodynamiques en parallèle.



Les pompes à air comprimé. De l'air comprimé est insufflé à la base d'un tube qui est submergé dans un forage de telle sorte que la partie sous le niveau d'eau est plus longue que la partie située au-dessus. L'air comprimé produit une émulsion d'air dans l'eau dont la densité est inférieure à l'eau et qui par conséquent remonte en surface. L'air comprimé est en général produit par un compresseur motorisé (figure 3.48). Le principal avantage de la pompe à air comprimé est qu'elle ne comporte aucun élément mécanique, et donc sujet à l'usure, situé sous terre, ce qui la rend simple, fiable, virtuellement sans entretien et capable de pomper de l'eau sableuse ou graveleuse. Ses inconvénients sont assez gênants: c'est une pompe inefficace, probablement moins de 20 à 30 pour cent en

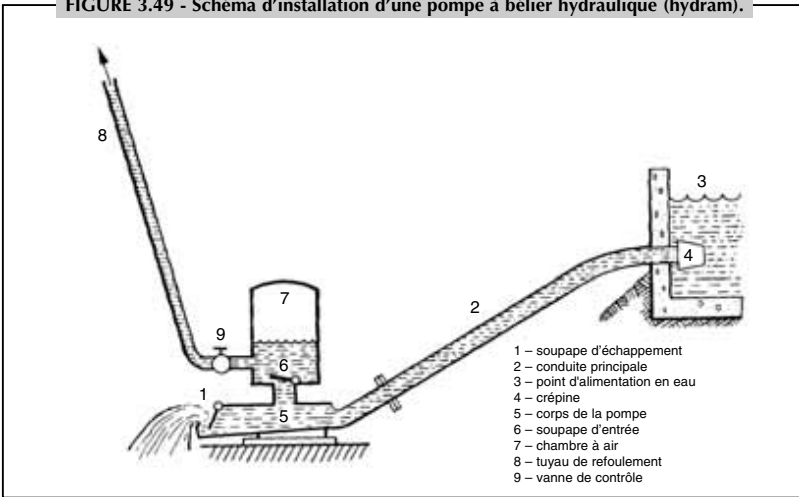
terme d' énergie fournie par l'air comprimé par rapport au volume d'eau pompé, et cette limitation est encore renforcée par le faible rendement des compresseurs d'air. De plus, la pompe exige un forage considérablement plus profond que ce qui serait normalement requis (plus de deux fois la profondeur du niveau statique de l'eau).

FIGURE 3.48 - Schéma d'une pompe à air comprimé.



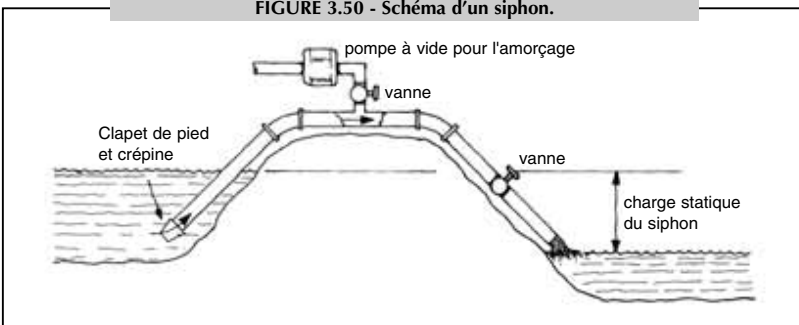
Les pompes à impulsion (béliet hydraulique). Ces pompes utilisent l'énergie d'eaux en descente pour relever une petite partie du débit de l'écoulement à une hauteur plus élevée que le niveau de la source. Leur principe de fonctionnement est de laisser s'établir l'écoulement dans une conduite à partir de la source, puis de créer une surpression dans la conduite par la fermeture intermittente et brusque d'une soupape située en aval. Le coup de bélier ainsi provoqué crée une surpression soudaine, suffisante pour relever une petite proportion de l'écoulement à un niveau considérablement plus élevé que le niveau de la source. Ces pompes sont utilisables dans les régions accidentées, sur des sites où des cours d'eau ou rivières coulent vers la vallée dans un lit à forte pente, et que les surfaces à irriguer sont situées à un niveau plus élevé que celui qui pourrait être alimenté par un réseau gravitaire classique de petits canaux en courbe de niveau. Un exemple pratique de ce type de pompe est la pompe à bélier hydraulique (hydram en anglais) (figure 3.49). Le principal avantage de ces pompes est l'absence presque totale de parties mobiles, cette simplicité mécanique les rendant très fiables, peu exigeantes sur le plan de l'entretien et très durables. Toutefois, dans la plupart des cas le débit est relativement faible (de l'ordre de 1 à 3 l/s), ce qui ne permet l'irrigation que de petites exploitations.

FIGURE 3.49 - Schéma d'installation d'une pompe à béliet hydraulique (hydram).



Les systèmes gravitaires. Les siphons sont les dispositifs les plus courants de ce type de systèmes, bien que strictement parlant, ce ne soit pas des dispositifs élévateurs, puisqu' après son passage dans un siphon, l'eau se retrouve à un niveau inférieur à celui à l'amont de l'ouvrage. Cependant, on peut considérer que les siphons permettent de passer par-dessus un obstacle situé au-dessus du niveau amont de la source, et qu'ils sont potentiellement très utiles pour l'irrigation (figure 3.50). Les siphons sont limités à des élévations inférieures à 5 m (au niveau de la mer), pour les mêmes raisons que la hauteur d'aspiration des pompes est limitée. Le problème principal des siphons est lié à la faible pression régnant au point haut, ce qui peut entraîner la formation de bulles d'air en provenance de l'air présent dans l'eau; celui-ci cause au départ un obstacle qui réduit le débit écoulé et qui en croissant peut provoquer un bouchon d'air susceptible d'arrêter l'écoulement. Par conséquent, la conduite du siphon doit être absolument étanche, car entièrement soumise à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

FIGURE 3.50 - Schéma d'un siphon.



Calcul de la puissance requise (P)

La puissance requise est calculée de la manière suivante:

$$P(HP) = \frac{Q(l/s) \times Ht(m)}{75 \times e1 \times e2}$$

et

$$P(kw) = \frac{Q(l/s) \times Ht(m)}{102 \times e1 \times e2}$$

où:

Ht est la charge totale;

e1 est l'efficacité de la pompe (de l'ordre de 0,5–0,8); et

e2 est l'efficacité du moteur (de l'ordre de 0,7–0,9 pour les moteurs électriques et de 0,5–0,75 pour les moteurs diesel).

La charge totale requise (Ht) pour le fonctionnement normal du système est la somme des pressions suivantes (figure 3.51): $H_a + H_i + H_p$.

FIGURE 3.51 - Ht est la charge totale, Ha la hauteur d'élévation, Hi la charge au niveau du distributeur et Hp la perte de charge due au frottement (somme des pertes dans les conduites principales et secondaires, adducteurs, conduites latérales, vannes, raccords de conduite et autres pertes mineures).

