

MANUEL DES TECHNIQUES D'IRRIGATION SOUS PRESSION



MANUEL

DES

TECHNIQUES D'IRRIGATION

SOUS PRESSION

A. Phocaides

Seconde édition

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

ROME, 2008

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

ISBN 978-92-5-205817-5

Tous droits réservés. Les informations contenues dans ce produit d'information peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation devront être adressées au:

Chef de la Sous-division des politiques et de l'appui en matière
de publications électroniques

Division de la communication, FAO

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie

ou, par courrier électronique, à:

copyright@fao.org

© FAO 2008

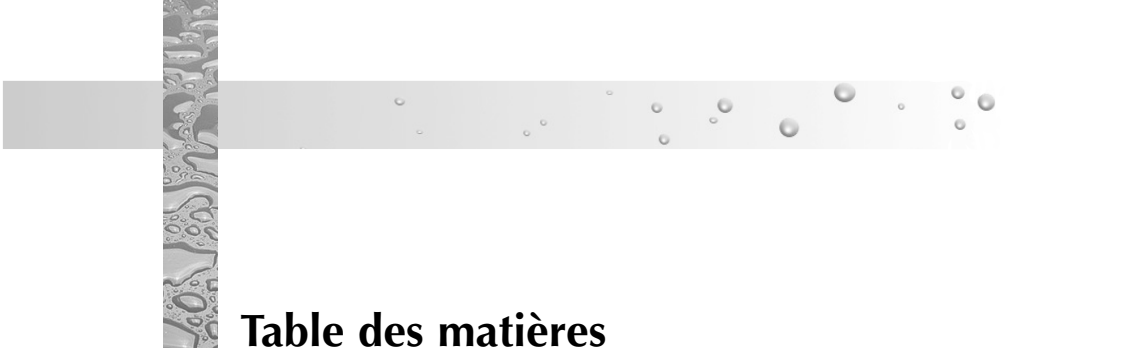


Table des matières

Préface	xxv
Remerciements	xxvi
Liste des acronymes	xxvii
Chapitre 1: Introduction	1.1
Chapitre 2: Techniques d'irrigation en conduites sous pression	2.1
<i>Systèmes d'irrigation en conduites sous pression</i>	<i>2.1</i>
<i>Trame du réseau</i>	<i>2.1</i>
<i>Ouvrage de tête</i>	<i>2.2</i>
<i>Conduite principale</i>	<i>2.3</i>
<i>Conduites secondaires</i>	<i>2.3</i>
<i>Bornes de prise</i>	<i>2.3</i>
<i>Adducteurs (conduites d'alimentation)</i>	<i>2.3</i>
<i>Conduites latérales (conduites d'irrigation)</i>	<i>2.3</i>
<i>Distributeurs</i>	<i>2.3</i>
<i>Classification des systèmes</i>	<i>2.4</i>
<i>Pression de fonctionnement</i>	<i>2.4</i>
<i>Méthode de distribution de l'eau</i>	<i>2.4</i>
<i>Type d'installation</i>	<i>2.5</i>
<i>Les techniques d'irrigation par conduites sous pression comparées avec les méthodes traditionnelles d'irrigation</i>	<i>2.5</i>
<i>Efficacité de l'irrigation</i>	<i>2.5</i>
<i>Rentabilité économique par unité de volume d'eau</i>	<i>2.6</i>
<i>Fonctionnement et entretien</i>	<i>2.6</i>
<i>Coût</i>	<i>2.6</i>

Chapitre 3: Equipement d'irrigation et techniques de raccordement	3.1
<i>Introduction</i>	<i>3.1</i>
<i>Les conduites</i>	<i>3.2</i>
<i>Les tuyaux en acier à raccord fileté</i>	<i>3.2</i>
<i>Les tuyaux en acier léger à raccord rapide</i>	<i>3.3</i>
<i>Les tuyaux en aluminium à raccord rapide</i>	<i>3.3</i>
<i>Les tuyaux rigides en PVC</i>	<i>3.4</i>
<i>Les tuyaux en polyéthylène</i>	<i>3.6</i>
<i>Dimensionnement des tuyaux en PVC et PE</i>	<i>3.7</i>
<i>Les tuyaux plats</i>	<i>3.9</i>
<i>Les raccords de conduites</i>	<i>3.10</i>
<i>La fonte ductile filetée</i>	<i>3.10</i>
<i>Les raccords en polypropylène (PP)</i>	<i>3.10</i>
<i>Les raccords en PVC</i>	<i>3.11</i>
<i>Les dispositifs de contrôle de l'écoulement</i>	<i>3.12</i>
<i>Les vannes de sectionnement</i>	<i>3.14</i>
<i>Les vannes de contrôle</i>	<i>3.15</i>
<i>Les vannes de réglage</i>	<i>3.15</i>
<i>Les compteurs</i>	<i>3.16</i>
<i>Les jauges de pression ou manomètres</i>	<i>3.17</i>
<i>Les purgeurs d'air</i>	<i>3.17</i>
<i>Les soupapes de sécurité (aussi nommées soupapes de décharge de la pression)</i>	<i>3.18</i>
<i>Les filtres</i>	<i>3.20</i>
<i>Les filtres à gravier</i>	<i>3.20</i>
<i>Les hydrocyclones (ou séparateurs de dessablage)</i>	<i>3.20</i>
<i>Les filtres à tamis</i>	<i>3.21</i>
<i>Les filtres à disques</i>	<i>3.22</i>
<i>Les filtres auto-nettoyants automatiques</i>	<i>3.22</i>
<i>Le matériel d'injection pour l'irrigation fertilisante</i>	<i>3.23</i>
<i>Le dilueur d'engrais liquide (fermé)</i>	<i>3.23</i>
<i>L'injecteur de type Venturi</i>	<i>3.23</i>
<i>La pompe à piston</i>	<i>3.24</i>
<i>Les distributeurs d'eau</i>	<i>3.25</i>
<i>Les asperseurs</i>	<i>3.25</i>

<i>Les micro-asperseurs</i>	3.26
<i>Les gicleurs, micro-jets et mini-diffuseurs</i>	3.26
<i>Les barboteurs</i>	3.27
<i>Les goutteurs</i>	3.28
<i>Les gaines de micro-irrigation</i>	3.28
<i>Les distributeurs à compensateur de pression</i>	3.29
<i>Les pulseurs</i>	3.30
<i>Les tuyaux poreux</i>	3.31
<i>Les tuyaux de jardin</i>	3.31
<i>Les dispositifs d'automatisation</i>	3.32
<i>Les électrovannes</i>	3.32
<i>Les dispositifs de commande</i>	3.32
<i>Les vannes volumétriques automatiques à compteur</i>	3.33
<i>Les instruments de mesure</i>	3.33
<i>Les capteurs d'humidité du sol</i>	3.34
<i>Les conductivimètres</i>	3.34
<i>Les extracteurs de solution de sol</i>	3.35
<i>Le bac d'évaporation de classe A</i>	3.36
<i>Les systèmes d'exhaure</i>	3.36
<i>Les dispositifs d'élévation directe</i>	3.37
<i>Les pompes volumétriques</i>	3.38
<i>Les pompes rotodynamiques</i>	3.39
<i>Les pompes à air comprimé</i>	3.40
<i>Les pompes à impulsion (béliet hydraulique)</i>	3.41
<i>Les systèmes gravitaires</i>	3.42
<i>Calcul de la puissance requise (P)</i>	3.43
Chapitre 4: Conception du système	4.1
<i>Introduction</i>	4.1
<i>Conception du système</i>	4.1
<i>Conception des conduites latérales</i>	4.1
<i>Conception des conduites</i>	4.2
<i>Les conduites latérales</i>	4.2
<i>Les adducteurs, conduites principales et secondaires</i>	4.4

<i>Ouvrage de tête</i>	4.5
<i>Charge dynamique totale du système</i>	4.5
<i>Charge dynamique totale de l'unité de pompage</i>	4.6
Chapitre 5: Description, normes et appels d'offres pour l'approvisionnement de l'équipement	5.1
<i>Pression de service de l'équipement</i>	5.1
<i>Conduites principales, conduites secondaires, adducteurs et bornes</i>	5.2
<i>Conduites latérales</i>	5.2
<i>Ouvrage de tête</i>	5.2
<i>Unité de pompage</i>	5.3
<i>Normes</i>	5.3
<i>Appel d'offres</i>	5.8
<i>Exemple</i>	5.9
<i>Appel d'offres pour la fourniture d'un équipement d'irrigation</i>	5.9
Chapitre 6: Programmation de l'irrigation	6.1
<i>Relations eau - sol</i>	6.1
<i>Exemple</i>	6.2
<i>Réponse</i>	6.2
<i>Profondeur effective d'enracinement</i>	6.2
<i>Déficit admissible ou tarissement de l'eau disponible dans le sol</i>	6.2
<i>Profondeur nette d'application de l'irrigation</i>	6.3
<i>Exemple</i>	6.3
<i>Besoins en eau des cultures</i>	6.3
<i>Exemple</i>	6.4
<i>Exemple</i>	6.4
<i>Pluies efficaces</i>	6.5

<i>Couverture végétale</i>	6.6
<i>Intervalle d'irrigation ou fréquence</i>	6.6
<i>Efficience d'application de l'irrigation</i>	6.6
<i>Exemple</i>	6.6
<i>Réponse</i>	6.6
<i>Profondeur brute d'application de l'irrigation</i>	6.7
<i>Besoins de lessivage</i>	6.7
<i>Debit du système (capacité du système)</i>	6.7
<i>Exemple général</i>	6.8
 Chapitre 7: Qualité de l'eau d'irrigation	 7.1
<i>Introduction</i>	7.1
<i>Classification de la qualité des eaux pour l'irrigation</i>	7.1
<i>La qualité chimique des eaux d'irrigation</i>	7.2
<i>Composition et concentration en sels solubles</i>	7.2
<i>Effets des sels solubles sur les plantes</i>	7.3
<i>Effets des sels solubles sur le sol</i>	7.5
<i>Tolérance des cultures à la salinité</i>	7.6
<i>Critères de qualité des eaux</i>	7.14
<i>Contrôle de la salinité</i>	7.16
<i>Micro-irrigation et contrôle de la salinité</i>	7.17
<i>La qualité physique des eaux d'irrigation et leur traitement (filtration)</i>	7.21
<i>Filtration</i>	7.22
<i>Fonctionnement et entretien</i>	7.22
<i>Application des produits chimiques</i>	7.23
<i>La qualité des eaux usées traitées pour l'irrigation (physique, biologique et chimique)</i>	7.23
<i>Critères et paramètres d'évaluation</i>	7.24
<i>Directives nationales et normes (le cas de Chypre)</i>	7.28
<i>Irrigation sous pression avec les eaux usées traitées</i>	7.28

Chapitre 8: Systèmes d'irrigation par aspersion à tuyaux flexibles mobiles	8.1
<i>Introduction</i>	<i>8.1</i>
<i>Trame du système et composantes</i>	<i>8.2</i>
<i>Les asperseurs</i>	<i>8.2</i>
<i>Critères et considérations de conception</i>	<i>8.3</i>
<i>Régime des vents</i>	<i>8.4</i>
<i>Programmation de l'irrigation</i>	<i>8.6</i>
<i>Coûts</i>	<i>8.6</i>
<i>Avantages</i>	<i>8.8</i>
<i>Inconvénients</i>	<i>8.8</i>
<i>Exemple de projet: irrigation du coton par aspersion à tuyaux flexibles mobiles</i>	<i>8.8</i>
<i>Superficie et cultures</i>	<i>8.8</i>
<i>Sol, eau et climat</i>	<i>8.8</i>
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	<i>8.8</i>
<i>Trame du réseau, performances et caractéristiques hydrauliques</i>	<i>8.9</i>
 Chapitre 9: Systèmes d'irrigation par aspersion à enrouleurs à rampes repliables	 9.1
<i>Introduction</i>	<i>9.1</i>
<i>Trame du système et composantes</i>	<i>9.2</i>
<i>La rampe avec les distributeurs (mini-diffuseurs) et le chariot mobile</i>	<i>9.3</i>
<i>Le tuyau flexible en polyéthylène</i>	<i>9.4</i>
<i>Le bâti avec tambour</i>	<i>9.4</i>
<i>Critères et spécifications de conception</i>	<i>9.5</i>
<i>Superficie, topographie</i>	<i>9.5</i>
<i>Sols</i>	<i>9.5</i>
<i>Disponibilité en eau</i>	<i>9.6</i>
<i>Qualité de l'eau</i>	<i>9.6</i>
<i>Type de cultures</i>	<i>9.6</i>

<i>Spécifications particulières et programme d'irrigation</i>	9.7
<i>Coûts</i>	9.8
<i>Avantages</i>	9.9
<i>Inconvénients</i>	9.9
<i>Exemple de projet – système d'aspersion à enrrouleurs à rampes repliables pour une culture de luzerne</i>	9.10
<i>Superficie et cultures</i>	9.10
<i>Sol, eau et climat</i>	9.10
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	9.10
<i>Caractéristiques de la trame du système et performances</i>	9.10
<i>Spécifications techniques (besoins minimaux)</i>	9.11
<i>Description et conditions générales requises</i>	9.11
<i>Bâti à tambour</i>	9.12
<i>Rampe d'arrosage et chariot mobile</i>	9.12
Chapitre 10: Systèmes d'irrigation par aspersion à pivot central	10.1
<i>Introduction</i>	10.1
<i>Trame du système et composantes</i>	10.2
<i>La conduite d'arrosage</i>	10.2
<i>Les distributeurs d'eau</i>	10.3
<i>La tour centrale</i>	10.5
<i>Le système de commande du pivot central</i>	10.6
<i>Le fonctionnement de la machine</i>	10.6
<i>Le générateur</i>	10.7
<i>Coûts</i>	10.7
<i>Avantages</i>	10.8
<i>Inconvénients</i>	10.8
<i>Critères et spécifications de conception</i>	10.9
<i>Conception et installation</i>	10.9
<i>Taux d'application et fréquence d'irrigation</i>	10.10
<i>Spécifications particulières</i>	10.11
<i>Critères de sélection du site</i>	10.12

Exemple de projet	10.14
<i>Superficie, rayon d'action de la machine et cultures</i>	<i>10.14</i>
<i>Besoins en eau et sols</i>	<i>10.14</i>
<i>Caractéristiques des systèmes</i>	<i>10.15</i>
Spécifications minimales pour le système à pivot central	10.16
<i>Caractéristiques générales du système à pivot central</i>	<i>10.16</i>
<i>Spécifications techniques</i>	<i>10.17</i>
 Chapitre 11: Les micro-asperseurs	 11.1
<i>Introduction</i>	<i>11.1</i>
<i>Trame du système et composantes</i>	<i>11.1</i>
<i>Les micro-asperseurs de distribution</i>	<i>11.2</i>
<i>Programmation de l'irrigation</i>	<i>11.3</i>
<i>Critères et considérations de conception</i>	<i>11.3</i>
<i>Coûts</i>	<i>11.4</i>
<i>Avantages</i>	<i>11.4</i>
<i>Inconvénients</i>	<i>11.4</i>
Exemple de projet – micro-asperseurs pour un champ de pommes de terre	11.5
<i>Superficie et cultures</i>	<i>11.5</i>
<i>Sol, eau et climat</i>	<i>11.6</i>
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	<i>11.6</i>
<i>Trame du système</i>	<i>11.6</i>
<i>Asperseurs</i>	<i>11.7</i>
<i>Débit des conduites</i>	<i>11.7</i>
 Chapitre 12: Les mini-asperseurs	 12.1
<i>Introduction</i>	<i>12.1</i>
<i>Trame et composantes du système</i>	<i>12.1</i>
<i>Les mini-asperseurs de distribution</i>	<i>12.2</i>
<i>Programmation de l'irrigation</i>	<i>12.3</i>

<i>Critères et considérations de conception</i>	12.3
<i>Coûts</i>	12.5
<i>Avantages</i>	12.5
<i>Inconvénients</i>	12.5
<i>Exemple de projet – irrigation de citronniers par mini-asperseurs</i>	12.6
<i>Superficie et cultures</i>	12.6
<i>Sol, eau et climat</i>	12.6
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	12.6
<i>Trame du réseau, performances et caractéristiques hydrauliques</i>	12.7
 Chapitre 13: Irrigation des arbres par barboteurs	 13.1
<i>Introduction</i>	13.1
<i>Trame et composantes du système</i>	13.1
<i>Les barboteurs de distribution</i>	13.1
<i>Programmation de l'irrigation</i>	13.2
<i>Critères et considérations de conception</i>	13.2
<i>Coûts</i>	13.3
<i>Avantages</i>	13.3
<i>Inconvénients</i>	13.3
<i>Exemple de projet – irrigation d'arbres fruitiers par barboteurs</i>	13.3
<i>Superficie et cultures</i>	13.3
<i>Sol, eau et climat</i>	13.4
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	13.4
<i>Trame du système, performances et caractéristiques hydrauliques</i>	13.4
 Chapitre 14: Irrigation goutte-à-goutte	 14.1
<i>Introduction</i>	14.1
<i>Trame et composantes du système</i>	14.1
<i>Les distributeurs goutte-à-goutte (goutteurs)</i>	14.3

<i>Gaines de micro-irrigation</i>	14.4
<i>Tuyaux à parois poreuses</i>	14.4
<i>Filtration</i>	14.4
<i>Programmation de l'irrigation</i>	14.5
<i>Critères et considérations de conception</i>	14.5
<i>Coûts</i>	14.7
<i>Avantages</i>	14.7
<i>Inconvénients</i>	14.7
<i>Exemple de projet – irrigation goutte-à-goutte des pastèques</i>	14.8
<i>Superficie et cultures</i>	14.8
<i>Sol, eau et climat</i>	14.8
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	14.8
<i>Trame du système</i>	14.9
<i>Fonctionnement du système</i>	14.9
<i>Pression de fonctionnement</i>	14.9
 Chapitre 15: Systèmes familiaux peu onéreux d'irrigation goutte-à-goutte	 15.1
<i>Introduction</i>	15.1
<i>Technologies abordables de micro-irrigation</i>	15.1
<i>Le système familial d'irrigation goutte-à-goutte</i>	15.3
<i>Qu'y a-t-il de nouveau dans le système familial d'irrigation goutte-à-goutte?</i>	15.3
<i>Trame et composantes du système</i>	15.3
<i>Le réservoir d'eau</i>	15.3
<i>L'ouvrage de tête</i>	15.4
<i>Les conduites d'eau</i>	15.4
<i>Les lignes de goutteurs</i>	15.5
<i>Programmation de l'irrigation</i>	15.6
<i>Besoins en eau d'irrigation</i>	15.6
<i>Nombre et fréquence des irrigations</i>	15.6

<i>Critères et considérations de conception</i>	<i>15.7</i>
<i>Superficie, dimensions et forme</i>	<i>15.7</i>
<i>Topographie et type de sol</i>	<i>15.7</i>
<i>Disponibilité en eau</i>	<i>15.7</i>
<i>Qualité de l'eau</i>	<i>15.8</i>
<i>Catégories de culture</i>	<i>15.8</i>
<i>Spécifications particulières</i>	<i>15.9</i>
<i>Coûts</i>	<i>15.9</i>
<i>Avantages</i>	<i>15.10</i>
<i>Inconvénients</i>	<i>15.11</i>
<i>Exemple de projet – système familial goutte-à-goutte pour la culture des tomates (sur espalier)</i>	<i>15.11</i>
<i>Superficie et cultures</i>	<i>15.11</i>
<i>Sole et eau</i>	<i>15.11</i>
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	<i>15.12</i>
<i>Trame du système (description et caractéristiques) et performances</i>	<i>15.12</i>
<i>Caractéristiques hydrauliques du système</i>	<i>15.14</i>
<i>Diverses configurations de systèmes de technologies abordables de micro-irrigation (selon l'ide)</i>	<i>15.15</i>
 Chapitre 16: L'irrigation fertilisante	 16.1
<i>Introduction</i>	<i>16.1</i>
<i>Les injecteurs d'engrais</i>	<i>16.1</i>
<i>Réservoir d'engrais liquide (fermé)</i>	<i>16.1</i>
<i>Injecteur Venturi</i>	<i>16.2</i>
<i>Pompe à piston</i>	<i>16.2</i>
<i>Application des engrais</i>	<i>16.3</i>
<i>Solubilité</i>	<i>16.3</i>
<i>Acidité</i>	<i>16.3</i>
<i>Quantité</i>	<i>16.4</i>
<i>Exemple – l'irrigation fertilisante des légumes</i>	<i>16.5</i>

Chapitre 17: Système de distribution par conduites	17.1
<i>Introduction</i>	<i>17.1</i>
<i>Trame et composantes du système</i>	<i>17.2</i>
<i>Critères et considérations de conception</i>	<i>17.3</i>
<i>Coûts</i>	<i>17.4</i>
<i>Avantages</i>	<i>17.4</i>
<i>Inconvénients</i>	<i>17.4</i>
<i>Exemple de projet</i>	<i>17.5</i>
<i>Superficie et cultures</i>	<i>17.5</i>
<i>Sole et eau</i>	<i>17.6</i>
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	<i>17.6</i>
<i>Trame du système et charge dynamique</i>	<i>17.6</i>
 Chapitre 18: Irrigation par tuyaux flexibles	 18.1
<i>Introduction</i>	<i>18.1</i>
<i>Trame et composantes du système</i>	<i>18.2</i>
<i>Les tuyaux</i>	<i>18.2</i>
<i>Types de systèmes et critères de conception</i>	<i>18.2</i>
<i>Système conventionnel de tuyaux et bassins pour les arbres</i>	<i>18.3</i>
<i>Système de bassins alimentés par tuyaux traînés pour les arbres</i>	<i>18.4</i>
<i>Système de tuyaux et bassins pour cultures de plein champ</i>	<i>18.4</i>
<i>Système de tuyaux et sillons pour l'irrigation des légumes</i>	<i>18.5</i>
<i>Coûts</i>	<i>18.6</i>
<i>Avantages</i>	<i>18.7</i>
<i>Inconvénients</i>	<i>18.8</i>
<i>Exemple de projet – tuyaux et bassins pour la culture d'arbres, type conventionnel et traîné</i>	<i>18.8</i>
<i>Superficie et cultures</i>	<i>18.8</i>
<i>Sol, eau et climat</i>	<i>18.9</i>
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	<i>18.10</i>

<i>Trame du système, performances et caractéristiques hydrauliques</i>	18.10
<i>Équipement pour l'installation du système</i>	18.11
<i>Irrigation du maïs par tuyaux et bassins et des tomates par tuyaux et sillons</i>	18.13
<i>Superficie et cultures</i>	18.13
<i>Sol, eau et climat</i>	18.13
<i>Besoins en eau et programme d'irrigation</i>	18.13
<i>Trame du système, performances et caractéristiques hydrauliques</i>	18.13
<i>Équipement pour l'installation du système</i>	18.15
 Chapitre 19: Données générales d'une étude technique pour un système d'irrigation sous pression	 19.1
<i>Introduction</i>	19.1
<i>Collecte des données</i>	19.1
<i>Fiches de données sur l'exploitation agricole</i>	19.1
<i>Critères de sélection et paramètres des divers systèmes</i>	19.3
<i>Systèmes d'irrigation à pivot central</i>	19.3
<i>Systèmes d'irrigation par aspersion à enrouleurs à rampes repliables</i>	19.4
<i>Systèmes d'irrigation goutte-à-goutte</i>	19.5
<i>Systèmes d'irrigation par mini-asperseurs (pour arbres fruitiers)</i>	19.6
<i>Systèmes de distribution par conduites</i>	19.7
<i>Systèmes d'irrigation par aspersion à tuyaux mobiles</i>	19.8
<i>Systèmes familiaux peu onéreux d'irrigation goutte-à-goutte</i>	19.9
 Chapitre 20: Fonctionnement et entretien	 20.1
<i>Introduction</i>	20.1
<i>Fonctionnement</i>	20.1
<i>Quand et comment irriguer</i>	20.1
<i>Démarrer et arrêter le système</i>	20.2
<i>Performance du système</i>	20.2
<i>L'équipement requis pour cette tâche est le suivant</i>	20.2
<i>Installation de pompage</i>	20.4

<i>Entretien</i>	20.4
Réseau du système	20.4
Installation de pompage	20.5
<i>Conclusion</i>	20.8
 Chapitre 21: Terminologie d'irrigation	 21.1
 Chapitre 22: Base de données pour la fourniture d'équipements d'irrigation – IES	 22.1
 Annexe: Tableau de conversion des unités	 23.1

Liste des figures

Figure 1.1	L'irrigation de surface, gaspilleuse d'eau	1.1
Figure 2.1	Schéma d'un tracé de réseau	2.2
Figure 2.2	Méthode d'irrigation de surface améliorée avec conduites	2.4
Figure 2.3	Techniques modernes d'irrigation	2.7
Figure 2.4	Techniques d'irrigation par aspersion	2.8
Figure 3.1	Raccord fileté en acier (adaptateur mâle)	3.2
Figure 3.2	Tuyaux et raccords en acier léger galvanisé à raccord rapide	3.3
Figure 3.3	Tuyaux à raccord rapide en aluminium	3.4
Figure 3.4	Tuyaux en PVC rigide	3.5
Figure 3.5	Rouleau de tuyau en polyéthylène	3.6
Figure 3.6	Un rouleau de tuyau plat	3.10
Figure 3.7	Raccords filetés pour les tuyaux en acier galvanisé	3.11
Figure 3.8	Raccords en polypropylène (PP)	3.11
Figure 3.9	Raccord de conduite par collage	3.12
Figure 3.10	Tuyau de PVC avec joint rainuré manchonné (par pression)	3.12
Figure 3.11	Diverses vannes de sectionnement. De gauche à droite: un robinet-vanne, un vanne à papillon et des vannes à boisseau sphérique	3.14
Figure 3.12	Coupe schématique et photographie d'une vanne de contrôle	3.14
Figure 3.13	Vanne de réduction de pression maintenant une pression aval constante, alors que la pression amont varie	3.16
Figure 3.14	Coupe transversale d'un compteur volumétrique	3.17
Figure 3.15	Manomètre de type Bourdon	3.17
Figure 3.16	Purgeurs d'air introduisant ou évacuant l'air dans un système hydraulique	3.19
Figure 3.17	Coupe schématique et photographie d'une soupape de sécurité	3.19
Figure 3.18	Coupe schématique et photographie d'un filtre à gravier	3.20
Figure 3.19	Coupe schématique et photographie d'un hydrocyclone	3.21
Figure 3.20	Coupe schématique et photographie d'un filtre à tamis	3.21
Figure 3.21	Filtre à disques et cartouche (pile de disques à rainures)	3.22

Figure 3.22	Filtre auto-nettoyant automatique utilisant le mécanisme de lavage à contre-courant pour l'évacuation des débris accumulés	3.22
Figure 3.23	Schéma de fonctionnement et photographie d'un dilueur d'engrais liquide fermé	3.23
Figure 3.24	Schéma d'installation et photographie d'un injecteur d'engrais de type Venturi	3.24
Figure 3.25	Schéma de fonctionnement et photographie d'un injecteur d'engrais à pompe à piston	3.24
Figure 3.26	Asperseurs rotatifs	3.25
Figure 3.27	Micro-asperseur avec buse rotative (spinner)	3.26
Figure 3.28	Photographie d'un micro-jet irrigant un citrus, et détail de la tête du micro-jet (sans partie mobile)	3.27
Figure 3.29	Vue schématique d'un barboteur	3.27
Figure 3.30	Goutteur en dérivation et goutteur en ligne	3.28
Figure 3.31	Schéma et photographie d'une gaine de micro-irrigation	3.29
Figure 3.32	Variations de débit entre un distributeur normal et un distributeur à compensateur de pression (situations idéale et réelle)	3.29
Figure 3.33	Photographie d'un distributeur à compensateur de pression montrant la membrane utilisée comme régulateur de débit	3.30
Figure 3.34	Schéma de fonctionnement et photographie d'un pulseur	3.30
Figure 3.35	Schéma d'un tuyau poreux	3.31
Figure 3.36	Photographie d'un tuyau de jardin avec arroseur à jet	3.31
Figure 3.37	Coupe schématique et photographie d'une électrovanne	3.32
Figure 3.38	Schéma de fonctionnement et photographie d'un dispositif de commande	3.33
Figure 3.39	Schéma de fonctionnement et photographie d'une vanne volumétrique automatique	3.33
Figure 3.40	Coupe schématique et photographies d'un tensiomètre et d'un réflectomètre temporel	3.35
Figure 3.41	Mesure directe des solutions du sol au moyen d'un conductivimètre et extracteurs installés dans un champ	3.35
Figure 3.42	Un bac d'évaporation de classe A sur le terrain	3.36
Figure 3.43	Courbes de fonctionnement d'une pompe centrifuge indiquant les relations entre la charge, le débit, la vitesse et l'efficiace	3.37

Figure 3.44	Schéma d'une roue persane et photographie d'une noria	3.38
Figure 3.45	Gauche: Schéma d'une pompe manuelle avec simple piston, Centre: Pompe à pédale, Droite: Schéma d'une pompe à cavité progressive, ou monopompe	3.39
Figure 3.46	Pompes rotodynamiques: (a) pompe radiale ou centrifuge (b) pompe axiale	3.40
Figure 3.47	Gauche: pompe rotodynamique entraînée par un tracteur – Droite: unité de pompage, constituée de pompes rotodynamiques en parallèle	3.40
Figure 3.48	Schéma d'une pompe à air comprimé	3.41
Figure 3.49	Schéma d'installation d'un hydram	3.42
Figure 3.50	Schéma d'un siphon	3.42
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 totale due au frottement	3.43
Figure 4.1	Pression de fonctionnement requise pour les systèmes sous pression	4.4
Figure 7.1	Zones de taux relatifs de tolérance au sel des cultures agricoles	7.15
Figure 7.2	Irrigation goutte-à-goutte du maïs avec des eaux recyclées	7.29
Figure 7.3	Aspersion avec des eaux municipales traitées	7.29
Figure 8.1	Irrigation par asperseurs à tuyaux flexibles mobiles	8.2
Figure 8.2	Profils d'humidification du sol sous aspersion	8.4
Figure 8.3	Irrigation par aspersion à tuyaux flexibles mobiles	8.7
Figure 8.4	Techniques de raccord pour l'aspersion à tuyaux flexibles mobiles	8.11
Figure 9.1	Rampe d'aspersion en service sur son chariot	9.1
Figure 9.2	La rampe, le tuyau en PE et le bâti à tambour	9.2
Figure 9.3	Mini-diffuseurs en cercles complets et demi-cercles	9.3
Figure 9.4	Le bâti à tambour et le tuyau flexible en PE	9.4
Figure 9.5	Déplacement de la machine	9.5
Figure 9.6	Rampe repliable en fonctionnement	9.9
Figure 9.7	Machine à rampe repliable	9.9
Figure 9.8	Positions d'une machine à rampe repliable	9.11
Figure 9.9	Largeurs de bandes d'irrigation variables selon divers arrangements de mini-diffuseurs	9.13
Figure 10.1	Le pivot central	10.1

Figure 10.2	Vue générale d'un pivot central	10.3
Figure 10.3	Tubes suspendus avec mini-diffuseurs	10.4
Figure 10.4	La tour centrale et le panneau de commande	10.6
Figure 10.5	Les tours de support	10.7
Figure 10.6	Schéma d'implantation en profils haut et bas	10.8
Figure 10.7	Le montage du pivot central	10.9
Figure 10.8	Déplacement du système	10.10
Figure 10.9	Vue générale d'un système à pivot central	10.13
Figure 10.10	Trame du système	10.15
Figure 10.11	Connexion à la source d'eau	10.16
Figure 11.1	Micro-asperseurs de distribution dans un champ de pommes de terre	11.2
Figure 11.2	Irrigation par aspersion à basse capacité des pommes de terre	11.5
Figure 11.3	Système de micro-irrigation à basse capacité	11.8
Figure 12.1	Irrigation d'un verger de citrus par mini-asperseurs	12.2
Figure 12.2	Arbres irrigués par mini-asperseurs	12.4
Figure 12.3	Exemple de projet d'irrigation par mini-asperseurs sur des arbres fruitiers	12.7
Figure 12.4	Techniques de raccordement des systèmes de mini-asperseurs	12.9
Figure 13.1	Exemple de projet d'irrigation d'un verger par barboteurs	13.5
Figure 13.2	Techniques de raccordement dans l'irrigation par barboteurs	13.7
Figure 14.1	Conduite principale, adducteur et conduites latérales avec goutteurs	14.2
Figure 14.2	Double ligne de goutteurs sur des bananiers	14.6
Figure 14.3	Exemple de projet d'irrigation par goutte-à-goutte de la pastèque	14.11
Figure 14.4	Ouvrage de tête dans l'irrigation goutte-à-goutte	14.12
Figure 15.1	Configuration d'une technologie abordable de micro-irrigation par module à seau avec une conduite latérale de 12 mm et des micro-tubes «spaghetti» de chaque côté	15.2
Figure 15.2	Le système familial d'irrigation goutte-à-goutte	15.4
Figure 15.3	Réservoir fabriqué localement pour un système familial d'irrigation goutte-à-goutte	15.5

Figure 15.4	Lignes de goutteurs d'un système familial d'irrigation en Chine	15.8
Figure 15.5	Trame du système familial d'irrigation goutte-à-goutte	15.13
Figure 15.6	Module à tambour utilisant une conduite secondaire de 16 mm, avec des conduites latérales de 12 mm et des micro-tubes «spaghetti» sur une superficie de 120 m ²	15.15
Figure 15.7	Système de technologie abordable de micro-irrigation avec des lignes de goutteurs utilisant des trous de diamètre standard comme des goutteurs, couverts avec des feuilles de plastique pour contrôler le débit distribué	15.16
Figure 15.8	Module de micro-aspiration pour 250 m ²	15.16
Figure 15.9	Système de lignes de goutteurs déplaçables	15.17
Figure 15.10	Irrigation par pots en céramique poreuse	15.17
Figure 16.1	Les injecteurs d'engrais	16.2
Figure 16.2	Préparation de la solution fertilisante	16.4
Figure 17.1	Système de distribution par conduites irriguant de jeunes arbres	17.1
Figure 17.2	Installation des conduites	17.3
Figure 17.3	L'ouvrage de tête du système de distribution par conduites	17.5
Figure 17.4	Trame du système de distribution par conduites	17.7
Figure 18.1	Irrigation de jeunes fruitiers par tuyaux et bassins	18.1
Figure 18.2	Irrigation de légumes par tuyaux et sillons	18.3
Figure 18.3	Schéma d'un système de tuyaux et bassins pour les arbres	18.5
Figure 18.4	Irrigation par tuyaux flexibles pour les légumes et les cultures de plein champ (position et déplacement des tuyaux)	18.7
Figure 18.5	Schéma de disposition des sillons courts	18.8
Figure 18.6	Femmes irriguant de jeunes arbres avec un système de tuyaux et bassins	18.8
Figure 18.7	Irrigation d'arbres par tuyaux flexibles	18.9
Figure 18.8	Irrigation par tuyaux flexibles pour les légumes précoces sous tunnels bas	18.12
Figure 18.9	Irrigation par tuyaux flexibles pour les légumes et les cultures de plein champ	18.14
Figure 18.10	Techniques de raccordement des tuyaux d'irrigation	18.16
Figure 22.1	Site web de l'ies	22.2

Liste des tableaux

Tableau 2.1	Coûts comparatifs des systèmes d'irrigation par conduites sous pression	2.8
Tableau 2.2	Détail des coûts des systèmes d'irrigation par conduites	2.8
Tableau 3.1	Débits maximaux recommandés dans les tuyaux en plastique sans prise	3.7
Tableau 3.2	Séries de tuyaux en upvc	3.8
Tableau 3.3	Épaisseurs des parois de tuyaux en PE (50, 63 et 80) pour des pressions PN 6 et PN 10	3.9
Tableau 3.4	Résumé des dispositifs de contrôle de l'écoulement	3.13
Tableau 3.5	Classification des asperseurs	3.25
Tableau 4.1	Valeurs de F pour des sorties multiples	4.3
Tableau 4.2	Charge dynamique totale du système	4.6
Tableau 5.1	Tuyau en PVC rigide de 4 pouces de diamètre (6 bars) selon deux normes nationales différentes	5.4
Tableau 5.2	Normes et spécifications de l'équipement	5.5
Tableau 5.3	Bordereau des quantités	5.10
Tableau 5.4	Spécification de l'équipement	5.11
Tableau 6.1	Propriétés physiques des sols (valeurs moyennes)	6.1
Tableau 6.2	Exemple d'enracinement (en mètres) pendant la saison culturale	6.2
Tableau 6.3	Estimation de l'eto en mm/jour dans le delta du Wadi Tuban (Yémen)	6.4
Tableau 6.4	Coton, saison culturale: août à décembre	6.4
Tableau 6.5	Coefficient cultural (kc) pour certaines cultures saisonnières (valeurs moyennes)	6.5
Tableau 6.6	Coefficient cultural (kc) pour certaines cultures permanentes	6.5
Tableau 6.7	Efficacités approximatives d'application de l'irrigation pour divers systèmes ou méthodes d'irrigation au niveau de l'exploitation	6.7
Tableau 6.8	Exemple d'une culture de coton	6.8
Tableau 6.9	Programme d'irrigation	6.9
Tableau 7.1	Principaux ions présents dans l'eau d'irrigation	7.2
Tableau 7.2	Tolérance relative au sel des cultures herbacées: légumes et fruits	7.7

Tableau 7.3	Tolérance relative au sel des cultures herbacées: cultures boisées	7.8
Tableau 7.4	Tolérance relative au sel des cultures herbacées: graminées et fourrages	7.9
Tableau 7.5	Limites de tolérance au bore pour les cultures agricoles	7.10
Tableau 7.6	Tolérance au sel des buissons ornementaux, arbres et couvertures de sols	7.12
Tableau 7.7	Limites de tolérance au bore pour les plantes ornementales	7.13
Tableau 7.8	Classification de l'eau en fonction de la salinité	7.14
Tableau 7.9	Problème potentiel d'infiltration dû au sodium dans l'eau d'irrigation	7.15
Tableau 7.10	Cas n° 1: Fiche d'analyse chimique de l'eau	7.18
Tableau 7.11	Cas n° 2: Fiche d'analyse chimique de l'eau	7.19
Tableau 7.12	Cas n° 3: Fiche d'analyse chimique de l'eau	7.20
Tableau 7.13	Directives chypriotes pour l'utilisation en irrigation des effluents domestiques traités	7.30
Tableau 8.1	Nombre maximal d'asperseurs à basse/moyenne pression sur des conduites latérales à raccord rapide	8.6
Tableau 8.2	Charge totale dynamique requise	8.9
Tableau 8.3	Liste des équipements nécessaires pour une installation d'aspersion à tuyaux flexibles mobiles (devis quantitatif)	8.10
Tableau 9.1	Exemple de tableau des performances pour diverses vitesses de rétraction et pluviométries	9.8
Tableau 11.1	Longueur maximale admissible des conduites latérales	11.4
Tableau 11.2	Pression de fonctionnement du système	11.7
Tableau 11.3	Liste des équipements nécessaires pour l'installation de micro-asperseurs	11.7
Tableau 12.1	Programme d'irrigation par mini-asperseurs	12.3
Tableau 12.2	Nombre maximal de mini-asperseurs sur la conduite latérale et longueur de la conduite latérale sur sol uni. Débit des mini-asperseurs à 2 bars	12.4
Tableau 12.3	Pression de fonctionnement du système	12.8
Tableau 12.4	Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système	12.8
Tableau 13.1	Pression de fonctionnement du système	13.5
Tableau 13.2	Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système	13.6

Tableau 14.1	Type de sol et rayon moyen d'épandage latéral d'eau des goutteurs	14.1
Tableau 14.2	Pression de fonctionnement du système	14.10
Tableau 14.3	Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système	14.10
Tableau 15.1	Données utiles sur les cultures saisonnières à ciel ouvert courantes	15.10
Tableau 15.2	Programme d'irrigation de l'exemple de projet	15.12
Tableau 15.3	Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système (système familial peu onéreux d'irrigation goutte-à-goutte)	15.14
Tableau 16.1	Concentration nette d'engrais en ppm (mg/l ou engrais net en g/m ³ d'eau d'irrigation)	16.4
Tableau 17.1	Débit par rapport au diamètre des conduites	17.4
Tableau 17.2	Liste des équipements nécessaires pour l'installation d'un système de distribution par conduites (devis quantitatif)	17.6
Tableau 18.1	Caractéristiques de débit dans les tuyaux de 24 m	18.3
Tableau 18.2	Pente et ampleur du débit	18.6
Tableau 18.3	Systèmes de tuyaux et bassins conventionnel et traîné	18.11
Tableau 18.4	Système conventionnel de tuyaux et bassins pour les arbres	18.11
Tableau 18.5	Système de bassins alimentés par tuyaux traînés pour les arbres	18.12
Tableau 18.6	Irrigation par tuyaux et bassins et tuyaux et sillons	18.15
Tableau 18.7	Installation à tuyaux et bassins (maïs)	18.15
Tableau 18.8	Installation à tuyaux et sillons (tomates)	18.16

Liste des encadrés

Encadré 10.1	Application précise à faible énergie	10.5
--------------	--------------------------------------	------

Préface

L'eau est la clef de tous les développements socio-économiques et de la préservation d'écosystèmes sains. Avec l'accroissement de la population et l'augmentation des exigences que fait peser le développement sur les eaux souterraines et de surface pour les besoins des secteurs domestique, agricole et industriel, la pression s'intensifie sur les ressources en eau, ce qui crée des tensions et conflits entre les utilisateurs et des contraintes excessives sur l'environnement. Le stress accru induit à l'échelle mondiale par l'augmentation de la demande et de la pollution sur les ressources d'eau douce est profondément préoccupant.

L'augmentation de la productivité de l'eau est déterminante pour relever les futurs défis que va poser la pénurie d'eau. A l'heure actuelle, 70 pour cent de toute l'eau utilisée dans le monde est consommée par l'agriculture et ce pourcentage atteint 95 pour cent dans plusieurs pays en développement. La sensibilisation accrue à la valeur instrumentale de l'eau pour la préservation de l'environnement augmente encore la pression sur l'utilisation de l'eau en agriculture. L'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau et de la productivité de l'eau en agriculture à tous les niveaux des chaînes de production devient une priorité dans un nombre croissant de pays.

Une approche globale de la productivité des eaux en agriculture exige que des mesures soient prises à tous les niveaux, des cultures aux périmètres irrigués et jusqu'aux systèmes économiques nationaux et internationaux. L'adoption de pratiques modernes d'irrigation au niveau des exploitations pourrait en particulier apporter une importante amélioration de l'efficacité d'utilisation et de la productivité de l'eau.

Ce manuel vise à offrir aux agriculteurs, techniciens d'irrigation et vulgarisateurs qui travaillent sur le terrain un guide pratique sur l'utilisation des techniques d'irrigation sous pression. Dans cette deuxième version ce manuel, traduit en français pour la première fois, a été considérablement remanié et propose en particulier de nouveaux chapitres sur les systèmes abordables d'irrigation goutte-à-goutte et de distribution à l'intention des petits exploitants agricoles.

Remerciements

Le manuel des techniques d'irrigation sous pression est une initiative de l'Unité de la gestion de l'eau de la FAO (NRLW) qui a bénéficié de l'appui du Programme international pour la recherche et la technologie en irrigation et drainage (IPTRID).

La première version du manuel, publiée en 2001 et disponible uniquement en anglais, avait été préparée par Andreas Phocaides, consultant en technologie de l'irrigation, sous la supervision de Reto Florin, ancien Chef du Service de l'eau de la FAO et avec l'assistance de Daniel Casanova, expert en irrigation.

Pour sa seconde édition, le manuel a fait l'objet d'une révision approfondie et a été complété par l'addition de plusieurs chapitres. Ont participé à la préparation de la seconde édition: Andreas Phocaides (consultant), Ines Beernaerts et Jean-Marc Faurès (FAO) et Virginie Gillet (FAO/IPTRID). La traduction française a été assurée par Jacques Chabloz et Dominique Juchault-Manley.

Liste des acronymes

ABS	Acrylonitrile butadiène styrène (matière thermoplastique)
ANSI	American National Standards Institute
ASAE	Society for Engineering in Agriculture, Food and Biological Systems
ASTM	American Society for Testing Material
BHP	Puissance au frein
BL	Besoin de lessivage
BS	British Standards
CAF	Coût, assurance et fret
CC	Capacité au champ
CEN	Comité européen de normalisation
CT	Comité technique
CYS	Normes chypriotes
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
DIN	Deutsches Institut für Normung (normes allemandes)
DN	Diamètre nominal
Ece	Conductivité électrique
Eciw	Conductivité électrique de l'eau d'irrigation
Ecw	Conductivité électrique de l'eau
ESP	Sodium échangeable
ET	Évapotranspiration
Etc	Évapotranspiration de la culture
Eto	Évapotranspiration de référence
FAB	Franco à bord
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FE	Fonctionnement et entretien
GAO	Gestion assistée par ordinateur
IES	Base de données sur la fourniture d'équipements d'irrigation (FAO)
IPTRID	Programme international pour la recherche et la technologie en irrigation et drainage
ISO	Organisation internationale de normalisation
KC	Coefficient cultural
NE	Norme européenne
NTU	Unité de turbidité néphélométrique
OMS	Organisation mondiale de la santé
PC	Pression compensée
PE	Polyéthylène

PEFD	Polyéthylène à faible densité
PEHD	Polyéthylène à haute densité
PN	Pression nominale
PP	Polypropylène
PR	Classe de pression
PVC	Polychlorure de vinyle
SS	Solides en suspension
Upvc	Polychlorure de vinyle non plastifié
RDT	Réfléctométrie à dimension temporelle
SAR	Taux d'absorption du sodium
SDR	Rapport de dimension normalisée
TDS	Quantité totale de matière dissoute
USDA	United States Department of Agriculture
WP	Point de flétrissement

CHAPITRE 1:

Introduction

Dans les actes de la Consultation sur l'irrigation en Afrique (Lomé, Togo, 1997) le terme «irrigation» a été défini comme «l'application d'eau complémentaire à celle fournie directement par les précipitations naturelles pour la production agricole».

Bien que clairement définie, l'irrigation n'a pas été vraiment identifiée ni distinguée du vaste domaine des activités de développement hydraulique, telles les constructions majeures et mineures pour la collecte, le stockage, le transport et la distribution de l'eau, la réalisation des forages et les pompes. La plupart des efforts et investissements consentis dans de nombreux pays pour le développement de l'irrigation ont davantage porté sur la mise en valeur des ressources en eau plutôt que sur l'amélioration de l'utilisation de l'eau au niveau de la parcelle.

L'application des méthodes et techniques d'amélioration de l'irrigation dans les petites exploitations est en rapide expansion parce que la nécessité d'une plus grande efficacité de l'irrigation, d'une meilleure utilisation de l'eau, ainsi que d'une intensification et d'une diversification de la production se fait sentir de manière accrue.

Un système d'irrigation comprend des canaux et des ouvrages pour transporter et distribuer l'eau aux utilisateurs. Il existe essentiellement deux catégories de systèmes d'irrigation: les réseaux de canaux à ciel ouvert (figure 1.1) et les réseaux de conduites sous pression. Cet ouvrage ne concerne que ce dernier type de réseaux.

FIGURE 1.1 - L'irrigation de surface, gaspilleuse d'eau.



L'expérience accumulée dans de nombreux pays des zones arides et semi-arides indique que les techniques d'irrigation en conduites sous pression remplacent avec succès les méthodes traditionnelles d'irrigation par canal à ciel ouvert au niveau de l'exploitation.

Pour tous renseignements complémentaires, on peut écrire à:
FAO-water@fao.org

CHAPITRE 2: Techniques d'irrigation en conduites sous pression

SYSTÈMES D'IRRIGATION EN CONDUITES SOUS PRESSION

Un système d'irrigation en conduites sous pression est un réseau constitué de conduites, raccords et autres dispositifs conçus et installés pour acheminer l'eau sous pression de la source jusqu'à la superficie à irriguer.

Les différences fondamentales entre l'irrigation traditionnelle de surface et les techniques d'irrigation sous pression sont:

- Le régime d'écoulement de l'eau: avec les méthodes traditionnelles d'irrigation de surface, l'écoulement doit être important, alors qu'avec les systèmes d'irrigation en conduites sous pression, de très faibles débits, même de l'ordre de $1 \text{ m}^3/\text{h}$, peuvent être utilisés.
- Le parcours de l'écoulement: avec les méthodes traditionnelles d'irrigation de surface, l'eau d'irrigation est transportée à partir de la source et distribuée par gravité sur les champs par des canaux à ciel ouvert qui suivent les courbes de niveau. Avec les systèmes d'irrigation par conduites sous pression, l'eau est transportée et distribuée dans des conduites fermées sous pression en suivant le tracé le plus favorable (souvent le plus court), sans tenir compte de la pente ni de la topographie de la zone traversée.
- Les superficies irriguées simultanément: avec les méthodes traditionnelles d'irrigation de surface, des volumes d'eau importants sont appliqués par unité de surface, alors qu'avec les systèmes d'irrigation par conduites sous pression, l'eau est distribuée avec de faibles débits sur de grandes surfaces.
- L'énergie extérieure (pression) requise: le fonctionnement des méthodes traditionnelles d'irrigation de surface par gravité ne nécessite pas d'énergie extérieure, alors que les systèmes d'irrigation par conduites sous pression nécessitent une certaine pression (2–3 bars), fournie par une unité de pompage ou un réservoir d'alimentation situé à une altitude supérieure.

TRAME DU RÉSEAU

Les conduites qui transportent et distribuent l'eau d'irrigation sur les différentes parcelles sont normalement enterrées, ce qui les protège des activités culturelles et de la circulation routière. Les bornes de prise, qui émergent à la surface, sont localisées en divers endroits selon la trame du

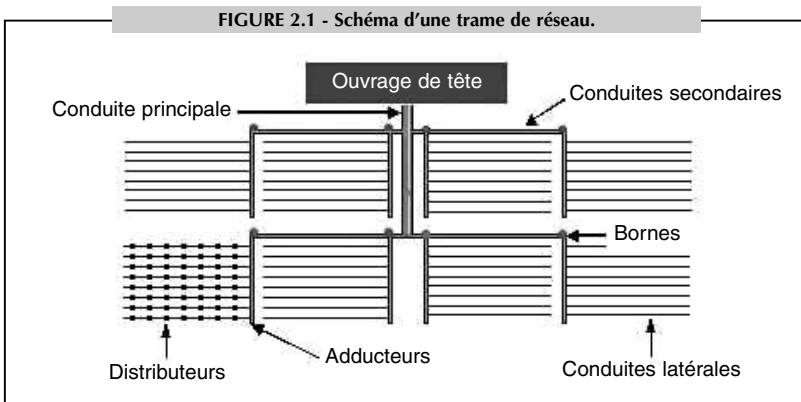
réseau. Avec les méthodes d'irrigation de surface, l'eau d'irrigation peut être livrée directement aux canaux à ciel ouvert qui alimentent les sillons ou les bassins.

En micro-irrigation et dans les autres systèmes globaux, par exemple l'aspersion, les bornes sont connectées à de plus petits adducteurs (conduites d'alimentation) placés le long des limites de parcelles. Celles-ci alimentent à leur tour des conduites latérales posées perpendiculairement aux adducteurs, le long des rangs de cultures. Les conduites latérales sont munies de distributeurs à intervalles réguliers et répartissent l'eau d'irrigation uniformément entre les plantes sous une pression donnée.

Il existe de nombreuses sortes de systèmes d'irrigation. Toutefois, un examen rigoureux des divers réseaux, de leurs équipements et de leurs principes de fonctionnement révèle une approche identique depuis la procédure de planification jusqu'à leur application et de nombreux points communs dans la plupart de leurs caractéristiques et composantes.

Dans tous les systèmes par conduites sous pression, les principales composantes (figure 2.1) sont:

- l'ouvrage de tête (unité de contrôle de la charge);
- les conduites principales et secondaires;
- les bornes;
- les adducteurs (conduites d'alimentation);
- les conduites latérales (tuyaux d'irrigation) avec les distributeurs.



Ouvrage de tête. Il comprend une ligne d'alimentation (PVC rigide ou acier galvanisé fileté) installée horizontalement à une hauteur minimale de 60 cm au-dessus du sol. Il est équipé d'un purgeur d'air, d'une valve de contrôle, de deux prises (tuyaux de $\frac{3}{4}$ pouce) pour la connection avec l'injecteur

d'engrais liquide, d'une vanne de sectionnement entre les deux prises, d'un injecteur d'engrais et d'un filtre. Si un filtre à gravier ou un séparateur à sable (hydrocyclone) est nécessaire, il est installé en tête de l'ouvrage.

Conduite principale. C'est la conduite de plus grand diamètre du réseau, qui peut transporter le débit du système dans des conditions hydrauliques favorables de vitesse du courant et de pertes de charge. Les conduites utilisées sont généralement enterrées, assemblées de manière permanente pour le PVC rigide, le polyéthylène noir à haute densité (PEHD), les tuyaux plats (type pompier), et les tubes en acier léger galvanisé avec raccord rapide, dans une gamme de diamètres de 63 à 160 mm (2–6 pouces) selon la dimension de l'exploitation.

Conduites secondaires. Ce sont des conduites de plus petits diamètres qui se branchent sur la conduite principale et qui permettent de distribuer l'écoulement vers les diverses parcelles. Elles sont du même type que les conduites principales.

Bornes de prise. Elles sont branchées sur les conduites principales ou secondaires et équipées d'une vanne de sectionnement (2–3 pouces). Elles fournissent une partie ou la totalité de l'écoulement aux adducteurs (conduites d'alimentation).

Adducteurs (conduites d'alimentation). Ce sont des conduites d'un plus petit diamètre que les conduites secondaires qui sont connectées aux bornes et posées, généralement en surface, le long des limites de parcelle pour alimenter les conduites latérales. Tous les types de matériaux à conduites disponibles peuvent convenir pour ces adducteurs (PEHD habituellement), de diamètre de 2 à 3 pouces.

Conduites latérales (conduites d'irrigation). Ce sont les conduites avec le plus petit diamètre du système; elles sont couplées aux adducteurs, perpendiculaires à ceux-ci à des emplacements fixes, posées le long des lignes de culture et équipées de distributeurs fixés à intervalles courts et réguliers.

Distributeurs. Un distributeur pour l'irrigation est un dispositif de toute nature, de tout type et de toute dimension qui, branché sur une conduite, débite l'eau sous pression de diverses manières: en projetant des jets d'eau en l'air (asperseurs), en pulvérisant l'eau (mini-diffuseurs), en distribuant des gouttes d'eau en continu (goutteurs) et en fournissant de petits écoulements (barboteurs, vannettes et ouvertures sur une conduite, tuyaux de petits diamètres, etc.).

Toutes les composantes ci-dessus remplacent celles des méthodes traditionnelles d'irrigation de surface, à savoir la vanne principale, les canaux principaux et secondaires, les prises sur canaux, les arroseurs tertiaires et les sillons ou bassins, respectivement (figure 2.2).

FIGURE 2.2 - Méthode d'irrigation de surface améliorée avec conduites.



CLASSIFICATION DES SYSTÈMES

Les systèmes d'irrigation par conduites sous pression sont classés selon la pression requise pour leur fonctionnement, la méthode de distribution de l'eau à la plante et le type d'installation.

Pression de fonctionnement

La pression de fonctionnement du système est la pression hydraulique maximale requise pour le fonctionnement normal du système, qui comprend: a) les pertes de charge dans le réseau de conduites depuis l'ouvrage de tête jusqu'à l'extrémité la plus lointaine du système; b) la pression requise par les distributeurs; et c) la différence d'altitude (en plus ou en moins). On distingue trois classes de systèmes:

- les systèmes à basse pression, dans lesquels la pression requise est de 2 à 3,5 bars;
- les systèmes à moyenne pression, dans lesquels la pression requise est de 3,5 à 5 bars;
- les systèmes à haute pression, dans lesquels la pression requise est supérieure à 5 bars.

Méthode de distribution de l'eau

La méthode de distribution de l'eau est la manière dont l'eau est distribuée aux plantes. On distingue:

- *l'irrigation par aspersion (au-dessus des cultures)*: l'eau est répartie sur toute la superficie sous la forme de gouttes de pluie. Il existe de nombreuses variantes de l'aspersion en termes de débit et de diamètre d'aspersion, de hauteur du jet au-dessus du sol (au-dessus des cultures, en dessous du feuillage), de type de mécanisme pour l'asperseur, etc.;
- *l'irrigation de surface (sillon, bassin, planche, etc.)*: l'eau est livrée aux parcelles directement à partir des conduites principales et secondaires par les bornes. Elle est soit répartie sur l'ensemble de la superficie, soit appliquée latéralement;
- *la micro-irrigation (irrigation localisée)* par goutteurs, mini-diffuseurs, barboteurs, micro-jets, etc.: l'eau est livrée aux plantes sans être répartie sur la totalité de la surface, mais appliquée à faible dose sur une surface limitée autour des plantes.

La méthode de distribution de l'eau et le type de distributeur sont les principales caractéristiques d'un système d'irrigation sous pression. Dans bien des cas ces deux facteurs influencent les autres caractéristiques (pression et type d'installation) et performances, tels les débits et la durée d'application.

La capacité de débit d'un système est le débit hydraulique (en mètres cubes par heure ou litres par seconde) donné ou fixé pour couvrir les besoins en eau d'irrigation de la surface irrigable en période de pointe. Elle est inversement proportionnelle à la durée d'application. Elle correspond habituellement au débit le plus petit possible en vue d'optimiser les dimensions des conduites et des autres équipements. La durée d'application est le temps requis pour l'achèvement d'un cycle d'irrigation.

Type d'installation

On distingue trois classes de systèmes:

- les installations fixes, où toutes les composantes sont posées ou installées à des emplacements fixes, permanents ou saisonniers;
- les installations semi-permanentes, où les conduites principales et secondaires sont permanentes alors que les conduites latérales sont portables, manuellement ou mécaniquement;
- les installations portables, où toutes les composantes sont portables.

LES TECHNIQUES D'IRRIGATION PAR CONDUITES SOUS PRESSION COMPARÉES AVEC LES MÉTHODES TRADITIONNELLES D'IRRIGATION

Efficience de l'irrigation. Dans les réseaux de distribution par canaux à ciel ouvert, les pertes d'eau peuvent atteindre 40 pour cent dans les canaux non revêtus et 25 pour cent dans les canaux revêtus. Ces pertes

sont dues aux infiltrations, aux plantes aquatiques et aux fuites dans les vannes, déversoirs, etc. Dans les systèmes d'irrigation sous pression, ces pertes n'existent pas. Durant l'application de l'eau aux plantes les pertes d'eau varient de 10 pour cent en micro-irrigation (figure 2.3) à 30 pour cent en aspersion conventionnelle ainsi qu'en irrigation de surface (figure 2.4). Par conséquent, les pertes d'eau peuvent être minimisées et une efficacité d'irrigation globale de 75 à 95 pour cent peut être atteinte. Dans les canaux à ciel ouvert, l'efficacité d'irrigation varie de 45 à 60 pour cent maximum.

Rentabilité économique par unité de volume d'eau. Les systèmes sous pression présentent des conditions beaucoup plus favorables de manipulation de l'eau d'irrigation que ceux des canaux à ciel ouvert. Il en résulte un accroissement du rendement de 10 à 45 pour cent et une amélioration de la qualité.

Fonctionnement et entretien. La main-d'œuvre requise pour le fonctionnement et l'entretien des réseaux en conduites sous pression varie entre un dixième et un quart de celle nécessaire pour les canaux à ciel ouvert. N'importe qui peut aisément faire fonctionner un réseau sous pression, alors que les canaux ouverts exigent une main-d'œuvre spécialisée. Dans les réseaux de canaux, des activités coûteuses sont requises pour éviter les dommages dus aux racines, aux infiltrations à travers les berges, à la prolifération des algues, à la sédimentation et à l'ensablement, aux blocages des prises et vannes, etc. Dans les réseaux sous pression, il n'est pas nécessaire d'entretenir ni de réparer les structures. Les composants de base des réseaux de conduites sous pression ne demandent qu'un entretien minimal durant les premières sept années. Le coût annuel de l'entretien d'un tel réseau représente environ 5 pour cent de l'investissement initial.

Coût. L'utilisation de conduites et raccords thermoplastiques en polychlorure de vinyle non plastifié (uPVC rigide), polyéthylène à haute densité (PEHD), polyéthylène à faible densité (PEFD) et polypropylène (PP), qui sont manufacturés dans presque tous les pays en plusieurs classes et dimensions, a réduit le coût des réseaux sous pression à un niveau relativement bas, alors que les réseaux de canaux à ciel ouvert deviennent de plus en plus chers.

L'investissement initial en capital pour l'application de ces techniques varie selon la méthode d'irrigation et le type d'installation sélectionnés. Le coût des installations fixes pour les méthodes d'irrigation localisée est plus élevé que celui des systèmes d'aspersion manuellement semi-portables et des réseaux en conduites sous pression pour les méthodes d'irrigation de surface. Les coûts, en Europe, de divers réseaux d'irrigation par conduites sous pression sont présentés dans le tableau 2.1 et les coûts moyens en

pourcentage des diverses composantes d'un système sous pression, calculés sur la base d'une petite exploitation (environ 1 ha), sont donnés dans le tableau 2.2. Une analyse détaillée du coût de distribution de l'eau pour tous les types de systèmes sous pression a montré que les conduites (y compris les conduites latérales) représentent environ 50 pour cent du coût total du système.

La complexité de la conception et la multiplicité d'équipements coûteux ne sont qu'apparentes. La technologie des systèmes d'irrigation sous pression est simple et souple, et le rendement du capital investi est favorable. Il faut s'attendre à des difficultés mécaniques au démarrage de l'installation. Par la suite, les exploitants se familiarisent avec les caractéristiques et composantes du système et l'exploitent au mieux. L'application des techniques d'irrigation par conduites sous pression entraîne une modification fondamentale des pratiques de gestion de l'irrigation au niveau de l'exploitation.

FIGURE 2.3 - Techniques modernes d'irrigation.



FIGURE 2.4 - Techniques d’irrigation par aspersion.

TABLEAU 2.1 - Coûts comparatifs des systèmes d’irrigation par conduites sous pression

	Irrigation de surface par conduites sous pression			Irrigation par aspersion conventionnelle semi-portable manuellement			Micro-irrigation installation fixe		
Surface (ha)	1	1-2	2-3	1	1-2	2-3	1	1-2	2-3
Coût installation (\$EU/ha)	1 700	1 600	1 400	2 800	2 700	2 100	3 950	3 300	3 000
Coût annuel d’entretien (\$EU/ha)	85	80	70	140	135	105	200	165	150

Note: Prix moyens 1997 en Europe.

TABLEAU 2.2 - Détail des coûts des systèmes d’irrigation par conduites sous pression

Composantes	Installation sophistiquée	Installation simple
Ouvrage de tête	>23%	13%
Conduites (principales, secondaires, adducteurs)	10%	21%
Raccords et autres accessoires	22%	24%
Conduites latérales et distributeurs	45%	42%

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.

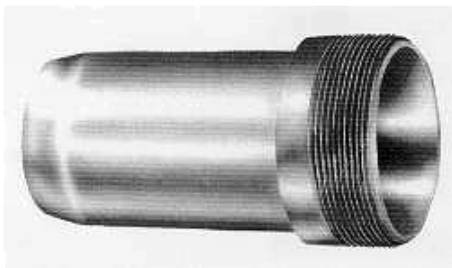
La pression de fonctionnement d'une conduite ou d'un raccord est la pression hydraulique interne maximale à laquelle la conduite ou le raccord sera soumis de manière continue en utilisation ordinaire, avec la certitude que la conduite ne connaîtra aucune défaillance. On distingue la pression nominale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

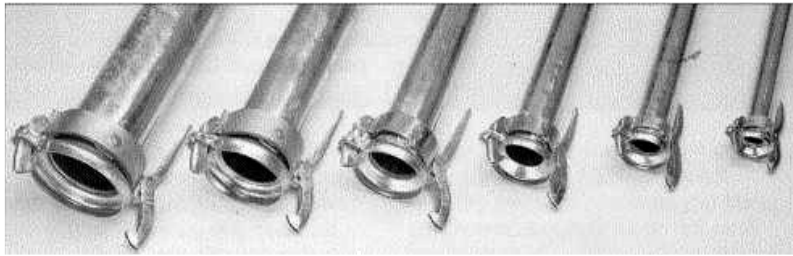
Les tuyaux en acier à raccord fileté. Les tuyaux en acier galvanisé ont été largement utilisés dans tous les pays pour toutes sortes de travaux hydrauliques. Dans le passé, ils étaient utilisés comme conduites principales et secondaires des réseaux fixes d'irrigation en conduites sous pression. En raison 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).

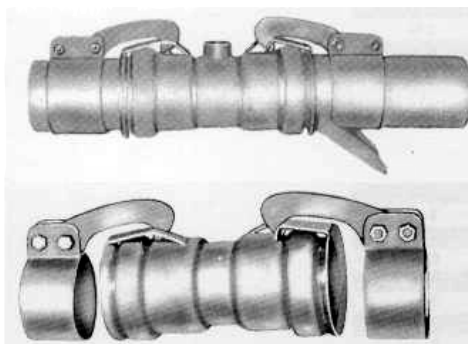
FIGURE 3.2 - Tuyaux et raccords en acier léger galvanisé à raccord rapide.



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/ASAE 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.

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

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

TABEAU 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

TABLEAU 3.3 - Epaisseurs 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	
Diamètre d en mm du tuyau	Rapport de dimension normalisée (SDR)						
	17,6	21	–	11	13,6	17	
	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.

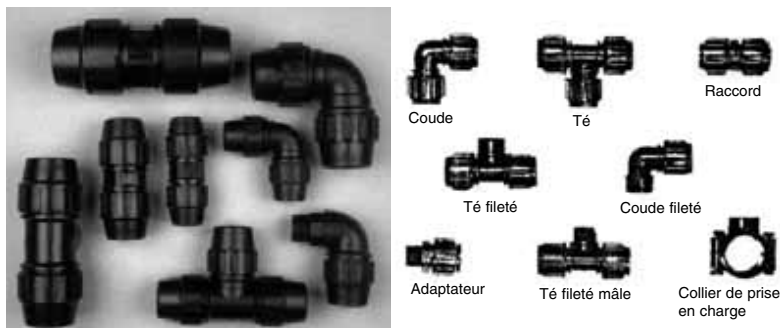


- les raccords avec rainures d'ancrage, également insérés dans le tuyau, mais disponibles dans des diamètres inférieurs à 20 mm pour des pressions maximales de 2 bars;
- les raccords de compression, disponibles pour tous les diamètres et pour de hautes pressions de 10 bars. Les raccords de compression 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).

FIGURE 3.9 - Raccord de conduite par collage.

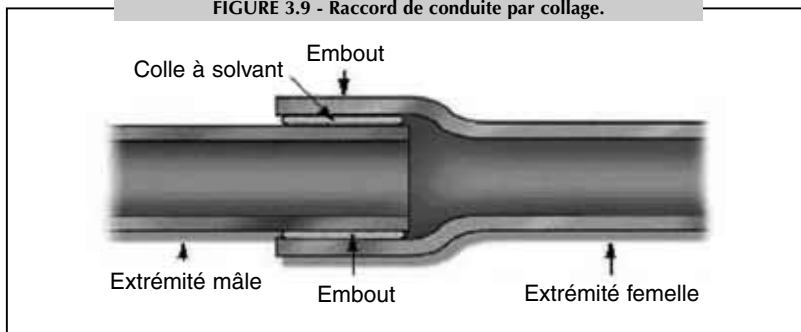
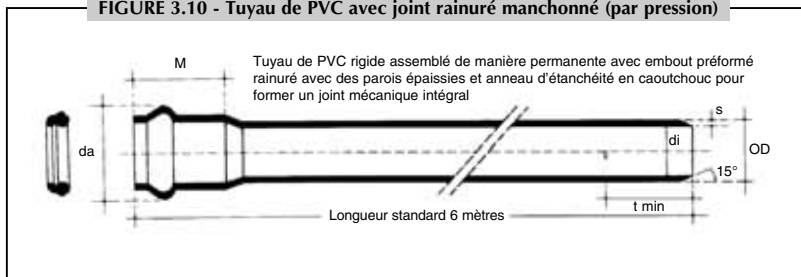


FIGURE 3.10 - Tuyau de PVC avec joint rainuré manchonné (par pression)



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.

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

Dispositifs directionnels ou vannes	Vannes de sectionnement	• 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)	• Vannes de contrôle à battant • Vannes de contrôle parallèle
	Vannes de réglage**	• Vannes à disque* (sphère, angle et oblique ou vanne en Y) • Vannes radiales
Dispositifs de mesure	Compteurs	• Débitmètres • Compteurs volumétriques
	Jauges	• 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.

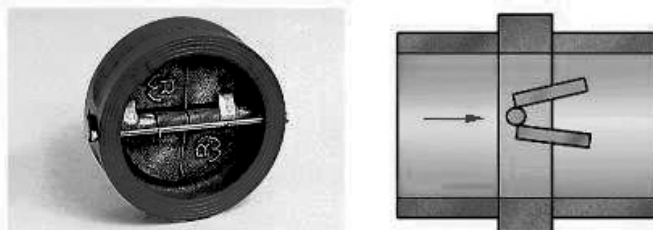
** Les vannes de réglage règlent la pression, le débit ou le niveau d'eau par une commande directe ou pilotée à distance.

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.

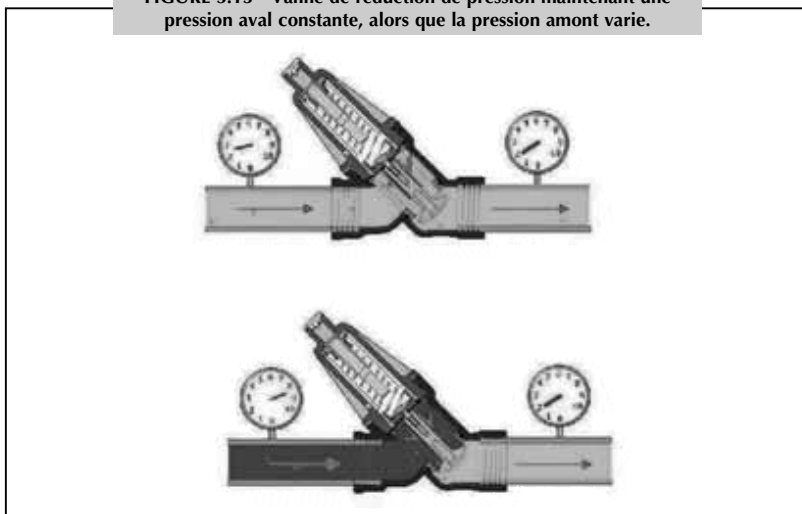
Une vanne de réduction de pression étranglera l'écoulement et maintiendra ainsi la pression aval à un niveau requis mais uniquement si la pression amont est supérieure au niveau préétabli. Par conséquent, l'écoulement n'est contrôlé que par la pression aval (figure 3.13).

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.

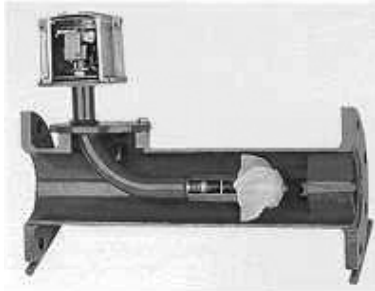


Les vannes de réglage sont soit actionnées directement, soit pilotées à distance. Les vannes de réglage de la pression sont souvent installées en tête des adducteurs pour assurer une pression de fonctionnement constante dans les conduites latérales. Ces vannes sont en laiton, bronze ou plastique et existent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

Les compteurs. Il faut distinguer les compteurs volumétriques des compteurs débitmétriques. 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 débitmétriques 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:

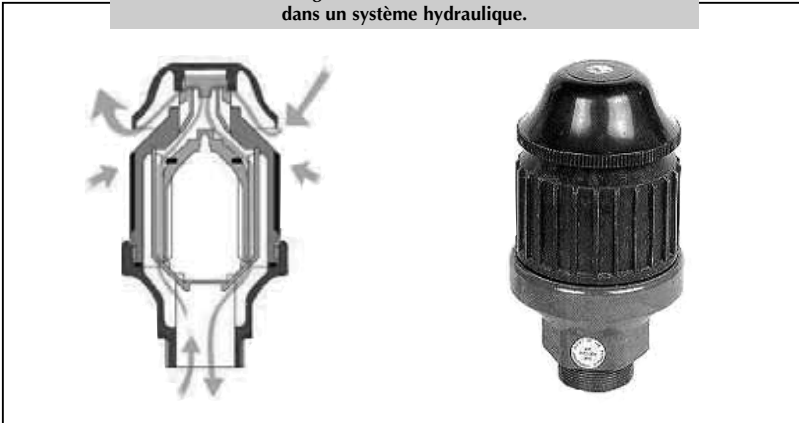
- ❶ Les purgeurs simples automatiques qui permettent l'évacuation automatique continue des poches d'air s'accumulant aux points hauts des conduites principales. Ces purgeurs simples sont de petites dimensions avec des raccords filetés de 1 pouce; de plus grandes dimensions ne sont pas nécessaires. Ils 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

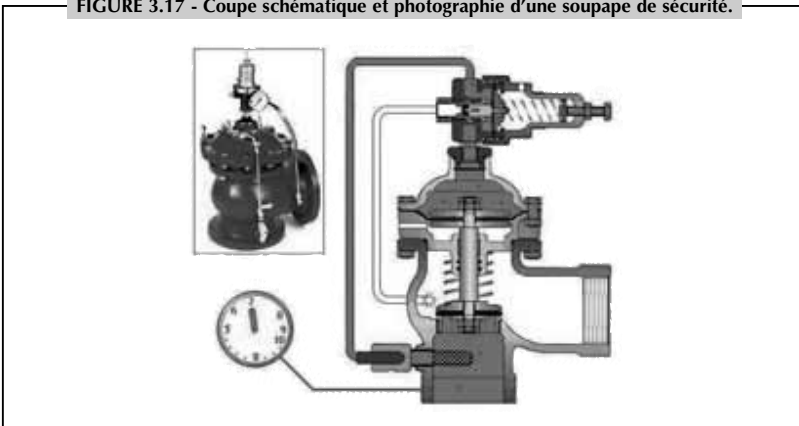
FIGURE 3.16 - Purgeurs d'air introduisant ou évacuant l'air dans un système hydraulique.



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.

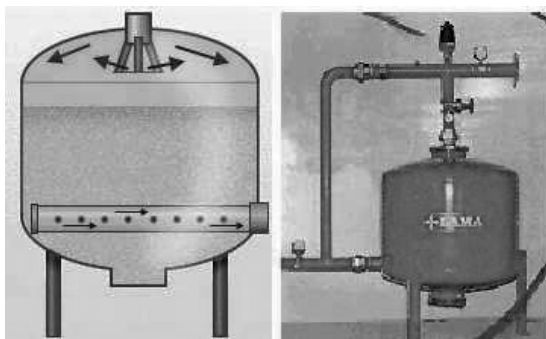


LES FILTRES

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:

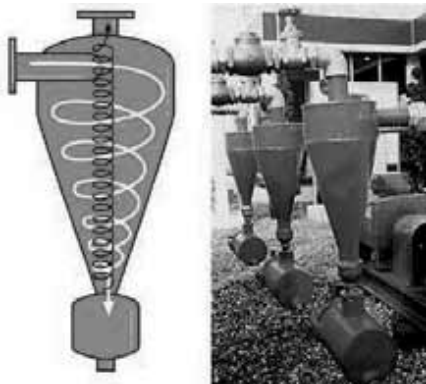
Les filtres à gravier. Ces filtres, aussi nommés filtres-médias, sont des réservoirs cylindriques fermés contenant du gravier à grain de 1,5 à 3,5 mm ou un lit de sable basaltique filtrant. Lorsque la source de l'eau d'irrigation est un réservoir ouvert, le filtre est installé avant l'ouvrage de tête 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.



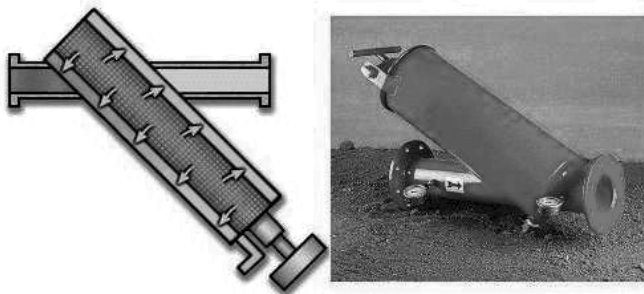
Les hydrocyclones (ou séparateur de dessablage). Ce sont des réservoirs coniques métalliques fermés, placés le cas échéant en tête de l'unité de contrôle. Ils éliminent le sable ou les autres petites particules solides des eaux de rivière ou de puits par une force centrifuge créée à l'intérieur du filtre. 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.



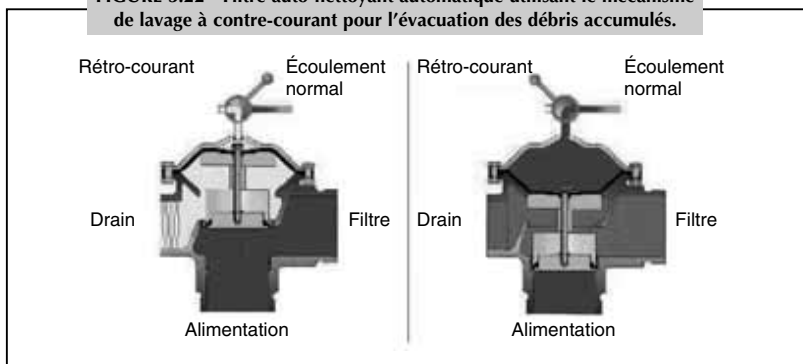
Les filtres à disques. Ces filtres sont cylindriques, faits de plastique renforcé, placés en ligne horizontalement ou verticalement. Les éléments filtrants sont une superposition de disques à rainures en plastique, avec de multiples intersections, créant une filtration à trois dimensions très efficace. 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 ($\frac{3}{4}$ 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.



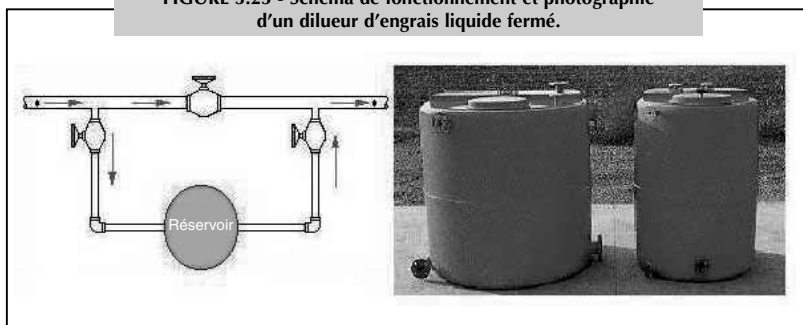
généralement à contre-courant, pour l'élimination des débris accumulés utilise la pression de l'eau dans le système. Il est activé: a) lorsque la différence de pression dans le corps du filtre augmente d'une valeur prédéterminée, par exemple 0,5 bar; et b) à des intervalles de temps fixes définis par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

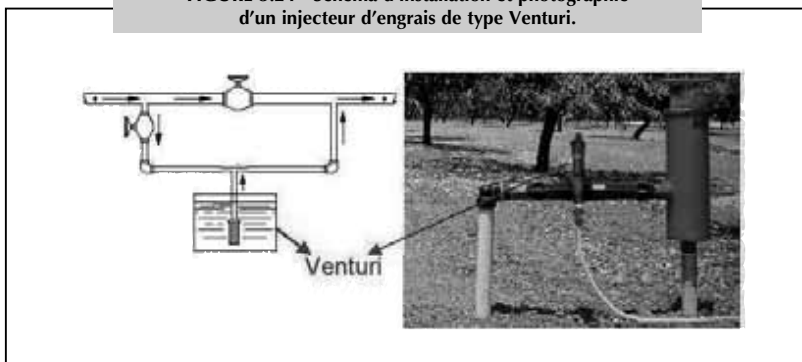
FIGURE 3.23 - Schéma de fonctionnement et photographie d'un dilueur d'engrais liquide fermé.



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

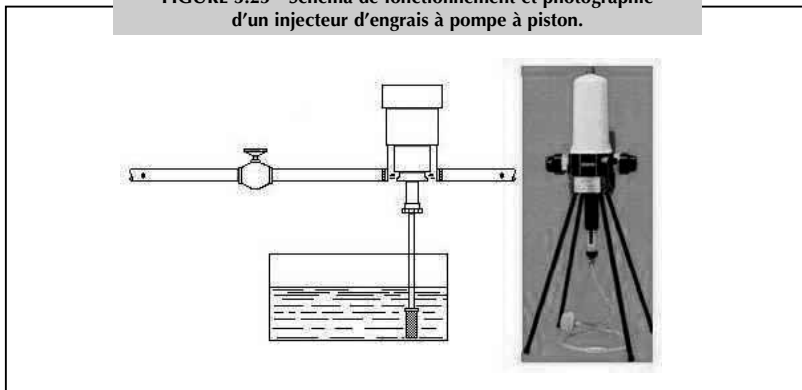
régulateurs de pression pour assurer une injection constante. Les pertes de charge sont d'environ 1 bar. Ces injecteurs en plastique existent en dimensions de $\frac{3}{4}$ à 2 pouces, avec des taux d'injection de 40 à 2 000 litres par heure. Ils sont relativement bon marché, comparés à d'autres injecteurs.

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

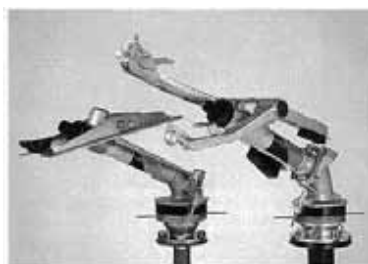
Les distributeurs d'eau définissent généralement la catégorie de système et, dans la plupart des cas, le type d'installation. Branchés sur les conduites latérales à intervalles réguliers, ils apportent l'eau aux plantes sous forme de jet de pluie, pulvérisation, brumisation, faible débit, fontaine ou 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).



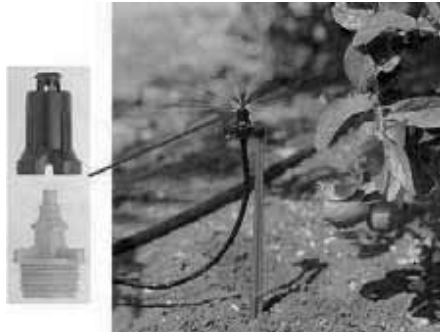
Les gicleurs, micro-jets et diffuseurs. Il s'agit de petits distributeurs en plastique, à faible débit et angle réduit, qui fournissent l'eau sous forme de fines gouttes distribuées sur un cercle complet ou par secteur de cercle. Ils sont utilisés principalement sur les cultures arbustives. Il existe 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

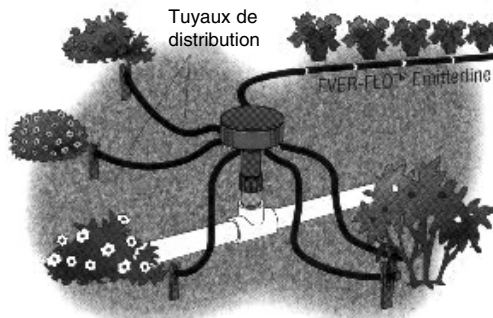
à 120 cm, munis de raccords à barbillons. On en place un par arbre, à 30-50 cm les uns des autres (figure 3.28).

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.

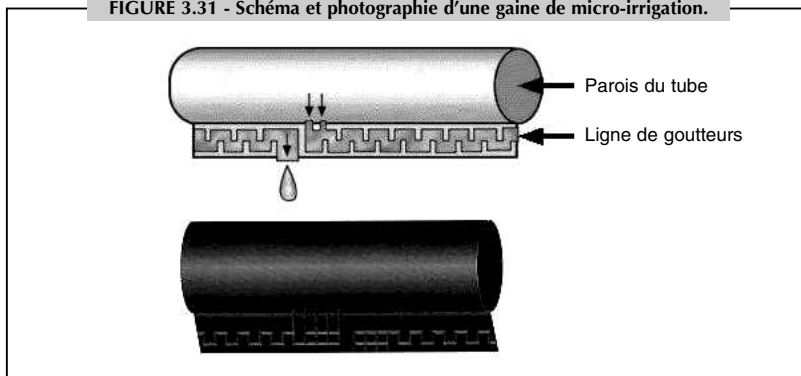


FIGURE 3.32 - Variations de débit entre un distributeur normal et un distributeur à compensateur de pression, (situations idéale et réelle).

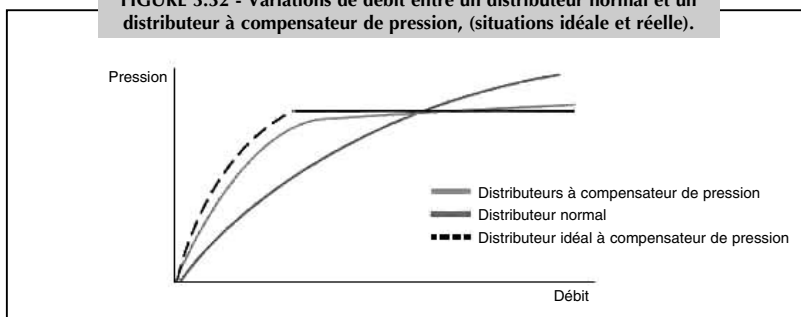
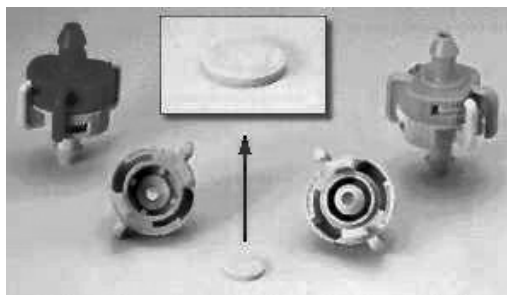


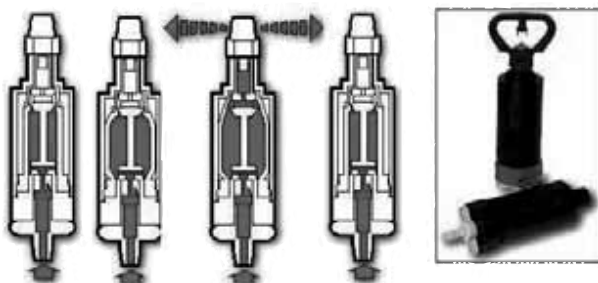
FIGURE 3.33 - Photographie d'un distributeur à compensateur de pression, montrant la membrane utilisée comme régulateur de débit.



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

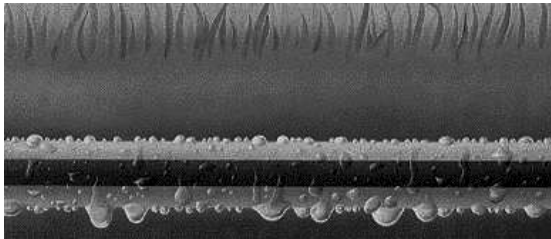
FIGURE 3.34 - Schéma de fonctionnement et photographie d'un pulseur.



chaque impulsion est de l'ordre de 0.5 cm^3 . 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.

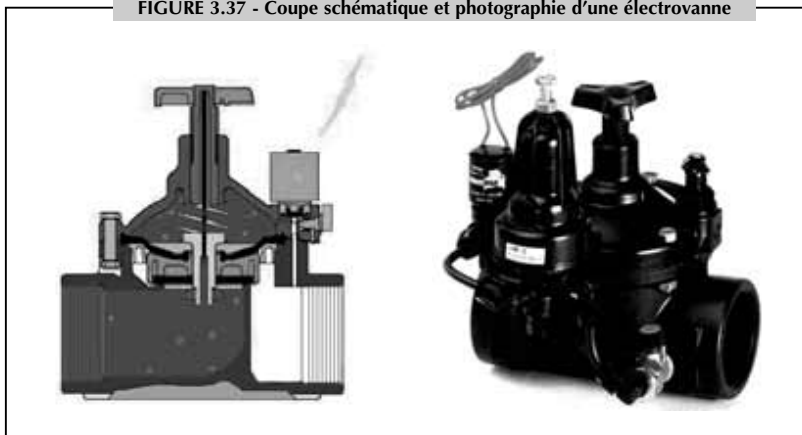


LES DISPOSITIFS D'AUTOMATISATION

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.

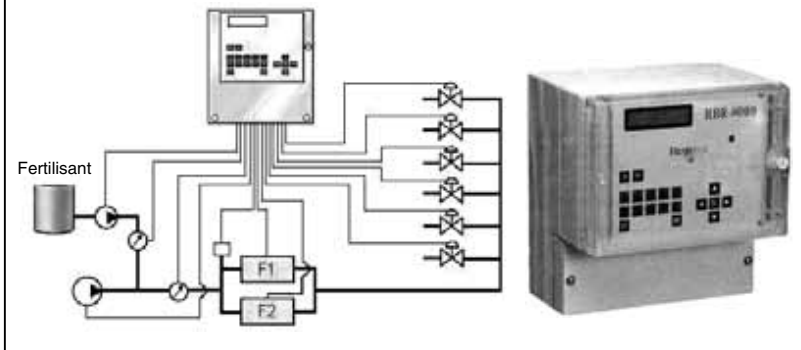
Les électrovannes (à solénoïdes). Ce sont des vannes automatiques qui sont commandées à distance pour ouvrir ou fermer l'écoulement de l'eau. Leur corps est conçu sur le modèle de la vanne sphérique. Elles s'ouvrent et se ferment grâce à un diaphragme flexible ou un piston, utilisant la pression hydraulique 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



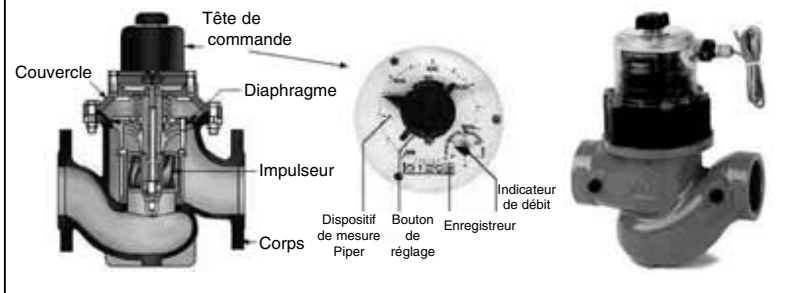
Les dispositifs de commande. Ce sont des dispositifs automatiques de programmation de la durée de fonctionnement qui commandent les vannes automatiques (électriques) à distance, par exemple pour leur ouverture et leur fermeture selon un programme pré-déterminé. Un transformateur transforme le courant 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.

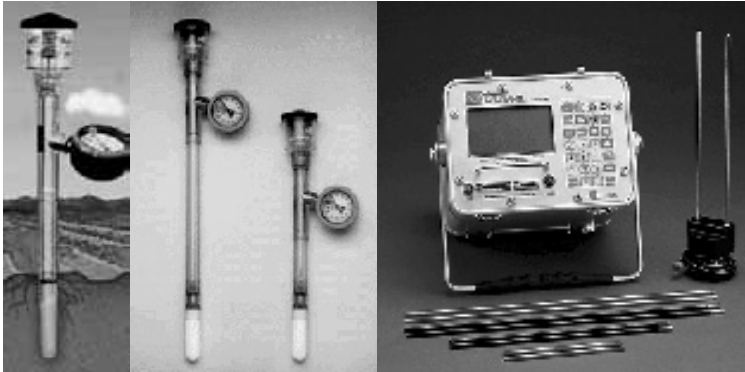


FIGURE 3.41 - Mesure directe des solutions du sol au moyen d'un conductivimètre et extracteurs installés dans un champ.



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.



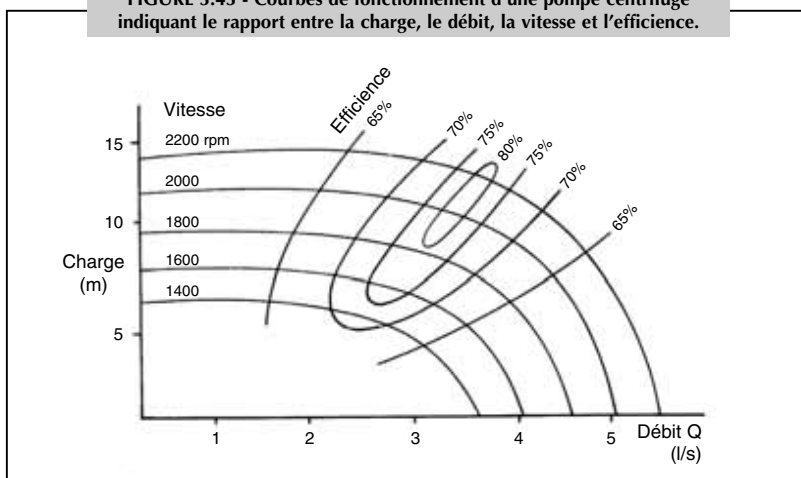
LES SYSTEMES D'EXHAURE (POMPAGE)

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).

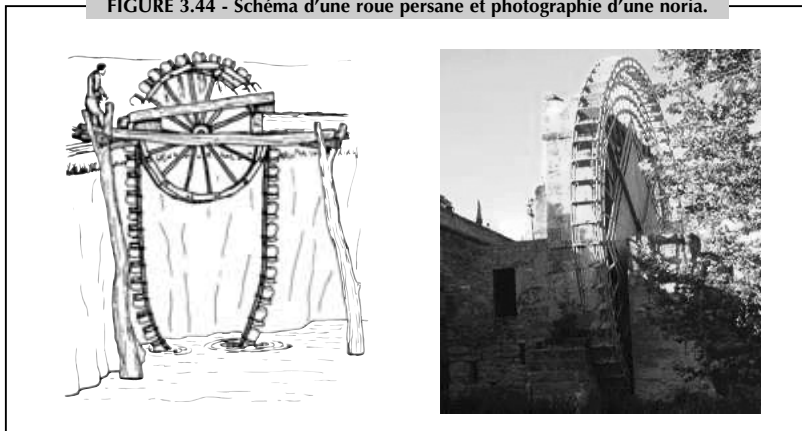
FIGURE 3.43 - Courbes de fonctionnement d'une pompe centrifuge indiquant le rapport entre la charge, le débit, la vitesse et l'efficacité.



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 élévateur 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.

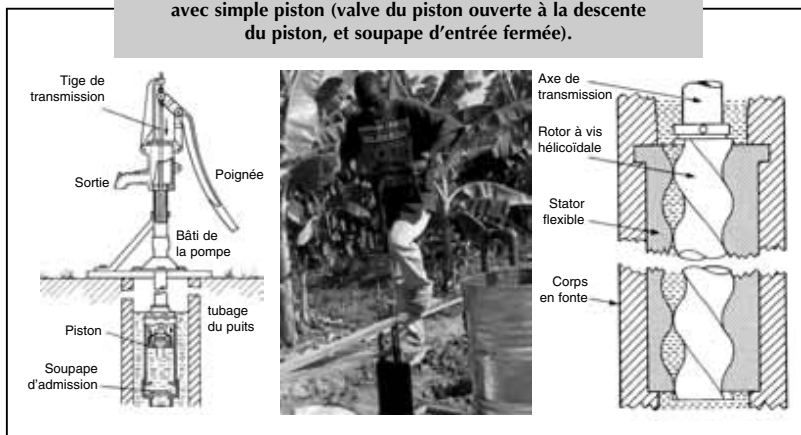


Les pompes volumétriques. La forme la plus commune et connue de pompe réciproque/cyclique est la pompe à piston, tandis que la plus représentative du type rotatif continu est la vis d'Archimède. Dans la pompe à piston, l'eau est aspirée à la montée du piston dans un cylindre à travers une soupape et 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.

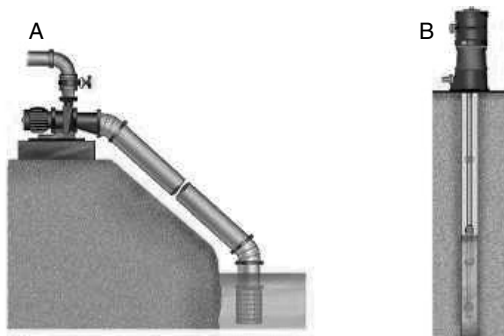


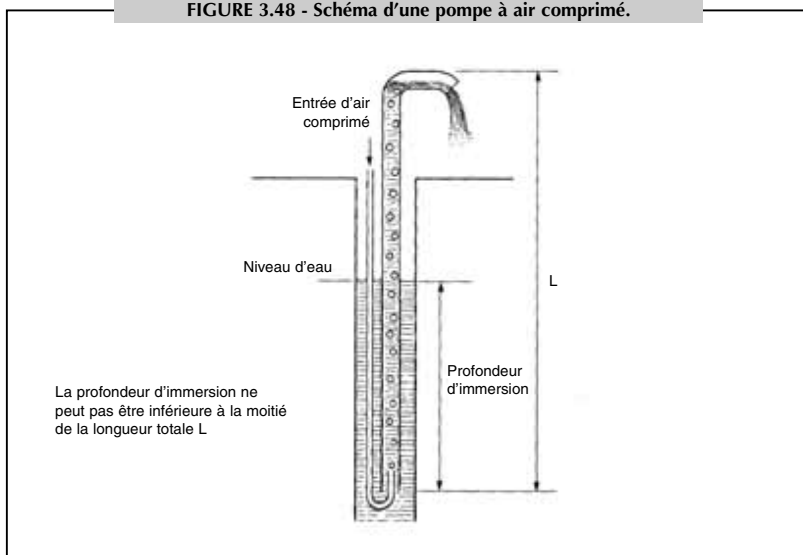
FIGURE 3.47 - Gauche: pompe rotodynamique entraînée par un tracteur
Droite: unité de pompage constituée de pompes rotodynamiques en parallèle.



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

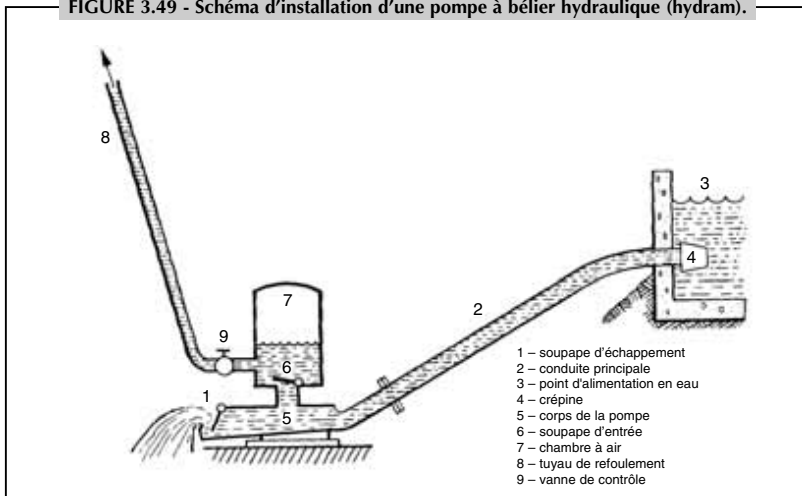
terme d'énergie fournie par l'air comprimé par rapport au volume d'eau pompé, et cette limitation est encore renforcée par le faible rendement des compresseurs d'air. De plus, la pompe exige un forage considérablement plus profond que ce qui serait normalement requis (plus de deux fois la profondeur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

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



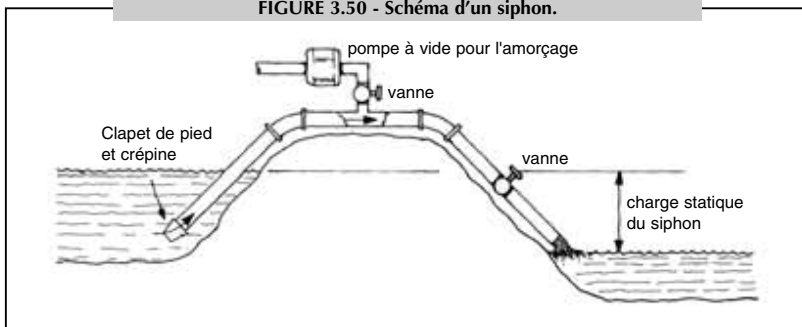
Les pompes à impulsion (béliet hydraulique). Ces pompes utilisent l'énergie d'eaux en descente pour relever une petite partie du débit de l'écoulement à une hauteur plus élevée que le niveau de la source. Leur principe de fonctionnement est de laisser s'établir l'écoulement dans une conduite à partir 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 béliet 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 béliet 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:

$$P(HP) = \frac{Q(l/s) \times H_t(m)}{75 \times e_1 \times e_2}$$

et

$$P(kw) = \frac{Q(l/s) \times H_t(m)}{102 \times e_1 \times e_2}$$

où:

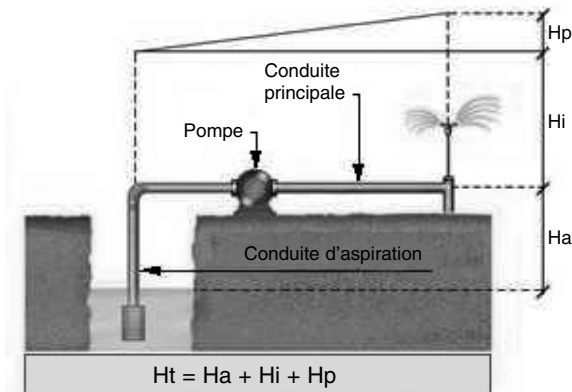
Ht est la charge totale;

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).



CHAPITRE 4: Conception du système

INTRODUCTION

La conception technique est le second stade de la planification de l'irrigation, le premier stade concernant les besoins en eau des cultures, les types de sol, le climat, la qualité de l'eau et le programme d'irrigation. Les conditions d'approvisionnement en eau, l'électricité disponible et la topographie du terrain doivent également être considérées, de même que les considérations économiques, les disponibilités en main-d'œuvre et le niveau de compétence. Le système d'irrigation est sélectionné après une évaluation approfondie des données ci-dessus et un processus de calcul détaillé, intégrant les débits dans le système, la dose d'irrigation, la durée d'application et le programme d'irrigation.

Une fois la conception achevée, une liste détaillée de tous les équipements requis pour la mise en place du système est préparée avec des descriptions complètes, les normes et les spécifications de chaque élément.

CONCEPTION DU SYSTÈME

La procédure de conception hydraulique et technique est presque la même pour tous les types de systèmes d'irrigation sous pression. Il s'agit d'une série de calculs intrinsèquement liés, dont les différents stades sont résumés ci-dessous.

Sélection du distributeur d'eau (asperseur, goutteur, mini-asperseur, barboteur, tuyau, etc.) en fonction de la culture à irriguer, des méthodes d'irrigation et des besoins en eau:

- type, débit, pression de service, diamètre de couverture;
- espacement et nombre de distributeurs par ligne latérale.

CONCEPTION DES CONDUITES LATÉRALES

- longueur, direction, espacement et nombre total de lignes latérales (dans les systèmes fixes) ou positions des conduites latérales (dans les systèmes semi-permanents);
- débit dans la conduite latérale: nombre de distributeurs par conduite x débit du distributeur;

- nombre de conduites latérales fonctionnant simultanément = débit du système/débit de la conduite latérale;
- nombre de tours pour réaliser une irrigation = nombre total de lignes latérales ou positions ÷ nombre de conduites latérales fonctionnant simultanément;
- durée d'application = dose d'irrigation en mm ÷ taux d'application en millimètres par heure; ou dose d'irrigation en mètres cubes par heure ÷ débit du système en mètres cubes par heure.

CONCEPTION DES CONDUITES

Les conduites latérales

Il est important de comprendre les fonctions et les principes de fonctionnement des distributeurs d'eau avant de commencer le processus de conception. L'une des principales caractéristiques de tous les types de distributeurs est la relation entre le débit et la pression de fonctionnement, habituellement exprimée par la formule empirique:

$$q = kdH^*$$

où **q** est le débit du distributeur; **k** et **d** sont des coefficients (constantes), **H** est la pression au niveau du distributeur et * est un exposant caractérisé par le régime d'écoulement dans le distributeur et la courbe de variation du débit en fonction de la pression.

Plus la valeur de * est basse, plus l'influence des variations de pression sur le débit du distributeur le long de la conduite latérale est faible. La plupart des régimes d'écoulement des distributeurs sont entièrement turbulents, avec une valeur d'exposant égale à 0,5. Ainsi la variation de débit est la moitié de la variation de pression, lorsque le ratio de deux pressions différentes est < 1,3/1.

Afin d'assurer une bonne uniformité de l'application d'eau au niveau du champ, les variations de débit des distributeurs doivent être minimales, et en aucun cas supérieures à 10 pour cent. Ce critère a été établi par J. Christiansen pour les asperseurs, mais est actuellement appliqué à tous les systèmes sous pression. En règle générale, la différence de pression maximale admise entre deux distributeurs qui fonctionnent ne doit pas être supérieure à 20 pour cent. Les conduites latérales avec distributeurs doivent être dimensionnées de manière à ce que la perte de charge (pression) due au frottement dans la conduite latérale ne dépasse pas 20 pour cent.

La perte de charge due au frottement dans les conduites latérales est fournie par un graphique ou un tableau. La valeur donnée indique normalement une perte de charge en mètres ou pieds par 10 mètres ou 100

pieds de conduites. Par exemple, pour une conduite latérale d'asperseurs à raccord rapide de 50 mm de diamètre transitant un débit de 15 m³/h, les pertes de charge sont de 7 pour cent. Pour une conduite latérale de 120 m, les pertes de charge sont de $7/100 \times 120 = 8,4$ m. Mais cette perte correspond à un débit total de 15 m³/h parcourant la totalité des 120 m de la conduite latérale. Cela ne correspond donc pas à la réalité car le débit diminue en route après chaque distributeur. Afin de prendre en compte les pertes de charge réelles, la valeur ci-dessus est multipliée par F, le coefficient de réduction de Christiansen, pour compenser les débits distribués en route par la conduite latérale. Les valeurs de F dépendent du nombre de distributeurs uniformément répartis le long de la conduite (tableau 4.1).

Trois différentes séries de valeurs de F existent, correspondant à l'exposant (m) de la valeur de Q, qui varie dans les formules de Hazen Williams (1,85), Scobey (1,9) et Darcy Weisbach (2). En outre, on prend les valeurs les plus basses si la distance de la première sortie équivaut à la moitié de l'espacement des distributeurs. Les différences entre les diverses valeurs de F sont toutefois quasi-négligeables.

TABEAU 4.1 - Valeurs de F pour des sorties multiples

Nombre de sorties	F (m = 2)	Nombre de sorties	F (m = 2)
1	1,0	12	0,376
2	0,62	15	0,367
3	0,52	20	0,360
4	0,47	24	0,355
5	0,44	28	0,351
6	0,42	30	0,350
7	0,41	40	0,345
8	0,40	50	0,343
9	0,39	100	0,338
10	0,385	>	0,333

En supposant qu'il y ait dans l'exemple ci-dessus dix distributeurs (asperseurs en l'occurrence) sur la conduite latérale, la valeur de F est de 0,4. Ainsi, pour une conduite latérale à raccord rapide de 50 mm de diamètre transitant un débit de 15 m³/h, avec 10 asperseurs distribuant 1,5 m³/h avec une pression de 2 bars, les pertes de charge sont de $7/100 \times 120 \times 0,4 = 3,36$ m. Cette valeur ne doit pas excéder le maximum autorisé, qui est de 20 pour cent de la pression moyenne de fonctionnement de l'asperseur, c'est-à-dire 2 bars $\times 0,20 = 0,4$ bar, soit 4 m sur terrain plat. Lorsque la conduite latérale est en pente descendante, la différence de niveau s'additionne à la perte de pression maximale admissible. A l'inverse, en cas de montée, la différence de niveau est déduite.

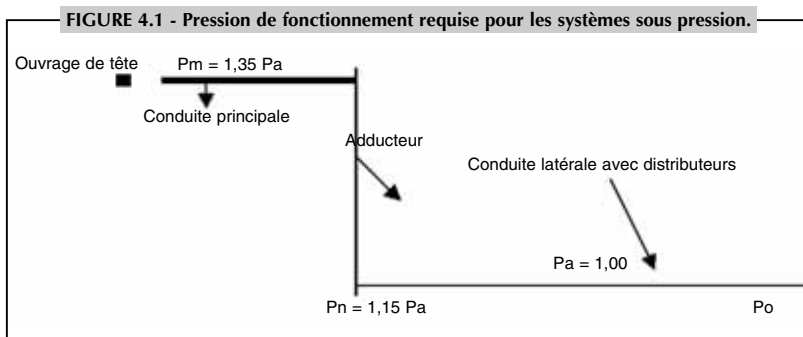
En raison de la multiplicité des distributeurs avec des régimes de débit variables et des autres facteurs affectant le rapport pression/débit le long des conduites latérales dans les champs, telles les pertes minimales de

charge locales qui se produisent à la jonction des distributeurs sur les tuyaux de faibles dimensions, ainsi que les fluctuations de température, le fournisseur est toujours tenu de fournir des barèmes pour la longueur optimale des conduites latérales avec distributeurs, basés sur le diamètre de la conduite latérale, l'espacement des distributeurs, la pression de fonctionnement, le débit et la pente du terrain.

Les adducteurs, conduites principales et secondaires

À partir des adducteurs, qui peuvent également être des conduites principales ou secondaires, plusieurs rampes latérales peuvent être alimentées simultanément. Le débit sur ces conduites est distribué en route, comme sur les rampes portant des distributeurs. Par conséquent, lorsque l'on détermine les pertes de charge dues au frottement, il faut également appliquer le coefficient de réduction F de Christiansen. Exemple: adducteur de 120 m en tube de PEHD de 75 mm, 6 bars, 16,3 m³/h, 6 rampes latérales fonctionnant simultanément: la perte de charge à plein débit est de 3,3 pour cent, soit $4 \text{ m} \times 0,42 = 1,7 \text{ m}$ environ.

Les conduites principales et secondaires et toutes les bornes sont dimensionnées de telle façon que les pertes de charge n'excèdent pas environ 15 pour cent de la charge dynamique totale requise à la tête du réseau de conduites. Sur terrain plat, ces pertes de charge s'élèvent à environ 20 pour cent de la pression de fonctionnement fixée pour les distributeurs. Il s'agit d'une règle pratique pour tous les réseaux de conduites sous pression pour obtenir des conditions de pression et de distribution de l'eau uniformes en tous points du système. La figure 4.1 ci-dessous ne doit pas être confondue ou associée d'aucune façon avec la perte de charge maximale autorisée le long des rampes latérales.



Dans la figure ci-dessus, P_a est la pression moyenne au distributeur ou la pression fixe relevée dans le catalogue; P_n est la pression en tête de la

conduite latérale; $P_o = 0,95$. P_a est la pression au sortir du distributeur et P_m est la pression à l'entrée de la conduite principale. En résumé:

$$\begin{aligned} P_n - P_o &= 0,20 \text{ Pa;} \\ P_o &= P_n \div 1,21; \\ P_n &= 1,15 \text{ Pa;} \\ P_m &= 1,35 \text{ Pa.} \end{aligned}$$

La perte de charge dans une rampe avec distributeurs est très élevée au début et chute rapidement après les premiers distributeurs, puis diminue graduellement vers la fin de la rampe. Dans le quart amont de la rampe, la perte de charge est d'environ 75 pour cent de la charge totale. Un autre élément important est la vitesse de l'écoulement dans les conduites principales et secondaires ainsi que dans les bornes, qui doit toujours être maintenue en-dessous de 1,7 m/s dans les tubes en plastique et à 2 m/s maximum dans les autres tuyaux (aluminium, acier, etc.). De la formule du débit $V = Q/A$, le diamètre intérieur du tube peut être déterminé pour un débit donné:

$$\text{diamètre(mm)} = \sqrt{\frac{Q(\text{m}^3/\text{h})}{V(\text{m/s})}} \times 18.8$$

OUVRAGE DE TÊTE

Les composantes de l'ouvrage de tête et leurs dimensions sont sélectionnées en fonction des besoins du système. Dans les systèmes de micro-irrigation, les ouvrages de tête sont munis de filtres et d'injecteurs de fertilisants, alors qu'en aspersion et en irrigation par tuyaux (gainés), ces ouvrages sont simples avec un équipement minimal. Les pertes de charge dans les diverses composantes de l'ouvrage peuvent varier de 3 à 10 m.

Les formules de perte de charge sont empiriques et incluent de nombreuses variables et facteurs correctifs. Pour calculer à partir d'équations les pertes de charge dues au frottement dans les conduites, une grande expérience pratique est nécessaire. L'utilisation de tableaux et nomogrammes est recommandée pour le calcul des pertes de charge, car il n'est pas possible d'atteindre une grande précision en raison des modifications imprévisibles dans la rugosité des conduites, la viscosité de l'eau, l'usure et l'obstruction des buses, etc.

CHARGE DYNAMIQUE TOTALE DU SYSTÈME

La charge dynamique totale requise pour le fonctionnement normal du système est la somme des pressions suivantes (tableau 4.2):

TABEAU 4.2 - Charge dynamique totale du système

Pression au distributeur	mètres
Pertes de charge dans la conduite latérale (rampe)	mètres
Pertes de charge dans l'adducteur	mètres
Pertes de charge dans les conduites principales et secondaires	mètres
Pertes de charge dans les vannes, raccords et petites pertes diverses (normalement jusqu'à 15 pour cent des pertes totales dans les conduites)	mètres
Différence d'altitude (en + ou en -)	mètres
Pertes de charge dans l'ouvrage de tête	mètres
Charge totale dans le système	mètres

CHARGE DYNAMIQUE TOTALE DE L'UNITÉ DE POMPAGE

Cette charge est la somme de la charge totale dans le système plus la hauteur de pompage. La formule de la puissance au frein est:

$$BHP = \frac{Q \times TDH}{270 \times e1 \times e2}$$

où **Q** est le débit en mètres cubes par heure, **TDH** est la charge dynamique totale en mètres, **e1** est l'efficacité de la pompe (fraction), **e2** est l'efficacité du moteur (fraction) et 270 est une constante pour les unités métriques.

- efficacité de la pompe: 0,5 – 0,8;
- efficacité d'un moteur électrique: 0,7 – 0,9;
- efficacité d'un moteur diesel: 0,5 – 0,75.

L'efficacité globale du pompage dans les conditions du terrain est comprise respectivement entre 0,35 pour les unités diesel et 0,50 pour les unités électriques. Il ne serait pas réaliste d'adopter des efficacités plus élevées.

CHAPITRE 5: Description, normes et appels d'offres pour l'approvisionnement de l'équipement

Pour finaliser la conception du système, une liste de l'ensemble de l'équipement requis pour son installation (devis quantitatif) doit être établie avec les descriptions complètes, normes et spécifications de chaque élément. La préparation de cette liste est très importante. En plus des quantités, il est impératif de déterminer et de spécifier:

- les dimensions et noms de l'élément (vanne à boisseau sphérique de 2 pouces, conduite de 50 mm de diamètre, etc.);
- le type de matériau (laiton, uPVC, etc.);
- la pression nominale (PN 16 bars, 6 bars, etc.);
- le type de raccords et joints (à vis, soudés à la colle, etc.);
- les normes (conformes à ISO 161, 3606, BS 21, ISO 7, etc.).

Trois listes différentes seront établies: une pour les conduites principales, les conduites secondaires, les adducteurs et les bornes; une pour les conduites latérales et les distributeurs, et une pour l'ouvrage de tête. Les dimensions auront été fixées à l'étape de la conception.

PRESSION DE SERVICE DE L'ÉQUIPEMENT

L'installation d'un système fermé de conduites sous pression comprend des conduites soumises à diverses pressions de service selon leur implantation. Les conduites principales, soumises à de plus fortes pressions que les conduites secondaires, adducteurs et conduites latérales, doivent être plus résistantes que les autres types. La pression nominale des conduites à installer sera toujours supérieure à la pression de fonctionnement du réseau. Par exemple dans un réseau de micro-jets (mini-asperseurs), la pression approximative de fonctionnement est de 2,3 à 2,5 bars dans les conduites latérales, 2,5 à 2,7 bars dans les adducteurs et 2,7 à 3 bars dans les conduites principales. On pourrait penser qu'une pression nominale de 4,0 bars pour les conduites pourrait convenir aux besoins du réseau. Toutefois, bien que les systèmes à basse et moyenne pressions ne soient pas soumis aux très hautes surpressions provoquées par les coups de bélier, il est conseillé de prendre des conduites principales résistant à 6 bars, et à 4 bars pour les autres conduites.

CONDUITES PRINCIPALES, CONDUITES SECONDAIRES, ADDUCTEURS ET BORNES

Les types de tuyaux les plus couramment utilisés pour ces conduites sont le PVC rigide, le PEHD, le PEFD et l'acier léger ou l'aluminium pour les tuyaux à raccords rapides. Il faut déterminer les éléments suivants:

- les longueurs totales et le nombre d'éléments des conduites (ajouter environ 5 pour cent au total);
- la quantité de raccords de conduite (coudes, tés, bouchons, réducteurs, etc.) du même type à utiliser avec les conduites ci-dessus;
- le nombre de coudes, tés, colliers de prise en charge nécessitant deux types de raccord différents, par exemple té de 90 mm x 90 mm x 2 pouces (filetage intérieur), coude 110 mm x 3 pouces (avec bride);
- la quantité d'adaptateurs (raccords de démarrage). Ces accessoires ont une extrémité fileté (ou bridée) tandis que l'autre est adaptée aux types de connection des conduits. Ils sont utilisés au départ des conduites et partout où des vannes sont installées;
- le nombre de vannes de sectionnement et de purgeurs d'air nécessaires sur le réseau de distribution. Les purgeurs d'air sont montés sur des tubes de rallonge branchés sur les conduites principales avec des colliers de prise en charge;
- les quantités de tubes de rallonge pour les bornes, si les conduites sont souterraines et de vannes de contrôle ou de vannes spéciales de bornes. Si les conduites principales ne sont pas enterrées, il faut déterminer les accessoires nécessaires pour connecter les colliers de prise en charge avec les vannes de sectionnement. Il doit y avoir le même nombre d'accessoires que de bornes.

CONDUITES LATÉRALES

Des tuyaux à raccords rapides et des tubes en PEFD sont utilisés comme conduites latérales en surface dans la plupart des systèmes. Il faut déterminer les caractéristiques suivantes:

- les longueurs totales de tuyaux requis et le nombre d'éléments;
- les quantités d'adaptateurs, tés, coudes, prises d'extrémités et filtres en ligne;
- le nombre total de distributeurs et, le cas échéant, leurs raccords, par exemple: mini-asperseur complet avec piston, tuyau flexible de raccord et coin en plastique; ou bien spécifier l'équipement nécessaire en termes d'ensemble, par exemple ensemble complet de mini-asperseur.

OUVRAGE DE TÊTE

Toutes les composantes de l'ouvrage de tête du système doivent être déterminées, c'est-à-dire les vannes de sectionnement, la vanne de contrôle,

le purgeur d'air, l'injecteur d'engrais, les filtres, les régulateurs de pression, etc. En outre, tous les raccords auxiliaires doivent être inclus, tels que les éléments de conduites, gaines et raccords nécessaires pour assembler l'ouvrage, ainsi que les manomètres et les autres dispositifs mineurs requis.

UNITÉ DE POMPAGE

Une description complète et détaillée de l'unité de pompage doit être donnée, incluant:

- la puissance (BHP) moyenne calculée de la force motrice et le type de moteur (diesel ou électrique);
- le type de pompe (centrifuge simple ou à étages, turbine, électro-submersible), les diamètres des entrées et sorties, et le type et nombre d'étages;
- la capacité et le débit de l'unité de pompage, c'est-à-dire la hauteur de refoulement dynamique et le débit d'eau fourni.

NORMES

Les normes sont des documents élaborés par consensus par des groupes de travail et comités techniques pour définir les conditions mécaniques, fonctionnelles et autres auxquelles doivent satisfaire les équipements d'irrigation (qualité d'exécution, matériaux, dimensions, pressions, méthodes d'essai, fourniture et distribution). L'élaboration permanente de nouvelles normes répond au rythme accéléré du développement technologique dans le domaine des techniques d'irrigation sous pression. Certaines normes anciennes peuvent toutefois donner une indication des conditions fondamentales. Toutes les conduites, raccords et autres équipements d'irrigation sont fabriqués selon diverses normes appliquées dans les pays d'origine du matériel. Ces normes, bien qu'équivalentes les unes aux autres, varient en termes de mode de dimensionnement, de classification, de facteur de sécurité et de nomenclature. L'Organisation Internationale de Standardisation (ISO) a déployé des efforts techniques considérables pour établir des normes et spécifications internationales, de manière à rendre conformes toutes les normes nationales et régionales.

Dans de nombreux pays, on a généralement tendance à adopter progressivement les normes européennes (NE) et à retirer les standards nationaux contradictoires. Les normes européennes sont préparées par le Comité technique du Comité européen de normalisation (CT/CEN) et la plupart des pays européens et le Royaume-Uni les reconnaissent comme normes nationales. Chaque norme européenne fait partie d'un système de normes basé sur les résultats des travaux entrepris par le Comité technique correspondant de l'ISO. Les systèmes de normes sont compatibles avec les normes générales concernant la fonction et l'installation et appuyés par des normes distinctes portant sur les méthodes d'essai, auxquelles il est fait

référence dans l'ensemble du système de normes. D'autres publications sont également proposées dans le cadre des normes européennes.

Cependant, la variété de normes pour les équipements d'irrigation en thermoplastique sème à l'heure actuelle la confusion chez les petits exploitants. Le tableau 5.1 ci-dessous montre l'exemple d'un tuyau en PVC rigide de 4 pouces de diamètre et 6 bars de pression de fonctionnement selon deux normes nationales différentes:

TABLEAU 5.1 - Tuyau en PVC rigide de 4 pouces de diamètre (6 bars) selon deux normes nationales différentes		
Caractéristiques	Selon DIN 8062	Selon ASTM D2241(SDR 4.1)
Diamètre nominal (mm)	110,0 mm	4 inches
Diamètre extérieur (mm)	110,0 mm	114,3 mm
Diamètre intérieur (mm)	103,6 mm	108,7 mm
Épaisseur de parois (mm)	3,2 mm	2,8 mm
Pression nominale (bars)	6,0 bars	6.8 bars (100 psi)

La description de l'équipement doit être aussi simple et claire que possible. On donne ci-dessous un exemple des spécifications minimales requises pour deux éléments:

Élément 1: Tuyau noir en PEFD, PN 4 bars, conforme à la norme DIN 8072 ou une norme équivalente compatible avec la norme ISO, fourni en rouleaux de 200 m:

- a. 32 mm DN, 1 800 m;
- b. 25 mm DN, 3 200 m.

Élément 2: Raccords en polypropylène fabriqués selon la norme ISO en dimensions métriques. Raccord rapide, extrémités mâle ou femelle, type à pression et /ou fileté (type à vis) selon la norme ISO 7 ou BS 21, pression PN 10 bars pour être utilisés avec les tuyaux PE suivants:

- a. adaptateur (mâle) 63 mm x 2 pouces, 7 unités;
- b. collier de prise en charge (femelle) 63 mm x 2 pouces (femelle), 2 unités;
- c. adaptateur (mâle) 50 mm x 2 pouces, 2 unités.

Si, pour diverses raisons, l'équipement ne se conformait à aucune norme, une description technique complète devrait mentionner le matériau constitutif, la pression de fonctionnement et son utilisation. Ce dernier élément est très important car les raccords doivent être réalisés avec le matériau recommandé pour un type de conduite particulière.

La majorité de l'équipement d'irrigation doit satisfaire les spécifications appropriées de matériau, dimensions et qualité recommandées dans le tableau 5.2.

TABLEAU 5.2 - Normes et spécifications de l'équipement

Code de la norme:	Nom de la norme:
ASAE EP419.1	Évaluation des systèmes d'irrigation par sillons (février 2003)
ASAE EP405.1	Conception et installation des systèmes de micro-irrigation (février 2003)
ANSI/ASAE S261.7	Conception et installation de systèmes d'irrigation avec conduites en béton non armé (décembre 2001)
ASAE S526.2	Terminologie des sols et des eaux (janvier 2001)
ASAE S491	Symboles graphiques pour la conception de systèmes d'irrigation sous pression (février 2003)
ANSI/ASAE S395	Norme de sécurité pour les systèmes d'irrigation autonomes à rampe mobile (février 2003)
BSR/ASAE S577-200x	Spécifications pour les raccords de conduites en PVC
ANSI/ASAE S376.2	Conception, installation et performances des conduites thermoplastiques souterraines d'irrigation (février 2004)
ANSI/ASAE S436.1	Méthodes d'essai pour la détermination de l'uniformité de la distribution d'eau des machines d'irrigation à pivot central et conduites latérales équipées de mini-diffuseurs et d'asperseurs (décembre 2001)
ANSI/ASAE S330.1	Procédures pour les essais de la distribution des asperseurs dans un but de recherche (février 2003)
ANSI/ASAE S539	Filtres pour l'irrigation: rapports d'essai et de performances (février 2003)
ASAE S447	Procédures d'expérimentation et d'établissement de rapports pour les pertes de charge dans les vannes d'irrigation (février 2003)
ANSI/ASAE S397.2	Service et matériel électriques pour l'irrigation (février 2003)
ASAE EP409.1	Dispositifs de sécurité pour la chimigation (février 2004)
ASAE S435	Tuyaux en polyéthylène utilisés pour les conduites latérales de micro-irrigation (février 2004)
ASAE S398.1	Procédures pour l'essai et l'établissement de rapports sur l'aspersion (janvier 2001)
ASAE EP367.2	Guide de procédure pour préparer la calibration des nébulisateurs de terrain (février 2003)
ASAE S327.2	Terminologie et définitions pour l'application des produits chimiques agricoles (février 2003)
ANSI/ASAE S553	Tuyaux distributeurs souples: Spécifications et essais de performances (mars 2001)
ASAE EP369.1	Projet de stations de pompage pour le drainage agricole (décembre 1999)
ASAE S561	Procédures pour mesurer les dépôts apportés des mini-diffuseurs au sol, en verger et aériens (février 2003)
ASAE EP400,2T	Projet et construction des puits pour l'irrigation (février 2003)
ASAE EP285.7	Utilisation du système métrique (janvier 2001)
ASAE S431.3	Signes de sécurité (février 1999)
ASAE S471 February 2003	Procédures de mesure du taux d'usure des buses d'aspersion (février 2003)
ASAE S263	Normes minimales pour les tubes d'irrigation par aspersion en aluminium
ISO 7714:2000	Matériel agricole d'irrigation – Vannes volumétriques – Exigences générales et méthodes d'essai
ISO 7749-1:1995	Matériel agricole d'irrigation - Asperseurs rotatifs – Partie 1: Exigences de conception et de fonctionnement
ISO 8026:1995	Matériel agricole d'irrigation – Diffuseurs – Exigences générales et méthodes d'essai
ISO 8026:1995/Amd 1:2000	Matériel d'irrigation – Systèmes d'irrigation automatiques – Régulation hydraulique
ISO/TR 8059:1986	Machines d'irrigation mobiles – Partie 1: Caractéristiques de fonctionnement et méthodes d'essai en laboratoire et au champ
ISO 8224-1:2003	Machines d'irrigation mobiles – Partie 2: Tuyau flexible et raccords – Méthodes d'essai
ISO 8224-2: 1991	

TABLEAU 5.2 - Normes et spécifications de l'équipement (continué)

Code de la norme:	Nom de la norme:
ISO 8779:2001	Tubes en polyéthylène(PE) pour branchements d'irrigation – Spécifications
ISO 8796:2004	Tubes en polyéthylène PE 32 et PE 40 pour branchements d'irrigation – Sensibilité à la fissuration sous contrainte produite par les raccords à inserts – Méthode d'essai et exigences
ISO 9261:2004	Matériel agricole d'irrigation – Distributeurs et tuyaux-distributeurs – Spécifications et méthodes d'essai
ISO 9625:1993	Raccords mécaniques pour tubes en polyéthylène utilisés avec pression et destinés à l'irrigation
ISO 9635-1:2006	Matériel agricole d'irrigation – Vannes d'irrigation – Partie 1: Exigences générales
ISO 9635-2:2006	Matériel agricole d'irrigation – Vannes d'irrigation – Partie 2: Vannes d'isolation
ISO 9635-3:2006	Matériel agricole d'irrigation – Vannes d'irrigation – Partie 3: Clapets anti-retour
ISO 9635-4:2006	Matériel agricole d'irrigation – Vannes d'irrigation – Partie 4: Vannes de purge d'air
ISO 9635-5:2006	Matériel agricole d'irrigation – Vannes d'irrigation – Partie 5: Vannes de contrôle
ISO 9644:1993	Matériel agricole d'irrigation - Pertes de pression dans les vannes d'irrigation – Méthode d'essai
ISO 9644:1993/Amd 1:1998	Matériel agricole d'irrigation – Petites vannes en matière plastique commandées manuellement
ISO 9911:2006	Matériel agricole d'irrigation – Filtres pour micro-irrigation – Partie 1: Termes, définitions et classification
ISO 9912-1:2004	Matériel agricole d'irrigation – Filtres - Partie 2: Filtres à tamis
ISO 9912-2:1992	Matériel agricole d'irrigation – Filtres – Partie 3: Filtres à tamis à autonettoyage automatique
ISO 9912-3:1992	Matériel agricole d'irrigation - Vannes de régulation de la pression à action directe
ISO 10522:1993	Matériel agricole d'irrigation - Pivots et rampes frontales équipés de buses d'arrosage ou d' asperseurs - Méthode de détermination de l'uniformité de la distribution d'eau
ISO 11545:2001	Matériel agricole d'irrigation – Tubes d'irrigation en aluminium
ISO 11678:1996	Matériel agricole d'irrigation – Installations de tête
ISO 11738:2000	Irrigation agricole – Câblage et matériel pour les machines d'irrigation entraînées ou commandées électriquement
ISO 12347:1995	Matériel agricole d'irrigation – Pompes doseuses à moteur hydraulique pour l'injection de produits chimiques
ISO 13457:2000	Matériel agricole d'irrigation – Selles de dérivation en matière plastique pour le raccordement de tuyaux en polyéthylène utilisés sous pression
ISO 13460:1998	Matériel agricole d'irrigation – Symboles graphiques des systèmes d'irrigation sous pression
ISO 15081:2005	Matériel d'irrigation – Injecteurs d'engrais liquides de type venturi à pression différentielle
ISO 15873:2002	Matériel agricole d'irrigation – Asperseurs – Partie 1: Définition des termes et classification
ISO 15886-1:2004	Matériel agricole d'irrigation – Asperseurs – Partie 3: Caractérisation de la distribution et méthodes d'essai
ISO 15886-3:2004	Matériel agricole d'irrigation – Tube en PVC, posé au-dessus du sol et utilisé avec basse pression pour l'irrigation en surface – Spécifications et méthodes d'essai
ISO 16149:2006	Tubes en matières thermoplastiques – Tableau universel des épaisseurs de paroi
ISO 4065	Filetages de tuyauterie pour raccordement avec étanchéité dans le filet – Partie 1: Dimensions, tolérances et désignation
ISO 7-1:1994	

TABLEAU 5.2 - Normes et spécifications de l'équipement (continué)

Code de la norme:	Nom de la norme:
ISO 7-2:2000	Filetages de tuyauterie pour raccordement avec étanchéité dans le filet – Partie 2: Vérification par calibre à limites
ISO 49:1994/Cor 1:1997	Raccords en fonte malléable filetés conformément à l'ISO 7-1
ISO 4422-1:1996	Tubes et raccords en poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U) pour l'adduction d'eau – Spécifications – Partie 1: Généralités
ISO 4422-2:1996	Tubes et raccords en poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U) pour l'adduction d'eau – Spécifications – Partie 2: Tubes (avec ou sans emboîtures incorporées)
ISO 4422-3:1996	Tubes et raccords en poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U) pour l'adduction d'eau – Spécifications – Partie 3: Raccords et assemblages
ISO 4422-4:1997	Tubes et raccords en poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U) pour l'adduction d'eau – Spécifications – Partie 4: Robinets et accessoires
ISO 4422-5:1997	Tubes et raccords en poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U) pour l'adduction d'eau – Spécifications – Partie 5: Aptitude à l'emploi du système
ASTM D1785-06	Normes pour des tuyaux en plastique poly(chlorure de vinyle)(PVC), Classe 40, 80 et 120
ASTM D2241-05	Spécifications pour les tuyaux PVC pression
ASTM D2447-03	Spécifications standard pour les tuyaux en PE. Annexes 40 et 80, basées sur les diamètres extérieurs
ASTM D2464-99	Normes pour les raccords de tuyaux filetés en plastique poly(chlorure de vinyle) (PVC), Annexe 80
ASTM D2466-02	Normes pour les raccords de tuyaux filetés en plastique poly(chlorure de vinyle) (PVC), Annexe 40
ASTM D2467-02	Normes pour les types d'emboîtements de raccords de tuyaux en plastique poly(chlorure de vinyle) (PVC), Annexe 80
ASTM D2609-02	Normes des raccords de tuyaux en plastique de polyéthylène (PE)
ASTM D2683-98	Spécifications pour les accessoires en PE sur des tuyaux plastique en polyéthylène (PE) à emboîtement sur diamètre extérieur
ASTM D2683-04	Spécifications pour les accessoires en PE sur des tuyaux plastique en polyéthylène (PE) à emboîtement sur diamètre extérieur
ASTM D3139-98(2005)	Spécifications pour les joints, pour les tuyaux sous pression en plastique en utilisant une colle élastomère
ASTM D3261-03	Spécifications pour les accessoires en plastique PE pour des tubes plastique en PE
BS 21:1985	Spécifications pour les filetages de tuyaux et accessoires - joints étanches à pression sur les filetages (dimensions métriques)(ISO 7-2: 1982)
BS 3867:1987	Méthode pour spécifier les diamètres extérieurs et valeurs de pression pour les tuyaux thermoplastiques (série en pouces) (ISO 161-2:1977)
BS 4346 (Part 1-3)	Joints et accessoires pour utilisation avec les tuyaux sous pression en PVC non plastifié
BS 143 and 1256:2000	Raccords de tuyauterie filetés en fonte malléable et alliages de cuivre
DIN 2440/41/42	Tubes en acier (poids moyen) adaptés au vissage
DIN 2999 (1-6)	Filetages de tuyaux pour conduites et accessoires
DIN 8062 (1988)	Tubes PVC non plastifié, tubes PVC-HI – Dimensions
DIN 8072 (1987)	Tubes en polyéthylène à faible densité (PEFD) – Dimensions
DIN 8074 (1999)	Tubes en polyéthylène à haute densité (PEHD) – Dimensions
DIN 8075 (1999)	Tubes en polyéthylène à haute densité (PEHD) – Expérimentation
DIN 8161 (1994)	Tubes en polychlorure de vinyle non plastifié – Exigences générales de qualité et expérimentation
EN 2452-2	Systèmes de canalisations en plastique pour alimentation en eau – Poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U) – Partie 2: Tubes
EN 12201-2	Systèmes de canalisations en plastique pour alimentation en eau – Polyéthylène (PE) – Partie 2: Tubes

Remarques:

ASAE:	The Society for Engineering in Agriculture, Food and Biological Systems (anciennement American Society of Agricultural Engineers);
ANSI:	American National Standards Institute;
ASTM:	American Society for Testing Material;
BS:	British Standards;
DIN:	Deutsches Institut für Normung (normes allemandes);
ISO:	Organisation internationale de standardisation;
EN:	Norme européenne.

APPEL D'OFFRES

L'achat d'équipements d'irrigation ou l'exécution de services tels que l'installation, le fonctionnement ou l'entretien de réseaux d'irrigation et/ou de pompes, doit faire l'objet d'un appel d'offres public.

Pour les équipements et services de moins de 500 dollars EU, l'achat peut se faire par une simple cotation, c'est-à-dire une estimation écrite de la part d'un nombre représentatif de fournisseurs (deux ou trois). Lorsque la valeur des équipement excède un certain montant (par exemple 600 dollars EU), leur achat doit être effectué par appel d'offres. Ceci doit être fait dans le respect de certaines règles spécifiques et procédures appliquées dans le projet ou le pays concerné.

Une large publicité doit être accordée à chaque "avis d'appel d'offres". Elle doit mentionner le nom de l'acheteur, une brève description des articles à fournir dans le cadre de l'appel d'offres, l'adresse de livraison de l'équipement et la date et l'heure limites de réception des offres. En plus, elle doit inclure une déclaration que l'acheteur n'est pas lié d'accepter n'importe quelle offre, en particulier l'offre la plus basse; l'organisme chargé de fournir toutes les particularités de l'appel d'offres doit également être précisé.

Dans le cas d'un appel d'offres au niveau local, pour l'achat de quantités relativement limitées, le dossier d'appel d'offres, qui doit être disponible et fourni sur demande aux soumissionnaires potentiels, ne devra inclure que les conditions générales de l'appel d'offres et les spécifications techniques des biens. Il est important que toutes les conditions requises soient exposées clairement et en détail dans le dossier d'appel d'offres, y compris le délai et la méthode de livraison, par exemple FAB (franco à bord), CAF (coût, assurance et fret), sur stock et les méthodes de paiement, c'est-à-dire lettre de crédit, paiement comptant contre documents, paiement à la livraison, etc. et toutes les autres informations pertinentes. Pour les appels d'offres supérieurs à 3 000 dollars EU, les soumissionnaires doivent fournir une garantie bancaire ou un chèque égal à 10 pour cent du montant de l'offre. Le paragraphe suivant donne un exemple de ce type d'appel d'offres.

Dans le cas d'un appel d'offres international, les documents contractuels doivent inclure les pièces détaillées suivantes:

- l'appel d'offres (comme décrit ci-dessus);
- les instructions aux soumissionnaires (source de financement, éligibilité des soumissionnaires, biens et services, coût, contenu des dossiers d'appel d'offres, préparation et soumission des offres, ouverture et évaluation des offres, attribution du contrat);
- les conditions générales du contrat (définitions, pays d'origine et normes, performances, sécurité, inspections et essais, assurance, transport, garanties, paiement, modifications, retards, cas de force majeure, etc.);
- les conditions spéciales;
- les spécifications techniques: généralités, matériaux et main-d'œuvre, inventaire des besoins, bordereau des quantités (tableau 5.3) et exigences/spécifications techniques particulières (tableau 5.4);
- formule d'appel d'offres et bordereaux des prix;
- formule de contrat, nantissement au niveau de l'offre et du contrat.

EXEMPLE

Appel d'offres pour la fourniture d'un équipement d'irrigation

Un appel d'offres est lancé pour la fourniture d'un équipement d'irrigation requis pour une exploitation privée de la région du projet, selon les quantités, descriptions et spécifications jointes.

Conditions générales de la soumission

- ❶ **Prix:** les soumissionnaires soumettront des offres de prix unitaires et totaux, CAF au port le plus proche, République de ..., incluant les frais bancaires sur le bordereau des prix joint. Les prix doivent être fermes pour au moins 90 jours calendaires à partir de la date de réception des offres.
- ❷ **Livraison:** la date de livraison au lieu du projet ne devra pas excéder 60 jours après l'adjudication du contrat.
- ❸ Les offres seront remises sous enveloppe scellée, adressée au Directeur général du Projet d'irrigation, boîte postale 5564. Elles porteront la mention «Offre pour la fourniture d'un équipement d'irrigation pour une exploitation privée» sur l'enveloppe et devraient arriver au Bureau principal du Projet le 31 décembre 2007 au plus tard.
- ❹ Les soumissionnaires s'engagent à respecter les prix fournis. L'offre liera le soumissionnaire choisi et devra être exécutée après avoir été acceptée par le Projet. Si le soumissionnaire retarde ou refuse l'exécution de l'offre, il sera redevable de toute dépense supplémentaire ainsi occasionnée pour le Projet.

- 5 **Paiement:** le Projet prendra toutes les mesures requises pour l'ouverture d'une lettre de crédit en dollars EU pour les biens qui lui seront livrés en son nom, et au profit du fournisseur dans un délai de sept jours après réception de la licence d'importation. Le Projet effectuera un premier paiement de 50 pour cent de la valeur de l'offre après présentation de tous les documents relatifs à l'expédition des biens. Ces documents devront être présentés au projet au moins un mois avant la date prévue de l'arrivée des biens dans le port d'entrée. Un second paiement de 50 pour cent de la valeur du contrat sera versé au fournisseur après la réception des biens dans le magasin du projet et l'établissement d'un certificat de réception en accord avec les spécifications techniques.
- 6 Assurance pour couvrir tous les risques pour la valeur CAF, plus 10 pour cent pour le transport depuis les entrepôts jusqu'aux magasins du projet.
- 7 Les soumissionnaires mentionneront le pays d'origine des biens. Il est impératif de citer les articles en accord avec les spécifications et normes, selon la liste jointe. A défaut, il faudra fournir le détail complet de ces articles.
- 8 Les soumissionnaires devront garantir l'excellente qualité de l'exécution et l'absence de défauts du matériel sur au moins douze mois.
- 9 Les candidats sélectionnés doivent confirmer sans délai par télécopie la réception de l'appel d'offres.
- 10 Les offres ne seront pas prises en considération si toutes les conditions ci-dessus ne sont pas strictement respectées.
- 11 Les offres seront présentées en double exemplaire.
- 12 Le Projet n'est pas tenu d'accepter les offres, en particulier les plus basses.

TABLEAU 5.3 - Bordereau des quantités

Art. Description	Unité	Quantité	Taux \$EU	Prix \$EU
1. Tube PEHD ø 75 mm	m	300		
2. Tube PEHD ø 63 mm	m	650		
3. Tube PEHD ø 50 mm	m	100		
4. Tube PEFD ø 25 mm	m	3 600		
5. Tube PEFD ø 16 mm	m	1 400		
6. Collier de prise en charge ø 75 mm x 2 in (F)	U	8		
7. Collier de prise en charge ø 63 mm x ¾ in (F)	U	70		
8. Collier de prise en charge ø 50 mm x ¾ in (F)	U	10		
9. Adaptateur ø 75 mm x 3 in (M)	U	1		
10. Adaptateur ø 63 mm x 2 in (M)	U	7		
11. Adaptateur ø 50 mm x 2 in (M)	U	1		
12. Adaptateur ø 25 mm x ¾ in (M)	U	240		
13. Adaptateur ø 16 mm x ¾ in (M)	U	150		
14. Raccord ø 75 mm	U	2		
15. Raccord ø 63 mm	U	4		
16. Raccord ø 50 mm	U	1		
17. Raccord ø 25 mm	U	30		
18. Raccord ø 16 mm	U	10		
19. Té ø 50 x 50 x 50 mm	U	1		
20. Té ø 25 x 25 x 25 mm	U	10		
21. Té ø 25 mm x ¾ in (M)	U	10		
22. Té ø 25 mm x ½ in (F)	U	150		
23. Croix ø 2 in	U	1		
24. Embout hexa. ø 2 in	U	8		
25. mbout hexa. ø ¾ in	U	80		
26. Bouchon ø 75 mm	U	1		
27. Bouchon ø 63 mm	U	10		
28. Bouchon ø 50 mm	U	1		
29. Vanne à boisseau sphérique ø 2 in	U	8		
30. Vanne à boisseau sphérique ø ¾ in	U	80		
31. Filtre à tamis ø 3 in	U	1		
32. Distributeur 24 litres/h	U	5 000		
33. Asperseur rétractable	U	4		
34. Purgeur d'air ¾ in	U	2		
35. Boîte de soupapes	U	8		
36. Excavation et remblai de tranchée	m	1 050		

TABLEAU 5.4 - Spécification de l'équipement

N° de l'article	Spécifications de l'équipement
1,2,3	Tuyaux PEHD noirs, PN 6 bars, conformes à CYS104: Partie 1:1985 (normes chypriotes) ou autres normes nationales équivalentes conformes à l'ISO. Livrés en rouleaux de 60 et 100 m.
4,5	Tuyaux PEFD noirs, PN 4 bars, conformes à CYS106: Parties 1 et 2:1985 ou autres normes nationales équivalentes, conformes à l'ISO. Livrés en rouleaux de 200 m.
6-28	Raccords en polypropylène pour utilisation avec des tubes PE normalisés aux dimensions CYS et ISO, type de compression et/ou à embouts à vis normalisés BS 21 ou ISO 7, PN 10 bars.
29,30	Vannes à boisseau sphérique (type : quart de tour, avec commande « marche ou arrêt»), en laiton, PN 16 bars selon BS, 5154, fileté selon BS 21 ou ISO 7.
31	Filtre à tamis ou à disques à rainures, 120 «mesh»/130 microns, corps métallique revêtu d'époxy ou d'autre matériau de haute qualité, PN 10, complet avec vannes d'inspection sous pression, vanne drainante d'évacuation, raccord fileté selon BS 21.
32	Goutteurs localisés en ligne à écoulement turbulent, en plastique de haute qualité, débit 24 l/h, pression de fonctionnement 1 bar, coefficient de variation (cv) < 7 %, filtration requise 120 «mesh»/130 microns.
33	Asperseurs rotatifs rétractables à couverture complète, débit: 0,7-0,8 m ³ /h à une pression de fonctionnement de 2-2,5 bars, rayon 7 m, buses interchangeables, avec petits filtres, mécanisme de vidange et couverture plastique, raccord fileté ¾ in (F) selon BS 21.
35	Boîtes de soupapes à vannes en plastique renforcé ou autre matériau, avec ouverture pour le passage des tubes sur les côtés opposés au fond ouvert, avec un couvercle étanche au sommet. Dimensions approximatives: 33 cm x 45 cm (base) x 30 cm hauteur.
36	La tranchée doit être aussi uniforme et nivelée que possible, dépourvue de grosses pierres et autres matériaux tranchants. Le cas échéant, elle sera remplie d'un matériel sableux ou de terre granuleuse sur environ 10 cm. Les dimensions de la tranchée seront: profondeur minimale de 60 cm pour les tuyaux de 75 mm, et de 50 cm pour ceux de 50 et 63 mm, et 35 cm de profondeur minimale dans tous les autres cas.

CHAPITRE 6: Programmation de l'irrigation

La programmation de l'irrigation est l'un des facteurs qui influence la viabilité agronomique et la viabilité économique des petites exploitations, aussi important pour économiser l'eau que pour accroître les rendements des cultures. L'eau d'irrigation est appliquée aux cultures selon des programmes prédéterminés, basés sur la gestion de:

- l'état de l'eau dans le sol;
- les besoins en eau des cultures.

Le type de sol et les conditions climatiques ont un effet significatif sur les principaux aspects pratiques de l'irrigation, qui sont la détermination de la quantité d'eau à distribuer et le moment auquel elle doit être appliquée à une certaine culture.

En plus des facteurs de base liés à la préparation des programmes d'irrigation étudiés ci-dessous, d'autres éléments importants doivent être aussi considérés, tels que la tolérance des plantes et la sensibilité au déficit en eau à différents stades de croissance, ainsi que l'utilisation optimale de l'eau.

RELATIONS EAU – SOL

Le tableau 6.1 ci-dessous présente un tableau résumant les propriétés physiques du sol.

TABLEAU 6.1 - Propriétés physiques des sols (valeurs moyennes)

Type de sol	Texture légère (grossière)	Texture moyenne	Texture lourde (fine)
Capacité de saturation, % poids	25–35%	35–45%	55–65%
Capacité au champ (CC), % poids	8–10%	18–26%	32–42%
Point de flétrissement (WP), % poids	4–5%	10–14%	20–24%
Capacité de saturation/CC	2/1	2/1	2/1
CC/WP	2/1	1,85/1	1,75/1
Densité en vrac (poids par volume) g/cm ³	1,4–1,6	1,2–1,4	1,0–1,2
Humidité disponible du sol en volume (CC-WP x densité)	6%	12%	16–20%
Humidité disponible (Sa) en mm par prof. de sol en m (CC-WP x densité x 10)	60 mm	120 mm	160–200 mm
Tension d'humidité des sols (bars):			
• à la capacité au champ	0,1	0,2	0,3
• au point de flétrissement	15,0	15,0	15,0
Temps requis de la saturation à la capacité au champ (h)	18–24 h	24–36 h	36–89 h
Taux d'infiltration (mm/h)	25–75 mm/h	8–16 mm/h	2–6 mm/h

Exemple:

La capacité au champ (CC) d'une couche de sol de 45 cm est de 18 pour cent. Quelle est la quantité d'eau contenue dans cette couche en mètres cubes par hectare?

Réponse:

$CC = 18\%$, $WP = CC \div 1,85 = 9,7\%$, $Sa = 18 - 9,7 = 8,3\%$;

Densité en vrac = $1,2 \text{ g/cm}^3$; $Sa \text{ mm/m} = 8,3 \times 1,2 \times 10 = 99,6$, $Sa \text{ mm/45 cm} = 8,3 \times 1,2 \times 10 \times 0,45 = 44,8 \text{ mm}$; $\text{m}^3/\text{ha} = 0,0996 \div 1 \times 0,45 \times 10\,000 \text{ (1 ha)} = 448,2$, ou en $\text{m}^3/\text{ha} = Sa \text{ (mm/m)} \times \text{profondeur de la couche (m)} \times 10$.

Par conséquent, la quantité d'eau est de $448,2 \text{ m}^3/\text{ha}$.

PROFONDEUR EFFECTIVE D'ENRACINEMENT

Il s'agit de la profondeur de sol dans laquelle les plantes puisent environ 80 pour cent de leurs besoins en eau, principalement par la partie supérieure la plus dense du système racinaire. La profondeur d'enracinement dépend de la physiologie de la plante, du type de sol et de la disponibilité en eau (mode d'irrigation). Des valeurs indicatives sont données dans le Bulletin d'irrigation et de drainage de la FAO n° 24 (tableau 39).

En général, les légumes (pois, tomates, pommes de terre, oignons, arachides, concombre, etc.) ont des racines peu profondes, de l'ordre de 50 à 60 cm. Les arbres fruitiers, le coton et quelques autres plantes ont un enracinement moyen de 80 à 120 cm. La luzerne, le sorgho, et le maïs ont de profondes racines (tableau 6.2). En outre, l'enracinement varie en fonction de l'âge de la plante.

TABLEAU 6.2 - Exemple d'enracinement (en mètres) pendant la saison culturale

	août	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier
Maïs	-	0,4	0,9	1,2	1,2	-
Coton	0,4	0,8	1,0	1,0	1,0	-
Tomate	-	-	0,3	0,7	0,9	0,9

DÉFICIT ADMISSIBLE OU TARISSEMENT DE L'EAU DISPONIBLE DANS LE SOL

La fraction de l'humidité du sol qui équivaut à 20 à 70 pour cent de l'humidité totale (Sa) et est facilement absorbée par les plantes (sans aucun stress provoquant une réduction de rendement,) est appelée l'humidité facilement utilisable. C'est le produit de Sa par p , qui représente le tarissement maximal admissible de l'eau disponible (humidité). La valeur de p varie en fonction du type de plante, de la profondeur des racines, des

conditions climatiques et des modes d'irrigation. Des valeurs indicatives de p sont données dans le Bulletin d'irrigation et de drainage de la FAO n° 33 (tableaux 19 et 20); elles varient de 0,25 pour les cultures sensibles à faible enracinement à 0,70 pour les cultures tolérantes à racines profondes. Le Tableau 23 du même bulletin donne des informations sur les périodes de croissance sensibles de différentes cultures.

Les observations de terrain ont montré que moins le tarissement en eau était important, plus le développement et le rendement des cultures étaient élevés. Par conséquent les valeurs recommandées pour p sont:

- 0,20 à 0,30 pour les cultures de saison à faible enracinement;
- 0,40 à 0,60 pour les cultures en plein champ à racines profondes et les arbres adultes.

PROFONDEUR NETTE D'APPLICATION DE L'IRRIGATION

L'irrigation doit être appliquée lorsque le pourcentage admissible p d'humidité disponible (S_a) est épuisé dans la profondeur d'enracinement, c'est-à-dire quand elle doit réalimenter l'eau épuisée. Par conséquent:

$$\text{Profondeur nette de la dose d'irrigation } d \text{ en mm} = (S_a \times p) D$$

Où: S_a = humidité disponible en mm par mètre, p = tarissement admissible (fraction), et D = profondeur d'enracinement en mètres.

Exemple:

Si $S_a = 99$ mm/m, $p = 0,5$, $D = 0,4$ m, quelle est la dose d'irrigation nette qui compensera le déficit d'humidité?

$$d = 99 \times 0,5 \times 0,4 = 19,8 \text{ mm.}$$

BESOINS EN EAU DES CULTURES

La quantité d'eau qui s'évapore des sols humides et des végétaux, y compris la transpiration des plantes, est nommée l'*évapotranspiration* (ET). Sa valeur est largement conditionnée par les facteurs climatiques, comme la radiation solaire, la température, l'humidité et le vent, ainsi que par l'environnement. L'évaporation représente environ 10 pour cent de l'évapotranspiration totale et la transpiration des plantes les 90 pour cent restants. Les besoins en eau des cultures englobent la quantité d'eau totale utilisée pour l'évapotranspiration.

Diverses approches pour l'estimation de l'évapotranspiration, telles que les méthodes par radiation, Penman et du bac d'évaporation, sont présentées dans les Bulletins d'irrigation et de drainage de la FAO n° 24, 33 et 56.

L'évapotranspiration de référence (ET_o) représente le taux d'évapotranspiration d'herbe haute de 8 à 15 cm, dans des conditions idéales, avec une couverture végétative couvrant entièrement le terrain. C'est une valeur moyenne qui s'exprime en mm par jour sur une période de 10 à 30 jours.

La méthode la plus pratique pour déterminer l'ET_o est la méthode de l'évaporation en bac, qui intègre les effets de la température, de l'humidité, du vent et de l'ensoleillement. Les bacs les plus utilisés sont: le bac d'évaporation de classe A (circulaire) et le bassin submergé Colorado (carré).

L'évaporation dans le bac est très proche de l'évapotranspiration de l'herbe prise comme un indice de l'ET_o pour les besoins du calcul. Les relevés directs du bac (Epan) sont liés à l'ET_o par le coefficient du bac (kpan), qui dépend du bac utilisé, de son emplacement (proximité ou non d'une végétation couvrant le sol aux environs) et du climat (humidité et vitesse du vent) (tableau 6.3); par conséquent: $ET_o = Epan \times kpan$.

Les valeurs de kpan pour les deux types de bac sont données dans le Bulletin d'irrigation et de drainage de la FAO n° 24 (tableaux 18 et 19). Pour le bac de classe A, la valeur moyenne de kpan est de 0,70 et pour le bac Colorado, de 0,80.

Exemple:

TABEAU 6.3 - Estimation de l'ET_o en mm/jour dans le delta du Wadi Tuban (Yémen)

Mois	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Epan	9,0	8,8	8,8	8,2	8,0	6,5	5,7
kpan			moyenne:	0,70			
ET _o	6,3	6,2	6,2	5,7	5,6	4,5	4,0

Il faut, pour pouvoir corrélérer l'ET_o aux besoins en eau des cultures (ET_c), définir le coefficient cultural spécifique (kc): $ET_c = ET_o \times kc$.

Le coefficient cultural (kc) dépend de la surface de la feuille de la plante, de sa rugosité, de son stade de croissance, de la saison culturale et les conditions météorologiques (tableau 6.4). Les tableaux 6.5 et 6.6 donnent les valeurs de kc pour différentes cultures à divers stades de croissance.

Exemple:

TABEAU 6.4 - Coton, saison culturale: août à décembre

	août	septembre	octobre	novembre	décembre
ET _o mm/jour	6,2	5,7	5,6	4,5	4,0
kc coton	0,4	0,7	1,1	1,0	0,8
Etc coton mm/j	2,5	4,0	6,2	4,5	3,2
Etc coton mm/mois	78	120	192	135	99

Besoins en eau totaux: environ 580 mm (la moitié de décembre est considérée)

TABLEAU 6.5 - Coefficient cultural (kc) pour certaines cultures saisonnières (valeurs moyennes)

Culture	Phase initiale	Phase de croissance	Phase mi-saison	Phase tardive et récolt
Arachide	0,45	0,75	1,00	0,75
Aubergine	0,45	0,75	1,15	0,80
Betterave à sucre	0,45	0,80	1,15	0,80
Canne à sucre	0,45	0,85	1,15	0,65
Carotte	0,45	0,75	1,05	0,90
Chou	0,45	0,75	1,05	0,90
Concombre	0,45	0,70	0,90	0,75
Coton	0,45	0,75	1,15	0,75
Courge	0,45	0,70	0,90	0,75
Épinard	0,45	0,60	1,00	0,90
Haricot (sec)	0,35	0,75	1,10	0,50
Haricot (vert)	0,35	0,70	1,00	0,90
Laitue	0,45	0,60	1,00	0,90
Maïs (doux)	0,40	0,80	1,15	1,00
Maïs (grain)	0,40	0,75	1,15	0,70
Melon	0,45	0,75	1,00	0,75
Oignon (sec)	0,50	0,75	1,05	0,85
Oignon (vert)	0,50	0,70	1,00	1,00
Pois (frais)	0,45	0,80	1,15	1,05
Poivron	0,35	0,75	1,05	0,90
Pomme de terre	0,45	0,75	1,15	0,75
Sorgho	0,35	0,75	1,10	0,65
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Tournesol	0,35	0,75	1,15	0,55

TABLEAU 6.6 - Coefficient cultural (kc) pour certaines cultures permanentes

Culture	jeune	mûre
Agrumes	0,30	0,65
Amandes, abricots, poires, pêches, noix de pecan, prunes	0,40	0,75
Bananes	0,50	1,10
Kiwis	0,90	0,90
Luzerne	0,35	1,10
Olives	0,55	0,55
Pommes, cerises, noix	0,45	0,85
Raisin, palmiers	0,70	0,70

PLUIES EFFICACES

Dans beaucoup de régions, les précipitations saisonnières (P) peuvent couvrir une partie des besoins en eau durant la saison d'irrigation. La quantité d'eau pluviale retenue dans la zone racinaire est nommée *pluie efficace* (Pe) et doit être déduite des besoins totaux calculés en eau d'irrigation. On peut estimer Pe approximativement de la manière suivante:

Pe = 0,8 P si P > 75mm/mois;

Pe = 0,6 P si P < 75 mm/mois.

COUVERTURE VÉGÉTALE

Un autre élément à considérer lorsqu'on estime les besoins en eau des cultures est le pourcentage de la surface du champ (terrain) couvert par la culture. Un coefficient de réduction (k_r) est appliqué au calcul conventionnel de l'ET de la culture. Ce facteur est légèrement supérieur, d'environ 15 pour cent, au sol réellement couvert par la culture. Par exemple, si le sol réellement couvert par la culture est de 70 pour cent, $k_r = 0,70 \times 1,15 = 0,80$.

INTERVALLE D'IRRIGATION OU FRÉQUENCE

Il s'agit du nombre de jours entre deux irrigations consécutives: $i = d \div ET_c$, où **d** est la profondeur nette d'application de l'irrigation en mm (dose) et **ET_c** est l'évapotranspiration journalière de la culture en mm/jour.

Exemple:

Si $d = 19,8$ mm et $ET_c = 2,5$ mm/jour, $i = 19,8 \div 2,5 = 8$ jours.

EFFICIENCE D'APPLICATION DE L'IRRIGATION

La quantité d'eau à stocker dans la zone racinaire correspond à la dose nette d'irrigation (d). Toutefois, durant l'irrigation, des quantités importantes d'eau se perdent par évaporation, infiltration, percolation profonde, etc. La quantité perdue dépend de l'efficacité du système (tableau 6.7). L'efficacité d'application de l'irrigation (E_a) s'exprime par:

$$E_a = \frac{d}{\text{eau appliquée (brute)}} \times 100$$

où **d** est l'eau stockée dans la zone racinaire et **l'eau appliquée (brute)** l'eau d'irrigation.

Exemple:

La dose nette d'irrigation (d) pour une surface de 1 ha est de 19,8 mm, c'est-à-dire 198 m³. Le volume d'eau distribué durant l'irrigation est de 280 m³. Quelle est l'efficacité d'application?

Réponse:

$E_a = 198 \div 280 = 70,7$ pour cent, ou 0,70 en fraction. Les 30 pour cent restants de l'eau appliquée sont considérés comme perdus.

TABEAU 6.7 - Efficacités approximatives d'application de l'irrigation pour divers systèmes ou méthodes d'irrigation au niveau de l'exploitation

Système/méthode	Ea %
Réseau de canal en terre, irrigation de surface	40-50
Réseau de canal revêtu, irrigation de surface	50-60
Réseau de conduites sous pression, irrigation de surface	65-75
Systèmes d'irrigation par tuyaux souples	70-80
Systèmes d'aspersion basse et moyenne pression	75
Micro-asperseurs, micro-jets, mini-asperseurs	75-85
Irrigation goutte-à-goutte	80-90

PROFONDEUR BRUTE D'APPLICATION DE L'IRRIGATION

Si l'on considère l'efficacité d'application de l'irrigation comme une fraction, c'est-à-dire $Ea = 0,60$ (60 pour cent), la profondeur brute d'application de l'irrigation, ou dose brute d'irrigation (dg) est définie par:

$$dg = \frac{d}{Ea \text{ (fraction)}}$$

BESOINS DE LESSIVAGE

Le niveau de salinité dans la zone racinaire est directement lié à la qualité de l'eau, à la quantité de fertilisants et à la profondeur d'application de l'irrigation. Une concentration en sel trop élevée dans le sol peut être contrôlée par le lessivage (voir chapitre 7: Qualité de l'eau d'irrigation). Un volume d'eau supplémentaire de 10 à 15 pour cent sera appliqué durant l'irrigation pour les besoins de lessivage lorsque ce sera nécessaire. De cette façon, une partie de l'eau percole au travers et en dessous de la zone racinaire, entraînant avec elle une partie des sels solubles accumulés dans le sol. Les besoins de lessivage sont pris en compte pour le calcul de la dose nette d'irrigation (d).

DÉBIT DU SYSTÈME (CAPACITÉ DU SYSTÈME)

La capacité minimale de débit de tout réseau d'irrigation doit satisfaire les besoins en eau de la surface sous irrigation en période de demande de pointe:

$$minimum Q = 10 A \frac{dg}{it}$$

où Q est le débit du réseau en m³/heure, A est la superficie en hectares, dg est la profondeur brute d'application (dose d'irrigation) en mm, i est l' intervalle en jours entre deux irrigations en période de pointe, t est le nombre d'heures de fonctionnement par jour et 10 est une constante (pour hectares). Toutefois, le débit minimum du système doit permettre l'irrigation complète de la surface au moins deux jours avant l'irrigation suivante. Ceci donne le temps nécessaire pour réparer tout dommage au système ou à l'unité de pompage. Par conséquent, on réduira de deux jours la valeur de i dans la formule ci-dessus.

La durée d'application par irrigation est déterminée par:

$$T = 10 A \frac{dg}{Q}$$

où T est le nombre total d'heures de fonctionnement du système.

EXEMPLE GÉNÉRAL

Dans l'exemple suivant (tableau 6.8), la pluie efficace (Pe), la couverture végétale (kr) et les besoins en lessivage ne sont pas pris en compte. Toutefois, ces éléments sont importants dans les systèmes de micro-irrigation localisés.

- culture: coton;
- surface: 1,5 ha ; situation: Delta du Wadi Tuban;
- saison culturale: août à décembre;
- méthode d'irrigation: irrigation de surface, conduites sous pression;
- efficacité d'irrigation: 70%;
- sol de texture moyenne, $Sa = 99$ mm/m.

TABLEAU 6.8 - Exemple d'une culture de coton

	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Eau disponible dans le sol Sa (mm/m)	99	99	99	99	99
Epuisement de l'eau disponible p	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
Profondeur racines coton D (m)	0,4	0,7	1,0	1,0	1,0
Dose nette d'irrigation d (mm)	19,8	41,6	59,4	59,4	59,4
Epan (mm/jour)	8,8	8,2	8,0	6,5	5,7
$kpan$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
ET_o (mm/jour)	6,2	5,7	5,6	4,5	4,0
kc coton	0,4	0,7	1,1	1,0	0,8
Etc coton (mm/jour)	2,5	4,0	6,2	4,5	3,2
Intervalle d'irrigation (jours)	8	10,5	9,6	13	18,5
Dose brute d'irrigation dg (mm)	28,3	59,4	85,0	85,0	85,0
Dose brute d'irrigation dg (m ³ /h)	425	891	1 275	1 275	1 275

La demande de pointe se produit en octobre lorsque l'ETc est de 6,2 mm/jour et l'intervalle (fréquence) d'irrigation de 8 jours. Si le nombre d'heures de fonctionnement journalier est de 7 heures, le débit du système est de:

$$Q = 10 \frac{1.5ha \times 85mm}{(9jours - 2jours) \times 7h/jour} = 26m^3/hr$$

La durée de l'application de l'irrigation se détermine de la manière suivante:

- Août: $T = 10 \times 1,5 \times 28,3 \div 26 = 16,3$ h, i.e. 2 jours;
- Septembre: $T = 10 \times 1,5 \times 59,4 \div 26 = 34,3$ h. i.e. 5 jours;
- Octobre: $T = 10 \times 1,5 \times 85,0 \div 26 = 49,0$ h. i.e. 7 jours;
- Novembre: $T = 10 \times 1,5 \times 85,0 \div 26 = 49,0$ h. i.e. 7 jours;
- Décembre: $T = 10 \times 1,5 \times 85,0 \div 26 = 49,0$ h. i.e. 7 jours.

TABLEAU 6.9 - Programme d'irrigation

Fin juillet	Irrigation avant semis (pour humidifier une profondeur de 0,6 m de sol)	1 273 m ³
Début août	mise en culture	
8 août	irrigation	425 m ³
16 août	irrigation	425 m ³
24 août	irrigation	425 m ³
1 ^{er} septembre	irrigation	891 m ³
11 septembre	irrigation	891 m ³
22 septembre	irrigation	891 m ³
2 octobre	irrigation	1 275 m ³
11 octobre	irrigation	1 275 m ³
21 octobre	irrigation	1 275 m ³
31 octobre	irrigation	1 275 m ³
13 novembre	irrigation	1 275 m ³
26 novembre	irrigation	1 275 m ³

La dernière irrigation du 26 novembre peut durer jusqu'au 9 décembre, c'est-à-dire jusqu'à la récolte. La quantité totale d'eau qui doit irriguer cette culture sur une superficie de 1,5 ha est de 11 598 m³ plus 1 273 m³ comme minimum de pré-irrigation, soit un total de 12 871 m³.

CHAPITRE 7:

Qualité de l'eau d'irrigation

INTRODUCTION

Les eaux d'irrigation, qu'elles proviennent de sources, qu'elles soient dérivées de cours d'eau ou qu'elles soient pompées dans des forages, contiennent d'appréciables quantités de substances chimiques en solution susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols. En plus des sels dissous, problème majeur récurrent depuis des siècles, l'eau d'irrigation transporte toujours des substances dérivées de son environnement naturel ou des déchets des activités humaines (effluents domestiques et industriels). Ces substances peuvent varier dans de larges mesures, mais se composent principalement d'impuretés et de matières solides en suspension qui provoquent le bouchage des distributeurs des systèmes de micro-irrigation, ainsi que de populations bactériennes et de coliformes dangereux pour les humains et les animaux.

CLASSIFICATION DE LA QUALITÉ DES EAUX POUR L'IRRIGATION

Dans plusieurs études réalisées dans les années 80 sur les diverses causes de colmatage des distributeurs, les ingénieurs, en se basant sur les trois principaux facteurs associés responsables de ce problème spécifique, ont classifié les eaux selon leurs qualités chimiques, physiques et biologiques. Cette classification, bien que simple, semblait adéquate pour une évaluation relativement étendue permettant de couvrir la gamme entière des qualités d'eau d'irrigation pour la production de cultures. Avec la réutilisation en agriculture des eaux municipales usées et traitées, l'évaluation de la qualité des eaux a été élargie afin de couvrir toutes les propriétés physio-chimiques, biologiques et microbiologiques de l'eau, qui pourraient avoir un impact sur les sols, les plantes, l'environnement ainsi que sur les consommateurs (hommes ou animaux). Les méthodes d'évaluation de la qualité des eaux abordées dans ce chapitre, bien que succinctes, se base sur d'importants paramètres et critères pour faire l'évaluation pratique des qualités chimiques, physiques et biologiques de l'eau d'irrigation distribuée sous conduites:

- a) les paramètres chimiques (risques de salinité et toxicité pour les sols, les plantes et les systèmes d'irrigation, tels la corrosion des tuyaux et le colmatage chimique des distributeurs);
- b) les paramètres physiques (problèmes de bouchage des distributeurs par des particules solides en suspension et autres impuretés);

- c) Σ les paramètres biologiques (problèmes de bactéries et autres éléments dangereux pour la santé humaine et animale, ainsi que pour les sols, les plantes et les systèmes d'irrigation).

L'information sur l'évaluation physique et biologique est présentée sous forme moins complète que l'évaluation chimique. En réalité, un examen exhaustif et en profondeur devrait inclure les propriétés physiques des sols et les conditions climatiques, ainsi que bien d'autres facteurs ayant des influences directes ou indirectes sur l'utilisation de l'eau en agriculture et pour l'aménagement du paysage.

LA QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX D'IRRIGATION

Composition et concentration en sels solubles

La salinité est un problème qui se pose couramment aux exploitants irriguant dans les climats arides, en raison des sels solubles contenus dans toutes les eaux d'irrigation. Toutes les eaux provenant de sources, de rivières ou pompées à partir de puits contiennent d'appréciables quantités de substances chimiques en solution, dissoutes au travers des couches géologiques, et sur lesquelles les eaux se sont écoulées. Les eaux avec une forte concentration en sels peuvent provenir d'un aquifère salin. Dans les zones d'agriculture intense, la fertilisation est une cause majeure de salinisation des aquifères.

La composition des sels dans l'eau varie selon la source et les propriétés des composés chimiques constituants. Ces sels incluent des substances telles que le gypse (sulfate de calcium $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), le sel de table (chlorure de sodium NaCl) et la poudre à lever (bicarbonate de sodium NaHCO_3). Dissous dans l'eau, les sels se séparent en ions: par exemple, le chlorure de sodium se divise en ions sodium et ions chlore. C'est pourquoi on parle plus couramment d'ions que de sels. Les principaux ions de l'eau d'irrigation et leurs caractéristiques sont présentés dans le tableau 7.1.

TABEAU 7.1 - Principaux ions présents dans l'eau d'irrigation

Ions	Symbole chimique	Poids équivalent
Anions (ions acides)		
Chlorure	Cl^-	35,5
Sulfate	SO_4^{--}	48
Carbonate	CO_3^{--}	30
Bicarbonate	HCO_3^-	61
Nitrate	NO_3^-	62
Cations (ions basiques)		
Sodium	Na^+	23
Potassium	K^+	39,1
Calcium	Ca^{++}	20
Magnésium	Mg^{++}	12,2

Tous les ions sont exprimés en milligrammes par litre (mg/l ou ppm) et milliéquivalents par litre (meq/l). Cette dernière unité est préférable car les critères de qualité de l'eau impliquent des calculs en milliéquivalents par litre (meq/l).

La formule de conversion est:

$$\text{meq/litre} = \frac{\text{mg/litre}}{\text{poids équivalent}}$$

Le bore est également présent dans les eaux d'irrigation sous forme d'acide borique non ionisé, exprimé comme élément de bore (B) en milligrammes par litre. La concentration en sels de la majeure partie des eaux d'irrigation est comprise entre 200 et 4 000 mg/l de la quantité totale de matière dissoute (TDS). Le pH de l'eau, qui est également un indicateur de qualité, est habituellement compris entre 6,5 et 8,4.

La méthode la plus communément utilisée pour évaluer le contenu total des sels dans l'eau consiste à mesurer la conductivité électrique de l'eau (ECw) à 25°C. La conductivité électrique s'exprime en deciSiemens par mètre. Il y a une relation entre la conductivité électrique et la concentration en sels en milliéquivalents par litre (meq/l) et en milligrammes par litre, lorsque ECw est compris entre 1 et 5 dS/m. Ainsi chaque 10 meq/l de sels (concentration en cations) crée une ECw de 1 dS/m. La relation liant la conductivité électrique et la quantité totale de sels dissous (TDS) est la suivante:

$$ECw \text{ (dS/m)} \times 640 = TDS \text{ (mg/litre)}$$

La somme des cations doit égaler la somme des anions. La précision des analyses chimiques de l'eau doit être vérifiée au moyen des relations ci-dessus.

Effets des sels solubles sur les plantes

L'application d'eau d'irrigation sur un sol entraîne des sels dans la zone racinaire de la plante; celle-ci puise l'eau, mais n'absorbe que peu de sels de la solution. D'une manière similaire, l'eau s'évapore de la surface du sol, mais les sels restent et s'accumulent. Les deux processus conduisent à un accroissement graduel des sels dans la zone racinaire, même avec une eau de faible salinité. Cette situation peut affecter les plantes de deux manières: a) en créant des problèmes de salinité et de carences en eau, et b) en causant une certaine toxicité et d'autres problèmes.

Problèmes de salinité et carences en eau

L'accroissement de la salinité dans la zone racinaire augmente la pression osmotique de la solution du sol et cause une réduction aussi bien dans le taux d'absorption de l'eau par les plantes que dans la disponibilité en eau du sol. Ainsi, une carence continue en eau peut se produire même si le sol est abondamment irrigué. Même si la plante ne montre pas de symptômes de flétrissement, son développement et son rendement s'en ressentiront. Dans de telles conditions, il n'est pas possible de maintenir des conditions favorables à un bon développement des cultures et d'obtenir des rendements élevés; la croissance est retardée et le rendement est considérablement réduit. La germination des semences est aussi affectée par la présence des sels; elle est en général retardée et peut même ne pas se produire du tout.

Le niveau d'accroissement de la salinité dépend aussi bien de la concentration que de la composition des sels dans l'eau. Le chlorure est très soluble et reste dans la solution du sol, alors que les sulfates et bicarbonates se combinent avec le calcium et le magnésium, s'ils sont présents, pour former des sulfates et carbonates de calcium, des composés modérément solubles.

Problèmes de toxicité

Beaucoup d'arbres fruitiers et d'autres cultures sont susceptibles de souffrir de la toxicité des sels. Les chlorure, sodium et bore sont absorbés par les racines et transportés jusqu'aux feuilles dans lesquelles ils s'accumulent. À des taux nocifs, ils conduisent à une nécrose et une brûlure des feuilles. En outre, les gouttes d'eau avec une haute teneur de chlorure projetées pendant l'aspersion peuvent causer des brûlures aux feuilles dans des conditions d'évaporation élevée. Même le bicarbonate est également toxique dans une certaine mesure. D'autres symptômes de toxicité incluent une chute des feuilles prématurée, une croissance réduite et un rendement diminué. Dans beaucoup de cas, les plantes ne montrent pas de problèmes évidents de toxicité, jusqu'à ce qu'il soit trop tard pour y remédier.

Les ions de chlorure et de sodium sont tous deux présents dans la solution. Ainsi, il est difficile de distinguer si le dommage est causé par l'un ou l'autre. Les ions de chlorure en concentration élevée sont réputés dangereux pour les agrumes et d'autres plantes ligneuses et feuillues. Un taux de chlorure supérieur à 10 meq/l peut causer de sérieux dommages aux cultures. Les effets toxiques du sodium sont mal connus. On a toutefois observé qu'il peut causer des dégâts directs ou indirects à beaucoup de plantes.

Le bore est un élément essentiel pour les plantes. Toutefois, lorsqu'il est présent en trop grandes quantités, il est extrêmement toxique, même à un taux de concentration relativement faible de 0,6 mg/l. La toxicité intervient avec l'absorption du bore à partir de la solution du sol. Le bore tend à s'accumuler dans les feuilles, jusqu'à ce qu'il devienne toxique pour le tissu de la feuille, ce qui provoque la mort de la plante. Dans les zones arides, le bore est considéré comme l'élément le plus dangereux de l'eau d'irrigation.

Autres problèmes

En plus des effets de disponibilité en humidité et des problèmes de toxicité auxquels les sels solubles contribuent, certains constituants salins peuvent interférer avec la nutrition normale des plantes. De hautes concentrations en ions de bicarbonate peuvent affecter l'assimilation d'éléments minéraux nutritifs et leur métabolisme dans la plante. Des symptômes chlorotiques dans les plantes sensibles peuvent être dus aux effets directs ou indirects du bicarbonate, comme par exemple un accroissement du pH du sol.

Une concentration excessive en nitrates, supérieure à 100 mg/l, peut affecter les greffes et les cultures sensibles au stade initial de croissance. Toutefois, aucun effet négatif n'a été enregistré au cours des trois dernières décennies de fertilisation avec des concentrations d'azote pur dans l'eau d'irrigation d'environ 200 ppm. Bien qu'il n'existe aucun doute sur l'existence de ce problème, il semble que la préoccupation principale réside dans la concentration en nitrate de l'eau d'irrigation, lorsqu'en calculant l'application totale d'azote, NO_3 atteint 0,226 N (azote pur).

Effets des sels solubles sur le sol

Risques liés au sodium

Un problème de perméabilité du sol se produit lorsque l'eau d'irrigation présente une teneur en sodium élevée. Dans l'eau salée, le sodium a une plus grande concentration que tout autre cation, ses sels étant très solubles. Chargés positivement, les ions sodium sont attirés par les particules du sol chargées négativement, remplaçant les cations dominants du calcium et du magnésium. Le remplacement des ions calcium par des ions sodium entraîne la dispersion des agrégats du sol et la détérioration de sa structure, rendant ainsi le sol imperméable à l'eau et à l'air. L'augmentation en concentration du sodium échangeable peut entraîner une augmentation du pH du sol au-dessus de 8,5 et une réduction de la disponibilité de certains micro-nutriments, par exemple le fer et le phosphore.

Le degré d'absorption des particules d'argile dépend de sa concentration dans l'eau et de la concentration en ions de calcium et de magnésium. La réaction, appelée *échange de cations*, constitue un processus réversible. La capacité du sol à adsorber et à échanger les cations est limitée. Le pourcentage de la capacité du sodium à adsorber est défini comme le *sodium échangeable*. Les sols qui présentent un sodium échangeable supérieur à 15 sont sérieusement affectés par le sodium adsorbé.

Le problème du sodium est diminué si la quantité de calcium plus magnésium est élevée par rapport à la quantité de sodium. Cette relation est nommée *taux d'adsorption du sodium (SAR)*, une valeur calculée par la formule:

$$SAR = \frac{Na \text{ (meq/litre)}}{\sqrt{\frac{Ca \text{ (meq/litre)} + Mg \text{ (meq/litre)}}{2}}}$$

L'utilisation d'eau avec une valeur de taux d'adsorption du sodium élevée et une salinité basse à modérée peut être risquée et réduit le taux d'infiltration du sol. Le taux d'adsorption du sodium de l'eau d'irrigation indique approximativement le sodium échangeable d'un sol avec l'eau.

Carbonate de sodium résiduel

Il est défini comme étant la différence en milliéquivalents par litre entre les ions de bicarbonate et les ions de calcium et de magnésium. Le calcium et le magnésium peuvent réagir avec le bicarbonate, et être précipités comme carbonates. La concentration relative en sodium dans le complexe échangeable augmente, provoquant la dispersion du sol. Quand la valeur du carbonate de sodium résiduel est inférieure à 1,25 meq/litre, l'eau est considérée comme étant de bonne qualité tandis que si elle excède 2,5 meq/litre, l'eau est considérée comme dangereuse.

Tolérance des cultures à la salinité

La tolérance des cultures est le degré de salinité d'un sol salin, dans lequel une culture peut croître et avoir un rendement acceptable. La réaction de différentes cultures à la salinité est très variable. Certaines peuvent tolérer moins de 2dS/m et d'autres jusqu'à 8dS/m et au-delà. La tolérance au sel dépend aussi considérablement des conditions culturales et des pratiques de gestion de l'irrigation. Beaucoup d'autres facteurs, tels que la plante, le sol, l'eau et le climat, peuvent interagir pour influencer la tolérance en sel des cultures.

Des données relatives à la tolérance en sel ont été déterminées pour de nombreuses plantes et sont utilisées comme normes générales. Les données suivantes sont relatives aux baisses de rendements attendues. La valeur d'ECe est la salinité du sol en termes de conductivité électrique (EC) mesurée à partir de l'extrait de sol saturé, avec une valeur de 1,5 EC pour l'eau d'irrigation (ECiw). Les tableaux 7.2 à 7.7 (extraits de Maas, 1990) donnent deux paramètres importants pour exprimer la tolérance au sel de la plante:

- le seuil: la salinité maximale admissible de l'extrait de sol saturé (ECe);
- le gradient: le pourcentage de diminution de rendement par unité d'accroissement de la salinité.

La classification des plantes en fonction de leur sensibilité/tolérance au sel (tableaux 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 et 7.7) est même plus importante, car elle procure à première vue des informations vitales pour l'évaluation et le diagnostic des problèmes potentiels de salinité.

TABLEAU 7.2 - Tolérance relative au sel des cultures herbacées: légumes et fruits (Maas, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Seuil dS/m	Gradient% par dS/m	Classe
Artichaut	<i>Cynara scolymus</i>	--	--	MT*
Asperge	<i>Asparagus officinalis</i>	4,1	2	T
Aubergine	<i>Solanum melongena esculentum</i>	1,1	6,9	MS
Betterave rouge	<i>Beta vulgaris</i>	4,0	9	MT
Broccoli	<i>Brassica oleracea botrytis</i>	2,8	9,2	MS
Carotte	<i>Daucus carota</i>	1	14	S
Céleri	<i>Apium graveolens</i>	1,8	6,2	MS
Chou	<i>B. oleracea capitata</i>	1,8	9,7	MS
Chou-fleur	<i>Brassica oleracea botrytis</i>	--	--	MS*
Chou-rave	<i>B. oleracea gongylode</i>	--	--	MS*
Chou vert	<i>Brassica oleracea acephala</i>	--	--	MS*
Choux de Bruxelles	<i>Oleracea gemmifera</i>	--	--	MS*
Concombre	<i>Cucumis sativa</i>	2,5	13	MS
Courge	<i>Curcubita melo melopepo</i>	3,2	16	MS
Courgette	<i>Curcubita pepo</i>	4,7	9,4	MT
Épinard	<i>Spinacia oleracea</i>	2	7,6	MS
Fraise	<i>Fragaria sp.</i>	1	33	S
Gombo	<i>Abelmoschus esculentus</i>	--	--	S
Haricot	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1	19	S
Haricot mungo	<i>Vigna radiata</i>	1,8	20,7	S
Laitue	<i>Lactuca sativa</i>	1,3	13	MS
Maïs	<i>Zea mays</i>	1,7	12	MS
Melon	<i>Cucumis melo</i>	--	--	MS
Navet	<i>Brassica rapa</i>	0,9	9	MS
Oignon	<i>Akkium cepa</i>	1,2	16	S
Panais	<i>Pastinaca sativa</i>	--	--	S*
Pastèque	<i>Citrullus lanatus</i>	--	--	MS*
Patate douce	<i>Ipomoea batatas</i>	1,5	11	MS
Piment	<i>Capsicum annum</i>	1,5	14	MS
Pois	<i>Pisum sativa</i>	--	--	S*
Pommes de terre	<i>Solanum tuberosum</i>	1,7	12	MS
Potiron	<i>Cucurbita pepo pepo</i>	--	--	MS*
Radis	<i>Raphanus sativus</i>	1,2	13	MS
Tomate	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	2,5	9,9	MS
Tomate cerise	<i>L.esculentum var cerasiforme</i>	1,7	9,1	MS

Remarques:

S: sensible, MS: modérément sensible, MT: modérément tolérant, T: tolérant. Les données ci-dessus ne doivent être considérées que comme un guide de valeur relative de tolérance entre les cultures. Les tolérances en valeurs absolues sont variables en fonction du climat, des conditions du sol et des pratiques culturales.

Dans les sols gypseux, les plantes toléreront un ECe d'environ 2 dS/m plus élevé que le niveau indiqué.

*: classes estimées

TABLEAU 7.3 - Tolérance relative au sel des cultures herbacées: cultures boisées (Maas, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Seuil dS/m	Gradient% par dS/m	Classe
Abricot **	<i>Prunus americana</i>	1,6	24	S
Amande **	<i>Prunus dulcis</i>	1,5	19	S
Ananas	<i>Ananas comosus</i>	--	--	MT*
Avocat **	<i>Persea americana</i>	--	--	S
Cerise	<i>Prunus besseyi</i>	--	--	S*
Cerise douce	<i>Prunus avium</i>	--	--	S*
Cherimole	<i>Annona cherimola</i>	--	--	S*
Citron **	<i>Citrus limon</i>	--	--	S
Figue	<i>Ficus carica</i>	--	--	MT*
Framboise	<i>Rubus idaeus</i>	--	--	S
Fruit de la passion	<i>Passiflora edulis</i>	--	--	S*
Grenade	<i>Punica granatum</i>	--	--	MT*
Groseille	<i>Ribes sp.</i>	--	--	S*
Groseille verte	<i>Ribes sp.</i>	--	--	S*
Guayule	<i>Parthenium argentantum</i>	15	3	T
Jambose	<i>Syzygium jambos</i>	--	--	S*
Jojoba **	<i>Simmondsia chinensis</i>	--	--	T
Jujube	<i>Ziziphus jujuba</i>	--	--	MT*
Kaki	<i>Diospyros virginiana</i>	--	--	S*
Lime	<i>Citrus aurantiifolia</i>	--	--	S*
Mangue	<i>Mangifera indica</i>	--	--	S*
Mûre	<i>Rubus sp.</i>	1,5	22	S
Mûre (de Boysen)	<i>Rubus ursinus</i>	1,2	22	S
Néfle	<i>Japoneriobotrya japonica</i>	--	--	S*
Olive	<i>Olea europea</i>	--	--	MT
Orange	<i>Citrus sinensis</i>	1,7	16	S
Palmier dattier	<i>Phoenix dactylifera</i>	4	3,6	T
Pamplemousse**	<i>Citrus paradisi</i>	1,8	16	S
Papaye **	<i>Carica papaya</i>	--	--	MT
Pêche	<i>Prunus persica</i>	1,7	21	S
Poire	<i>Pyrus communis</i>	--	--	S*
Pomélo	<i>Citrus maxima</i>	--	--	S*
Pomme	<i>Malus sylvestris</i>	--	--	S
Prune **	<i>Prunus domestica</i>	1,5	18	S
Raisin **	<i>Vitis sp.</i>	1,5	9,6	MS
Ricin	<i>Ricinus communis</i>	--	--	MS
Tangerine	<i>Citrus reticulata</i>	--	--	S*
Zapote blanche	<i>Casimiroa edulis</i>	--	--	S*

Remarques:

Données applicables lorsque les rhizomes utilisés n'accumulent pas rapidement le Na ou le Cl, ou lorsque ces ions ne sont pas prédominants dans le sol.

Dans les sols gypseux, les plantes toléreront un ECe d'environ 2dS/m plus élevé que le niveau indiqué.

*: classes estimées

**: tolérance en cours de croissance plutôt qu'à la récolte

TABLEAU 7.4 - Tolérance relative au sel des cultures herbacées: graminées et fourrages (Maas, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Seuil dS/m	Gradient% par dS/m	Classe
Agropyrum cristatum	<i>A. cristatum</i>	7,5	6,9	T
Agropyrum elongatum	<i>A. elongatum</i>	7,5	4,2	T
Agropyrum intermedium	<i>A. intermedium</i>	--	--	MT*
Agropyrum sibericum	<i>Agropyron sibericum</i>	3,5	4	MT
Agropyrum smithii	<i>A.smithii</i>	--	--	MT*
Agrostis stolonifère	<i>Agrostis stolonifera palustris</i>	--	--	MS
Alkali sacaton	<i>Sporobolus airoides</i>	--	--	T*
Alpiste-roseaux	<i>Phalaris arundinacea</i>	--	--	MT
Alpiste tubéreux	<i>Phalaris tuberosa</i>	4,6	7,6	MT
Astragale	<i>Astragalus cicer</i>	--	--	MS*
Avoine (fourrage)	<i>Avena sativa</i>	--	--	MS*
Barbon, Angleton	<i>Dichanthium aristatum</i>	--	--	MS*
Blé (fourrage)	<i>Triticum aestivum</i>	4,5	2,6	MT
Blé dur (fourrage)	<i>T. turgidum</i>	2,1	2,5	MT
Boutelou gracieux	<i>Bouteloua gracilis</i>	--	--	MS*
Brome	<i>Bromus unioloides</i>	--	--	MT*
Brome de montagne	<i>Bromus marginatus</i>	--	--	MT*
Brome inerme	<i>B. inermis</i>	--	--	MS
Cenchrus	<i>Cenchrus ciliaris</i>	--	--	MS*
Chiendent à tiges rudes	<i>A. trachycaulum</i>	--	--	MT
Chloris	<i>Chloris gayana</i>	--	--	MT
Colza	<i>Brassica napus</i>	--	--	MT*
Dactyle pelotonné	<i>Dactylis glomerata</i>	1,5	6,2	MS
Diplachne fusca	<i>Diplachne fusca</i>	--	--	T*
Distichlis dressé	<i>Distichlis stricta</i>	--	--	T*
Elyme de l'Altai	<i>Elymus angustus</i>	--	--	T
Elyme canadien	<i>E. canadensis</i>	--	--	MT*
Elyme non barbu	<i>E. triticoides</i>	2,7	6	MT
Elyme russe	<i>E. junceus</i>	--	--	T
Eragrostis	<i>Eragrostis sp.</i>	2,0	8,4	MS
Fétuque, grande	<i>Festuca elatior</i>	3,9	5,3	MT
Fétuque, prairie	<i>F. pratensis</i>	--	--	MT*
Fromental haut	<i>Arrhenatherum danthonia</i>	--	--	MS*
Herbe de Dallis	<i>Paspalum dilatatum</i>	--	--	MS*
Herbe des Bermudes	<i>Cynodon dactylon</i>	6,9	6,4	T
Lotier	<i>Sphaerophysa salsula</i>	2,2	7	MS
Lotier corniculé, feuille étroite	<i>L. corniculatus tenuifolium</i>	5	10	MT
Lotier corniculé, feuille large	<i>L. corniculatus arvensis</i>	--	--	MT
Lotier des marais	<i>Lotus uliginosus</i>	2,3	19	MS
Luzerne	<i>Medicago sativa</i>	2	7,3	MS
Mais (fourrage)	<i>Zea mays</i>	1,8	7,4	MS
Métilot	<i>Melilotus</i>	--	--	MT*
Métilot blanc	<i>Melilotus alba</i>	--	--	MT*
Niébé (fourrage)	<i>Vigna unguiculata</i>	2,5	11	MS
Orge (fourrage)	<i>Hordeum vulgare</i>	6	7,1	MT
Panic bleu	<i>Panicum antidotale</i>	--	--	MT*
Phléole des prés	<i>Phleum pratense</i>	--	--	MS*
Pimprenelle	<i>Poterium sanguisorba</i>	--	--	MS*
Puccinellie de Nuttal	<i>Puccinellia airoides</i>	--	--	T*
Raygrass, Italien	<i>Lolium italicum multiflorum</i>	--	--	MT*
Raygrass, pérenne	<i>L. perenne</i>	5,6	7,6	MT
Seigle (fourrage)	<i>Secale cereale</i>	--	--	MS*
Sesbania	<i>Sesbania exaltata</i>	2,3	7	MS
Siratro	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	--	--	MS
Sorgho du Soudan	<i>Sorghum sudanense</i>	2,8	4,3	MT
Trèfle alsike	<i>Trifolium hybridum</i>	1,5	12	MS
Trèfle, Bersim	<i>Trifolium alexandrinum</i>	1,5	5,7	MS
Trèfle, blanc hollandais	<i>Trifolium repens</i>	--	--	MS*

TABLEAU 7.4 - Tolérance relative au sel des cultures herbacées: graminées et fourrages (Maas, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Seuil dS/m	Gradient% par dS/m	Classe
Trèfle ladino	<i>Trifolium repens</i>	1,5	12	MS
Trèfle rouge	<i>Trifolium pratense</i>	1,5	12	MS
Vesce commune	<i>Vicia angustifolia</i>	3	11	MS
Vulpin des prés	<i>Alopecurus pratensis</i>	1,5	9,6	MS

*: classes estimées

Remarques:

Les données ci-dessus ne doivent être considérées que comme un guide de valeur relative de tolérance entre les cultures. Les tolérances en valeurs absolues sont variables en fonction du climat, des conditions du sol et des pratiques culturales.

Dans les sols gypseux, les plantes toléreront un ECe d'environ 2 dS/m plus élevé que le niveau indiqué.

TABLEAU 7.5 - Limites de tolérance au bore pour les cultures agricoles (MAAS, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Seuil dS/m **	Gradient% par mg/l
Très sensible			
Citron*	<i>Citrus limon</i>	--	--
Mûre	<i>Rubus sp.</i>	--	--
Sensible			
Avocat	<i>Persea americana</i>	0,5–0,75	--
Pamplemousse*	<i>Citrus paradisi</i>	0,5–0,75	--
Orange*	<i>C. sinensis</i>	0,5–0,75	--
Abricot*	<i>Prunus americana</i>	0,5–0,75	--
Pêche*	<i>P. persica</i>	0,5–0,75	--
Cerise*	<i>P. avium</i>	0,5–0,75	--
Prune*	<i>P. domestica</i>	0,5–0,75	--
Kaki*	<i>Diospyros kaki</i>	0,5–0,75	--
Figue «kadota»**	<i>Ficus carica</i>	0,5–0,75	--
Raisin*	<i>Vitis vinifera</i>	0,5–0,75	--
Noix*	<i>Juglans regia</i>	0,5–0,75	--
Noix de Pécan*	<i>Carya illinoensis</i>	0,5–0,75	--
Oignon	<i>Allium cepa</i>	0,5–0,75	--
Ail	<i>Allium sativum</i>	0,75–1,0	--
Patate douce	<i>Ipomea batatas</i>	0,75–1,0	--
Blé	<i>Triticum aestivum</i>	0,75–1,0	0,33
Tournesol	<i>Helianthus annuus</i>	0,75–1,0	--
Haricot mungo*	<i>Vigna radiata</i>	0,75–1,0	--
Sésame*	<i>Sesamum indicum</i>	0,75–1,0	--
Lupin*	<i>Lipinus hartwegii</i>	0,75–1,0	--
Fraise*	<i>Fragaria ap.</i>	0,75–1,0	--
Topinambour**	<i>Helianthus tuberosus</i>	0,75–1,0	--
Haricot rouge*	<i>Phaseolus vulgaris</i>	0,75–1,0	--
Haricot de Lima	<i>P. lunatus</i>	0,75–1,0	--
Arachide	<i>Arachis hypogaea</i>	0,75–1,0	--

*: tolérance basée sur une réduction de la croissance végétative

TABLEAU 7.5 - Limites de tolérance au bore pour les cultures agricoles (MAAS, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Seuil dS/m **	Gradient% par mg/l
Modérément sensible			
Broccoli	<i>Brassica oleracea botrytis</i>	1,0	1,8
Poivron rouge	<i>Capsicum annuum</i>	1,0–2,0	--
Pois*	<i>Pisum sativa</i>	1,0–2,0	--
Carotte	<i>Daucus carota</i>	1,0–2,0	--
Radis	<i>Raphanus sativus</i>	1,0–2,0	1,4
Pomme de terre	<i>Solanum tuberosum</i>	1,0–2,0	--
Concombre	<i>Cucumis sativus</i>	1,0–2,0	--
Modérément tolérant			
Chou*	<i>Brassica oleracea capitata</i>	2,0–4,0	--
Navet	<i>B. rapa</i>	2,0–4,0	--
Pâturin des prés*	<i>Poa pratensis</i>	2,0–4,0	--
Orge	<i>Hordeum vulgare</i>	3,4	4,4
Niébé	<i>Vigna unguiculata</i>	2,5	12
Avoine	<i>Avena sativa</i>	2,0–4,0	--
Maïs	<i>Zea mays</i>	2,0–4,0	--
Artichaut*	<i>Cynara scolymus</i>	2,0–4,0	--
Tabac*	<i>Nicotiana tabacum</i>	2,0–4,0	--
Moutarde*	<i>Brassica juncea</i>	2,0–4,0	--
Trèfle doux*	<i>Melilotus indica</i>	2,0–4,0	--
Courge	<i>Cucurbita pepo</i>	2,0–4,0	--
Melon*	<i>Cucumis melo</i>	2,0–4,0	--
Chou-fleur	<i>B. oleracea botrytis</i>	2,0–4,0	1,9
Tolérant			
Luzerne*	<i>Medicago sativa</i>	4,6–6,0	--
Vesce, grenat*	<i>Vicia bengalensis</i>	4,6–6,0	--
Persil*	<i>Petroselinum crispum</i>	4,6–6,0	--
Betterave rouge	<i>Beta vulgaris</i>	4,6–6,0	--
Betterave sucrière	<i>B. vulgaris</i>	4,9	4,1
Tomate	<i>Lycopersicum</i>	5,7	3,4
Très tolérant			
Sorgho	<i>Sorghum bicolor</i>	7,4	4,7
Coton	<i>Gossypium hirsutum</i>	6,0–10,0	--
Céleri*	<i>Apium graveolens</i>	9,8	3,2
Asperge*	<i>Asparagus officinalis</i>	10,0–15,0	--

*; tolérance basée sur une réduction de la croissance végétative.

**; concentration maximale autorisée dans l'eau du sol, sans réduction de rendement. La tolérance au bore peut varier en fonction du climat, des conditions dans le sol et des variétés de culture.

TABLEAU 7.6 - Tolérance au sel des buissons ornementaux, arbres et couvertures de sols (Maas, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Max. autorisé ECe dS/m
Très sensible		
Jasmin	<i>Trachelospermum jasminoides</i>	1-2
Cotonéastre	<i>Cotoneaster congestus</i>	1-2
Mahonia à feuille de houx	<i>Mahonia aquifolium</i>	1-2
Photinia	<i>Photinia fraseri</i>	1-2
Sensible		
Feijoa	<i>Feijoa sellowiana</i>	2-3
Houx chinois.	<i>Burford Ilex cornuta</i>	2-3
Rosier cv. Grenoble	<i>Rosa sp.</i>	2-3
Abelia à grandes fleurs	<i>Abelia grandiflora</i>	2-3
Podocarpus à grosses fleurs	<i>Podocarpus macrophyllus</i>	2-3
Tulipier	<i>Liriodendron tulipifera</i>	2-3
Hedera Algérien	<i>Hedera canariensis</i>	3-4
Pittosporum japonais	<i>Pittosporum tobira</i>	3-4
Bambou Nandina	<i>Nandina domestica</i>	3-4
Hibiscus chinois	<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	3-4
Laurier tin	<i>Viburnum tinus</i>	3-4
Arbousier commun	<i>Arbutus unedo</i>	3-4
Lilas des Indes	<i>Lagerstroemia indica</i>	3-4
Modérément sensible		
Troène	<i>Ligustrum lucidum</i>	4-6
Lantana	<i>Lantana camara</i>	4-6
Orchidée	<i>Bauhinia purpurea</i>	4-6
Magnolia à grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>	4-6
Buis japonais	<i>Buxus microphylla</i> var. <i>japonica</i>	4-6
Xylosma	<i>Xylosma congestum</i>	4-6
Pin noir japonais	<i>Pinus thunbergiana</i>	4-6
Aubépine d'Inde	<i>Raphiolepis indica</i>	4-6
Bois de rainette	<i>Dodonaea viscosa</i>	4-6
Arbre de vie oriental	<i>Platycladus orientalis</i>	4-6
Elaeagnus épineux	<i>Elaeagnus pungens</i>	4-6
Genévrier chinois	<i>Uniperus chinensis</i>	4-6
Buisson ardent	<i>Pyracantha fortuneana</i>	4-6
Prunier cerise	<i>Prunus cerasifera</i>	4-6
Modérément tolérant		
Osier	<i>Callistemon viminalis</i>	6-8
Laurier rose	<i>Nerium oleander</i>	6-8
Palmier	<i>Chamerops humilis</i>	6-8
Dracaena bleu	<i>Cordiline indivisa</i>	6-8
Romarin	<i>Rosmarinus officinalis</i>	6-8
Pin d'Alep	<i>Pinus halepensis</i>	6-8
Copalm	<i>Liquidambar styraciflua</i>	6-8
Tolérant		
Cerisier en brosse	<i>Syzygium paniculatum</i>	> 8
Ceniza	<i>Leucophyllum frutescens</i>	> 8
Prune du Natal	<i>Carssa grandiflora</i>	> 8
Poirier à feuillage persistant	<i>Pyrus kawakamii</i>	> 8
Bougainvillée	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	> 8
Pin parasol	<i>Pinus pinea</i>	> 8
Très tolérant		
Ficoïde blanc	<i>Delosperma alba</i>	> 10
Ficoïde rose	<i>Drosanthemum hispidum</i>	> 10
Ficoïde pourpre	<i>Labranthus productus</i>	> 10
Ficoïde cruciforme	<i>Hymenocyclus croceus</i>	> 10

Remarque:

Les salinités excédant le maximum admissible d'ECe peuvent entraîner la brûlure des feuilles, la perte du feuillage et/ou un flétrissement excessif.

TABLEAU 7.7 - Limites de tolérance au bore pour les plantes ornementales (Maas, 1990)

Nom commun	Nom botanique	Seuil en mg/litre
Très sensible		
Mahonia à feuille de houx	<i>Mahonia aquifolium</i>	
Photinia	<i>Photinia x fraseri</i>	
Xylosma	<i>Xylosma congestum</i>	
Elaeagnus épineux	<i>Elaeagnus pungens</i>	
Laurier tin	<i>Viburnum tinus</i>	
Troène japonais	<i>Ligustrum japonicum</i>	
Feijoa	<i>Feijoa sellowiana</i>	
Fusain	<i>Euonymy japonica</i>	
Pittosporum japonais	<i>Pittosporum tobira</i>	
Houx chinois	<i>Ilex cornuta</i>	
Genévrier	<i>Juniperus chinensis</i>	
Lantana jaune	<i>Lantana camara</i>	
Orme américain	<i>Ulmus americana</i>	
Sensible		
Zinnia	<i>Zinnia elaeagnus</i>	0,5–1,0
Pensée	<i>Viola tricolor</i>	0,5–1,0
Violette	<i>Viola odorata</i>	0,5–1,0
Pied d'alouette	<i>Delphinium sp.</i>	0,5–1,0
Abelia à grandes fleurs	<i>Abelia x grandiflora</i>	0,5–1,0
Romarin	<i>Rosmarinus officinalis</i>	0,5–1,0
Arbre de vie oriental	<i>Platycladus orientalis</i>	0,5–1,0
Géranium	<i>Pelargoium x hortorum</i>	0,5–1,0
Modérément sensible		
Glaïeul	<i>Gladiolus sp.</i>	1,0–2,0
Souci	<i>Calendula officinalis</i>	1,0–2,0
Poinsettia	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	1,0–2,0
Aster de Chine	<i>Callistephus chinensis</i>	1,0–2,0
Gardenia	<i>Gardenia sp.</i>	1,0–2,0
Podocarpe à grandes feuilles	<i>Podocarpus macrophyllus</i>	1,0–2,0
Ceriser à brosse	<i>Syzygium paniculatum</i>	1,0–2,0
Dracéna bleu	<i>Cordylone indivisa</i>	1,0–2,0
Ceniza	<i>Leucophyllus frutescens</i>	1,0–2,0
Modérément tolérant		
Callistème à feuilles lancéolées	<i>Callistemon citrinus</i>	2,0–4,0
Pavot de Californie	<i>Eschscholzia californica</i>	2,0–4,0
Buis du Japon	<i>Buxus microphylla</i>	2,0–4,0
Laurier rose	<i>Nerium oleander</i>	2,0–4,0
Hibiscus chinois	<i>Hibiscus rosa-senensis</i>	2,0–4,0
Pois de senteur	<i>Lathyrus odoratus</i>	2,0–4,0
Oeillet	<i>Dianthus caryophyllus</i>	2,0–4,0
Tolérant		
Aubépine d'Inde	<i>Raphiolepis indica</i>	6,0–8,0
Prunier du Natal	<i>Carissa grandiflora</i>	6,0–8,0
Oxalis	<i>Oxalis bowiei</i>	6,0–8,0

Remarques:

Les espèces sont classées dans l'ordre croissant de tolérance, sur la base de l'apparence aussi bien que de la réduction de croissance.

Une concentration de bore excédant le seuil admissible peut conduire à une brûlure ou même à une perte des feuilles.

Critères de qualité des eaux

L'établissement de normes permettant de disposer d'un guide pour juger si une eau convient pour l'irrigation a souvent été demandé. Toute classification doit être basée sur la concentration totale et la composition des sels. Toutefois, la qualité de l'eau pour l'irrigation dépend aussi d'autres facteurs associés, tels que la plante, le sol, le climat et les pratiques de gestion. La classification adoptée par la FAO en 1985 (d'après Maas), et proposée comme guide initial (tableau 7.8), s'est révélée très pratique et utile pour évaluer la qualité de l'eau pour son utilisation au niveau de l'exploitation. Les paramètres principaux de la classification de l'eau (réaction des cultures à la salinité, risques du sodium et toxicité) sont clairement définis et compris, aussi bien par les agents de vulgarisation que par les fermiers eux-mêmes pour répondre aux besoins d'une bonne gestion et d'un suivi des activités d'irrigation.

Avec la méthode d'évaluation de la FAO, les quatre paramètres pris en considération sont ceux présentés ci-dessous, à savoir la salinité totale, la réaction des cultures à la salinité, les risques liés au sodium et les problèmes de toxicité.

La salinité totale

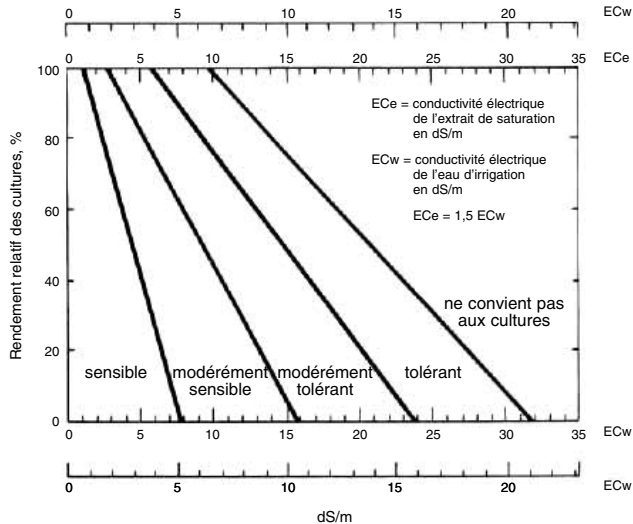
TABLEAU 7.8 - Classification de l'eau en fonction de la salinité

	EC dS/m	TDS mg/litre
Eau non saline	< 0,7	< 500
Eau saline	0,7–42	500–30 000
Eau légèrement saline	0,7–3,0	500–2 000
Eau modérément saline	3,0–6,0	2 000–4 000
Eau très saline	> 6,0	> 4 000
Eau très fortement saline	> 14,0	> 9 000
Saumure	> 42	> 30 000

La réaction des cultures à la salinité

La figure ci-dessous indique la réduction de rendement attendue pour chaque culture en fonction de sa sensibilité/tolérance au sel. Ce graphique permet une estimation rapide des deux principaux paramètres de qualité de l'eau.

FIGURE 7.1 - Zones de taux relatifs de tolérance au sel des cultures agricoles (Maas, 1984).



Les risques liés au sodium

Le taux d'adsorption du sodium est couramment utilisé comme indice des risques liés au sodium dans les eaux et les sols, et comme un substitut du sodium échangeable du sol. Le taux d'adsorption du sodium (SAR) d'une eau donnée définit, dans une certaine mesure, la quantité relative de sodium susceptible d'être adsorbée par le sol. L'effet des ions de sodium dans l'eau d'irrigation sur la réduction du taux d'infiltration et de la perméabilité du sol est fonction de la concentration totale en sels, comme le montre le tableau 7.9.

TABEAU 7.9 - Problème potentiel d'infiltration dû au sodium dans l'eau d'irrigation

Niveaux de salinité de l'eau d'irrigation (dS/m)	Réductions			
	Aucune	Légère	Moyenne	Sévère
$EC_w = 0,7$	SAR < 1	SAR 1-5	SAR 5-11	SAR > 11
$EC_w = 0,7-3,0$	< 10	10-15	15-23	> 23
$EC_w = 3,0-6,0$	< 25	> 25	Pas d'effet	Pas d'effet
$EC_w = 6,0-14,0$	< 35	> 35	Pas d'effet	Pas d'effet
$EC_w > 14$	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet

Source: extrait de Rhoades, Oster et Schroer.

Les problèmes de toxicité

Les problèmes de toxicité peuvent survenir à cause d'un excès de chlorure, de sodium, de bore, de bicarbonate, de nitrate et d'un pH anormal. L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation doit inclure ces paramètres et quelques autres, en association avec tous les autres facteurs entrant en jeu.

Contrôle de la salinité

Les sels qui s'accumulent dans le sol ne peuvent être éliminés effectivement que par lessivage. Pour ce faire, suffisamment d'eau doit pénétrer la surface du sol pour engendrer une percolation profonde de haut en bas et un flux entraînant l'eau de drainage hors de la zone racinaire. La dose additionnelle nécessaire en plus de la dose d'irrigation est nommée besoin de lessivage (BL) et peut être estimée avec précision grâce à la relation:

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w}$$

où **BL** est le besoin de lessivage en pourcentage de la dose d'irrigation et **EC_e** le niveau de salinité admissible dans la solution de sol, essentiellement lié à la tolérance au sel de la plante cultivée à un potentiel de rendement de 100 pour cent. La valeur moyenne habituellement utilisée pour EC_e est 1,5 EC_w; dans ce cas BL = 0,15.

Le lessivage est particulièrement nécessaire pour préparer le sol pour des cultures à haute densité de semis, telles que les carottes, les oignons et les arachides. La salinité sur toute la zone doit être la même, sans différence entre les parties humidifiées et non humidifiées du champ durant la saison précédente. Le lessivage des sels dans la couche supérieure est particulièrement important, car les plantes sont sensibles à la salinité durant les premiers stades de leur croissance.

Il faut, pour contrôler le niveau de salinité dans la zone racinaire, effectuer de fréquentes observations avec échantillonnage du sol, qui permettront de déterminer en laboratoire la conductivité électrique de l'extrait de sol. L'utilisation de solutions du sol, extracteurs et dispositifs de mesure portables permet un suivi continu, qui favorise une intervention immédiate, de toute modification significative de EC dans la solution de sol, du taux de chlorure et nitrate, ainsi que du pH du sol résultant de l'irrigation et de la fertilisation.

Micro-irrigation et contrôle de la salinité

En irrigation par goutte-à-goutte, la distribution des sels dissous dans le profil du sol suit le modèle de l'écoulement d'eau, avec une tendance à l'accumulation à la périphérie de la masse de sol humide. Pendant la saison d'irrigation, il n'y a pas de concentration de sel dans la majeure partie de la zone humidifiée en dessous du distributeur, là où la plupart des racines se concentrent et fonctionnent et les valeurs de salinité y sont basses ou modérées. Près de la surface, en raison de l'évaporation, l'accumulation de sel est cinq fois plus élevée que dans les couches plus profondes, et augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du distributeur. Ce facteur, en combinaison avec l'utilisation d'eau d'irrigation de basse qualité et l'application de fertilisants dans l'ensemble du système, causera une augmentation de la salinité susceptible de créer des problèmes dans des zones où la pluviométrie annuelle n'excède pas 250 mm/an. Dans ce cas, il est essentiel d'inonder la superficie totale au moins une fois par an, à la fin de la saison, avec des quantités d'eau adéquates, de manière à lessiver les sols en dessous de la profondeur d'enracinement.

Le niveau de salinité dans la zone racinaire est lié à la qualité de l'eau, à la quantité de fertilisants et à la dose d'irrigation. L'accumulation de sels à proximité des distributeurs est inférieure à la moitié de celle qui existe entre les lignes de distributeurs. La valeur de conductivité électrique de l'extrait de saturation au-delà du distributeur est deux ou trois fois la valeur d'EC_w, et entre les lignes elle est de 6 à 10 fois plus élevée. La concentration élevée en sels ne peut être contrôlée que par le lessivage ou la réduction des quantités de fertilisants durant la saison de croissance. En aucun cas la concentration en fertilisants dans l'eau d'irrigation ne doit être supérieure à EC = 0,5 dS/m, qui s'ajoute à la salinité totale de l'eau d'irrigation.

En irrigation par goutte-à-goutte, il n'est pas recommandé d'effectuer un surlessivage avec des quantités d'eau supplémentaires à chaque application durant la saison d'irrigation, car l'accumulation de sels atteindrait des niveaux dangereux. Le lessivage aura lieu après la récolte des cultures, entre les saisons d'irrigation, lorsque le taux de salinité est excessif et la pluviométrie déficitaire. Le lessivage est effectué en inondant la zone ou en utilisant des asperseurs à basse pluviométrie avec de très fines gouttes (tableaux 7.10, 7.11 et 7.12).

*Exemples d'analyses***TABEAU 7.10 - Cas n° 1: Fiche d'analyse chimique de l'eau**

Soumis par: Andreas Christoforou				Date: 11.9.97	
Localité: Potamia				N° laboratoire: W-76/97	
Analyses requises: Tous les ions + bore				N° forage: N332	
Remarque: Assolement prévu: arbres fruitiers, légumes					
RESULTATS D' ANALYSE				Analyste: N. Antoniou Date: 19.9.97	
Conductivité électrique: ECw dS/m: 3.6				pH: 7.1	
Anions	mg/litre	meq/litre	Cations	mg/litre	meq/litre
Chlorure (Cl⁻)	429	2.09	Sodium (Na⁺)	480	20.8
Sulfate (SO₄)	552	11.50	Potassium (K⁺)	19	0.5
Carbonate (CO₃⁻)	néant	néant	Calcium (Ca⁺⁺)	160	8.0
Bicarbonate (HCO₃⁻)	480	7.90	Magnésium (Mg⁺⁺)	60	5.0
Nitrate (NO₃⁻)	180	2.90	Bore (B)	1.5	--
Total	1 641	34.3		719	34.3
TDS:	2 360				

Évaluation et remarques: SAR = 8, Carbonate de sodium résiduel = néant
 Eau de salinité moyenne – taux élevé de sodium et de bore à des niveaux toxiques pour la plupart des arbres fruitiers (agrumes, arbres à feuilles caduques, etc.), raisins, fraises et quelques légumes (oignon, ail, haricot) – aucun risque de sodium – avec une gestion appropriée, sur des sols légers avec une bonne infiltration et un drainage interne, sans couche imperméable, elle peut être utilisée pour l'irrigation de cultures tolérantes à la salinité et au bore, tels que l'olive, la grenade, la pistache, la datte, la plupart des légumes, melon, pomme de terre, etc. et les cultures fourragères – s'attendre à un retard probable dans le développement de la culture et à une certaine réduction du rendement – tout problème de bicarbonate peut être facilement résolu – à cause du taux élevé de nitrate, égal à 40 g net d'azote par m³ d'eau, l'application de fertilisant azoté doit être réduit de 66 pour cent pour les fruitiers et de 20–30 pour cent pour les légumes. – irrigation fréquente recommandée – besoins de lessivage 0,15

Signature: A. Phocaides

TABLEAU 7.11 - Cas n° 2: Fiche d'analyse chimique de l'eau

Soumis par: N. Papas				Date: 2.10.1997	
Localité: Orini				N° laboratoire: W/400/97	
Analyses requises: Tous les ions + bore				N° forage: N335	
Remarque: Utilisation pour l'irrigation					
RESULTATS D' ANALYSE				Analyste: A.Magnetis Date: 9.10.1997	
Conductivité électrique: ECw dS/m: 2.1				pH: 8.35	
Anions	mg/litre	meq/litre	Cations	mg/litre	meq/litre
Chlorure (Cl ⁻)	215	6.05	Sodium (Na ⁺)	320	13.9
Sulfate (SO ₄)	244	5.10	Potassium (K ⁺)	2	--
Carbonate (CO ₃ ²⁻)	néant	néant	Calcium (Ca ⁺⁺)	48	2.4
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	432	7.11	Magnésium (Mg ⁺⁺)	31	2.6
Nitrate (NO ₃ ⁻)	41	0.66	Bore (B)	0.56	
Total	932	18.9		401	18.9
TDS:	1 333				

Évaluation et remarques: SAR = 9, Carbonate de sodium résiduel = 2,11
 Eau légèrement salée – pas de risque dû au sodium, aucun problème sérieux de toxicité – avec une gestion appropriée, sur des sols légers avec une bonne structure et un drainage interne, elle convient pour la plupart des cultures – le bicarbonate peut entraîner quelques problèmes de déficience en micro-nutriments qui peuvent être résolus.

Signature: A. Phocaidès

TABLEAU 7.12 - Cas n°3: Fiche d'analyse chimique de l'eau

Soumis par: G. Demosthenous				Date: 3.11.97	
Localité: Limassol				N° laboratoire:	
Analyses requises: Tous les ions + bore				N° forage:	
Remarque: Irrigation d'oliviers et autres cultures					
RESULTATS D' ANALYSE				Analyste: E. Iasonos	
				Date: 10.11.97	
Conductivité électrique: EC _w dS/m: 2.3				pH: 8.7	
Anions	mg/litre	meq/litre	Cations	mg/litre	meq/litre
Chlorure (Cl⁻)	107	3.02	Sodium (Na⁺)	410	17.80
Sulfate (SO₄⁻)	278	5.80	Potassium (K⁺)	6	0.10
Carbonate (CO₃⁻)	14	0.48	Calcium (Ca⁺⁺)	8	0.40
Bicarbonate (HCO₃⁻)	624	10.27	Magnésium (Mg⁺⁺)	14	1.20
Nitrate (NO₃⁻)	néant	néant	Bore (B)	2.88	
Total	1 023	19.5		438	19.5
TDS:	1 461				

Évaluation et remarques: SAR = 20, Carbonate de sodium résiduel = 8,67
 Eau légèrement salée, bien que problématique – taux de bore de niveau toxique pour la majorité des arbres fruitiers et la plupart des cultures herbacées – danger de sévères problèmes d'infiltration dans le sol et de perméabilité suite à l'utilisation de cette eau – l'excès de sels bicarbonatés peut conduire à la chlorose de certaines plantes – le pH est plus élevé que la normale et peut conduire à un déséquilibre nutritionnel – cette eau doit être utilisée avec précaution, faire l'objet d'une excellente gestion, sur des sols légers avec un taux d'infiltration et une perméabilité élevés, ainsi qu'avec des cultures sélectionnées pour leur tolérance à la toxicité au bore, tels le palmiers-dattier, le chou, le chou-fleur, la courge, le persil, la tomate, le céleri, l'asperge, le maïs, la luzerne, la betterave sucrière – les oliviers existants seront irrigués avec réserve – des adjuvants pour l'amélioration des sols (fumier humide, gypse, etc.) devront être appliqués occasionnellement – des irrigations fréquentes seront recommandées – un suivi programmé avec précision est essentiel.

Signature: A. Phocaides

LA QUALITÉ PHYSIQUE DES EAUX D'IRRIGATION ET LEUR TRAITEMENT (FILTRATION)

L'eau d'irrigation ne se trouve généralement pas à l'état pur, mais portant la plupart du temps des particules étrangères solides et d'autres impuretés. Le contenu solide des eaux d'irrigation se compose essentiellement de matériaux terreux, de matières inorganiques en suspension (limon, sable, feuilles, fines argiles et poussières de rouille) et de substances organiques (algues, bactéries, protozoaires) d'origine végétale, d'organismes vivants et de populations de bactéries. L'introduction de systèmes d'irrigation améliorés avec l'utilisation de réseaux de conduites fermées et de distributeurs à petits orifices, vulnérables au blocage, requiert l'élimination des solides en suspension pour protéger les distributeurs des risques de colmatage.

Le taux de matières en suspension dans l'eau d'irrigation peut varier dans de grandes proportions en fonction de la nature de la source. Les quatre principales sources d'eau utilisées dans les réseaux sous pression et les principaux types de solides en suspension (SS) qu'on y trouve sont:

- a) barrages et réservoirs de surface: algue verte (phytoplancton), bactéries et zooplancton de différents types et vase bactérienne (sulfates, fer et autres), fer et manganèse dissous, et autres types d'impuretés d'origine inorganique (débris, limon, argile, etc.);
- b) eaux souterraines (puits et forages): sable, limon, fer, manganèse, sulfate, carbonate et bactéries;
- c) eaux usées traitées: particules solides en suspension de diverses dimensions et formes;
- d) eaux des réseaux de conduites; zooplancton (se développant dans les conduites depuis des années, en colonies pouvant atteindre 5 mm et se transformant en deux ou trois jours en vers qui bloquent les filtres).

La qualité des eaux d'irrigation ne peut pas être clairement définie en fonction des problèmes de colmatage, mais peut seulement être classifiée de manière générale en quatre catégories: bonne – modérée – mauvaise – très mauvaise. Les diverses matières contenues dans l'eau, qui contribuent au colmatage des systèmes de micro-irrigation, peuvent être divisées en trois groupes principaux:

- particules en suspension de matières organiques ou inorganiques;
- éléments constitutants précipités (fer, manganèse, calcium, magnésium);
- vases bactériennes.

Pour une évaluation plus approfondie, il est nécessaire d'examiner la quantité totale de matières en suspension, la distribution des dimensions des particules, la quantité totale de matières dissoutes, le pH de l'eau, la dureté, la turbidité, la teneur en fer et manganèse, la teneur en hydrogène sulfuré, ainsi que la population microbienne.

Filtration

La filtration de l'eau d'irrigation est essentielle pour éviter le blocage du passage étroit des distributeurs, goutteurs, asperseurs et diffuseurs. Il s'agit d'un traitement mécanique de l'eau obtenu par l'installation de dispositifs de filtrage principaux (filtres) au niveau de la tête du réseau d'irrigation. Il fait partie intégrante des installations de conduites sous pression. Le débit de l'écoulement (capacité de filtration) peut influencer le type de filtration des ouvrages hydrauliques principaux, mais au niveau de la ferme, où les taux d'application sont faibles, le type et degré de filtration dépendent :

- du type de matières en suspension dans l'eau d'irrigation; et
- du besoin de filtration du système (des distributeurs, en particulier).

Les principaux filtres disponibles pour l'eau d'irrigation sont:

- **les filtres à gravier (à sable)**, qui fonctionnent sur le principe d'une filtration en profondeur et retiennent efficacement les grosses particules de matières organiques non fractionnées (algues) et poussières;
- **les hydrocyclones (ou séparateurs de dessablage)** fonctionnant sur le principe du flux à vortex et utilisés pour récolter les grandes quantités de sable présentes dans les eaux souterraines pompées;
- **les filtres à tamis (ou à disques ou anneau rainuré)** efficaces pour filtrer les matières en suspension inorganiques. Ils sont équipés d'éléments filtrants dont les perforations sont plus petites que les orifices de sortie (diodes) des distributeurs (jusqu'à 70 pour cent).

Dans les cas où l'eau contient toutes sortes de matières en suspension, il est nécessaire d'installer les trois types de filtres. Les hydrocyclones et les filtres à gravier sont toujours placés à l'amont de l'ouvrage de tête et les filtres à tamis à l'aval. Dans les systèmes de micro-irrigation, ces derniers sont toujours placés à l'aval du dispositif de fertilisation. Le degré de filtration est généralement indiqué en «mesh» (ancienne unité anglaise correspondant au nombre de perforations par pouce linéaire) ou en microns. Les besoins en filtration des divers distributeurs d'eau sont:

- 16–25 mesh (1 000–500 microns) pour des asperseurs à rotation lente sous moyenne pression (actionnés par impact);
- 60–100 mesh (250–120 microns) pour les mini et micro-asperseurs et mini-diffuseurs;
- 80–160 mesh (200–100 microns) pour les goutteurs.

Fonctionnement et entretien

Le bon fonctionnement et l'entretien correct (nettoyage en particulier) des filtres sont d'une importance capitale pour assurer une filtration

efficace et éviter la formation d'une croûte d'impuretés générant d'autres risques de colmatage du système. Certains filtres sont conçus pour un fonctionnement complètement automatique sans main-d'œuvre, d'autres sont autonettoyants et certains sont équipés de mécanismes manuels de nettoyage et d'élimination des impuretés (une brève description des types de filtres figure au chapitre 3). La pression hydraulique du système assure le fonctionnement du filtre, mais l'automatisation du filtre requiert de l'électricité (courant alternatif ou continu). La fréquence de nettoyage est programmée soit à intervalle de temps fixe entre deux nettoyages consécutifs, soit lorsque la différence de pression des deux côtés du filtre augmente au-delà de la valeur initiale normale (0,2–0,3 bar). Les fournisseurs donnent des instructions détaillées pour le rétro-nettoyage (débit et vitesse de l'écoulement, direction du courant, etc.), selon le mécanisme et le mode de fonctionnement du dispositif filtrant.

Application des produits chimiques

L'application de produits chimiques dans l'eau d'irrigation avant le système de filtration peut réduire la quantité de matières en suspension, contrôler le développement des bactéries dans le système, décomposer les algues, dissoudre les particules solides et prévenir la sédimentation. Dans les réservoirs, le sulfate de cuivre est largement utilisé à une concentration de 2 ppm pour contrôler le développement des algues. Un traitement à l'acide réduira le pH de l'eau, prévenant ainsi la précipitation de solides dissous (en particulier des carbonates) et dissolvant les précipités existants. Les divers acides recommandés sont l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide sulfurique (H₂SO₄) et l'acide phosphorique (H₃PO₄). Ce dernier est également un engrais, mais sa concentration doit être suffisante pour diminuer le pH < 6 et éviter les sédiments phosphoreux. La quantité d'acide dépend du pH de l'eau requis.

Le produit chimique le plus sûr et le moins coûteux utilisé en irrigation, pour un pH normal et des températures autour de 20°C, est le chlore sous la forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl). Le temps d'exposition influence également l'efficacité de la chloration. Ce produit est disponible partout comme liquide ménager à des concentrations de 2 à 15 pour cent de chlore libre. L'application se fait par des injections permanentes ou intermittentes en cours d'irrigation, à de faibles concentrations régulières d'approximativement 5 à 10 ppm respectivement. Le contrôle de la chloration effective s'effectue par la mesure de la concentration du résidu libre en chlore de l'eau, qui doit être de l'ordre de 1 à 2 ppm à l'extrémité de la conduite d'irrigation. L'utilisation d'engrais ammoniacal doit être évitée durant la chloration. Un surdosage de chlore dans les réseaux d'irrigation peut entraîner le mouvement des sédiments, qui peut causer un colmatage sévère des distributeurs.

LA QUALITÉ DES EAUX USÉES TRAITÉES POUR L'IRRIGATION (PHYSIQUE, BIOLOGIQUE ET CHIMIQUE)

Les eaux usées traitées constituent une nouvelle source d'eau, qui devrait couvrir progressivement plus de 10 pour cent des besoins en eau de l'irrigation pour l'agriculture et l'aménagement du paysage. Les eaux traitées peuvent contenir divers contaminants chimiques (sels, éléments nutritifs et oligo-éléments) et des constituants biologiques indésirables (éléments pathogènes de l'eau, c'est-à-dire helminthes, protozoaires, bactéries et virus contenus dans les excréments de personnes saines et malades). L'utilisation incontrôlée de ce type d'eau est souvent associée avec d'importants impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement. Ceux-ci peuvent être minimisés par des pratiques de bonne gestion. Ce phénomène introduit ainsi un nouvel élément dans l'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation. L'expression «eaux usées» se réfère aux égouts domestiques et aux eaux usées municipales ne contenant pas de quantités substantielles d'effluents industriels.

Critères et paramètres d'évaluation

L'utilisation d'eaux usées traitées doit toujours être planifiée, projetée et gérée de façon rationnelle. Dans le cas contraire, elle peut être dangereuse pour les humains, le bétail et l'environnement. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a publié en 1989 des directives pour une utilisation sans danger des eaux usées et excréments pour l'agriculture et l'aquaculture (Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture). Ces directives sont actuellement en cours de révision et leur version réactualisée devrait être publiée en 2004. Dans ce contexte, on a défini certains critères supplémentaires de qualité des eaux, fondés sur la validité des eaux pour leur réutilisation dans l'irrigation en agriculture et dans l'aménagement du paysage et sur les manières et méthodes d'amélioration et de gestion, pour satisfaire les besoins des installations, des gestionnaires et des consommateurs.

L'évaluation des effluents traités est basée sur des critères mondialement établis et reconnus, se référant aux valeurs limites de certains paramètres physiques, chimiques et biologiques, de façon à éviter de possibles conséquences néfastes, lors de leur utilisation ou de leur rejet. Les paramètres suivants seront considérés afin de donner une vision correcte de la possibilité d'utiliser les eaux usées traitées et du niveau de leur validité pour les besoins de l'irrigation.

Paramètres chimiques

- salinité totale, EC_w (dS/m), TDS (mg/l);
- acidité/basicité, pH;
- dureté CaCO₃ mg/l;
- types et concentration en anions et cations me/l;

- taux d'adsorption du sodium, SAR;
- nitrate – azote $\text{NO}_3 - \text{N}$ mg/l;
- phosphate phosphoreux, $\text{PO}_4 - \text{mg/l}$;
- oligo-éléments, mg/l;
- métaux lourds, mg/l.

Paramètres physiques et biologiques

- couleur;
- odeur;
- turbidité NTU;
- DBO 5, mg/l (demande biochimique en oxygène);
- DCO, mg/l (demande chimique en oxygène);
- SS, mg/l (solides en suspension);
- coliformes totaux /100 mg;
- coliformes fécaux;
- nématodes intestinaux.

Impact sur les sols et les plantes

L'évaluation des eaux usées et en particulier de leur qualité chimique, telle qu'elle est décrite ci-dessus, est une opération bien comprise, mise en place pour anticiper tous les effets à long terme possibles sur les sols et plantes irrigués, ainsi que pour protéger les eaux souterraines. L'expérience acquise jusqu'à ce jour indique qu'avec une gestion correcte (système d'irrigation amélioré, calendrier d'irrigation adapté), les effets de la salinité, de la toxicité et de l'azote sur les sols peuvent être maîtrisés. L'excès de NO_3 peut toutefois causer certains problèmes pour les plantes. Les oligo-éléments et les métaux lourds, présents dans bien des eaux traitées, ne sont que rarement à l'origine de sérieuses toxicités, bien que pour de nombreux végétaux ils s'accumulent dans les plantes elles-mêmes. Lorsque ces plantes sont consommées par le bétail, des risques sanitaires peuvent se développer. Par exemple, le plomb et le vanadium sont toxiques pour les cultures fourragères à des taux de concentration respectifs normaux et bas. Toutefois, le développement de risques sanitaires pour le bétail se fait sur de très longues périodes, 20 à 50 ans, et nécessite des applications répétées de métaux lourds au-dessus des taux maximums autorisés. Même dans ce cas, cela ne signifie pas qu'une phytotoxicité va apparaître. Aucun problème n'a été enregistré avec l'accumulation de métaux lourds dans les cultures ou les sols. En fait, il a été observé que les engrais conventionnels apportent de plus grandes quantités de métaux lourds.

Effets sur l'environnement

En ce qui concerne les effets sur l'environnement, les valeurs des paramètres chimiques et biologiques des effluents traités doivent être maintenues à des niveaux acceptables en vue de leur utilisation ou de leur rejet. Il existe toujours un risque que les eaux résiduelles utilisées pour l'irrigation puissent faciliter la transmission des infections par nématodes

intestinaux et des maladies causées par les bactéries fécales, aux consommateurs aussi bien qu'aux travailleurs agricoles. En fait, on n'a pas d'expérience ni de connaissances pratiques sur le mouvement vers l'aval des polluants des égouts, et les dispositifs et détecteurs de contaminants du sol sont trop coûteux. On sait toutefois que les nitrates contenus dans l'eau d'irrigation s'infiltrent et finalement atteignent les nappes souterraines. Il n'y a pas de doute qu'un processus similaire peut se produire avec le bore. En ce qui concerne les métaux lourds toxiques, les études ont montré que plus de 85 pour cent des oligo-éléments appliqués s'accumulent dans les quelques centimètres à la surface du sol. Il est néanmoins possible qu'à long terme l'application d'effluents traités contenant des éléments toxiques, plus particulièrement dans des sols acides ou sableux, puisse finalement conduire à leur mobilisation et leur lessivage vers des couches inférieures, polluant en dernier ressort les nappes souterraines. Il doit être souligné qu'aucun cas de ce genre n'a été signalé récemment.

Effets sur le système d'irrigation

Les eaux résiduelles traitées contiennent généralement d'importantes quantités de matières organiques en suspension, d'autres immondices contenues dans l'eau et des impuretés d'origine inorganique, qui peuvent entraîner des obstructions et colmatages dans les distributeurs des systèmes d'irrigation.

Protection sanitaire (selon l'OMS)

Du point de vue de la protection de la santé publique, les mesures disponibles peuvent être groupées selon les quatre grandes catégories suivantes:

- Processus de traitement et degré d'élimination des pathogènes: l'élimination des pathogènes est l'objectif principal du traitement des eaux usées en vue de leur utilisation pour l'irrigation. Les divers processus conventionnels de traitement primaire et secondaire, **sédimentation simple, boues activées, bio-filtration (filtres goutte-à-goutte), lagons aérés, fossés d'oxydation, désinfection des eaux brutes, et étangs de stabilisation des rejets**, ne peuvent éliminer efficacement les œufs des bactéries et des helminthes. Des **désinfections et filtrations supplémentaires** (traitement tertiaire) sont requises pour produire une eau de qualité acceptable pour satisfaire les recommandations permettant une irrigation sans restriction. Dans les régions arides et semi-arides, on utilise plutôt les étangs de stabilisation des eaux d'égouts. Avec une durée minimale de rétention de 11 jours, selon la température, ce procédé de traitement peut conduire, en comptant environ deux fois plus de temps, à un taux acceptable d'élimination des pathogènes (helminthes et bactéries), conforme aux normes de réutilisation. Il faut prévoir d'autres étangs de purification, en plus des installations conventionnelles de traitement.

- Sélection des cultures: en fonction de la qualité des eaux traitées, les diverses cultures pouvant être cultivées sans risque pour le consommateur sont classées en catégories (A, B et C), en accord avec les mesures requises pour la protection de la santé publique. (directives de l'OMS sur la qualité microbiologique recommandée pour l'utilisation des eaux usées en agriculture – 1989).
 - catégorie A: protection pour les travailleurs agricoles incluant les cultures industrielles, les cultures céréalières et les forêts, ainsi que les cultures alimentaires pour la mise en conserve;
 - catégorie B: protection pour les consommateurs, les fermiers et le public en général, qui porte sur les pâturages, les fourrages verts et les cultures arbustives, ainsi que sur les fruits et légumes, pelés ou cuits avant consommation;
 - catégorie C: irrigation sans restriction pour les légumes frais, les fruits irrigués par aspersion, les herbages et pelouses de parcs publics et terrains de sport, etc.

Il faut noter que la sélection en catégorie B fournit une protection seulement aux consommateurs, et non aux exploitants et travailleurs agricoles. Des mesures additionnelles doivent être prises, telles que des contrôles de l'exposition humaine.

- Méthode d'application de l'irrigation: l'irrigation au moyen de systèmes sous pression a beaucoup d'avantages par rapport aux méthodes traditionnelles de surface. Les méthodes gravitaires de surface exposent les fermiers à de plus grands risques, qui sont éliminés avec les systèmes de distribution par conduites posées en surface. Toutefois, si les eaux traitées ne sont pas recommandées pour l'irrigation sans réserve, les méthodes d'aspersion et de pulvérisation ne doivent pas être utilisées pour des cultures susceptibles d'être mangées crues, les fruits, et pour l'herbe et les pelouses des parcs publics et les terrains de sport. L'irrigation par goutte-à-goutte conventionnelle ou par barboteurs peut donner un degré plus élevé de protection sanitaire. L'irrigation par goutte-à-goutte sur paillis et l'irrigation souterraine procurent une protection maximale.
- Exposition humaine: la population potentiellement touchée par les risques de l'utilisation de l'eau résiduelle traitée sont les exploitants et leurs familles, les manutentionnaires des récoltes, les consommateurs des produits et les personnes vivant près des champs irrigués. Le risque peut être réduit par plusieurs mesures de protection telles qu'une bonne gestion, l'immunisation contre la typhoïde, l'hépatite et d'autres infections, l'exposition réduite par l'utilisation de vêtements et chaussures appropriés, une cuisson appropriée des aliments et d'autres mesures d'hygiène.

Directives nationales et normes (le cas de Chypre)

Dans de nombreux pays, les directives nationales pour la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation sont généralement conformes à celles publiées par l'OMS. L'objectif de l'OMS est de fournir les connaissances générales et un guide pour les gouvernements, afin qu'ils puissent développer leurs normes nationales en accord avec les recommandations sanitaires internationales et en respectant la protection de la santé publique et la préservation de l'environnement. Un excellent exemple est le cas de Chypre. Dans ce pays, la réutilisation des effluents traités constitue une pratique relativement nouvelle, commencée au milieu des années 80; actuellement de nombreux progrès ont été réalisés et cette expérience peut servir de modèle pour de nombreux autres pays.

Les normes chypriotes

Le Comité technique sur les effluents d'égouts et les boues, sous l'égide du Ministère de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement de la République de Chypre, a préparé des normes de qualité pour les effluents traités et boues en vue de leur réutilisation en agriculture et dans les aires d'agrément. Ces normes comprennent deux parties, les *Directives* et le *Code d'usage* qui semblent être à l'heure actuelle les normes les plus élaborées en comparaison des autres standards nationaux; c'est pourquoi elles ont été utilisées pour la rédaction de ce chapitre.

Les *Directives* prennent la variable DBO comme le principal indicateur d'un meilleur suivi et contrôle du processus de traitement, et la variable «solides en suspension» pour une désinfection effective des pathogènes et spécialement des virus, ainsi que pour éviter le colmatage des filtres et l'engorgement des distributeurs. Les coliformes fécaux sont inclus comme indicateur de pollution et les nématodes intestinaux comme un paramètre directement lié à un groupe de pathogènes et comme indicateur de pollution des protozoaires retirés des eaux résiduelles traitées, comme les vers intestinaux. Les méthodes de traitement (secondaire, tertiaire/stockage et désinfection, ou maturation par stabilisation) sont aussi incluses pour garantir les paramètres de qualité. Le *Code d'usage* rassemble des règles de pratique complémentaires indissociables des *Directives*, spécifiant les techniques de traitement, les méthodes d'irrigation pour chaque culture ainsi que les critères de manutention des systèmes d'irrigation, les mesures de sécurité, etc. Il incorpore également des mesures additionnelles qui empêchent la transmission des maladies. Les techniques et méthodes de traitement tertiaire sont également spécifiées.

Irrigation sous pression avec les eaux usées traitées

Tous les systèmes d'irrigation sous pression décrits dans ce manuel peuvent être utilisés pour l'irrigation avec des eaux résiduelles traitées. Les normes de

qualité micro-biologique de l'eau, les pratiques culturales et le type de culture sont les principaux facteurs associés qui influencent la sélection du système d'irrigation. Différentes techniques et méthodes sont suggérées, pour de nombreuses raisons, pour l'irrigation de différentes cultures.

En général, les systèmes de micro-irrigation (goutte-à-goutte, asperseurs à faible débit, barboteurs et mini-asperseurs) conviennent pour l'utilisation de ce type d'eau, car ces méthodes localisées permanentes assurent un contact minimum de l'eau traitée avec les cultures et les fermiers (figures 7.2 et 7.3). L'aspersion conventionnelle (installations fixes) et les systèmes d'aspersion mécanisés (pivot central ou rampe transversale) conviennent sous certaines conditions. Les systèmes à bas coût (bassin ou sillon alimenté par tuyau, et tuyaux de distribution en surface) sont aussi recommandés. Leur utilisation dépend essentiellement de la qualité des eaux, du type de cultures, du risque potentiel pour la santé des ouvriers, le public et l'environnement et, finalement, des connaissances et compétences

FIGURE 7.2 - Irrigation goutte-à-goutte du maïs avec des eaux recyclées.



FIGURE 7.3 - Aspersion avec des eaux municipales traitées.



TABLEAU 7.13 - Directives chypriotes pour l'utilisation en irrigation des effluents domestiques traités

Cultures irriguées	DBO mg/l	SS mg/l	Coliformes fécaux /100 ml	Vers intestinaux/l	Traitement requis
Toutes cultures (a)	(A) 10*	10*	5* 15**	Nil	Secondaire et tertiaire + désinfection
Aires d'agrément d'accès illimité Légumes mangés cuits (b)	(A) 10* 15**	10* 15**	50* 100**	Nil	Secondaire et tertiaire + désinfection
Cultures pour consommation humaine Aires d'agrément d'accès limité	(A) 20*	30* 45**	200* 1 000**	Nil	Secondaire et stockage >7 jours et désinfection ou tertiaire et désinfection
	(B) --	--	200* 1 000**	Nil	Étang de stabilisation- maturation, temps total de rétention >30 jours ou secondaire et stockage >30 jours
Cultures fourragères	(A) 20* 30**	30* 45**	1 000* 5 000**	Nil	Secondaire et stockage >7 jours et désinfection ou tertiaire et désinfection
	(B) --	--	5 000*	Nil	Étang de stabilisation- maturation, temps total de rétention >30 jours ou secondaire et stockage>30 jours
Cultures industrielles	(A) 50* 70**	--	3 000* 10 000**	--	Secondaire et désinfection
	(B) --	--	3 000* 10 000**	--	Étang de stabilisation- maturation, temps total de rétention >30 jours ou secondaire et stockage>30 jours

(A) Méthodes de traitement mécanisées (boues activées)

(B) Méthodes physiques de traitement (étangs de stabilisation)

* Ces valeurs ne doivent pas être dépassées dans 80 pour cent des échantillons par mois; 5 échantillons au minimum

** Valeur maximale admise

(a) L'irrigation de plantes à feuilles, à bulbes et à racines mangés crus n'est pas autorisée

(b) Pommes de terre, betteraves, colocase

Remarque:

Les effluents ne doivent pas contenir de substances susceptibles de s'accumuler dans la partie comestible des cultures et prouvées toxiques pour les humains et les animaux.

des fermiers pour l'utilisation de ce type d'eau. Pour de plus amples détails, consulter le *Code d'usage chypriote* (voir tableau 7.13 ci-dessous), qui fournit les informations adéquates et spécifiques pour la presque totalité des cultures et techniques d'irrigation appropriées. L'installation de dispositifs de filtrage efficaces sur l'ouvrage de tête du système est d'une importance majeure, tout comme celle de l'automatisation des méthodes d'aspersion et de nébulisation pour l'application de l'eau.

Code d'usage pour l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation à Chypre

1. Les installations de traitement des eaux d'égout et de désinfection doivent être conservées et entretenues en permanence dans un état de fonctionnement satisfaisant et efficient aussi longtemps que les effluents traités sont destinés à l'irrigation, et conformément à la licence établie selon la législation existante.
2. Des employés qualifiés seront recrutés pour assurer le bon fonctionnement de l'installation de traitement et de désinfection; leurs nominations devront être approuvées par les pouvoirs compétents qui veilleront à ce que les personnes soient compétentes pour accomplir les missions requises, nécessaires pour satisfaire les conditions définies en 1).
3. L'installation de traitement et de désinfection doit être gérée sur une base quotidienne, conformément au programme établi par les pouvoirs compétents et les comptes-rendus de toutes les opérations effectuées, selon les instructions des pouvoirs compétents, seront établis et archivés. Une copie facilement accessible sera conservée dans les bâtiments de l'usine.
4. Tous les robinets, prises, et vannes du système d'irrigation seront cadenassés afin d'éviter leur utilisation par des personnes non autorisées. Toutes les prises seront peintes en rouge et étiquetées, de façon à avertir le public que l'eau n'est pas potable.
5. Aucune connection n'est autorisée avec des conduites ou ouvrages d'eau potable. Toutes les conduites transitant des eaux usées traitées seront marquées en rouge, de façon à les distinguer de celles utilisées pour l'eau potable. Dans les cas inévitables où des conduites d'eaux usées traitées et d'eau potable doivent être posées l'une à côté de l'autre, on enterrera la conduite d'eaux d'égout à au moins 50 cm en dessous de la conduite d'eau domestique.
6. Les méthodes d'irrigation autorisées et les conditions d'application diffèrent entre les divers types de plantations de la manière suivante:

- 6.1. Pelouses de parcs et plantes ornementales dans les aires d'agrément d'accès illimité:
- méthodes d'irrigation souterraine;
 - irrigation goutte-à-goutte;
 - asperseurs rétractables à basse pression, pluviométrie élevée, faible angle du jet ($< 11^\circ$). L'aspersion se fera de préférence de nuit, quand il n'y a personne.

- 6.2. Pelouses de parcs et plantes ornementales dans les aires d'agrément d'accès limité, cultures industrielles et fourragères:
- méthodes d'irrigation souterraine;
 - irrigation goutte-à-goutte;
 - barboteurs;
 - méthodes d'irrigation de surface;
 - asperseurs à basse capacité;
 - irrigation par aspersion ou vaporisation, autorisée avec une zone tampon de 300 m.

Pour les cultures fourragères, il est recommandé d'arrêter l'irrigation au moins une semaine avant la récolte; aucun animal en lactation ne pourra brouter sur des pâturages irrigués par les effluents traités. Les services vétérinaires en seront informés.

- 6.3. Vignobles
- irrigation goutte-à-goutte;
 - mini-asperseurs et asperseurs (au cas où les cultures seraient mouillées, l'irrigation sera interrompue deux semaines avant la récolte).

Systèmes d'irrigation mobiles non autorisés. Aucun fruit ne sera récolté sur le sol.

- 6.4. Arbres fruitiers
- irrigation goutte-à-goutte;
 - barboteurs;
 - bassin alimenté par un tuyau;
 - mini-asperseurs.

Aucun fruit ne sera ramassé sous l'arbre, excepté pour les fruits à coque. Si les fruits récoltés sont mouillés, l'irrigation devra être arrêtée une semaine avant la récolte.

- 6.5. Légumes
- irrigation souterraine;
 - irrigation goutte-à-goutte.

Les cultures ne doivent pas entrer en contact avec les eaux traitées. D'autres méthodes d'irrigation peuvent être considérées.

6.6. Légumes consommés cuits

- irrigation souterraine;
- irrigation goutte-à-goutte;
- aspersion.

D'autres méthodes d'irrigation peuvent être autorisées après approbation des pouvoirs compétents, qui pourront restreindre les méthodes proposées afin de protéger la santé publique et l'environnement.

7. Les méthodes de traitement tertiaire suivantes sont acceptables:

- 7.1. coagulation plus floculation suivie d'une filtration rapide au travers de sable;
 - 7.2. filtres à sable lents;
 - 7.3. toute autre méthode susceptible d'assurer l'élimination totale des œufs d'helminthe et de réduire les coliformes fécaux à un niveau acceptable, sous réserve d'approbation par les pouvoirs compétents.
8. Des méthodes appropriées de désinfection doivent être appliquées lorsque les effluents d'eaux d'égout sont susceptibles d'être utilisés pour l'irrigation. En cas de chloration, le niveau total de chlore libre dans l'effluent à la sortie du réservoir de chloration, après une durée de contact d'une heure, doit être au moins de 0,5 mg/l mais inférieur à 2 mg/l.
9. Des dispositifs appropriés pour le suivi des paramètres essentiels de qualité seront maintenus sur le site de traitement.

CHAPTER 8: Systèmes d'irrigation par aspersion à tuyaux flexibles mobiles

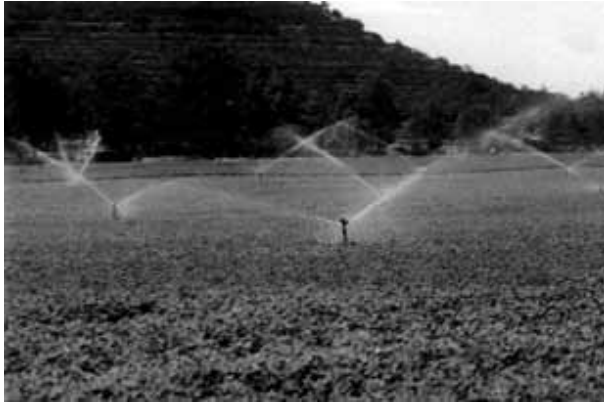
INTRODUCTION

Diverses méthodes et installations d'irrigation par aspersion, aussi bien fixes que mobiles, ont été expérimentées au cours des dernières décennies pour satisfaire les besoins des exploitants. Le système le plus largement utilisé et le moins coûteux pour irriguer les fermes de petite et moyenne dimensions est le système d'aspersion à rampes mobiles avec une pression de fonctionnement basse à moyenne (2–3,5 bars). Les asperseurs sont disposés à intervalles égaux (6–12 m) sur les conduites latérales posées sur le champ à des intervalles prédéterminés (nommés positions des conduites latérales) de 6 à 18 m, de façon que l'eau d'irrigation soit répartie uniformément sur toute la zone couverte (figure 8.1).

Pour éviter le mouvement des conduites latérales et réduire les besoins en main-d'oeuvre, on a conçu le système d'irrigation par aspersion à tuyaux flexibles mobiles. Il s'agit d'une amélioration du système conventionnel à rampes mobiles, qui combine quelques caractéristiques des installations semi-permanentes avec celles des installations permanentes. Dans ce système, les lignes latérales d'aspersion sont disposées de manière permanente à un grand écartement, jusqu'à 60 m. Les asperseurs montés sur des trépieds ne sont pas connectés directement sur les conduites latérales, mais leur sont raccordés par un tuyau flexible en polyéthylène de 20 à 25 mm de diamètre et pouvant atteindre 30 m de long. Les tuyaux avec les asperseurs peuvent être déplacés latéralement de part et d'autre du raccord pour couvrir un nombre maximal de positions latérales.

Comme les asperseurs fonctionnent à basse ou moyenne pression, le système peut être classifié comme une installation à basse ou moyenne pression, semi-permanente et à déplacement manuel. Il est recommandé pour l'irrigation de cultures à couverture totale tels la luzerne, le maïs, le coton, la pomme de terre, la carotte et l'arachide. Il doit être noté que ce système par tuyaux mobiles est différent du système d'irrigation par bassins au moyen de tuyaux flexibles. Ce dernier n'est utilisé que pour l'aspersion sous ramure et les asperseurs sont montés sur de petits patins, qui peuvent être facilement tirés vers l'arrière à distance.

FIGURE 8.1 - Irrigation par asperseurs à tuyaux flexibles mobiles.



TRAME DU SYSTÈME ET COMPOSANTES

La trame du système est standard et comprend un ouvrage de tête, un réseau de distribution en conduites (principales, secondaires, adducteurs, le cas échéant), des bornes, des conduites latérales et un certain nombre de tuyaux (un par asperseur).

L'ouvrage de tête est simple, incluant seulement les vannes de réglage (sectionnement, anti-retour, purgeurs d'air, etc.). Les conduites principales et secondaires sont en général des tuyaux rigides en PVC enterrés, de 90 à 150 mm de diamètre, ou des tuyaux en PEHD de 75 à 110 mm de diamètre, posés à la surface du sol. Les bornes (2 ou 3 pouces) sont implantées le long des adducteurs (principaux ou secondaires), à un intervalle identique à celui des conduites latérales d'aspersion. Les adducteurs et les conduites latérales peuvent être constitués soit de tuyaux en PEHD, soit de tuyaux à raccord rapide en acier léger ou aluminium (63 à 75 mm). Les tuyaux flexibles sont en PEFD ductile (20 à 25 mm). Les trépieds des asperseurs peuvent être fabriqués à partir de tiges de fer de 8 mm.

LES ASPERSEURS

L'eau débitée par les dispositifs d'aspersion est projetée en l'air et retombe sur le sol en arrosant un cercle autour de l'asperseur. La plupart des asperseurs agricoles sont dotés d'un mécanisme à rotation lente, avec un battant, ou tournant (battant en forme de coin et ressort, ou battant et

balancier à contre-poids) et fonctionnent avec une pression basse à moyenne (2 à 3,5 bars). Ils sont munis de deux buses de projection de l'eau: la principale de longue portée, de plus gros diamètre, couvre la zone éloignée de l'asperseur, tout en activant le mécanisme de rotation de l'asperseur; la buse secondaire pulvérise l'eau à proximité de l'asperseur. Les buses sont interchangeables pour permettre des variations de performance en fonction des besoins. Les asperseurs sont en laiton ou en plastique à haute résistance; la plupart comportent plusieurs pièces en laiton et d'autres en plastique. L'axe et le ressort sont faits d'acier inoxydable. Les principales caractéristiques des asperseurs utilisés par les systèmes à tuyaux flexibles sont les suivantes:

- deux buses: 3–6 mm (longue portée) x 2,5–4,2 mm (proximité);
- basse à moyenne pression de fonctionnement: 1,8–3,5 bars;
- débit hydraulique: 1,1–3 m³/h;
- diamètre de couverture (arrosé): 18–35 m;
- angle du jet: 20°–30° (sauf lorsqu'un angle très faible est requis, par exemple en cas de vents forts, ou d'eaux traitées);
- type de raccord: fileté interne ou externe 0,5–1 pouce.

Afin d'assurer une aspersion satisfaisante avec des asperseurs rotatifs conventionnels, la pression minimale de fonctionnement doit être au moins de 2 bars.

CRITÈRES ET CONSIDÉRATIONS DE CONCEPTION

L'eau projetée par un simple asperseur n'est pas uniformément distribuée sur la totalité de la surface; une plus grande quantité d'eau tombe à proximité de l'asperseur, alors que la périphérie en reçoit moins. Afin d'assurer une pluviométrie uniforme sur toute la surface irriguée, les asperseurs sont toujours placés de façon à ce que les cercles irrigués se superposent les uns aux autres dans les deux directions. Cette disposition s'appelle l'espacement d'aspersion. L'espacement des asperseurs le long des lignes latérales est symbolisé par SL, et l'espacement entre deux lignes par Sm. La trame est carrée, rectangulaire ou triangulaire, avec SL = Sm.

Afin d'obtenir une bonne uniformité de distribution par superposition, l'espacement des asperseurs (Sm) ne doit pas excéder 65 pour cent du diamètre de couverture de l'asperseur dans des conditions de vent léger ou modéré dans les dispositions carrées ou rectangulaires. Dans le cas de la disposition triangulaire, l'espacement peut être accru jusqu'à 70 pour cent du diamètre de couverture. Dans des conditions de vent fort, l'espacement ne dépassera pas 50 pour cent du diamètre de couverture, et il faudra placer les conduites latérales perpendiculairement à la direction du vent. Quand la force du vent dépasse 3,5 m/s, l'aspersion n'est pas recommandée (figure 8.2).

Le taux moyen d'application (pluviométrie) est fonction du débit de l'asperseur et de l'espacement des asperseurs:

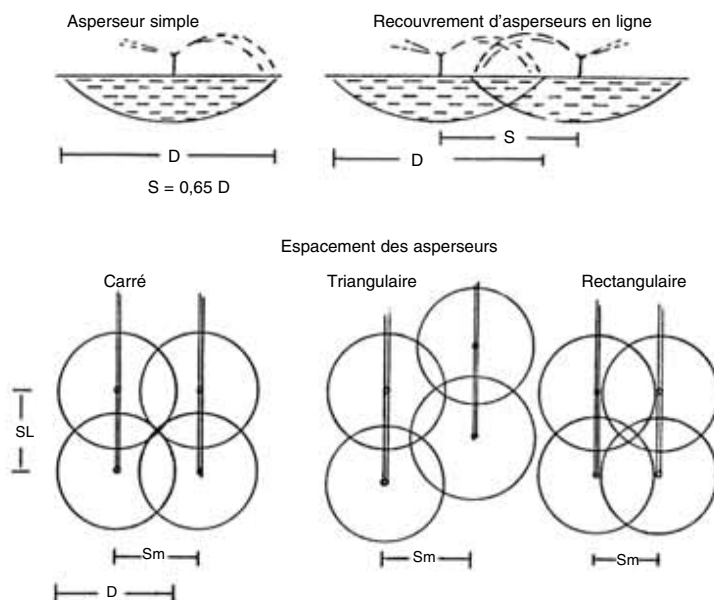
$$\text{Pluviométrie (mm/heure)} = \text{débit de l'asperseur (l/h)} \div \text{SL} \times \text{Sm (m)}$$

La pluviométrie ne doit pas excéder le taux d'infiltration du sol (25 mm/h dans les sols légers, 8 à 16 mm/h dans les limons et 2 à 8 mm/h pour les argiles).

RÉGIME DES VENTS

La direction et la vitesse du vent doivent être enregistrées et catégorisées (0-0,7 m/s: vent nul, 0,7-2,5 m/s: vent léger, 2,5-3,5 m/s: vent modéré à fort, et >3,5 m/s vent très fort). L'aspersion est déconseillée lorsque les vents sont forts.

FIGURE 8.2 - Profils d'humidification du sol sous aspersion.



D: diamètre du cercle arrosé; SL = espacement le long de la ligne; Sm = espacement entre les lignes Dans des conditions de vent normales (environ 2m/s): $S = 0,6 D$
 Dans des conditions de vent fort (de 2,5 à 3,5m/s): $S = 0,5 D$

Dans des systèmes à basse/moyenne pression, l'écartement habituel des asperseurs est de 6, 9 ou 12 m le long du raccord, et de 12 ou 18 m entre les conduites latérales. À l'origine, ces espacements étaient adéquats en raison de la longueur standard des tuyaux à raccord rapide; mais ils se sont avérés très pratiques, car les espacements réduits, les débits faibles et les pluviométries de l'ordre de 8–14 mm/h donnent les meilleurs résultats. La hauteur de l'asperseur au-dessus du sol est au minimum de 60 cm pour les cultures basses. Pour les cultures hautes, la hauteur sera adaptée en conséquence.

Les tuyaux mobiles légers à raccord rapide (acier ou aluminium) peuvent être utilisés non seulement comme conduites latérales d'aspersion, mais également comme lignes de distribution ou de transfert. Ces tuyaux restent très longtemps en bon état. Il est arrivé que des fermiers revendent avec profit de nombreux tuyaux de ce type, même après un usage prolongé.

La procédure de dimensionnement est la même que pour les systèmes d'aspersion à tuyaux mobiles. Les conduites latérales d'aspersion sont posées sur le sol perpendiculairement aux lignes d'adducteurs (principaux et secondaires) en position latérale conforme à l'espacement S_m défini, tous les 6, 12, ou 18 m. Le nombre de conduites latérales fonctionnant simultanément, capables de distribuer la totalité du débit du système, est nommé le jeu de lignes latérales; ces lignes sont inférieures en nombre à leurs positions. Par conséquent, une fois qu'il a rempli ses fonctions dans une position, le jeu de conduites latérales est déplacé à la position suivante, et ainsi de suite. Le nombre de positions des conduites latérales doit être un multiple du nombre de lignes de conduites latérales par jeu de lignes. Le quotient de ces deux nombres est le nombre de mouvements ou de tours par cycle d'irrigation.

Dans le système d'aspersion à tuyaux flexibles mobiles, les asperseurs peuvent être déplacés des deux côtés des lignes de conduites latérales jusqu'à couvrir une distance maximale de 60 m, correspondant à six positions de conduites latérales à 12 m d'espacement (S_m). Au lieu de déplacements et positions de conduites latérales il peut y avoir des déplacements et positions d'asperseurs. Ainsi, une ligne latérale peut couvrir jusqu'à six positions d'asperseurs. Deux jeux de lignes latérales complètes, l'une en fonction, l'autre en attente, avec leurs tuyaux flexibles et asperseurs, peuvent desservir un champ entier uniquement en déplaçant les asperseurs d'une position à l'autre.

La longueur maximale admissible d'une ligne de conduites latérales est fonction du diamètre de la conduite, du nombre d'asperseurs (de leur espacement) et du débit. La perte de charge due au frottement de l'eau dans la ligne latérale ne doit pas excéder 20 pour cent de la pression à l'entrée. À partir de cette hypothèse, le tableau 8.1 présente quelques données indicatives pour des conduites latérales à raccord rapide en acier léger ou en aluminium.

TABLEAU 8.1 - Nombre maximal d'asperseurs à basse/moyenne pression sur des conduites latérales à raccord rapide

sur des conduites latérales à raccord rapide							
Pression asperseurs bars	Débit des asperseurs m³/h	50 mm		70 mm		89 mm	
Espacement SL							
		6 m	12 m	6 m	12 m	6 m	12 m
2,5	1,5	12	10	23	18	36	28
3,0	1,65						
3,5	1,8						
2,5	2,0	10	8	19	15	30	23
3,0	2,2						
3,5	2,3						

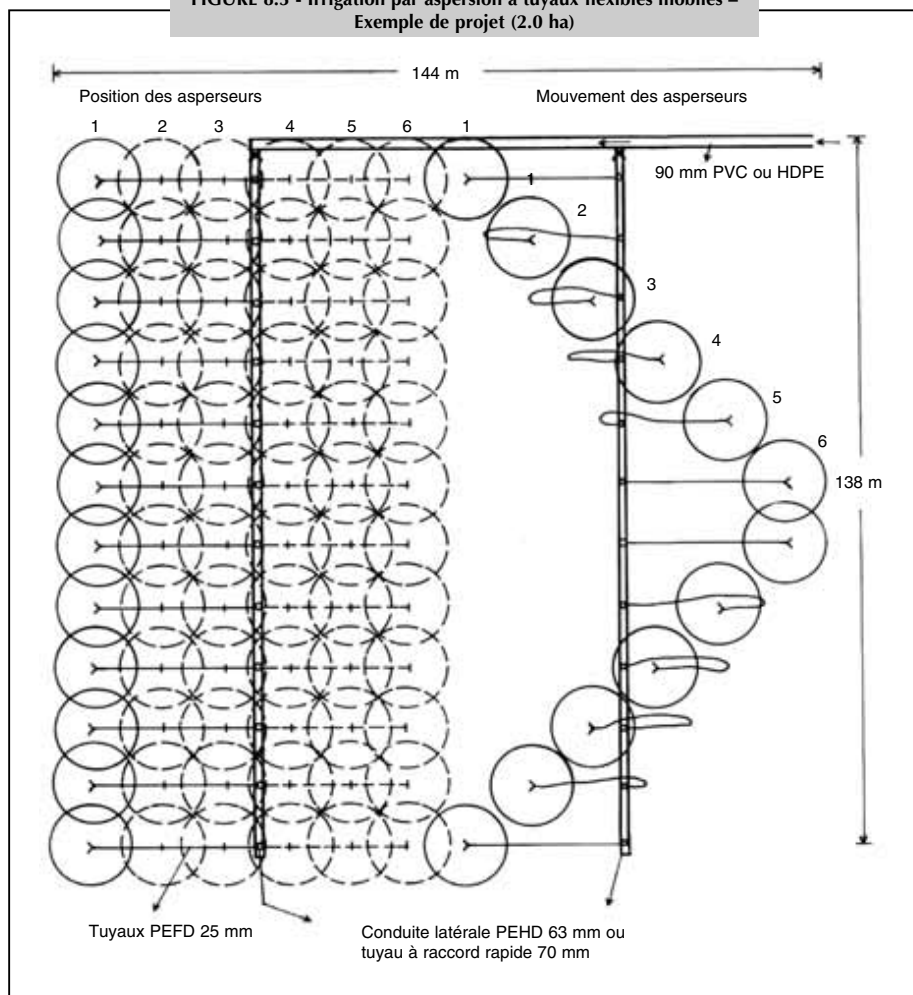
PROGRAMMATION DE L'IRRIGATION

Avec l'irrigation par aspersion, la totalité de la surface est arrosée et ainsi, un plus grand volume de sol est humidifié. Ceci permet de maintenir une teneur en eau du sol plus élevée que dans le cas des méthodes localisées, accroissant ainsi l'intervalle entre deux irrigations. Plus le volume de sol humidifié est élevé, plus tard la culture souffrira de déficit hydrique. La préparation du programme d'irrigation suit la procédure standard, c'est-à-dire prend en considération la capacité du sol à retenir l'humidité, la physiologie de la plante (profondeur d'enracinement, stade de croissance, coefficient cultural, etc.), ainsi que le climat. L'efficacité d'irrigation est d'environ 75 pourcent. En général, la profondeur d'application de la dose d'irrigation pour les cultures de plein champ à enracinement profond sous aspersion varie de 40 à 100 mm. Avec une pluviométrie d'environ 14 mm/h, le temps de fonctionnement à chaque position est d'environ 3 à 7 heures. En aspersion, des intervalles de deux semaines entre les irrigations sont courantes.

COÛTS

Le coût total de l'installation du système sur 2 ha (comme dans l'exemple ci-après) est de 1 790 \$EU, soit moins de 1 000 \$EU/ha. Une analyse de coût indique que le coût de l'ouvrage de tête est d'environ 70 \$EU. Les conduites en plastique, PVC et PE, du réseau de distribution constituent la partie la plus coûteuse, qui s'élève à 1 177 \$, soit 66 pour cent du coût total. L'équipement sophistiqué importé, tels les asperseurs, représente rarement plus de 10 pour cent du coût total.

FIGURE 8.3 - Irrigation par aspersion à tuyaux flexibles mobiles – Exemple de projet (2.0 ha)



AVANTAGES

- Efficience d'irrigation élevée: 75 pour cent.
- Conception simple, installation et fonctionnement simplifiés.
- Adaptabilité à tous les types de sols, à de nombreuses espèces de cultures et à de petites parcelles irrégulières.
- Moindre coût par rapport à bien d'autres systèmes modernes d'irrigation.
- Ne nécessite pas de main-d'oeuvre qualifiée.

INCONVÉNIENTS

- Pénible et déplaisant labeur de déplacement des asperseurs avec leurs tuyaux flexibles.
- Longue durée du cycle d'irrigation.

EXEMPLE DE PROJET – IRRIGATION DU COTON PAR ASPERSION À TUYAUX FLEXIBLES MOBILES

Superficie et cultures

Une superficie carrée et nivelée d'environ 2 ha, plantée de coton au début d'août.

Sol, eau et climat

Sol de texture moyenne de bonne structure, avec une infiltration et un drainage interne favorables. L'humidité disponible du sol est de 110 mm/m de profondeur. L'eau est de bonne qualité sans risque de salinité ni de toxicité; elle provient d'un forage équipé avec une unité de pompage fournissant 36 m³/h. La période de pointe pour l'irrigation a lieu en octobre, au milieu de la période de croissance de la culture.

Besoins en eau et programme d'irrigation

La valeur de l'évaporation en bac en octobre est de 5,6 mm/jour. Cette dernière multipliée par 0,66 (facteur de correction de l'évaporation en bac) donne une ET₀ de 3,7 mm/jour. À ce stade, le coefficient cultural du coton k_c est de 1,05, la profondeur d'enracinement de 1 m et la baisse d'humidité de 50 pour cent. Par conséquent, $ET_c \text{ coton} = 3,7 \times 1,05 = 3,88 \text{ mm/jour}$. La profondeur nette d'application est de S_a : 110 mm x 1 m de profondeur

d'enracinement $\times 0,5$ de tarissement de l'humidité = 55 mm. L'intervalle maximum admissible d'irrigation en octobre est de $55 \text{ mm} \div 3,88 \text{ mm/jour} = 14$ jours. La fréquence d'irrigation dépend de plusieurs facteurs, mais en aucun cas elle ne doit excéder l'intervalle maximum d'irrigation admissible. L'efficacité d'application du système étant de 75 pour cent, la profondeur brute d'application en pointe est de $55 \text{ mm} \div 0,75 = 73,3 \text{ mm}$. La dose brute d'irrigation est de: $73,3 \text{ mm} \times 10 \times 2 \text{ ha} = 1\,466 \text{ m}^3$.

Trame du réseau, performances et caractéristiques hydrauliques

Une conduite principale en PVC rigide de 90 mm de diamètre est enterrée le long de la limite nord du champ. Deux conduites latérales en PEHD de 63 mm sont implantées perpendiculairement à la conduite principale, orientées du nord au sud et espacées de 60 m; elles sont raccordées à la conduite principale par des bornes de prise en surface. Sur les lignes latérales et à des intervalles réguliers de 12 m, des tuyaux flexibles en PE de 25 mm et de 30 m de long sont raccordés et étendus sur les côtés. À l'autre extrémité du tuyau sont branchés les asperseurs montés sur des trépieds (tableaux 8.2 et 8.4 et figure 8.4).

- caractéristiques et performances des asperseurs: basse pression, asperseurs à deux buses; débit $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ à 2,5 bars de pression nominale, diamètre du cercle arrosé: 26 m;
- espacement des asperseurs: $12 \times 12 \text{ m}$;
- pluviométrie: $10,4 \text{ mm/h}$;
- nombre d'asperseurs par latéral: 12;
- nombre de conduites latérales: 2;
- nombre total d'asperseurs: 24 (fonctionnant simultanément);
- débit d'une conduite latérale: $18 \text{ m}^3/\text{h}$;
- débit total du système: $36 \text{ m}^3/\text{h}$;
- nombre de position d'asperseurs (et rotation de conduites latérales): 6;
- durée d'application par rotation: $73,3 \text{ mm} \div 10,4 = 7$ heures;
- durée du cycle d'irrigation: 42 heures.

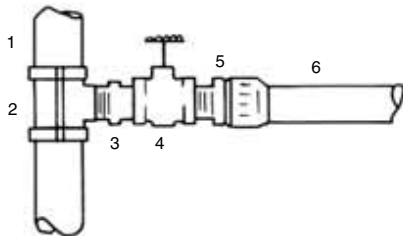
TABEAU 8.2 - Charge totale dynamique requise

	bars
Pression requise à l'asperseur	2,50
Pertes de charge dans le tuyau flexible en PEHD de 30 m	0,33
Pertes de charge dans les conduites latérales en PEHD 63 mm	0,47
Pertes de charge sur la conduite principale en PVC 90 mm	0,15
Pertes de charge mineures	0,25
Charge totale dynamique requise:	3,70

**TABLEAU 8.3 - Liste des équipements nécessaires pour une installation
d'aspersion à tuyaux flexibles mobiles (devis quantitatif)**

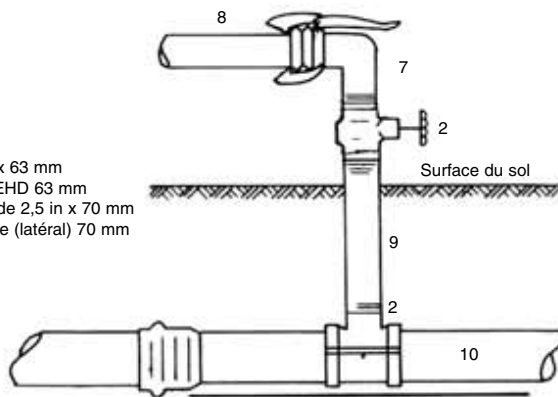
Pièce n°	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
	Réseau de distribution			
1.	Conduite PVC rigide 90 mm, 6 bars	110 m	2,50	275,00
2.	Conduite PEHD 63 mm, 6 bars	280 m	1,80	504,00
3.	Adaptateur PP 3 in x 90 mm	1 U	10,00	10,00
4.	Adaptateur PP 2,5 in x 63 mm	2 U	5,00	10,00
5.	Bouchon PP 90 mm	1 U	10,00	10,00
6.	Bouchon PP 63 mm	2 U	5,00	10,00
7.	Collier prise en charge PP 90 mm x 2,5 in	2 U	3,00	6,00
8.	Collier prise en charge PP 63 mm x ¾ in	24 U	1,30	31,20
9.	Adaptateur PP ¾ in x 25 mm	48 U	1,00	48,00
10.	Tube de rallonge fileté 2,5 in 60 cm	2 U	4,00	8,00
11.	Robinet-vanne 2,5 in	2 U	13,00	26,00
12.	Raccord 2,5 in	2 U	1,00	2,00
13.	Trépied d'asperseur	24 U	8,00	192,00
14.	Asperseur à deux buses, 1,5 m³/h à 2,5 bars	24 U	8,00	192,00
15.	Tuyaux flexibles PEFD 25 mm, 4 bars	720 m	0,40	288,00
	Excavation et remblai tranchée	110 m	1,00	110,00
	Sous-total			1722,20
	Ouvrage de tête			
16.	Vanne de contrôle laiton 2,5 in	1 pc	15,00	15,00
17.	Vanne de sectionnement laiton 2,5 in	2 U	13,00	26,00
18.	Té 2,5 in (métal galvanisé ou PVC)	3 U	3,50	10,50
19.	Raccord 2,5 in	4 U	1,00	4,00
20.	Purgeur d'air 1 in	1 pc	12,00	12,00
	Sous-total			67,50
	COÛT TOTAL:			1789,70

FIGURE 8.4 - Techniques de raccord pour l'aspersion à tuyaux flexibles mobiles.



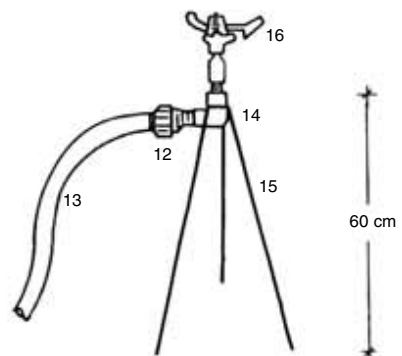
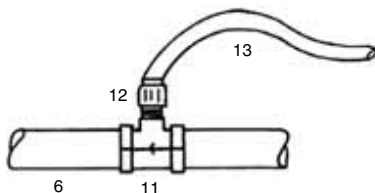
- 1 – Conduite PEHD 90 mm (principale)
- 2 – Collier de prise en charge PP 90 mm x 2,5 in
- 3 – Raccord 2,5 in

- 4 – Robinet-vanne 2,5 in
- 5 – Adaptateur PP 2,5 in x 63 mm
- 6 – Conduite (latérale) PEHD 63 mm
- 7 – Coude à raccord rapide 2,5 in x 70 mm
- 8 – Tuyau à raccord rapide (latéral) 70 mm



Fond de tranchée

- 9 – Tube de rallonge fileté 2,5 in
- 10 – Conduite PVC rigide enterrée 90 mm
- 11 – Collier de prise en charge PP 63 mm x 3/4 in
- 12 – Adaptateur PP 3/4 in x 25 mm
- 13 – Tuyau souple PEFD 25 mm
- 14 – Coude fer galvanisé 3/4 in
- 15 – Trépied
- 16 – Asperseur (2 buses)



CHAPITRE 9: Systèmes d'irrigation par aspersion à enrouleurs à rampes repliables

INTRODUCTION

Le système d'irrigation par aspersion à enrouleurs à rampes repliables est un système mécanisé complètement automatique, aisé à transporter d'un champ à l'autre (figure 9.1). La rampe d'aspersion, montée sur un chariot muni de roues à une hauteur de 1,3 à 2,5 m au-dessus du sol, est traînée à l'extrémité du champ jusqu'à 400 m du corps principal de l'engin (un bâti surmonté d'un tambour) qui reste près de la borne. Le chariot est relié au bâti par un long tuyau en PE posé sur le sol. Pendant le fonctionnement, le tuyau s'enroule sur le tambour fixé sur le corps principal en tractant vers l'arrière le chariot avec la rampe mobile qui irrigue une bande de terrain, jusqu'à ce que toute la longueur du champ soit couverte. Les rampes repliables d'aspersion sont des systèmes compacts opérant à basse/moyenne pression (3 à 4,5 bars). La superficie irriguée par tour (secteur) est de l'ordre de 0,4 à 2 ha selon la dimension de l'unité. Ces systèmes sont utilisés pour l'irrigation des fourrages, céréales, pommes de terre, arachides ainsi que la plupart des cultures industrielles de plein champ; ils sont beaucoup employés pour l'irrigation supplémentaire des céréales (blé et orge) durant les mois d'hiver.

FIGURE 9.1 - Rampe d'aspersion en service sur son chariot.



TRAME DU SYSTÈME ET COMPOSANTES

Une rampe équipée de buses d'aspersion rotatives à basse pression vaporise l'eau d'irrigation au-dessus des plantes. La rampe est une simple conduite mobile d'aspersion suspendue au-dessus du sol. Elle est montée sur un chariot roulant et alimentée par un long tuyau flexible en PE raccordé à un gros tambour d'enroulement, placé sur un bâti à base pivotante montée sur roues (figure 9.2). Celui-ci est équipé d'un dispositif de commande et d'autres systèmes optionnels assurant un bon fonctionnement du système. Pour l'installation, tout l'équipement est traîné par un petit tracteur agricole, puis connecté à une borne ou toute autre source d'eau sous pression. Le chariot avec la rampe pliée ou déployée est tracté jusqu'au bout du champ à irriguer sur toute la longueur du tuyau flexible, en général 400 m au maximum.

Le système se déplace avec la pression hydraulique; la pression est transmise de la turbine centrale du système au tambour enrouleur par un entraînement à chaîne et une boîte de vitesse. Pendant le fonctionnement, le tambour actionné par la turbine tire automatiquement le chariot avec la rampe sur une large bande de terrain à irriguer, en enroulant le tuyau sur le tambour. La vitesse de tractation est réglable, entre 2 et 60 m/heure. Lorsque le tuyau est complètement rétracté, le tambour cesse automatiquement l'enroulage. Le bâti à base pivotante peut être tourné (180° maximum) et la rampe avec son tuyau d'aspersion orientée dans une autre direction, pour irriguer une nouvelle zone du même champ. Ensuite, toute l'unité peut être déplacée jusqu'à une autre parcelle ou stockée.

FIGURE 9.2 - La rampe, le tuyau en PE et le bâti à tambour.



La rampe avec les distributeurs (mini-diffuseurs) et le chariot mobile

La conduite de la rampe comprend des tubes pliables en acier galvanisé au zinc à chaud de 2 à 3 pouces (50–80 mm) de diamètre et d'environ 4 m de longueur, avec des diamètres réduits aux 2 extrémités. La rampe est montée sur un chariot à 2 ou 4 roues selon la dimension des rampes, construit en acier et aluminium de haute qualité, équipé de supports pivotants avec dispositifs de blocage pour le transport de la rampe. Celle-ci est suspendue au-dessus du sol entre 1,3 et 2,5 m du sol, cette hauteur étant ajustable hydrauliquement par un mécanisme spécial monté sur le chariot. Des contrepoids maintiennent la rampe constamment parallèle au sol. La rampe peut facilement et rapidement être repliée ou déployée par un seul opérateur, sa longueur totale variant entre 15 et 50 m selon le modèle. Des buses d'extrémité ou des asperseurs rotatifs à impact montés sur les deux bras de la rampe peuvent accroître significativement la largeur effective d'arrosage (largeur de la bande irriguée) (figure 9.3).

Les mini-diffuseurs sont en général du type à déflecteur avec des plaquettes à rainure fixes ou rotatives pour une distance de projection de l'eau plus longue (jusqu'à 6 m de rayon), comme dans les irrigateurs à pivot central. La dimension des buses varie de 2 à 5 mm et la pression de fonctionnement de 0,7 à 2,5 bars, avec des débits compris entre 100 l/h et 4 500 m³/h; les buses, qui peuvent fonctionner en demi-cercle (180°) ou cercle complet (360°), sont placées à la partie inférieure de la conduite, face au sol, à des intervalles de 1,5 à 2 m pour un recouvrement efficace. A proximité du bâti, des asperseurs à déflecteur en demi-cercle avec portée de jet réduite sont installés pour diriger l'aspersion devant la rampe, hors des roues, afin d'éviter leur engorgement dans des sols submergés, ce qui permet le retour du système sur un sol sec.

FIGURE 9.3 - Mini-diffuseurs en cercles complets et demi-cercles.



Le tuyau flexible en polyéthylène

Ce tuyau est fait de PEHD vierge spécial renforcé, résistant à de hautes pressions minimales de 10 bars. Il est conçu spécialement pour les machines à tambour d'enroulement et son diamètre varie de 75 à 110 mm selon le système, pour une longueur de 300 à 500 m. Une extrémité est branchée au tambour, l'autre à la rampe. Ce tuyau assure le transit de l'eau d'irrigation et l'alimentation de la conduite de la rampe.

Le bâti à tambour

Selon le modèle et les dimensions, le bâti, constitué de trains de roulement de construction lourde à deux, trois ou quatre roues, comprend un châssis tournant sur lequel le tambour à enrouler le tuyau peut pivoter de 270°, manuellement ou mécaniquement, pour occuper n'importe quelle position. L'ensemble de la machine reste fixe même lorsqu'elle est soumise à de fortes tractions durant l'irrigation. Le tambour enrouleur, d'un diamètre d'environ 2 m, est équipé d'un système d'entraînement à turbine à plein débit et d'une boîte à quatre vitesses, d'un dispositif de commande électronique ou mécanique, d'une vanne de sectionnement à surpression, d'un tachymètre et d'un capteur pour le réglage précis de la vitesse de rétraction. Le tambour démarre, fonctionne et s'arrête en toute sécurité; il s'arrête automatiquement en fin de rembobinage du tuyau (figure 9.4). Le mécanisme d'enroulement guide le tuyau en PE avec précision et uniformément durant tout le processus d'enroulement en évitant la formation de coudes et écrasements sur le tuyau enroulé. Le système peut être arrêté à tout moment grâce au levier de changement de vitesse. Le cas échéant, le tuyau en PE peut être enroulé très rapidement. Un système de vidange permet de vider l'eau laissée dans le tuyau au terme de

FIGURE 9.4 - Le bâti à tambour et le tuyau flexible en PE.



l'irrigation; simultanément, la rampe se replie facilement et le chariot dans sa position de transport est hissé hydrauliquement sur le support à tambour. Toute la structure est en acier galvanisé à chaud.

CRITÈRES ET SPÉCIFICATIONS DE CONCEPTION

Les rampes mobiles d'arrosage sont des systèmes mobiles qu'il est facile de transférer d'un champ à l'autre en les tirant par un tracteur agricole. Les dimensions les plus utilisées par les fermiers sont les débits de 25 à 35 m³/h à une pression de fonctionnement de 3 à 4,5 bars, arrosant des bandes de 35 à 50 m de large avec une surface arrosée par tour de 0,8 à 1,5 ha, une durée de fonctionnement de 10 à 12 heures et une pluviométrie totale de 40 à 50 mm d'eau. Une telle machine d'irrigation peut facilement couvrir 25 ha d'irrigation supplémentaires durant les mois d'hiver. Cette pratique est habituellement réservée aux céréales en période de sécheresse. Chaque modèle peut être modifié pour des débits et des largeurs d'irrigation différents en remplaçant les buses d'arrosage de la rampe.

Superficie, topographie

La superficie à arroser doit être un champ agricole uni de forme régulière; elle doit permettre le déplacement du système d'une position à l'autre (figure 9.5). La rampe d'arrosage peut fonctionner sur un terrain irrégulier, mais le nivellement préalable du sol est recommandé pour obtenir une pente uniforme maximale de 1 pour cent. Une topographie irrégulière peut conduire à de nombreuses difficultés, en particulier si l'eau se met à ruisseler.

FIGURE 9.5 - Déplacement de la machine.



Sols

Le sol doit être de texture moyenne avec un taux d'infiltration de plus de 15 mm/h, un bon drainage interne et une capacité de rétention de l'eau suffisante.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir de stockage. Le système peut aussi être alimenté par des bornes localisées en divers points sur les bords de la parcelle. La pression de l'eau doit être adéquate pour un fonctionnement normal du système, mais en aucun cas inférieure à 3,5 bars; dans le cas contraire une pompe de remise en pression est nécessaire en tête du système pour fournir le débit demandé à la pression correcte. La prise du système sera connectée à la prise ou à la sortie de la pompe par un tuyau flexible à raccord rapide. A chaque position de la rampe doit correspondre une borne. La source d'eau doit être aussi proche que possible du champ à irriguer.

Qualité de l'eau

L'eau doit être propre et ne pas contenir de solides en suspension ni d'autres impuretés, avoir un pH normal de 6,5 à 8,4 et ne présenter aucun risque de salinité, de présence de sodium ni de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates et nitrates ou le bore. Si possible, la quantité totale de matière dissoute ne doit pas dépasser 1 500 mg/l (ppm); taux d'adsorption du sodium < 12; carbonate de sodium résiduel < 1,25 meq/l; teneur en bore < 0,7 mg/l; chlorures < 200 mg/l; nitrates (NO₃) < 100 mg/l et une faible teneur en bicarbonates (HCO₃).

Type de cultures

Les cultures qui seront cultivées sous irrigation par aspersion à enrouleurs à rampes repliables sont les mêmes qui sont recommandées par l'irrigation à pivot central et leur saison de croissance sera identique:

- *Cultures d'hiver*: blé, orge, mi-oct./mi-nov. (semis) à mai/juin (récolte)
– pois chiche: mars (semis)/juin (récolte) – lentilles: mai (semis) à juin (récolte).
- *Cultures industrielles*: soja: mars/avril (semis) à octobre/novembre (récolte) – maïs: mars, juin ou juillet (semis) à juillet/octobre (récolte)
– tournesol: mars (semis) / juin (récolte).

- *Autres cultures*: légumes à feuilles: début printemps, pommes de terre: printemps, automne, melons: mars à juin – juillet à octobre (récolte), arachides: avril à septembre, luzerne: pérenne.

SPÉCIFICATIONS PARTICULIÈRES ET PROGRAMME D'IRRIGATION

Il convient de souligner que ce système est entièrement différent des systèmes conventionnels d'irrigation par aspersion, car il est axé sur l'intensité de l'application de l'eau d'irrigation. Dans un système conventionnel fixe, la pluviométrie (P) est déterminée par le taux d'infiltration du sol et dépend du débit de l'asperseur (m³/heure) et de l'espacement (m) des asperseurs le long de la ligne et entre les lignes. La hauteur (D) d'application de l'eau (dose d'irrigation) est déterminée par le programme d'arrosage et dépend du nombre d'heures de fonctionnement. Par exemple, si P = 12 mm/h durant 3,5 heures, D = 12 mm/h x 3,5 h = 42 mm.

Dans le système d'aspersion à enrouleurs à rampes repliables, la pluviométrie P est pratiquement identique à la quantité d'eau requise par unité de surface à irriguer. Cette quantité est appliquée en une fois, comme dans les méthodes d'irrigation de surface et non durant une période donnée (durée d'application). En d'autres termes, la surface irriguée simultanément est limitée à la petite superficie arrosée en chaque instant par les mini-diffuseurs de la rampe, qui tout au long du trajet apportent la totalité de l'eau nécessaire. Ainsi, l'intensité d'irrigation est très élevée, atteignant 50 à 100 pour cent de la hauteur d'application d'irrigation. Il est évident que ruissellement et formation de flaques sont inévitables dans beaucoup de terrains à taux d'infiltration faible à modéré, en dépit des arguments commerciaux des fabricants et fournisseurs. Comme les fermiers ne considèrent pas qu'il soit pratique de revenir à plusieurs reprises, la dose d'eau d'irrigation ne peut être appliquée partiellement, comme c'est le cas dans le système à pivot central où l'on peut répéter les rotations.

Plus la vitesse de rétraction du chariot mobile est élevée, plus la hauteur d'eau appliquée est faible, et vice-versa. D'autres facteurs importants sont la superficie couverte par tour et le nombre d'heures de fonctionnement du système. Ainsi pour le calcul du programme d'arrosage, les deux formules suivantes peuvent être utilisées, (1) pour la détermination de la vitesse de rétraction et (2) pour la surface irriguée par tour:

$$S = \frac{Q \times 1000}{WD} \quad (1)$$

$$A = \frac{WSH}{10000} \quad (2)$$

où:

S: vitesse de rétraction en m/h

Q: débit du système en m³/h

W: largeur de la bande irriguée en m

D: hauteur d'eau d'irrigation en mm (dose d'irrigation)

A: superficie par position en ha

H: heures de fonctionnement du système

Pour le programme d'irrigation, les utilisateurs des systèmes d'aspersion à enrouleurs à rampes repliables peuvent utiliser les formules ci-dessus ou utiliser les tableaux préparés à cet effet par les fournisseurs (tableau 9.1). Ces tableaux donnent la hauteur d'eau calculée pour diverses vitesses de rétraction de la rampe, en fonction du débit du système et de la largeur de la bande irriguée.

TABEAU 9.1 - Exemple de tableau des performances pour diverses vitesses de rétraction et pluviométries

Débit du système m ³ /h	Largeur bande (mètres)	Hauteur d'application par position			
		20 mm	30 mm	40 mm	50 mm
		Vitesse de rétraction m/h			
17,5	50	17	12	9	7
30	50	30	20	15	12
37	50	37	25	18	15
45,9	50	46	31	23	18

Les valeurs de ce tableau sont calculées au moyen de la première formule indiquée ci-dessus pour la vitesse de rétraction.

Ce système est recommandé pour les cultures à racines profondes avec des dosages d'irrigation d'environ 40 à 50 mm. L'utilisation de mini-diffuseurs appropriés produisant de fines gouttes de dimension et distribution adéquates est d'une importance majeure, car les gouttes trop fines sont emportées par le vent, ce qui nuit à l'uniformité de la distribution, alors que les grosses gouttes perturbent la surface du sol et modifient le taux d'infiltration.

COÛTS

Le coût d'un système complet d'aspersion à enrouleurs à rampes repliables varie en fonction de la dimension de l'unité à irriguer. Les caractéristiques générales pour une machine de taille relativement modérée sont: débit du système: 25 à 40 m³/h; pression de fonctionnement: 3,0 à 3,5 bars; tuyau flexible en PEHD de 75 mm de diamètre et de 300 m de long; largeur de bande irriguée: 50m; et surface moyenne irriguée par position: 1,5 ha. Le coût d'une telle unité est d'environ 12 000 \$EU.

AVANTAGES

- Système d'irrigation automatisé, complet en une unité compacte mobile.
- Efficience d'irrigation de 80 pour cent.
- Gain de main-d'oeuvre considérable.
- Fines précipitations améliorant la structure du sol.
- Maniement simple.
- Pas d'installation de tuyaux sur le champ (figure 9.6).
- Solution pratique à de nombreux problèmes d'irrigation pour les exploitants agricoles.
- Idéal pour l'irrigation supplémentaire de grands champs éloignés (figure 9.7).

INCONVÉNIENTS

- Prix d'installation élevés.
- Fortes intensités de pluviométrie conduisant à des ruissellements et à la formation de flaques.

FIGURE 9.6 - Rampe repliable en fonctionnement.



FIGURE 9.7 - Machine à rampe repliable.



- Le système est peu recommandé pour les sols lourds de texture fine avec de faibles perméabilités.
- Déplacement d'un champ à l'autre nécessitant un tracteur (figure 9.8).

EXEMPLE DE PROJET – SYSTÈME D'ASPERSION À ENROULEURS À RAMPES REPLIABLES POUR UNE CULTURE DE LUZERNE

Superficie et culture

Le champ est un rectangle de 280 m x 100 m situé le long d'une route, plus ou moins régulier avec pente uniforme, et couvrant une superficie totale de 2,8 ha. Il y pousse de la luzerne pérenne, une culture fourragère à racines profondes tolérante à la salinité.

Sol, eau et climat

Le sol est de texture moyenne, avec un taux d'infiltration > 15 mm/h et une humidité disponible de 120 mm/m. La source d'eau est un forage profond débitant 30 m³/h avec une pression de 3,2 bars à la sortie. L'eau est légèrement saline avec une quantité totale de matière dissoute de 1 400 mg/l sans risque de sodium ni d'autre problème. Le climat est semi-aride avec des étés chauds et une évaporation maximale de 9 mm/jour en juillet/août.

Besoins en eau et programme d'irrigation

La luzerne est une culture pérenne qui pousse pendant trois à quatre ans dans les climats à hivers doux. Ses besoins en eau sont élevés, de 900 à 1 500 mm par saison. Les variations de consommation d'eau (valeurs de kc) durant la saison d'irrigation dépendent principalement du moment de la coupe et de la période de dormance, pratiquée par les agriculteurs durant les mois chauds. Avec un kc de 0,95 et une efficacité d'application de 80 pour cent, les besoins bruts d'irrigation dans ce cas d'étude s'élèvent à 1 350 mm. Chaque saison, la hauteur totale d'eau est appliquée en 27 irrigations, à raison de doses unitaires régulières de 50 mm.

Caractéristiques de la trame du système et performances

La machine à rampe mobile choisie fonctionne avec une pression de 3 bars et un débit de 30 m³/h correspondant à la disponibilité en eau de la source. La longueur de la rampe est d'environ 32 m permettant l'irrigation effective d'une bande de 50 m de largeur. Le tuyau flexible est en plastique PEHD de 75 mm de diamètre et 300 m de long. La rampe repliable est tirée à une extrémité du champ à 280 m du tambour placé à l'autre extrémité près de la borne, le tuyau en PEHD étant déroulé au sol.

Lorsque le système fonctionne, le tuyau s'enroule sur le tambour et le chariot avec la rampe est traîné vers l'arrière en arrosant une bande de 50 m de largeur. Avec deux positions de la machine (2 x 50 m x 280 m), toute la parcelle est irriguée.

L'application de 50 mm de hauteur d'eau par irrigation est obtenue avec un débit de 30 m³/h et une vitesse de déplacement de 12 m/h (voir tableau ou formules). Le temps requis pour une position est $280 \text{ m} \div 12 \text{ m/h} = 23,3$ heures. Avec 8 heures de fonctionnement par jour, trois jours sont nécessaires par position, soit 6 jours pour l'irrigation de toute l'unité. En été la durée quotidienne peut atteindre 10 ou 12 heures, ce qui peut réduire l'irrigation de toute l'unité à quatre jours. En accord avec le programme d'irrigation, les 27 irrigations se répartissent ainsi: 2 en avril, 3 en mai, 5 en juin, 5 en juillet, 5 en août, 4 en septembre et 3 en octobre. Durant la période de pointe la machine fonctionnera 20 jours par mois pour répondre aux besoins (figure 9.9).

FIGURE 9.8 - Positions d'une machine à enrouleurs à rampes repliables.



SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES (BESOINS MINIMAUX)

Description et conditions générales requises

Machine intégrée d'irrigation par aspersion à rampes repliables et tambour d'enroulement à utiliser comme un simple système d'irrigation de la manière suivante:

- superficie couverte par position: 1,2 à 1,8 ha;
- débit – pression: 30 m³/h de 3 à 3,5 bars;
- type de système: déplacement mécanisé;
- composantes du système: i) tambour enrouleur sur châssis à roues à déplacement hydraulique; ii) tuyaux à enrouler en PEHD de 75 mm; iii) rampe repliable d'arrosage avec mini-diffuseurs sur chariot;

- trame du système: la rampe d'arrosage est tirée à une extrémité du champ à 280 m du bâti à tambour placé à l'autre extrémité près de la borne, le tuyau en PEHD étant déroulé au sol. Pendant le fonctionnement, le tuyau s'enroule sur le tambour et le chariot avec la rampe est rétracté en arrosant une bande de 50 m de largeur;
- longueur totale du tuyau à enrouler: 300 m.

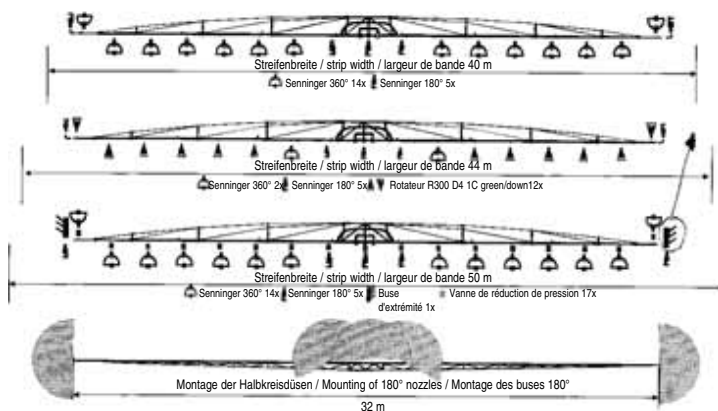
Bâti à tambour

- bâti assemblé en acier et aluminium de la meilleure qualité, avec écartement des roues ajustable. Facile à déplacer;
- cadre monté sur 2 ou 4 roues munies de pneus larges;
- pivot hydraulique ou mécanique pour l'orienter dans toute position voulue sur sol nivelé ou non;
- supports de machine avec enrouleur mécanique;
- bâti et châssis tournant entièrement en acier galvanisé à chaud;
- tambour enrouleur de tuyau rotatif avec supports intégrés, diamètre d'environ 2 m;
- vitesse de rétraction réglable avec tachymètre pour indication digitale de la vitesse;
- équipé d'un mécanisme d'entraînement à pression hydraulique (turbine à écoulement intégral, manomètre, boîte à 4 vitesses, capteur, dispositifs de sécurité);
- système de guidage symétrique et asymétrique du tuyau;
- système de vidange du tuyau;
- dispositif de levage hydraulique automatique pour l'assemblage de la rampe, avec tiges de support;
- dispositif automatique d'arrêt;
- raccord facile aux bornes, par tubes de connexion de 10 m.

Rampe d'arrosage et chariot mobile

- bras pivotants de la rampe;
- ensemble en acier galvanisé au zinc à chaud ou aluminium;
- monté sur chariot mobile à roues;
- mini-diffuseurs à cercle complet d'irrigation, fines gouttes et grand rayon de couverture, placés à des espacements fréquents et réguliers; demi-cercles de couverture à l'extrémité près du chariot. Asperseurs en bout de rampe.;
- largeur de la bande d'irrigation effective: 50 à 55 m (figure 9.9);
- rampe facilement pliable et dépliable;
- hauteur de rampe ajustable au-dessus du sol: 1,2 à 2,5 m.

FIGURE 9.9 - Largeurs de bandes d'irrigation variables
selon divers arrangements de mini-diffuseurs



CHAPITRE 10:

Systèmes d'irrigation par aspersion à pivot central

INTRODUCTION

Le système d'irrigation par aspersion à pivot central est constitué d'une seule conduite d'arrosage de diamètre relativement grand, composée de tuyaux en acier léger galvanisé ou aluminium à haute résistance, suspendus au-dessus du sol par de longues structures métalliques et/ou des câbles et posés sur des tours mobiles sur roues (figure 10.1). Une extrémité de la conduite est raccordée à un mécanisme à pivot implanté au centre de la zone à irriguer: l'ensemble de la conduite tourne autour du pivot. Le taux d'application des distributeurs d'eau varie entre les plus faibles valeurs près du pivot et les plus élevées vers l'autre extrémité et se fait au moyen de buses de diamètres variables le long de la conduite.

Le pivot central est un système d'irrigation automatisé, entièrement mécanisé à basse/moyenne pression et assemblé de manière permanente. Il est devenu très populaire au Proche-Orient ces dernières années pour l'irrigation de la plupart des cultures de plein champ, céréales, légumineuses, fourrages et légumes. Il est également utilisé pour l'irrigation supplémentaire des céréales cultivées en sec. Le coût de chaque unité étant relativement élevé, ce système est mieux adapté aux

FIGURE 10.1 - Le pivot central.



grandes exploitations irriguées. La superficie irriguée peut varier entre 3,5 et 60 ha, selon la taille du pivot central, et plus la superficie arrosée est vaste, plus le coût unitaire par ha est faible.

TRAME DU SYSTÈME ET COMPOSANTES

Le système type à pivot central consiste en une simple **conduite irrigante** longue reliée à une **tour centrale**, qui tourne lentement sur le champ en décrivant un cercle et irrigue les plantes avec des **asperseurs ou mini-diffuseurs** disposés à intervalles fréquents. La tour centrale avec son **mécanisme de pivotement et un panneau principal de commande (contrôle électrique)** sont ancrés dans un petit socle de béton au droit d'un point fixe d'alimentation en eau (borne) au centre du terrain. L'ensemble de la conduite d'arrosage est suspendu au-dessus du sol par de **longues structures** métalliques et/ou des câbles, posés sur des **tours de support mobiles** en forme de "A" sur roues. L'extrémité de la conduite est équipée d'un canon-asperseur. L'ensemble du système automoteur tourne lentement autour du pivot, à une vitesse type (dernière travée) de 2 à 3 m/min et se déplace en pulvérisant l'eau au-dessus des plantes, couvrant le terrain en décrivant un cercle. Le **système d'entraînement** se compose de petites unités motrices individuelles équipant chacune des tours roulantes. Ces unités sont pilotées électriquement, mais peuvent aussi fonctionner hydrauliquement (eau ou huile) ou mécaniquement. Un **système d'alignement** automatique permet de garder alignées les travées portant la conduite (figure 10.2).

Le système à pivot central classique peut être une installation permanente fixe ou mobile/portative avec la tour centrale montée sur roues ou chariot, facilement transportable d'un champ à l'autre. Le pivot central linéaire est un autre type courant de système portatif pouvant irriguer des champs de forme rectangulaire ou carrée au moyen d'un canal de fourniture de l'eau parallèle à la direction de déplacement de la ligne d'arrosage. Des modèles (MULTICENTER) de systèmes de gestion assistée par ordinateur (GAO) et des unités automotrices sont maintenant disponibles, et toute l'installation peut être gérée par télécommande pour le déplacement d'un site à l'autre. Des systèmes adaptés aux coins sont aussi disponibles pour irriguer les champs carrés, rectangulaires ou d'autres formes. Il existe également des systèmes à travée unique pour les petites parcelles.

La conduite d'arrosage

La longue conduite latérale portant les distributeurs d'eau (asperseurs, barboteurs ou mini-diffuseurs) a un diamètre qui peut varier entre 140 et 250 mm, selon le débit et la longueur du système; des dimensions standard d'environ 160 mm (6 pouces) et 200 mm (8 pouces) sont très courantes. La longueur de la conduite peut varier de 50 à 750 mètres, selon le projet. Elle est constituée d'aluminium ou d'acier léger galvanisé à

FIGURE 10.2 - Vue générale d'un pivot central .



résistance élevée, avec des raccords extra forts pour résister aux pressions de fonctionnement du système.

La conduite est disposée entre les tours intermédiaires de support en forme de A et sur roues, dont la hauteur type au-dessus du sol est de trois mètres minimum et qui sont espacées de 35 à 55 m (longueur de la travée); la longueur habituelle ou standard est de 40 mètres. Des charpentes métalliques en arc maintiennent une distribution régulière des charges et poids entre les tours. Au niveau du sol, la hauteur libre requise varie de 2,75 à 4,5 mètres pour les plus grandes machines. Les travées sont équipées à leur extrémité de joints flexibles permettant l'articulation de la conduite et autorisant des mouvements latéraux, verticaux et rotatifs sans provoquer de contraintes sur la conduite.

Les distributeurs d'eau

Les distributeurs d'eau, dont le diamètre et l'espacement sont déterminés par ordinateur pour une application uniforme de l'eau, sont montés sur la conduite à des intervalles de 1,5 mètre, 3 mètres ou 6 mètres approximativement selon le type et la couverture des distributeurs; ils ne fonctionnent que lorsque la machine est en mouvement. Dans le temps, les distributeurs étaient des asperseurs rotatifs en cercle complet. Depuis le début des années 80, le mode d'application précise à faible énergie (LEPA) a conduit à utiliser des mini-diffuseurs, barboteurs ou mini-diffuseurs angulaires, fixés sur des tubes flexibles pendant de la conduite latérale à 20–45 cm pour les barboteurs, et à 1-1,80 m pour les mini-diffuseurs. Ces tubes suspendus, connectés à la conduite par un raccord à embout cannelé

(«col de cygne»), fonctionnent à des pressions plus faibles de 0,5 à 1,5 bar. Les tubes suspendus et les raccords col de cygne sont habituellement branchés alternativement de chaque côté de la conduite latérale pour uniformiser les contraintes sur la ligne lorsque le système est utilisé sur des cultures hautes. Il existe plusieurs modèles de mini-diffuseurs avec d'excellentes performances, de grands rayons d'action et une pluviométrie uniforme. Des régulateurs de pression et de débit sont utilisés dans la plupart des cas. Le débit des distributeurs le long de la conduite n'est pas le même d'un bout à l'autre, mais varie des valeurs plus faibles près du centre aux plus élevées vers l'extrémité par l'utilisation respective de buses de petits et grands diamètres, et quelquefois par la variation des espacements. Un recouvrement suffisant des cercles arrosés est essentiel. Des mini-diffuseurs à couverture en cercle partiel sont utilisés près des tours pour éviter un sur-arrosage le long des roues. Les mini-diffuseurs les plus communément utilisés sont l'asperseur Senninger (wobbler et mini-wobbler) et le pivot rotatoire Nelson.

Un canon d'aspersion, monté au bout de la conduite suspendue (figure 10.3), peut accroître la longueur du dispositif des trois quarts de son rayon d'arrosage, bien que les performances des asperseurs rotatifs soient faibles en basse pression. Les pressions de fonctionnement étant faibles le long de la ligne, le système est sensible aux variations de pression causées par les pertes de charge dues au frottement ou les différences d'élévation ou inégalités du sol. L'installation de manomètres permettant un suivi fréquent est importante, afin d'assurer un débit uniforme et une bonne efficacité et uniformité d'application. Un manomètre est indispensable en fin de conduites. Puisque les régulateurs de pression à 0,4 bar souvent utilisés dans le mode d'application précise à faible énergie nécessitent pour fonctionner correctement au moins 0,65 bar à leur entrée, le maintien de 0,65 bar minimum en fin de ligne garantira un bon fonctionnement de tous les régulateurs. La pression d'admission normale dans le système à pivot est légèrement inférieure à 3 bars.

FIGURE 10.3 - Tubes suspendus avec mini-diffuseurs.



ENCADRÉ 10.1 - Application précise à faible énergie

L'irrigation par application précise à faible énergie ou LEPA (pour Low Energy Precision Application) est définie comme une méthode d'irrigation en basse pression permettant d'appliquer uniformément et fréquemment de petites irrigations au niveau ou près du sol vers des sillons individuels (habituellement des sillons alternés) au moyen d'un système mécanique mobile, associée à des méthodes de labour ou de labour plus gestion des résidus culturaux pour accroître la capacité de stockage de l'eau de surface. Sur les exploitations, ce système utilise des barboteurs de petits diamètres situés à environ 30 cm du sol, délivrant l'eau directement dans les sillons au travers de manchons brise-charge.

L'irrigation par vaporisation se définit comme l'application d'eau par une faible vaporisation ou brumisation au niveau de la surface du sol, dans laquelle le passage dans l'air participe à la distribution de l'eau. Cette méthode a été mise au point pour réduire l'évaporation des gouttelettes et la dérive inhérente à l'impact de l'eau aspergée. Les fabricants d'asperseurs ont développé plusieurs types de têtes de vaporisation, et de nos jours, plusieurs combinaisons de régulateurs de pression, têtes de vaporisation, buses et déflecteurs sont disponibles sur le marché.

Aujourd'hui le système d'irrigation à pivot central est essentiellement proposé équipé de 3 types de distributeurs:

a) le manchon LEPA, b) le barboteur LEPA, c) le mini-diffuseur.

Le barboteur produit une forme d'ombrelle d'environ 40 à 50 cm de diamètre qui minimise les effets du vent et n'humecte qu'une partie de la surface du sol. C'est ce qu'on appelle le vrai système LEPA tel qu'introduit et développé par Lyle and Bordovsky (1981). Le mode par vaporisation produit un diamètre horizontal d'eau vaporisée d'environ 2,5 à 3,3 m qui humidifie toute la surface du sol. Le mode appelé de chimigation ou irrigation chimique vaporise vers le haut avec un angle de 60°, ce qui permet d'arroser les feuilles par dessous. Récemment de nouveaux mini-diffuseurs sont apparus.

Il existe maintenant sur le marché des têtes et buses LEPA qui peuvent fonctionner dans les trois modes par la modification des positions du support et du capuchon. Ainsi le même produit peut être utilisé pour la pré-irrigation et la germination, l'irrigation en mode barboteur et lachimigation.

La tour centrale

Il s'agit d'une structure pyramidale d'environ 3,5 à 4,5 m de hauteur constituée de profilés angulaires en acier galvanisé, ancrée dans un socle en béton formant une plateforme carrée. Cette structure est équipée d'une échelle d'accès. Elle constitue la tête du système et comporte tout l'équipement nécessaire pour la commande du système, tel que le dispositif en tube vertical avec coude au sommet, alimenté en eau et équipé d'entrées pour l'injection d'engrais liquide, l'anneau collecteur, et le panneau central de commande.

FIGURE 10.4 - La tour centrale et le panneau de commande.



Le système de commande du pivot central

Un panneau modulaire de commande, protégé par un coffret, est installé sur la tour centrale du pivot; il permet le maniement de la machine d'arrosage et la programmation de l'irrigation, c'est-à-dire la commande du débit, la période de rotation et de fonctionnement de la conduite tournante et la vitesse/durée de chaque tour (figure 10.4). Un voltmètre et plusieurs lampes témoins indiquent la tension, l'alarme des tours de support et le manque de pression. Un démarreur automatique, un dispositif d'arrêt sur position, un arrêt automatique et un compteur horaire sont aussi inclus dans les panneaux standard. Les fabricants offrent plusieurs modèles avec divers niveaux de contrôle, dont une commande à distance par téléphone cellulaire.

Le fonctionnement de la machine

La machine à pivot central, entièrement mécanique, fonctionne automatiquement. De petits moteurs électriques (0,75 hp standard), montés sur chaque tour à deux roues, assurent le déplacement de la machine. En l'absence de branchement électrique, un générateur est adjoint au système. Un dispositif automatique de maintien d'alignement assure un alignement

FIGURE 10.5 - Les tours de support.



permanent de la conduite latérale. La distance parcourue par chaque tour de support varie d'un maximum à l'extrémité de la conduite latérale à un minimum près de la tour centrale. Les tours (figure 10.5) ne bougent pas continuellement, mais progressent par une série d'avances et d'arrêts contrôlée par la fréquence de mouvements de la tour guide externe. Le pourcentage de temps établit la fraction de temps de fonctionnement de la tour guide externe durant chaque cycle de mouvement, ce qui fixe la vitesse de rotation du système et la dose d'irrigation appliquée. Les micro-contacts du mécanisme d'alignement actionnent les moteurs des tours intermédiaires de manière à maintenir l'alignement du système.

Le générateur

Dans la plupart des cas et spécialement dans les régions dépourvues d'installations électriques, un petit générateur relié à la tour centrale, doté d'un moteur diesel avec un réservoir de carburant, produit l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du système.

COÛTS

Le coût de chaque unité est relativement élevé; il varie de 750 à 2 500 \$EU par ha selon la taille de l'aire irriguée. Il est mieux adapté aux grandes exploitations irriguées. Une unité petite à modérée de 4 travées d'environ 220 m de rayon (superficie de 15 ha) coûte environ 35 000 \$EU.

AVANTAGES

- Efficience d'application élevée de 75–85 pour cent permettant des économies d'eau, avec contrôle absolu de l'eau d'irrigation depuis la source jusqu'à la plante (figure 10.6).
- Meilleure uniformité d'application en comparaison d'autres systèmes d'aspersion ou de vaporisation, en raison de la continuité de distribution de l'eau.
- En fin d'irrigation, le système se retrouve au point de départ.
- Economies de main-d'œuvre et de carburant.
- Labour et coûts connexes limités.
- Contrôle de la salinité. Le lessivage intégral de la zone racinaire en fin de saison est très efficace avec le pivot central.
- Applicable en irrigation supplémentaire des céréales cultivées en sec durant les périodes de sécheresse.

FIGURE 10.6 - Schéma d'implantation en profils haut et bas.



Système à pivot central à profil haut et ultra-haut avec unités motrices
Dégage plus de hauteur libre pour les cultures



Système à pivot central à profil bas avec unités motrices
Lorsque les cultures ne nécessitent pas beaucoup de hauteur libre

INCONVÉNIENTS

- Investissement initial important.
- Non adapté aux petites exploitations.

CRITÈRES ET SPÉCIFICATIONS DE CONCEPTION

Conception et installation

Les fabricants et fournisseurs sont responsables de la conception des structures mécaniques et des mécanismes de déplacement des systèmes à pivot central, car une connaissance spécifique de toutes les composantes et caractéristiques du système est indispensable. Ils sont aussi responsables du montage de la machine (figure 10.7). Un système clés en main doit être fourni au client. Les fabricants fournissent aussi le manuel technique qui indique les différents stades de préparation de la machine en début de saison, l'entretien nécessaire durant l'utilisation et les stades de préparation de la mise hors service quand le matériel ne sera pas utilisé pendant longtemps. Les machines à pivot central neuves n'ont que rarement besoin de pièces de rechange, mais un stock de pièces sera nécessaire pour plusieurs années après l'installation. Il y a des dispositions particulières à

FIGURE 10.7 - Le montage du pivot central.



FIGURE 10.8 - Déplacement du système.



prendre pour le transport (figure 10.8), le stockage, le chargement et le déchargement de la machine, ainsi que pour son installation.

Taux d'application et fréquence d'irrigation

Tous les systèmes et méthodes d'irrigation sont prévus pour appliquer l'eau à des taux égaux ou inférieurs à celui de l'infiltration du sol. Le système à pivot central est essentiellement conçu sans tenir compte du taux d'absorption du sol. La conception du système à pivot central est basée sur l'application par irrigation d'un volume d'eau n'excédant pas le volume de stockage du sol. Le diamètre mouillé par les mini-diffuseurs dépasse largement celui des barboteurs, mais le ruissellement de surface qui se produit réduit l'efficacité et l'uniformité d'application en raison de la redistribution de l'eau sur le sol. La vitesse de déplacement est un facteur important dans la conception de ces systèmes. Dans la majorité des cas le système à pivot central doit se déplacer à une vitesse plus élevée pour compenser la quantité d'eau additionnelle atteignant le sol. Les fréquences d'irrigation sont diminuées et l'application d'irrigation réduite. Des programmes d'irrigation détaillés doivent être préparés sur

place. Dans tous les cas, en région semi-aride, le système d'irrigation à pivot central doit être conçu pour les besoins en eau de pointe des cultures, jusqu'à 8–9 mm/jour et des heures quotidiennes de fonctionnement accrues doivent être prévues durant cette période.

Spécifications particulières

Les types et catégories de sols, leur topographie, capacité de rétention et taux d'infiltration, sont parmi les principaux facteurs conditionnant le succès de l'application du système à pivot central. L'un des principaux problèmes est que ce type de machine fournit un taux pluviométrique très élevé, car les petits distributeurs (mini-diffuseurs et barboteurs) ont un très faible diamètre de couverture (quantité d'eau supérieure sur une aire plus petite). Cela entraîne généralement un dépassement de l'absorption du sol, qui conduit à la formation de ruissellement et de flaques d'eau. Dans ce cas, l'application de pratiques additionnelles de prévention du ruissellement est nécessaire. Les systèmes à pivot central fonctionnent mieux sur les sols à taux d'infiltration élevés qui absorbent l'eau au point d'impact et à proximité immédiate. Normalement, le ruissellement se forme dans les bas-fonds, dans lesquels les roues des tours s'enfoncent; il a tendance à se concentrer et à créer des écoulements érosifs. Une façon de réduire le ruissellement consiste à créer de petites diguettes entre les rangs en formant de petits bassins qui conservent l'eau là où elle tombe, ce qui permet au sol de l'absorber. Un labour correctif est alors nécessaire.

Le fonctionnement des systèmes à pivot central pose moins de problèmes sur les terrains horizontaux ou les champs uniformes en légère pente (jusqu'à 3 pour cent). Les différences de pentes sur des sols ondulés peuvent atteindre jusqu'à 20 pour cent dans la direction radiale. Dans la direction circulaire, les travées peuvent se déplacer sur des pentes de 15 pour cent sur des champs unis ou traversés de petits sillons. Lorsque la profondeur des sillons dépasse 15 cm, la pente du terrain ne doit jamais excéder 10 pour cent. Une topographie trop ondulée peut conduire à de nombreuses difficultés, en particulier en cas de ruissellement. D'importants phénomènes de ruissellement et de translocation se produisent en irrigation à pivot central sur les pentes fortes qui n'ont pas subi de labour correctif, même si le sol est très sableux et la dose d'irrigation faible. En cas d'application plus importante que le taux d'infiltration, un ruissellement significatif se produira sur les pentes supérieures à 3 pour cent. Ce problème peut être résolu par la modification de la surface du sol, ou l'utilisation de mini-diffuseurs dotés de plus grands diamètres de couverture, favorisant l'application de l'eau sur une superficie accrue.

Sur les terrains avec des gradients inégaux, les variations de pression peuvent avoir un effet négatif sur l'uniformité d'application, si l'on n'installe pas des régulateurs de pression à chaque buse. Si le système à

pivot central circulaire est utilisé sur des champs carrés, environ 21 pour cent de la superficie n'est pas couverte; l'utilisation de canons à eau en bout de rampe réduit ce pourcentage à 15 pour cent.

Dans les sols argileux lourds, lorsque le sol humide ne supporte pas le poids des roues, de profonds fossés se creusent; le remplissage de ces fossés avec du sable peut provisoirement éviter l'embourbement de la machine. Si le sol devient trop humide et par conséquent collant, la machine peut également s'enliser. La vitesse de déplacement de la machine est un facteur essentiel, car elle affecte la pluviosité, qui ne doit pas être égale à la dose d'irrigation (application d'eau). Il faut alors appliquer la dose d'irrigation en plusieurs fois. Comme règle empirique, il faut choisir une application d'eau maximale par cycle d'irrigation dépassant 30 mm.

Lorsque l'eau est pompée dans le système à pivot central, l'eau remplit la conduite latérale et les tubes flexibles suspendus. Le poids de l'eau va causer un fléchissement de la rampe, qui sera à son maximum en milieu de travée; par conséquent la longueur des tubes suspendus devra être adaptée à cette déformation de façon à ce que tous les distributeurs soient calés à une hauteur identique au-dessus du sol lorsque le système fonctionne.

Critères de sélection du site

Les critères requis pour la collecte et la préparation des informations ci-dessus se fondent sur le type et les caractéristiques du système d'irrigation ainsi que ses aspects techniques. Une étude rigoureuse du texte qui précède précise comme suit les critères de sélection du site pour l'installation d'un système d'irrigation à pivot central:

Superficie, dimensions et forme

Le terrain doit être relativement horizontal. Le système est normalement utilisé pour l'irrigation supplémentaire des cultures de céréales durant les périodes de sécheresse.

Topographie

Les systèmes à pivot central peuvent fonctionner sur un sol inégal; toutefois, des terrains horizontaux ou à pente uniforme inférieure à 3 pour cent sont recommandés. Une topographie ondulée peut occasionner de nombreuses difficultés, particulièrement en cas de ruissellement.

Type de sol

Le sol doit être de texture légère à moyenne avec un taux d'infiltration élevé (> 15 mm/h) et un bon drainage interne.

Disponibilité en eau et pression

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir d'eau. Mais les systèmes circulaires à pivot central doivent être alimentés par

une borne située à proximité du pivot. Une pompe de remise en pression peut éventuellement fournir l'eau à la pression requise. La prise d'entrée du système est connectée à la borne par un tuyau flexible à connexion rapide.

Qualité de l'eau

The water should be of normal pH, free from suspended solids, salinity hazard, sodium hazard and toxicity problems caused by bicarbonates, nitrates or boron. TDS should not exceed 1 500mg/l (ppm), SAR < 12, RSC < 1.25 meq/l, boron content < 0.7 mg/l.

Besoins en carburant

Les systèmes à pivot central sont équipés de générateurs à moteur diesel pour le déplacement des tours et des pompes de remise en pression. Le réservoir de carburant doit être relié à d'autres réservoirs de plus grande taille pour un fonctionnement ininterrompu durant de longues périodes.

Type de cultures

Cultures hivernales (blé, orge, pois chiche, lentille); cultures industrielles (soja, maïs, tournesol); autres cultures (légumes à feuilles, arachides, melons, pastèques, luzerne, etc.) (figure 10.9).

FIGURE 10.9 - Vue générale d'un système à pivot central.



EXEMPLE DE PROJET

La conception d'un projet d'irrigation par pivot central est relativement plus simple que celle de systèmes conventionnels par goutte-à-goutte. L'exemple donné est un cas plutôt difficile. Une culture de plein champ d'été est sélectionnée dans une région semi-aride avec une forte évapotranspiration et des ressources en eau plutôt limitées. Les principales étapes sont les suivantes:

- détermination de la surface irriguée, de la longueur du rayon de la machine à pivot central et des principales caractéristiques de la culture (profondeur d'enracinement, saison de croissance, stades critiques, etc.);
- calcul des besoins en eau de pointe des cultures et de l'humidité disponible du sol (capacité de rétention en eau);
- programme d'irrigation (dosage, nombre d'heures quotidiennes de fonctionnement et intervalle entre les irrigations);
- principales caractéristiques du système et spécifications techniques.

Superficie, rayon d'action de la machine et cultures

La superficie à irriguer couvre environ 15 ha avec des pentes faibles. La conduite du système à pivot central est longue de 215 m de distance effectivement arrosée et atteint 218,50 m avec le canon asperseur d'extrémité. La périphérie de l'aire circulaire mesure environ 1 350 m (circonférence = $2 \pi r$) (figure 10.10). La superficie est plantée d'arachides (*Arachis hypogaea*), une culture sensible pour laquelle toute pénurie d'eau se traduit par une perte sensible de rendement; saison de croissance: avril à septembre, 130 jours environ; profondeur d'enracinement effectif: 0,65 m; valeurs de kc: stade initial, 0,45 – croissance végétative, 0,75 – floraison et formation de la graine, 1 et 0,75 au dernier stade. Le stade de mi-saison, d'environ 45 jours avec un kc de 1, tombe en juillet/août avec une demande d'eau d'irrigation maximale.

Besoins en eau et sols

L'ET_o maximale en juillet/août est de 7 mm/jour, multipliée par le kc = 1 de la culture: ET_c = 7 mm/jour. Avec une efficacité du système d'irrigation de 85 pour cent, les besoins bruts sont de $7 \text{ mm} \div 0,85 = 8,2 \text{ mm/jour}$ ou $8,2 \text{ mm} \times 10 \times 15 \text{ ha} = 1\,235 \text{ m}^3/\text{jour}$ en période de pointe. Le sol est de texture légère à moyenne avec une humidité disponible de 120 mm/m de profondeur de sol et un taux d'infiltration > 15 mm/h. À partir des données ci-dessus, un programme détaillé d'irrigation peut être préparé.

Caractéristiques des systèmes

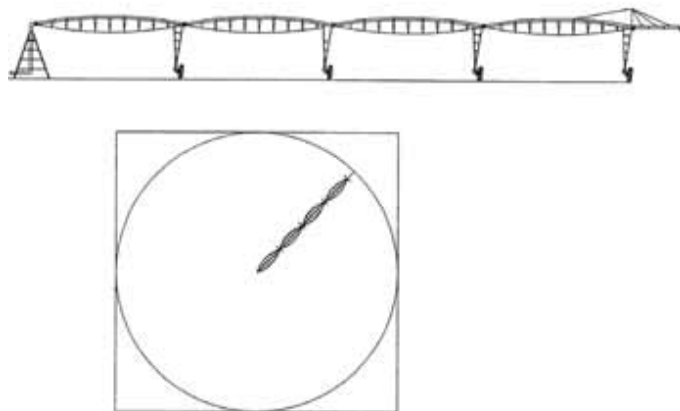
Les performances des systèmes doivent répondre aux demandes en période de pointe, à celles des autres périodes de croissance, ainsi qu'aux conditions existantes en ce qui concerne la disponibilité en eau, les heures quotidiennes de fonctionnement, le coût du carburant, etc. Les facteurs et données requises pour le calcul du débit du système sont: la dose d'irrigation et le besoin quotidien en eau. Le dosage (d) = humidité disponible du sol en mm/m x pourcentage de tarissement de l'humidité (p) x profondeur d'enracinement en m (D). La fréquence d'irrigation en jours est égale à d (mm) ÷ ETC/jour. L'intervalle entre les irrigations (fin de l'une jusqu'au début de la suivante) est la fréquence en jours, moins la période requise pour mener à bien une irrigation. Cette dernière dépend de l'importance du débit et du nombre d'heures quotidiennes de fonctionnement. Dans la plupart des cas, le débit disponible dicte les caractéristiques et performances de base du système. Les irrigants noteront toutefois que l'on ne dispose du débit de projet que dans environ 7 à 9 pour cent des cas.

Un débit du système autour de 15–17 l/s (60 m³/h) est choisi et les heures quotidiennes de fonctionnement pour couvrir la demande de la culture au stade de mi-saison sont:

$$1\,235\text{ m}^3/\text{jour} \div 60\text{ m}^3/\text{h} = 20.5\text{ h/jour.}$$

Pour un tour par jour la vitesse est de 1,125 m/mn. Pour deux tours par jour cette vitesse est de 2,25 m/h et le temps par tour de 10 heures 15 minutes.

FIGURE 10.10 - Trame du système.

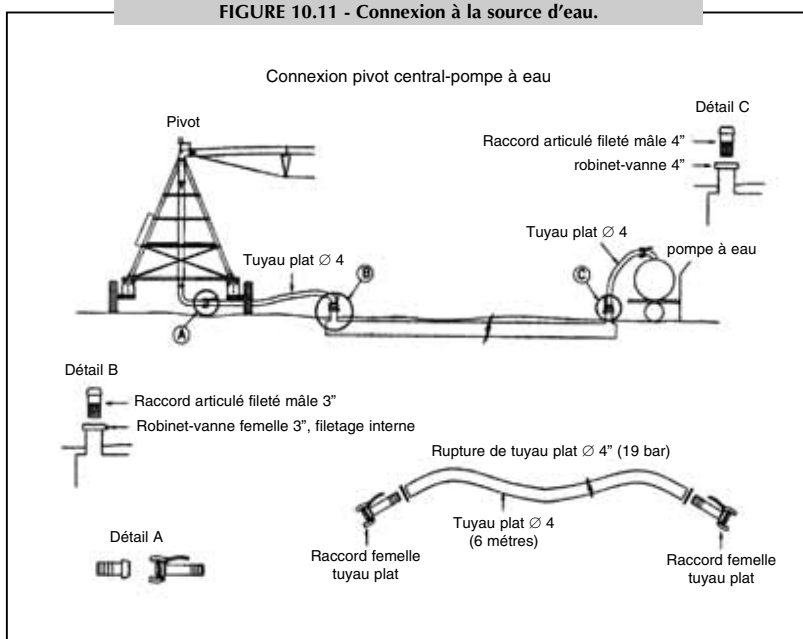


SPECIFICATIONS MINIMALES POUR LE SYSTÈME À PIVOT CENTRAL

Caractéristiques générales du système à pivot central

- Composantes du système: a) tour centrale du pivot avec panneau de commande et générateur, déplaçable sur roues pivotantes; b) conduite avec mini-diffuseurs sur tubes suspendus et canon d'aspersion en bout de ligne, soutenue par 4 tours automotrices intermédiaires sur roues; c) pompe de remise en pression avec moteur; d) longueur des travées: 40 à 50 m. Hauteur minimale laissée aux cultures: 3 m.
- Longueur de la conduite 216 m (4 travées d'environ 48 m + 24 m de travées en porte-à-faux).
- Rayon d'arrosage: environ 219 m.
- Débit du système: 60 m³/h.
- Pression à l'entrée du pivot: environ 2,3 bars (figure 10.11).
- Superficie couverte: environ 15 ha.
- Vitesse minimale par tour: 0,3 m/mn; temps par tour: 74 h; pluviométrie: 29,6 mm.
- Vitesse maximale par tour: 3 m/mn; temps par tour: 7,4 h; pluviométrie: 2,96 mm.

FIGURE 10.11 - Connexion à la source d'eau.



Spécifications techniques

La tour centrale

Structure en acier galvanisé à chaud de haute résistance avec coude. Supports sur toutes les faces et échelle d'accès pour contrôle de l'anneau collecteur. Dimension appropriée du tube de rallonge de prise pour minimiser les pertes de charge dues au frottement. Tour sur roues pivotantes et pieds robustes en cas d'ancrage de la pyramide dans le socle de béton. Structure de support galvanisé du panneau principal de commande. Manomètre. Structure de support du tube de rallonge. Aucune vibration de l'eau arrivant sous haute pression.

La conduite

Diamètre approximatif 141 à 160 mm pour pertes de charge minimales, pression minimale 10 bars, en acier zingué à chaud à l'intérieur et à l'extérieur. Joints en caoutchouc, supports en acier galvanisé, raccords de travées courts de type cardan renforcés à grande résistance, manchon de raccordement en caoutchouc avec attaches en acier ou raccords en aluminium, joints à bride des travées. Pour prévenir la corrosion, toutes les structures sont en acier galvanisé à chaud, assemblages par boulons et écrous de sécurité.

Les distributeurs d'eau

Mini-diffuseurs à basse pression à relativement grand diamètre de couverture, avec buses interchangeables pour diverses performances; équipés de régulateurs de pression individuels montés sur des tubes flexibles suspendus de longueurs variables pour s'adapter à une hauteur libre de 2 à 2,5 m pour diverses cultures.

Les tours intermédiaires

Structures entièrement en acier galvanisé à chaud, posées sur des pieds de tour à haute résistance, avec supports des deux côtés, et axe d'entraînement à haute résistance, supportant les boîtes de vitesse, les pieds des tours et l'unité motrice. Les supports des unités motrices sont intégrés dans le cadre de la boîte de vitesses et non sur la conduite libre.

L'unité motrice

Unité compacte équipée d'ailettes de refroidissement, corps d'aluminium, joints étanches extérieurs pour protéger l'huile de la poussière extérieure. Tension 380 V, fréquence 50 Hz. Taux de réduction 40:1, puissance $\frac{3}{4}$ hp. Boîte de vitesses à haute résistance. Axe de sortie des deux côtés. Taux de réduction de la vis sans fin: 50:1. Axe de transmission avec un système basé sur le joint à cardan télescopique, avec des bras en acier et un carter de protection.

Le système d'alignement

Boîte en plastique anticorrosive sur la tour avec micro-contacts de sécurité. Support interne en acier inoxydable pour les composants électriques. Composants d'alignement en acier inoxydable et aluminium. Interrupteur électrique individuel sur chaque boîte de contrôle.

Le panneau de contrôle

Boîtier fermé renforcé, porte doublée, totalement isolée et étanche à l'air; tension 380 V, fréquence 50 Hz. Inclus: voltmètre, plusieurs lampes témoins contrôlant la tension, les alarmes de support de tour et le manque de pression, indicateur de déplacement avant et arrière; sélecteur de marche avant et arrière, sélecteur avec ou sans eau, arrêt automatique (pression insuffisante), testeur de tension, compteur d'heures, contrôle de vitesse, interrupteur général. Possibilités d'arrêt en cas de problèmes de tous types durant le fonctionnement, du générateur électrique, de l'électrovalve ou du groupe de pompage. Prises de sortie 24 et 110 V.

L'anneau collecteur

Entièrement étanche, placé au sommet de la tour centrale du pivot.

Les roues

Adaptées à l'utilisation en irrigation. Roues neuves à flottaison élevée. Jantes galvanisées à chaud, avec protection de valve.

CHAPITRE 11:

Les micro-asperseurs

INTRODUCTION

Les micro-asperseurs sont des distributeurs d'eau à capacité réduite, de type asperseur, mais plus petits en dimension que les asperseurs conventionnels et dont les débits sont inférieurs à 250 litres/heure. Ils sont disposés sur un espace triangulaire ou rectangulaire relativement compact permettant un recouvrement maximal, pour irriguer des pommes de terre, des carottes, des légumes à feuilles, des arachides et d'autres cultures de plein champ à forte densité de plantation. Cette méthode d'irrigation est fiable, très efficace et facile à appliquer, opérer et manipuler.

C'est une installation de micro-irrigation fixe, saisonnière, à basse pression qui se monte facilement dans les champs et se démonte rapidement (s'enlève) en fin de saison.

TRAME ET COMPOSANTES DU SYSTÈME

La trame du système comprend un ouvrage de tête équipé seulement de vannes de contrôle (sectionnement, anti-retour, purge d'air) et d'un filtre d'environ 40–60 «mesh» (200–300 microns). Aucun injecteur d'engrais n'est requis car en général les agriculteurs n'utilisent pas ce système pour l'irrigation fertilisante.

La disposition des conduites principale et secondaires, bornes et adducteurs est semblable à celle des autres réseaux de conduites pour la micro-irrigation.

La dimension des lignes d'adducteurs sera de 50 à 63 mm et en aucun cas ne dépassera 75 mm. Des tuyaux de 50 à 63 mm sont recommandés pour des débits de 12 à 18 m³/h, lorsque l'eau est distribuée continuellement en cours de déplacement.

Les tuyaux utilisés pour les réseaux de distribution du système sont généralement en PVC rigide enterré ou en PEHD noir (normalement posés en surface). D'autres types de tuyaux sont aussi utilisés, tels que des tuyaux plats ou des tuyaux à raccord rapide en acier léger galvanisé.

Les conduites latérales sont des conduites en PE ductile de diamètres de 20, 25 ou 32 mm, selon la longueur, et de pression admissible de 4 bars, qui sont posés en surface de manière permanente. Les micro-asperseurs

sont placés le long de la conduite latérale à des intervalles de 5 à 7 m et disposés à 70–80 cm au-dessus du sol sur des tiges en métal plantées dans le sol. Ils sont connectés aux conduites latérales par de petits tubes flexibles en PVC de 7 à 9 mm de diamètre et d'un mètre de long.

LES MICRO-ASPERSEURS DE DISTRIBUTION

Ces distributeurs sont des asperseurs rotatifs à bas débit conçus pour distribuer uniformément de faibles quantités d'eau sur toute la superficie à irriguer sous forme de pluie (figure 11.1). Fabriqués en plastique durable, ils présentent divers dispositifs de fonctionnement et sont habituellement compacts sans partie extérieure mobile. Ils ont une trajectoire basse (angle du jet au-dessus de la buse) à rotation rapide avec des buses de 1,5–2 mm. Leurs principales caractéristiques sont:

- pression de fonctionnement: 2 bars;
- débit: 130–250 l/h (on recommande 160–180 l/h);
- diamètre du cercle arrosé (couverture): en moyenne 12 m;
- taux de pluviométrie: 4 à 7 mm/h (recommandé);
- filtration requise: environ 40–60 «mesh» (300 à 250 microns).

Un jeu complet comprend: a) la tête compacte d'aspersion, b) une tige métallique de 6 mm et d'un mètre de long et c) un tube flexible en PVC de 7 à 9 mm avec un embout cannelé permettant la connexion avec la conduite latérale.

FIGURE 11.1 - Micro-asperseurs de distribution dans un champ de pommes de terre.



PROGRAMMATION DE L'IRRIGATION

Ce système permet un grand degré de maîtrise, tant de la période optimale d'application que de la quantité d'eau à appliquer. Les restrictions imposées par le système sont limitées. Ainsi, il y a beaucoup plus d'options de temps dans la programmation de l'irrigation. Les légumes ainsi irrigués sont principalement des cultures à faible enracinement, d'où le choix d'une option d'irrigation à dosage fixe.

Une hauteur brute d'application de 20 à 30 mm est courante pour les pommes de terre et les légumes. Les besoins en eau bruts d'une plantation de légumes ou de pommes de terre varient de 300 à 400 mm en terme de hauteur d'eau. Ainsi le nombre total d'irrigations requises est d'environ 12 à 15, à des intervalles basés sur l'évaporation cumulée.

CRITÈRES ET CONSIDÉRATIONS DE CONCEPTION

Outre les critères standard de conception, tels la superficie, la culture, l'alimentation en eau, le sol et le climat, il est très important de considérer les traits et caractéristiques spéciaux du système, car ces paramètres influencent la décision finale.

Les micro-asperseurs distribuent l'eau à de faibles taux d'application, sous la forme de fines gouttes. Celles-ci sont facilement entraînées dans l'air même en cas de vitesses du vent basses et modérées. Afin d'assurer une uniformité élevée d'application, l'espacement des asperseurs doit être réduit et ne pas excéder 50 pour cent du diamètre du cercle arrosé, c'est-à-dire que l'espacement des asperseurs le long des conduites latérales et entre celles-ci doit être compris entre 5 et 7 m. Par conséquent les espacements habituels sont 5 x 5 m, 5 x 6 m, 5 x 7 m, et 6 x 7 m. De plus, pour atténuer les effets nocifs du vent, un nombre relativement élevé d'asperseurs par unité de surface doit fonctionner simultanément. Les tours doivent être organisés de façon à ce que la surface irriguée en même temps soit aussi compacte que possible.

Les conduites latérales du système sont constituées de tuyaux en PEFD. L'expérience indique que le diamètre optimum de ces derniers est de 32 mm, car de tels tuyaux sont faciles à placer, à manipuler sur le terrain et à enlever, etc. De plus grands diamètres ne sont pas recommandés.

La longueur maximale admissible des conduites latérales de diamètres variés, posées en terrain uniforme, est fonction du nombre d'asperseurs, de leur espacement et du débit distribué, selon les données du tableau suivant (tableau 11.1):

TABLEAU 11.1 - Longueur maximale admissible des conduites latérales

Diamètre latéral (D)	et espacement (E)	160 l/h		180 l/h	
		Nb. asperseurs	Longueur de la conduite latérale (m)	Nb. asperseurs	Longueur de la conduite latérale (m)
20 mm	5 m	8	40	7	35
20 mm	6 m	7	42	6	36
20 mm	7 m	7	49	6	42
20 mm	8 m	7	56	6	48
25 mm	5 m	12	60	11	55
25 mm	6 m	11	66	10	60
25 mm	7 m	10	70	10	70
25 mm	8 m	10	80	9	72
32 mm	5 m	21	105	18	90
32 mm	6 m	20	120	17	102
32 mm	7 m	18	126	16	102
32 mm	8 m	18	144	15	120

Tous les tuyaux en PEFD, de PN de 4 bars, sont conformes à la norme DIN 8072 (diamètres intérieurs: 16 , 20,2 et 27,2 mm respectivement).

COÛTS

Le coût d'une installation complète de micro-asperersion est d'environ 3 300 \$EU/ha. L'ouvrage de tête représente 8 à 10 pour cent du coût total du système; les tuyaux (tubes) en plastique, 50 pour cent, et les asperseurs à faible débit environ 35 pour cent.

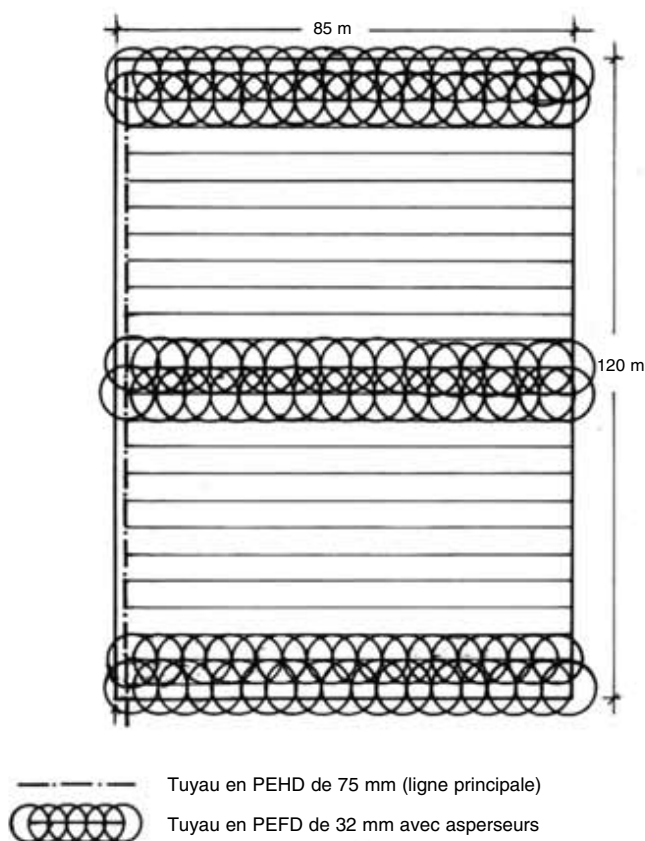
AVANTAGES

- Faibles besoins en main-d'œuvre pour le fonctionnement et l'entretien.
- Flexibilité et adaptabilité: la technique est simple et facile à adopter et à gérer; une transition sans risque des méthodes traditionnelles d'irrigation de surface à la micro-irrigation avancée se fait avec succès par l'installation de ce type de système.
- Efficience d'application de l'irrigation élevée.

INCONVÉNIENTS

- Coût initial élevé.

FIGURE 11.2 - Irrigation par aspersion à basse capacité des pommes de terre (système fixe) (exemple de trame)



EXEMPLE DE PROJET – MICRO-ASPERSEURS POUR UN CHAMP DE POMMES DE TERRE

Superficie et cultures

Il s'agit d'une parcelle de 120 x 85 m (1 ha), plantée de pommes de terre de printemps.

Sol, eau et climat

Sol de texture fine à structure favorable avec une perméabilité d'environ 11 mm/h et une capacité de rétention d'eau élevée (200 mm/m). L'eau, claire mais légèrement salée, est fournie par un réservoir soigneusement entretenu. La saison culturale de la pomme de terre de printemps s'étend de janvier à mai. En avril, l'évaporation en bac est en moyenne de 3,3 mm/jour; multipliée par le facteur de correction de l'évaporation en bac (0,66), la valeur de l'ETO est de 2,18 mm/jour.

Besoins en eau et programme d'irrigation

La demande de pointe se situe en avril et la valeur k_c est de 0,9. Par conséquent $ET_c = 2,18 \times 0,9 = 1,96$ mm/jour (besoin en eau net de pointe). L'efficacité d'application du système est de 75 pour cent. Il faut aussi compter 15 pour cent de plus pour le lessivage des sels. Les besoins bruts d'irrigation en période de pointe sont:

$$1,96 \text{ mm/jour} \times 100 \div 75 = 2,61 \text{ mm/jour} \times 100/85 = 3,1 \text{ mm/jour} \times 10 \times 1 \text{ ha} = 31 \text{ m}^3/\text{jour}$$

L'humidité disponible du sol est de 200 mm/m de profondeur, la profondeur effective d'enracinement est de 0,35 m et le tarissement maximal de l'humidité recommandé est de 40 pour cent. L'intervalle maximal d'irrigation en avril est de:

$$200 \times 0,35 \times 0,4 \div 1,96 = 14 \text{ jours}$$

Le programme d'irrigation est basé sur un tarissement fixe d'environ 20 mm (évaporation cumulée). Ainsi l'intervalle en avril est de 10 jours ($20 \div 1,96$). La dose brute d'irrigation est de 31,4 mm, ce qui donne une quantité brute par irrigation de 314 m³/ha.

Trame du système

Le système est une installation fixe où toutes les conduites latérales avec asperseurs sont disposées sur le sol de manière permanente. L'ouvrage de tête est muni de vannes de régulation et d'un filtre à tamis de 60 «mesh». Il n'y a qu'une conduite principale en PEHD de 75 mm, de PN 6 bars, posée sur le côté de la parcelle et qui sert d'adducteur alimentant les conduites latérales. Les conduites latérales avec asperseurs sont en PEFD de 32 mm, 4 bars, connectées avec la conduite principale par des bornes de 2 1/2 in.

Asperseurs

160 l/h à 2 bars, cercle d'arrosage complet, diamètre d'arrosage (couverture) 11 m. Espacement: 5 m le long de la conduite latérale par 5 m entre les conduites latérales. Pluviométrie: 6,4 mm/h. Nombre d'asperseurs par conduite latérale: 17.

Débit des conduites latérales

2 720 litres/heure; Nombre total de conduites latérales: 24; nombre de conduites latérales fonctionnant simultanément (par tour): 6 ; débit du système: 16,3 m³/h; nombre de tours par irrigation: 4; durée d'application par tour: 4,9 h (4h 50 min); temps requis pour une irrigation 19,5 h (ensemble des tours) (tableaux 11.2 et 11.3 et figure 11.3).

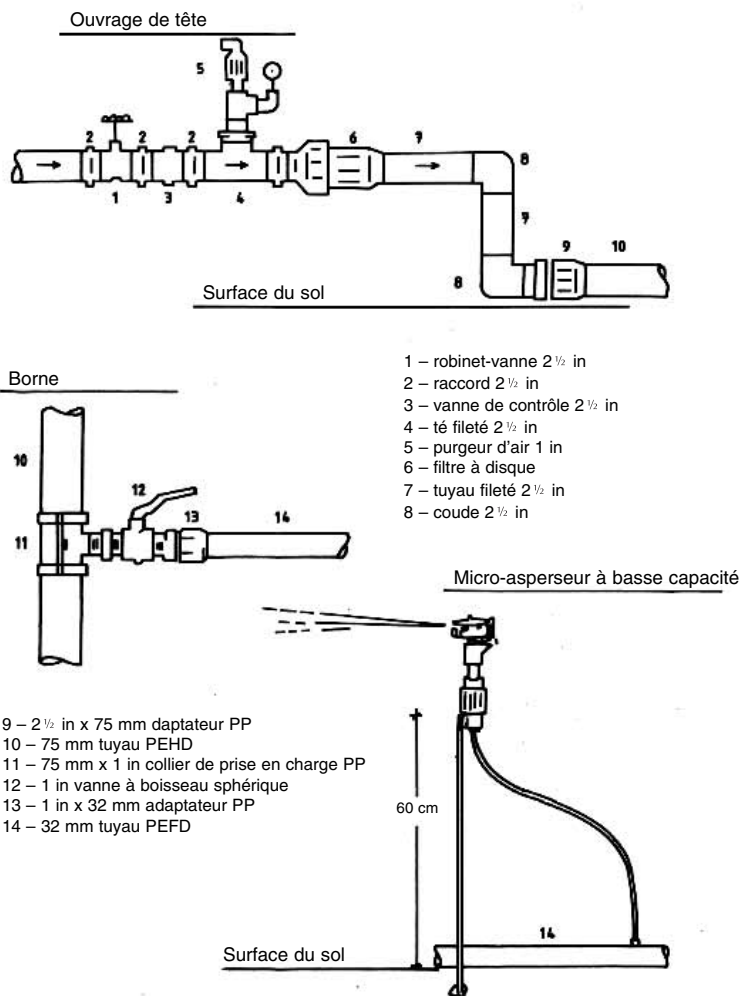
TABEAU 11.2 - Pression de fonctionnement du système

Pression de fonctionnement du système	Pression (bars)
Pression requise à l'asperseur	2,00
Pertes de charge dues au frottement dans la conduite latérale:	0,20
Pertes de charge dues au frottement dans la conduite principale:	0,35
Pertes de charge dues au frottement dans l'ouvrage de tête:	0,50
Pertes mineures:	0,20
Charge totale dynamique:	3,25

TABEAU 11.3 - Liste des équipements nécessaires pour l'installation de micro- asperseurs

Pièce n°	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
Réseau de distribution				
1.	Conduite noire PEHD 75mm, 6 bars	120 m	2,60	312,00
2.	Tuyau noir PEFD 32 mm 4 bars	2040 m	0,65	1326,00
3.	Adaptateur PP 2 ½ in x 75mm	1 U	9,00	9,00
4.	Adaptateur PP 1 in x 32 mm	24 U	1,25	30,00
5.	Bouchon PP 75mm	1 U	9,00	9,00
6.	Bouchon PP 32mm	24 U	1,25	30,00
7.	Collier de prise en charge PP 75mm x 1 in	24 U	1,80	43,20
8.	Vanne sect. laiton 1 in	24 U	3,50	84,00
9.	Raccord 1 in	24 U	0,40	9,60
10.	Asperseur à basse capacité, 160 l/h à 2 bars, cercle complet de 11 m de diamètre, avec support et tube de connexion	408 U	2,80	1142,40
Sous-total				2995,20
Ouvrage de tête				
11.	Vanne de contrôle laiton 2 ½ in	1 U	15,00	15,00
12.	Vanne de sectionnement laiton 2 ½ in	2 U	13,00	26,00
13.	Té 2 ½ in (métal galvanisé ou PVC)	3 U	3,50	10,50
14.	Raccord 2 ½ in	4 U	1,00	4,00
15.	Purgeur d'air 1 in	1 U	12,00	12,00
16.	Filtre à tamis 60 mesh	1 U	180,00	180,00
Sous-total				247,00
COÛT TOTAL:				3242,20

FIGURE 11.3 - Système de micro-irrigation à basse capacité.



CHAPITRE 12: Les mini-asperseurs

INTRODUCTION

Cette méthode consiste à placer un seul distributeur de type mini-asperseur au pied de chaque arbre. Le distributeur asperge d'eau une superficie circulaire limitée, sous le feuillage autour du tronc, avec des débits très faibles. Cette approche combine les principes et avantages des deux systèmes d'irrigation, par aspersion et par goutte-à-goutte localisé.

L'irrigation par mini-asperseur est une micro-irrigation localisée, utilisant un système à basse pression sur une installation fixe permanente ou saisonnière.

TRAME ET COMPOSANTES DU SYSTÈME

L'ouvrage de tête peut être aussi simple que possible. Toutefois un dispositif de filtrage est requis comme dans toutes les installations de micro-irrigation. Un injecteur d'engrais n'est pas toujours nécessaire, car de nombreux fermiers préfèrent appliquer l'engrais manuellement. Néanmoins, la disposition de l'équipement devra toujours permettre l'installation ultérieure d'un injecteur d'engrais.

Les conduites principales et secondaires seront assemblées de manière permanente, soit en surface, soit enterrées, avec des bornes (2–3 pouces) implantées soit en surface, soit dans une boîte de soupapes pour les configurations enterrées.

Les adducteurs peuvent être en PEHD s'ils sont posés en surface, ou en tuyau rigide PVC quand ils sont enterrés. D'autres types de tuyaux peuvent aussi être utilisés, tels les tuyaux plats ou les tuyaux à raccord rapide en acier léger.

Les conduites latérales avec les mini-asperseurs sont posées le long des rangs d'arbres près des troncs, une ligne pour chaque rangée, avec un mini-asperseur au pied de chaque arbre.

Les raccords des conduites latérales sont généralement des tuyaux en PEFD souples de 16, 20, 25, et 32 mm de diamètre, avec une pression de service PN de 4 bars. Des tuyaux enterrés de petit diamètre en PVC peuvent aussi être utilisés comme conduites latérales, avec de plus longs petits tubes de plastique de raccordement sortant à la surface.

LES MINI-ASPERSEURS DE DISTRIBUTION

Les micro-pulvérisateurs utilisés dans les vergers (figure 12.1), nommés mini-asperseurs, gicleurs ou micro-jets, sont de petits distributeurs en plastique, du type asperseur statique, qui distribuent un petit débit à faible angle sous la forme de fines gouttes, réparties uniformément autour des arbres, selon une couverture circulaire totale ou partielle.

Ils peuvent comporter différents mécanismes (capot avec aiguille rotative, sans capot avec un partiteur pivotant, ou avec un déflecteur), avec une vaste gamme de débits et diamètres de couverture. Tous ont une section d'écoulement au travers de la buse plutôt faible (diamètre de buse de 1 à 1,7 mm environ). Les eaux distribuées devront être filtrées avant d'entrer dans le système.

Les principales caractéristiques de fonctionnement des mini-asperseurs sont:

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

FIGURE 12.1 - Irrigation d'un verger de citrus par mini-asperseurs.



Les têtes des mini-asperseurs sont fixées à des tiges de plastique ou à de petites barres métalliques à 20 ou 30 cm au-dessus du sol; elles sont connectées aux conduites latérales en PE par des tubes souples en plastique de 7 à 9 mm et longs de 60 à 120 cm, munis d'embouts à rainure. Ainsi, un distributeur complet de mini-aspersion comprend la tête, la tige de support et le tube de connexion avec l'embout. Tous les composants s'emboîtent à pression, sont interchangeables et peuvent facilement être montés ou démontés.

PROGRAMMATION DE L'IRRIGATION

Comme dans toutes les méthodes localisées de micro-irrigation, la quantité d'eau stockée dans la zone racinaire est limitée en raison du faible volume de sol humidifié. Toutefois, avec cette méthode, le volume humide de sol dépasse 65 pour cent du volume total; par conséquent, il n'existe aucune urgence à pratiquer des irrigations fréquentes, à moins que la capacité de rétention de l'humidité du sol ne soit très basse.

La pratique courante est d'irriguer à intervalles fixes sur une base hebdomadaire et d'appliquer les besoins en eau cumulés des jours précédents. Avec de jeunes arbres, l'intervalle d'irrigation sera plus court, soit deux fois par semaine. La majorité des exploitants des zones arides et semi-arides distribuent l'eau à leurs arbres fruitiers (agrumes, goyaves, avocats, etc.) conformément aux indications du tableau ci-dessous (tableau 12.1).

TABEAU 12.1 - Programme d'irrigation par mini-asperseurs

Age des arbres (années)	Débit unitaire (litres/jour/arbre)	Intervalle d'irrigation (jours)	Dose moyenne (litres par arbre)	Durée moyenne d'opération (heures)
1-2	8-15	4-6	60	0,5
3-4	20-40	6-7	200	1,6
4-6	50-60	7	380	3,0
Plus de 7	80-120	7-10	900	7,5

CRITÈRES ET CONSIDÉRATIONS DE CONCEPTION

Les mini-asperseurs sont essentiellement utilisés pour l'irrigation intensive d'arbres fruitiers (figure 12.2). Ils sont aussi employés pour l'irrigation supplémentaire d'arbres cultivés en sec. Un mini-asperseur par arbre est suffisant; par conséquent l'écartement des distributeurs correspond à celui des arbres. La distance entre l'asperseur et le tronc de l'arbre est de 30 à 50 cm, selon l'âge et la dimension de l'arbre. Pour les jeunes arbres, les têtes d'asperseurs peuvent être montées à l'envers afin de réduire le diamètre arrosé.

TABLE 12.2 - Nombre maximal de mini-asperseurs sur la conduite latérale et longueur de la conduite latérale sur sol uni. Débit des mini-asperseurs à 2 bars

Débits:		70 l/h		120 l/h		150 l/h	
Conduite latérale Diamètre et espacement (m)		Nombre asp.	Long latéral (mètres)	Nombre asp.	Long latéral (mètres)	Nombre asp.	Long latéral (mètres)
16 mm	3	10	30	7	21	6	18
	4	9	36	6	24	6	24
	5	8	40	6	30	5	25
	6	8	42	5	30	5	30
	8	7	56	5	40	4	32
20 mm	3	16	48	11	33	9	27
	4	15	60	10	40	9	36
	5	14	70	9	45	8	40
	6	13	78	9	54	8	48
	8	11	88	8	64	7	56
25 mm	3	25	75	18	54	15	45
	4	22	88	16	64	14	56
	5	20	100	15	75	13	65
	6	19	114	14	84	12	72
	7	18	144	12	96	11	88

Remarque: Tous les tuyaux sont en PEFD, 4 bars, conformes à la norme DIN 8072.

FIGURE 12.2 - Arbres irrigués par mini-asperseurs.



Le taux de distribution du distributeur doit être adapté aux conditions existantes de disponibilité en eau, à la superficie, au nombre, à l'âge et aux dimensions des arbres, et au nombre de tours d'irrigation (programme d'irrigation). Ceci n'est pas une tâche compliquée, si l'on considère la vaste gamme des débits de mini-asperseurs disponibles.

Les mini-asperseurs sont des distributeurs avec des orifices de buse à circuit court créant des écoulements entièrement turbulents. Par conséquent, la variation de débit du mini-asperseur est la moitié de la variation de la pression de service; par exemple, une différence de pression de 20 pour cent produit une différence de débit de 10 pour cent, ce qui est considéré comme le maximum admissible. Le tableau 12.2 ci-dessous est basé sur ce principe.

COÛTS

Le coût total pour l'installation sur un hectare d'un système tel que décrit dans l'exemple ci-dessous est de 1 634 \$EU, avec 470 \$EU pour l'ouvrage de tête, soit 26 pour cent du coût total. Le même réseau peut desservir une unité d'au moins 3 ha. La partie la plus importante du coût est absorbée par le réseau de conduites en PE, soit 864 \$EU, c'est-à-dire 55 pour cent du coût total pour un système de 1 ha. Pour une installation complète de 3 ha, les conduites représentent environ 65 pour cent du coût total.

AVANTAGES

- Efficience d'irrigation élevée. La quantité d'eau est contrôlée avec précision, et seule une surface partielle est arrosée; aucunes pertes dues à l'évaporation, à la percolation profonde ou au ruissellement.
- Contrôle de la salinité. L'écoulement de l'eau au travers du sol se fait verticalement et les sels accumulés dans la zone racinaire peuvent être facilement lessivés dans des couches plus profondes.
- Souplesse et adaptabilité. C'est le plus flexible des systèmes de micro-irrigation, facilement adopté et géré par les exploitants. La technologie est simple et la gamme d'équipements relativement modeste.
- Besoins réduits en main-d'œuvre.

INCONVÉNIENTS

- Investissements initiaux élevés.

EXEMPLE DE PROJET – IRRIGATION DE CITRONNIERS PAR MINI-ASPERSEURS

Superficie et cultures

La parcelle, qui mesure 85 x 120 m, c'est-à-dire environ 1 ha, est plantée de citronniers en rangs espacés de 6 par 6 m (figure 12.3). Il y a 20 rangs avec 14 arbres sur chaque rang pour un total de 280 unités. La pente de la parcelle est de 0,5 pour cent d'ouest en est et du nord au sud.

Sol, eau et climat

Le sol est de texture moyenne avec une perméabilité d'environ 4 mm/h, une capacité de rétention de l'humidité de 22 pour cent et une humidité disponible de 150 mm/m de profondeur. Il n'existe aucun risque de salinité ni de toxicité. La source d'eau est un forage existant avec un débit assuré de 5 l/s (18 m³/h). L'eau est de bonne qualité avec une conductivité électrique EC_w = 1,5 dS/m de salinité totale. L'évaporation en bac moyenne atteint 7 mm/jour à la mi-juillet. La saison d'irrigation s'étend d'avril à octobre.

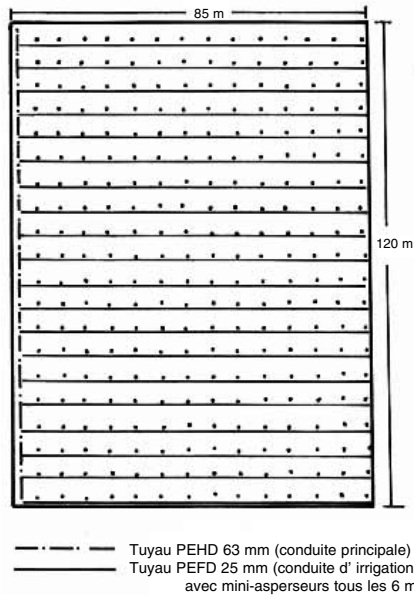
Besoins en eau et programme d'irrigation

L'évaporation en bac de 7mm/jour multipliée par 0,66 (le facteur de correction de l'évaporation en bac) donne une ETo de 4,65 mm/jour. Le coefficient cultural k_c est de 0,65. Ainsi $E_{tc} = 4,65 \times 0,65 = 3$ mm/jour. La superficie ombragée par la canopée des arbres est de 70 pour cent, mais définie à 82 pour cent pour les besoins du calcul. Avec une efficacité d'application du système de 80 pour cent, les besoins quotidiens bruts d'irrigation sont de: $2,48 \times 100 \div 80 = 3,1$ mm (31 m³). Si l'on irrigue tous les 10 jours, la dose brute d'irrigation est de $10 \times 31 = 310$ m³.

L'intervalle d'irrigation maximal admissible en juillet avec un tarissement de 50 pour cent de l'humidité pour une profondeur d'enracinement des arbres de 0,6 m est de: $150 \times 0,6 \times 0,5 \div 3 = 15$ jours. La fréquence d'irrigation dépend de plusieurs facteurs, mais en aucun cas elle ne doit dépasser l'intervalle d'irrigation maximal admissible.

Toutefois, comme il a déjà été mentionné, la pratique courante est d'irriguer tous les sept jours. L'intervalle de sept jours accumule des besoins bruts en irrigation de 217 m³, c'est-à-dire la dose d'irrigation de pointe en juillet.

FIGURE 12.3 - Exemple de projet d'irrigation par mini-asperseurs sur des arbres fruitiers.



TRAME DU RÉSEAU, PERFORMANCES ET CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES

- Une ligne latérale d'irrigation de tuyaux en PEHD de 25 mm, longue de 81 m est posée le long de chaque rang d'arbres, avec un mini-asperseur par arbre, soit 14 asperseurs par ligne. Les lignes latérales sont connectées directement à la ligne principale, un tuyau en PEHD de 63 mm posé le long des limites de la parcelle, qui sert également d'adducteur (figure 12.4).
- Performance des mini-asperseurs: 120 l/h à 2 bars pour un cercle complet, filtration de 60 «mesh» requise (tableaux 12.3 et 12.4).
- Nombre de mini-asperseurs par conduite latérale: 14.
- Débit de la conduite latérale: 1,680 l/h.
- Débit du système: 17–18 m³/h.
- Nombre total de conduites latérales: 20.
- Nombre maximum de conduites latérales fonctionnant simultanément: 10.
- Nombre de tours par irrigation: 2.
- Durée d'application d'irrigation par tour: environ 6,2 heures.

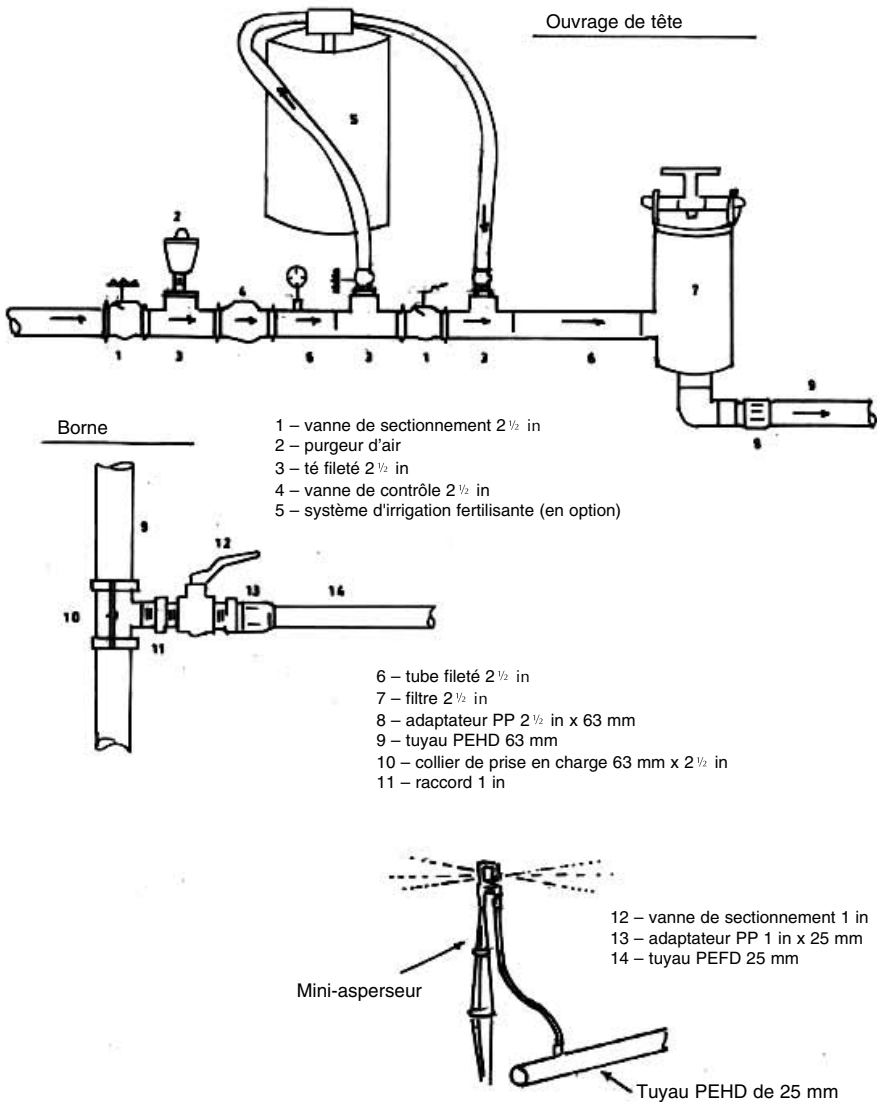
TABLEAU 12.3 - Pression de fonctionnement du système

Pression de fonctionnement du système	Pression (bars)
Pression requise pour le fonctionnement	2,00
Pertes de charge dues au frottement le long de la conduite latérale	0,35
Pertes de charge dues au frottement le long de la conduite principale	0,25
Pertes de charge dues au frottement dans l'ouvrage de tête	0,50
Pertes mineures	0,20
Sous-total	3,30
Différence de niveau	- 0,15
Charge dynamique totale	3,15

TABLEAU 12.4 - Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système

Pièce n°	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
Réseau de distribution				
1.	Conduite noire PEHD 63 mm , 6 bars	120 m	1,80	216,00
2.	Tuyau noir PE 25 mm 4 bars	1620 m	0,40	648,00
3.	Adaptateur PP 2 ½ in x 63 mm	1 U	6,00	6,00
4.	Adaptateur PP ¾ in x 25 mm	20 U	1,00	20,00
5.	Bouchon PP 63 mm	1 U	6,00	6,00
6.	63 mm x ¾ in PP clamp saddle	20 U	1,30	26,00
7.	Vanne sect. laiton ¾ in	20 U	2,30	46,00
8.	Mini-asperseur à basse capacité, 120 l/h à 2 bars, cercle complet	280 U	0,70	196,00
	Sous-total			1164,00
Ouvrage de tête				
9.	Vanne de contrôle laiton 2 ½ in	1 U	15,00	15,00
10.	Vanne de sectionnement laiton 2 ½ in	2 U	13,00	26,00
11.	Vanne de sectionnement laiton ¾ in	2 U	2,30	4,60
12.	Té 2 ½ in (métal galvanisé)	2 U	1,00	2,00
13.	Raccord galvanisé 2 ¼ in	2 U	0,25	0,50
14.	Raccord galvanisé ½ in	3 U	3,50	10,50
15.	Purgeur d'air automatique 1 in	1 U	12,00	12,00
16.	Filtre à grille (ou disque) 60 «mesh» 2 ½ in	1 U	180,00	180,00
	Sous-total			250,60
	Total général: (Prix 2001)			1415,00

FIGURE 12.4 - Techniques de raccordement des systèmes de mini-asperseurs.



CHAPITRE 13:

Irrigation des arbres par barboteurs

INTRODUCTION

L'irrigation par barboteurs est un système d'irrigation localisée à basse pression, installé de manière fixe et permanente et utilisé dans les plantations d'arbres. Au pied de chaque arbre est aménagée un bassin (ou cuvette) rond ou carré, qui est rempli d'eau durant l'irrigation. L'eau fournie par des barboteurs s'infiltre dans le sol et humidifie la zone racinaire. Les barboteurs sont de petits distributeurs disposés dans chaque bassin (une ou deux unités selon les besoins), qui distribuent l'eau à un débit de 100 à 250 litres/heure.

TRAME ET COMPOSANTES DU SYSTÈME

La trame du réseau, typique de tous les réseaux sous pression, comprend un ouvrage de tête sans dispositif de filtration ni de fertilisation. Les conduites principales et secondaires sont généralement des conduites enterrées rigides en PVC, avec des bornes s'élevant au-dessus de la surface. Souvent les adducteurs et conduites latérales sont aussi des tuyaux enterrés rigides en PVC. Les barboteurs sont soit disposés sur un piquet au-dessus du sol et raccordés à la conduite latérale par un petit tuyau en plastique débouchant en surface, soit fixés sur de petits tubes de rallonge en PVC branchés sur la conduite latérale enterrée.

La différence entre le système de barboteurs et les autres installations de micro-irrigation réside dans le diamètre des conduites latérales: 50 mm dans le premier cas, (en raison d'un débit élevé dans ces conduites) et 12–32 mm dans le second; c'est ce facteur qui explique la nécessité d'enterrer la conduite latérale.

LES BARBOTEURS DE DISTRIBUTION

Les barboteurs sont de petits distributeurs en plastique avec un joint fileté. À l'origine conçus pour être utilisés sur des tubes de rallonge au-dessus du sol, pour l'irrigation par submersion de petites surfaces ornementales, ils ont été employés avec succès ces dernières décennies dans plusieurs pays pour l'irrigation des arbres fruitiers. Ils fonctionnent parfaitement dans une large gamme de pressions, distribuant l'eau sous forme de fontaine, d'un petit écoulement ou d'une minuscule ombrelle à proximité du distributeur.

Les principales caractéristiques du système sont:

- pression de service: 1 à 3 bars;
- débit: 100 à 250 l/h (ajustable);
- aucune filtration requise.

Il existe une très large gamme de débits jusqu'à 800 l/h; seuls les barboteurs à faibles débits sont présentés ci-dessous.

PROGRAMMATION DE L'IRRIGATION

Avec l'irrigation par barboteurs, le volume de sol humidifié dans la zone racinaire atteint environ 80 pour cent. Par conséquent, le programme d'irrigation peut être établi sans restrictions; on peut adopter un programme à dosage fixe ou à intervalle fixe, en prenant en considération la capacité de rétention de l'humidité du sol, la disponibilité de l'eau d'irrigation, l'importance du débit, etc.

CRITÈRES ET CONSIDÉRATIONS DE CONCEPTION

L'irrigation par barboteur est utilisée principalement dans les vergers. Les critères les plus importants, en dehors des critères de conception habituels, sont les caractéristiques et propriétés très spécifiques du système.

Les barboteurs distribuent l'eau en un point particulier avec un débit assez important. Ainsi une préparation minimale du sol est nécessaire pour répartir l'eau uniformément dans le bassin. Dans les sols sableux, l'eau s'infiltre au point d'application et des pertes élevées se produisent à cause de la percolation profonde. Dans les sols plus fins avec de faibles taux d'infiltration, l'eau s'accumule en favorisant l'évaporation.

Les arbres adultes nécessitent toujours deux barboteurs, un de chaque côté, pour assurer une uniformité d'application acceptable. Le débit par arbre, d'environ 500 l/h, est relativement élevé, en comparaison des autres systèmes de micro-irrigation. Ainsi, le diamètre d'une conduite latérale de 80 mm de longueur sera de 50 mm pour irriguer un simple rang de 13 arbres espacés de 6 m.

La pratique courante est de disposer une conduite latérale pour deux rangées d'arbres avec de petits tuyaux flexibles se déroulant de chaque côté et branchés aux barboteurs. De cette manière, la même conduite latérale de 50 mm de diamètre, enterrée entre deux rangs d'arbres, peut desservir 12 arbres de chaque côté, soit 24 arbres espacés de 6 m, avec 48 barboteurs.

La dimension de l'équipement du système doit toujours être adaptée aux débits requis pour les arbres adultes.

Pour de plus longues conduites latérales, des barboteurs à pression compensée peuvent convenir, bien que ceci entraîne une consommation d'énergie supérieure, et la pose de conduites à haute pression, plus coûteuses.

COÛTS

Le coût d'une installation complète permanente est d'environ de 3 900 \$EU par hectare, dont 70 \$EU pour l'ouvrage de tête, soit moins de 2 pour cent du total. Le coût des conduites (toutes en PVC rigide) est de 1 250 \$EU, plus 970 \$ pour la tranchée (déblai et remblai), soit environ 56 pour cent du total. Les barboteurs avec leurs petits tuyaux flexibles de connexion coûtent 980 \$EU, ou 25 pour cent du total. Le coût par arbre des conduites latérales avec les barboteurs est d'environ 6,60 \$EU.

AVANTAGES

- Efficience d'irrigation élevée, jusqu'à 75 pour cent, permettant des économies d'eau considérables, avec un contrôle absolu de l'eau de sa source jusqu'au bassin de l'arbre.
- L'ensemble du réseau est enterré, ce qui laisse le terrain libre pour toutes les façons culturales.
- La technologie est simple et aucun équipement sophistiqué n'est requis. Le système peut être utilisé par des exploitants et ouvriers non spécialisés.
- Aucun filtre ni installation de fertilisation ne sont nécessaires.

INCONVÉNIENTS

- Investissement initial élevé.
- Les petits débits ne conviennent pas, à l'inverse des autres systèmes de micro-irrigation.
- Dans les sols sableux à taux d'infiltration élevé, il est malaisé d'obtenir une distribution uniforme de l'eau dans les bassins des arbres.

EXEMPLE DE PROJET – IRRIGATION D'ARBRES FRUITIERS PAR BARBOTEURS

Superficie et cultures

La parcelle, qui mesure 120 x 85 m (1 ha), est plantée de rangs de goyaviers adultes espacés de 6 x 6 m. Il y a 280 arbres répartis en 20 rangs de 14 arbres chacun. La pente de la parcelle est de 0,5 pour cent de l'ouest vers l'est et du nord vers le sud.

Sol, eau et climat

Sol à texture moyenne avec un taux d'infiltration d'environ 8 mm/h et une humidité disponible de 150 mm/m de profondeur. Un forage existant fournit un apport sûr de 25 m³/h d'une eau de qualité convenable. Le relevé moyen de l'évaporation en bac est de 7 mm/jour.

Besoins en eau et programme d'irrigation

L'évaporation en bac de 7 mm/jour multipliée par 0,66 (facteur de correction de l'évaporation en bac) donne une ETo de 4,65 mm/jour. Le facteur cultural k_c est de 0,65, ainsi $ET_c = 4,65 \times 0,65 = 3$ mm/jour. La superficie ombragée par la canopée des arbres est de 70 pour cent mais définie à 82 pour cent pour les besoins du calcul. Par conséquent les besoins quotidiens nets sont de $3 \times 0,82 = 2,48$ mm/jour. Avec une efficacité d'application du système de 75 pour cent, les besoins quotidiens bruts sont de $2,48 \times 100 \div 75 = 3,3$ mm (33 m³). Si l'irrigation a lieu tous les dix jours, la dose brute est de $10 \times 33 = 330$ m³.

L'intervalle maximum admissible d'irrigation en juillet pour un tarissement de l'humidité de 50 pour cent sur une profondeur des racines des arbres de 0,60 m est de: $150 \times 0,6 \times 0,5 \div 3 = 15$ jours. La fréquence d'irrigation dépend de plusieurs facteurs mais ne doit en aucun cas excéder l'intervalle d'irrigation admissible.

Trame du système, performances et caractéristiques hydrauliques

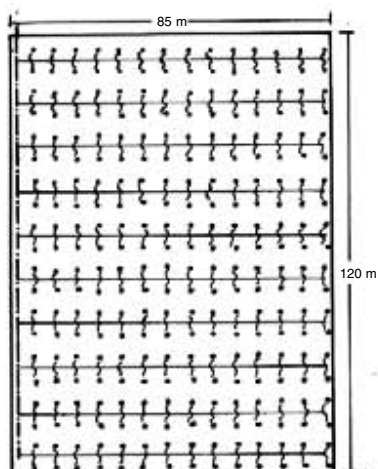
La conduite principale sert d'adducteur. Les conduites latérales sont des conduites enterrées en PVC rigide de 50 mm de diamètre posées entre chaque lignée d'arbres, avec des tubes flexibles de 12 mm de diamètre s'élevant de chaque côté et alimentant chaque bassin par deux barboteurs (figures 13.1 et 13.2). Les principales caractéristiques des barboteurs sont (tableaux 13.1 et 13.2):

- débit: 225 l/h à 2 bars;
- nombre de barboteurs par conduite latérale: 56 (chaque conduite latérale irrigue 2 rangs d'arbres, c'est-à-dire 28 arbres);
- débit dans la conduite latérale: 12,600 l/h (12,6 m³/h);
- nombre total de conduites latérales: 10;
- débit du système: 25 m³/h;
- nombre de conduites latérales en service simultanément: 2;
- nombre de tours par irrigation: 5;
- heures de fonctionnement par tour: 2,64 h (2h 38 mn);
- temps requis pour une irrigation: 13,2 h (13h 15 mn).

TABLEAU 13.1 - Pression de fonctionnement du système

Pression de fonctionnement du système	bars
Pression au barboteur	2,00
Pertes de charge dues au frottement dans la conduite latérale	0,34
Pertes de charge dues au frottement dans la conduite principale	0,60
Pertes de charge dues au frottement dans l'ouvrage de tête	0,20
Pertes de charge mineures	0,20
Sous-total	3,34
Différence de niveau	- 0,10
Charge dynamique totale	3,24

FIGURE 13.1 - Exemple de projet d'irrigation d'un verger par barboteurs.

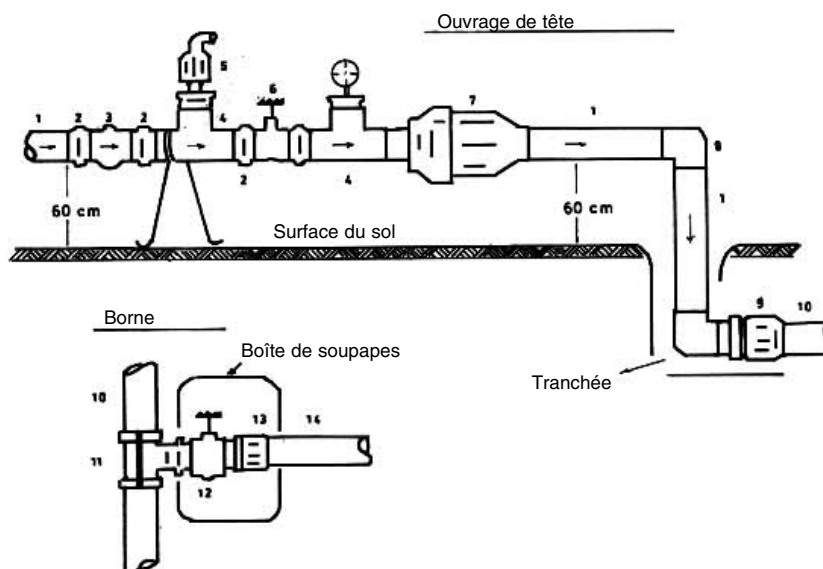


Conduite principale enterrée, tuyaux PVC rigide 75mm
 Conduites latérales enterrées, tuyaux PVC rigide 50 mm
 avec barboteurs en surface

TABLEAU 13.2 - Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système

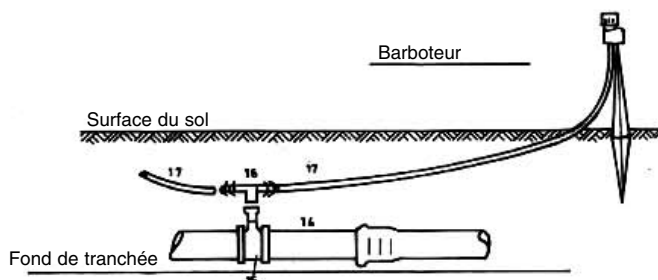
Pièce n°	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
Réseau de distribution				
1.	Tube uPVC 75 mm, 6 bars, joint pression	120 m	1,90	228,00
2.	Tube uPVC 50 mm, 6 bars, joint pression	850 m	1,20	1020,00
3.	Collier de prise en charge PP 75 mm x 2 in	10 U	2,25	22,50
4.	Collier de prise en charge PP 50 mm x 1 in	140 U	1,10	154,00
5.	Adaptateur PP 75 mm x 2 in	1 U	9,00	9,00
6.	Adaptateur PP 50 mm x 2 in	10 U	4,00	40,00
7.	Bouchon PP 75 mm	1 U	9,00	9,00
8.	Bouchon PP 50 mm	10 U	4,00	40,00
9.	Raccord 2 in	10 U	1,00	10,00
10.	Vanne sectionnement laiton 2 in	10 U	12,00	120,00
11.	Té fileté PVC 1 in	140 U	1,00	140,00
12.	Raccord réducteur PVC 1 in x 50 mm	280 U	0,60	168,00
13.	Té à ergot PP 12 mm	280 U	0,30	84,00
14.	Adaptateur à ergot PP 2 in x 50 mm	280 U	0,25	70,00
15.	Tube PVC flexible 12 mm	1120 m	0,25	280,00
16.	Jeu de barboteur, 225l/h à 2 bars (ajustable)	560 U	0,70	392,00
17.	Boîte à soupapes, plastique 31 x 50 x 40 cm	10 U	20,00	200,00
18.	Déblai et remblai tranchée	970 m	1,00	970,00
Sous-total				3956,50
Ouvrage de tête				
19.	Vanne contrôle laiton 2 in	1 U	15,00	15,00
20.	Vanne sectionnement laiton 2 in	2 U	13,00	26,00
21.	Té 2 ½ in (acier galvanisé ou PVC)	3 U	3,50	10,50
22.	Raccord 2 in	4 U	1,00	4,00
23.	Purgeur à air simple 1 in	1 U	12,00	12,00
Sous-total				67,50
COÛT TOTAL				4024,00

FIGURE 13.2 - Techniques de raccordement dans l'irrigation par barboteurs.



- 1 – tuyau 2 1/2 in
- 2 – raccord 2 1/2 in
- 3 – vanne de contrôle 2 1/2 in
- 4 – té fileté 2 1/2 in
- 5 – purgeur d'air 1 in
- 6 – vanne de sectionnement 2 1/2 in
- 7 – filtre à disque (en option)
- 8 – coude
- 9 – adaptateur PP 2 1/2 in x 75 mm

- 10 – conduite uPVC 75 mm
- 11 – collier de prise en charge PP 75 mm x 2 in
- 12 – vanne de sectionnement 2 in
- 13 – adaptateur 2 in x 50 mm
- 14 – tuyau uPVC 50 mm
- 15 – collier de prise en charge 50 mm x 1 in
- 16 – té à ergot 1/2 in
- 17 – tube flexible PVC 12 mm



CHAPITRE 14: Irrigation goutte-à-goutte

INTRODUCTION

En irrigation par goutte-à-goutte, l'eau est appliquée séparément à chaque plante en quantités réduites, précises et fréquentes au moyen d'un distributeur appelé goutteur. Il s'agit de la méthode d'irrigation la plus avancée, avec l'efficacité d'application la plus élevée. L'eau est distribuée en continu au même endroit sous forme de gouttes et s'infiltre dans le sol en humectant la zone racinaire, verticalement par gravité et latéralement par effet de capillarité. La zone plantée n'est que partiellement humidifiée.

Dans les sols moyennement lourds de bonne structure, le mouvement latéral de l'eau sous la surface est plus important que dans les sols sableux (tableau 14.1). En outre, lorsque le débit du goutteur excède le taux d'absorption du sol et sa conductivité hydraulique, l'eau s'accumule en surface. Ceci conduit à une distribution de l'eau plus latérale que verticale. Les valeurs suivantes d'épandage latéral de l'eau sont indicatives:

TABLE 14.1 - Type de sol et rayon moyen d'épandage latéral d'eau des goutteurs

Type de sol	Rayon moyen d'épandage de l'eau
Texture légère	30 cm
Texture moyenne	65 cm
Texture fine	120 cm

TRAME ET COMPOSANTES DU SYSTÈME

Un système intégral d'irrigation par goutte-à-goutte comprend un ouvrage de tête, des conduites principales et secondaires, des bornes, des adducteurs et des conduites latérales équipées de goutteurs.

L'ouvrage de tête (contrôle/commande)

Ses caractéristiques et équipements dépendent des besoins du système. Habituellement il comprend une vanne de sectionnement, des vannes de contrôle, une unité de filtrage, un injecteur d'engrais et d'autres petits accessoires.

Les conduites principales et secondaires

Elles sont généralement enterrées, surtout si elles sont en PVC rigide.

Les bornes

Branchées sur les conduites principales et secondaires, elles sont munies de vannes de sectionnement de 2 ou 3 pouces, et peuvent fournir tout ou partie du débit alimentant les adducteurs. Elles sont placées dans des boîtes de soupapes où elles sont protégées.

Les adducteurs

Ce sont généralement des conduites de 50, 63 ou 75 mm de diamètre. S'ils sont en PEHD, ils restent en surface et sont reliés à la borne par des raccords de compression en PP.

Les conduites latérales à goutteurs

Elles sont toujours en PEFD noir flexible de 12–20 mm, PN 3 à 4 bars. Elles sont branchées sur l'adducteur, à des positions fixes, avec de petits raccords en PP, et posées le long des rangées de cultures. Elles sont équipées de goutteurs ou d'autres distributeurs espacés régulièrement (figure 14.1).

FIGURE 14.1 - Conduite principale, adducteur et conduites latérales avec goutteurs.



En général, le réseau de distribution (conduites principales, conduites secondaires et adducteurs) est constitué de tuyaux et raccords thermoplastiques (PVC, PE, PP, etc.) pour des pressions PN 6 et 10 bars. Toutefois, d'autres types de tuyaux peuvent être utilisés pour ces conduites, tels que les tuyaux en acier léger à raccord rapide. Dans le passé, des conduites en PVC rigide, assemblées de façon permanente et enterrées, servaient de conduites principales et secondaires avec des bornes implantées en surface aux endroits désirés. Plus récemment, des tuyaux en PEHD de 50–75 mm, PN 6 bars, posés en surface, ont été utilisés pour l'ensemble du réseau de distribution dans les petites exploitations. De plus grands diamètres de tuyaux en PE sont aussi disponibles, mais ils sont plus coûteux que les tuyaux rigides en PVC de même diamètre.

La pression de service variant entre 2 et 3 bars, tous les types d'irrigation par goutte-à-goutte sont classifiés comme systèmes localisés à basse pression, à installation fixe ou saisonnière.

LES DISTRIBUTEURS GOUTTE-À-GOUTTE (GOUTTEURS)

Les goutteurs sont de petits distributeurs en plastique de haute qualité. Ils sont montés à intervalle régulier sur de petits tuyaux flexibles en PE. L'eau pénètre dans les goutteurs sous une pression d'environ 1 bar et ressort sans pression sous forme de gouttelettes continues avec un faible débit de 1 à 24 litres/heure. Les goutteurs sont divisés en deux principaux groupes selon la manière dont ils dissipent l'énergie (pression):

- type à orifice, avec une section d'écoulement de 0,2 à 0,35 mm²;
- type à circuit long avec une section d'écoulement plus grande de 1 à 4,5 mm².

Les deux types sont fabriqués avec différents mécanismes et principes de fonctionnement, tels qu'une diode à vortex, un diaphragme ou disque flottant pour les goutteurs à orifice, et un circuit en labyrinthe de diverses formes pour le type 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, par insertion dans la paroi du tube à l'aide d'un poinçon, ou en ligne, en tranchant le tube pour insérer le goutteur manuellement ou à l'aide d'un instrument.

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

Les spécifications suivantes doivent être données par le fournisseur:

- débit du goutteur pour la pression de fonctionnement recommandée, normalement 1 bar;

- débit du goutteur en fonction des variations de pression et longueur optimale de la ligne de goutteurs avec différents espacements et pentes;
- type de raccordement;
- besoins en filtration;
- coefficient de variation (variabilité de fabrication des goutteurs).

Alors que certains types de goutteurs sont montés sur le tuyau en usine, d'autres peuvent être achetés séparément et montés sur le tuyau en fonction des besoins.

GAINES DE MICRO-IRRIGATION

Il s'agit de lignes de tuyaux à paroi mince avec des points d'émission espacés de 10, 20, 30 ou 45 cm ou tout autre espacement, fournissant de plus faibles débits que les goutteurs habituels à de très faibles pressions, c'est-à-dire 0,4 à 1 litre/heure sous 0,6 à 1 bar. Ce sont des tuyaux à goutteurs intégrés car les goutteurs sont posés dans les parois du tuyau à des intervalles fixés à la fabrication. Ces gaines constituent des conduites latérales avec goutteurs prêtes à l'emploi qui offrent une uniformité d'application très élevée. Elles sont en PEFD ou en tout autre type de PE souple et existent en divers diamètres de 12 à 20 mm et en plusieurs épaisseurs de parois (0,1 à 1,25 mm). Grâce à un système de filtration incorporé dans le tube, elles sont moins sensibles au bouchage mécanique ou biologique que les goutteurs conventionnels.

TUYAUX À PAROIS POREUSES

Ces tuyaux de petit diamètre (environ 16 mm) sont des tubes flexibles à parois minces poreuses en fibres de PE, en PVC, en ABS, ou en caoutchouc. Ils permettent le passage à basse pression de l'eau et des éléments nutritifs par transpiration au travers du tube, qui vont irriguer les plantes. Le débit dans les tuyaux poreux n'est pas précis, car la dimension des pores est variable et instable. Ils sont utilisés comme tuyaux latéraux goutteurs en dessous de la surface. L'application de cette technique est limitée, bien qu'elle offre quelques avantages.

FILTRATION

La filtration de l'eau d'irrigation est d'une importance majeure pour l'application normale de ce système. Les impuretés solides contenues dans l'eau doivent être éliminées par une filtration efficace pour éviter que les goutteurs ne soient endommagés par engorgement. Le type de filtration dépend du type d'impuretés et du degré de filtrage requis.

PROGRAMMATION DE L'IRRIGATION

En irrigation par goutte-à-goutte, le volume de sol de la zone racinaire n'est que partiellement humecté et la disponibilité d'humidité restreinte. Le tarissement de l'humidité du sol ne doit pas excéder 40 pour cent de l'humidité disponible du sol dans le dernier stade de croissance des légumes et des arbres fruitiers, et 20 à 30 pour cent dans les stades précédents pour les légumes. Toutefois, pour obtenir des rendements supérieurs, la pratique courante est d'irriguer chaque jour dans les derniers stades. Il est possible de programmer l'irrigation de manière appropriée en utilisant des tensiomètres pour indiquer la tension d'humidité du sol dans la zone racinaire. Celle-ci varie de 10 cbars pour les sols légers à 25 cbars pour les sols lourds.

CRITÈRES ET CONSIDÉRATIONS DE CONCEPTION

L'irrigation goutte-à-goutte est principalement appliquée aux cultures intensives plantées en rangées (légumes, arbres fruitiers, melons, bananes, papayes, fleurs, raisins, etc.). Elle n'est pas recommandée pour les pommes de terre, les salades, les légumes à feuilles, les arachides, la luzerne, et les autres cultures à plantation dense, bien qu'elle puisse être parfois utilisée avec succès pour ces cultures.

Les goutteurs et/ou l'espacement des conduites latérales sont directement liés à l'espacement de plantation des cultures. Pour la plupart des cultures de légumes, l'espacement des goutteurs correspond à l'intervalle inter-cultures, c'est-à-dire un goutteur par plante et une conduite latérale de goutteurs par rang de plantes. Avec les gaines de micro-irrigation il existe plusieurs points de distribution par plante afin d'assurer une bande humide continue le long de la ligne de cultures; dans ce cas on dispose une gaine de micro-irrigation par rang de plantes.

En irrigation goutte-à-goutte, la plupart des légumes développent leurs principales racines dans les premiers 30 cm de profondeur du sol, en dessous du point de distribution de l'eau. Ainsi, si les cultures et les points de distribution sont peu espacés le long du rang, la plus grande partie du volume de sol pourra être suffisamment humidifiée avec des rendements des cultures optimaux.

Lorsque la culture est plantée de manière dense en planches, une conduite latérale de goutteurs pour deux rangs peut être mise en place avec de bons résultats. D'autres cultures plantées en doubles rangées (céleri, poivron et piment) sont aussi irriguées par une conduite latérale de goutteurs placée entre les rangs.

Dans les vergers où les arbres sont très espacés, l'espacement des goutteurs diffère de celui adopté pour les légumes. Comme la surface du sol

n'est que partiellement mouillée, seule une partie du système racinaire est également mouillée. Le principal objectif est de mouiller le plus grand volume possible de sol par arbre (volume de système racinaire), pas moins de 35 pour cent, tout en évitant la percolation en profondeur, au-delà de 50–60 cm, qui est la profondeur moyenne des racines des arbres fruitiers sous irrigation goutte-à-goutte. Ce pourcentage de 35 pour cent correspond environ à une superficie de sol de 10 à 12 m², avec un espacement des arbres de 5 x 6 m ou 6 x 6 m. À partir de ce principe et des chiffres indicatifs sur l'épandage latéral de l'eau, les projets de conduites latérales avec goutteurs dans un verger d'arbres se fonderont sur les éléments suivants:

- ligne simple par rangée d'arbres, avec environ 4 à 8 goutteurs tous les 0,80 à 1,20 m le long de la ligne;
- tracé circulaire, ou en boucle autour de l'arbre. Cette disposition compte une ligne simple par rangée et, pour chaque arbre, soit une plus petite ligne d'extension avec cinq à huit goutteurs autour de l'arbre, soit un goutteur à multiples sorties avec quatre à six petits tubes s'étendant radialement autour de l'arbre. Le diamètre du cercle varie de 1,2 à 2,2 m. Les arbres nouvellement plantés peuvent être munis de deux goutteurs seulement de chaque côté du bassin, à 35–40 cm du tronc de l'arbre;
- double ligne par rangée de plantes. Ce schéma est appliqué dans les plantations de bananiers, avec deux lignes de goutteurs par rang d'arbres, une de chaque côté, implantées à environ 1,2 à 1,6 m de l'arbre. Les goutteurs le long de la ligne sont alors respectivement espacés de 0,7 à 1,2 m (figure 14.2).

FIGURE 14.2 - Double ligne de goutteurs sur des bananiers.



COÛTS

Le coût d'une installation complète d'irrigation goutte-à-goutte s'élève à 4-5 000 \$EU/ha. Le coût des conduites (tous les tuyaux, y compris les conduites latérales) représente 2 000 \$EU, soit 45 pour cent du coût total. L'ouvrage de tête représente 30 pour cent du coût total.

AVANTAGES

- Économie d'eau. La superficie plantée est partiellement humidifiée, mais précisément et avec une quantité d'eau contrôlée. Ainsi, de grandes quantités d'eau d'irrigation sont économisées et la superficie irriguée peut être accrue avec le même volume mobilisé, ce qui permet un revenu supérieur par unité de volume d'eau.
- Utilisation de ressources en eau salée. Le goutte-à-goutte permet de maintenir de faibles tensions d'humidité du sol dans la zone racinaire de manière continue avec des applications faibles mais fréquentes. Les sels dissous s'accumulent à la périphérie de la masse de sol humide et les plantes peuvent facilement puiser l'eau dont elles ont besoin. Ceci permet l'utilisation d'eaux contenant plus de 3 000 mg/l de quantité totale de matière dissoute, ce qui serait impossible avec d'autres méthodes.
- Utilisation sur des sols marginaux. De petites parcelles irrégulières marginales, éloignées en raison du morcellement des terres et présentant des topographies variables et des sols peu profonds très caillouteux, peuvent être productives avec les techniques de goutte-à-goutte qui livrent directement aux plantes les quantités nécessaires d'eau et d'éléments nutritifs.
- Les faibles besoins en main-d'œuvre, la surveillance restreinte de la culture, la lutte réduite contre les mauvaises herbes et le fonctionnement ininterrompu font également partie des avantages de la méthode.

INCONVÉNIENTS

- Coût initial assez élevé.
- Une gestion rationnelle de l'irrigation est indispensable pour un fonctionnement satisfaisant du système, l'application de la fertilisation et l'entretien de l'équipement de l'ouvrage de tête (filtres, injecteurs, etc.).
- Engorgement des goutteurs. Le premier obstacle à la réussite de l'introduction des techniques d'irrigation par goutte-à-goutte dans les pays en voie de développement est le colmatage mécanique des goutteurs dû à un filtrage insuffisant des impuretés de l'eau d'irrigation.

EXEMPLE DE PROJET: IRRIGATION GOUTTE-À-GOUTTE DES PASTÈQUES

Superficie et cultures

La parcelle, de 120 x 83 m (environ un hectare), porte une culture à ciel ouvert de pastèques en rangs espacés de 2,20 m, avec un espacement de 50 cm entre chaque plante. La parcelle est divisée en deux parties de 54 rangs de 40,5 m chacune; à raison de 81 plantes par rang, cela donne 4 374 plantes par ½ partie, 8 748 au total et 108 rangs plantés.

Sol, eau et climat

Sol de texture lourde à faible perméabilité (environ 6 mm/h) et une capacité de rétention de l'humidité élevée. La source d'eau est un réservoir à ciel ouvert situé à proximité; l'eau est de bonne qualité mais contient une grande quantité d'impuretés d'origine organique (algues). La saison culturale va de début avril à début juillet; les mesures maximum moyennes de l'évaporation en bac sont de 3,3 mm/jour pour avril, 4,64 mm/jour pour mai et 6,13 mm/jour pour juin.

Besoins en eau et programme d'irrigation

Les besoins maximum en eau de la pastèque surviennent durant le stade de mi-croissance et de formation du fruit à, la fin mai et au début juin, lorsque la valeur de k_c est de 1. La valeur moyenne relevée pour les deux mois est de 5,38 mm/jour ce qui, multiplié par un facteur de correction de 0,66, donne une ET_o de 3,55 mm/jour, équivalente à l' ET_c puisque $k_c = 1$. L'efficacité d'application atteint 90 pour cent.

Par conséquent, le besoin quotidien brut de pointe est de:

$$3,55 \times 90 \div 100 = 3,94 \text{ mm/jour}$$

$$3,94 \times 10 \times 1 \text{ ha} = 39,4 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Le programme d'irrigation à la fin mai n'est pas fixé en fonction d'un tarissement fixe de l'humidité du sol, mais d'un intervalle fixe d'une journée. En conséquence l'irrigation est appliquée chaque jour avec une dose de 39,5 m³/jour. Au stade initial de la saison de croissance, l'intervalle d'irrigation varie entre quatre et deux jours.

Trame du système

Le système comprend un ouvrage de tête équipé d'un filtre à gravier et d'une crépine, d'un injecteur à fertilisant et d'une vanne de réglage. La conduite principale en PEHD est posée au milieu du champ en surface. Sur celle-ci, qui joue aussi le rôle d'adducteur, on installe 54 bornes de $\frac{3}{4}$ in, espacées de 2,2 m. Les conduites latérales connectées aux bornes sont des tuyaux en PEFD de 16 mm posés perpendiculairement à la conduite principale des deux côtés, un par rangée de plantes. Afin d'alimenter des plantes ou surfaces particulières, des goutteurs additionnels séparés sont insérés dans les conduites latérales tous les 50 cm, un par plante.

Caractéristiques des goutteurs

- en dérivation: 4 litres/heure à 1 bar;
- filtration requise de 160 «mesh».

Caractéristiques des conduites latérales

- tuyaux en PEFD de 16 mm, PN 4 bars, longueur 41 m;
- nombre de goutteurs: 81;
- débit total: 324 litres/heure;
- nombre de conduites latérales: 108;
- nombre total de goutteurs: 8 748.

Fonctionnement du système

Le débit requis pour le fonctionnement simultané des conduites latérales est de 35 m³/h. Si une irrigation est effectuée en 3 tours, le débit de l'installation est de 12 m³/h, un débit raisonnable pour une superficie de 1 ha. La durée d'application par tour en pointe pour une dose d'irrigation de 39,5 m³ est de une heure six minutes; une irrigation complète prendra trois heures et six minutes (figures 14.3 et 14.4).

Pression de fonctionnement

La pression requise pour le fonctionnement normal du système doit être conforme aux tableaux suivants (tableaux 14.2 et 14.3).

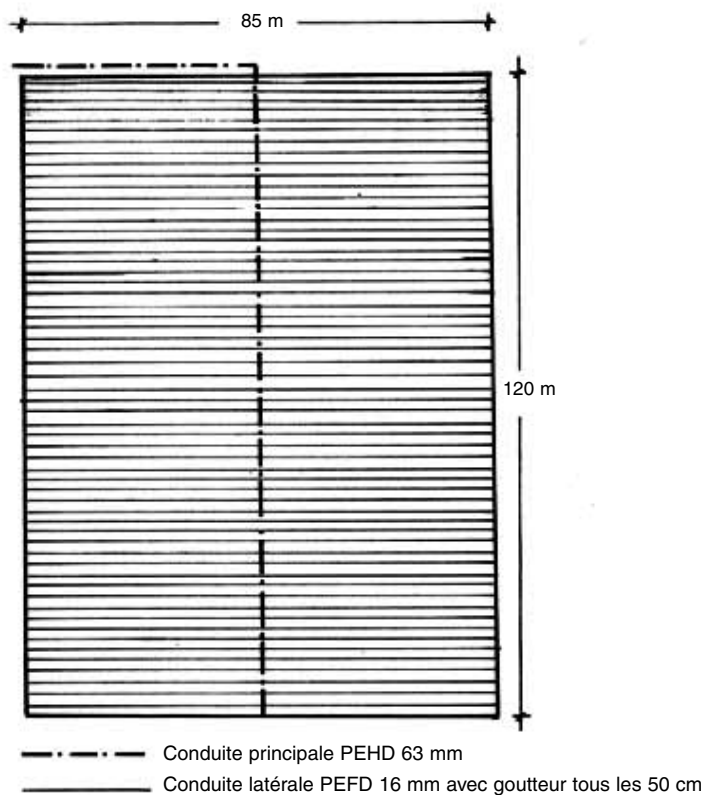
TABLEAU 14.2 - Pression de fonctionnement du système

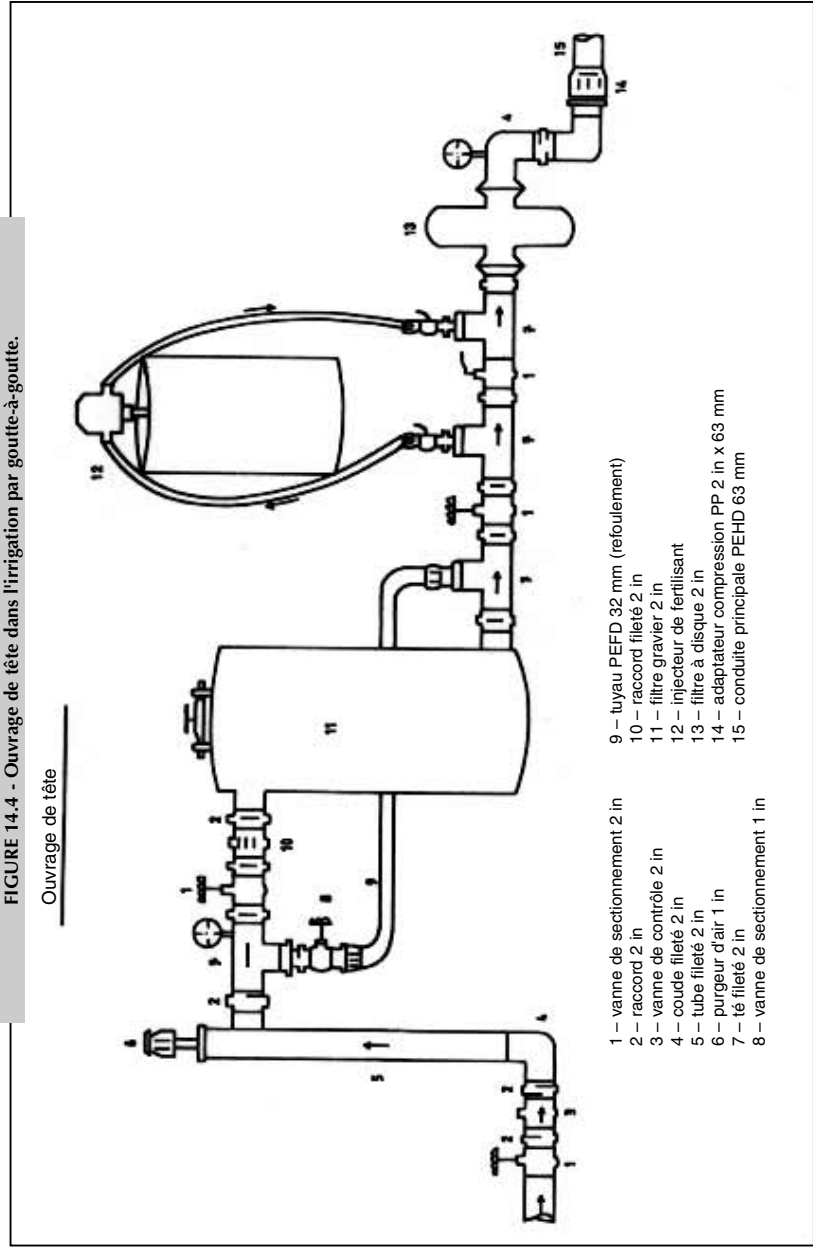
Pression de fonctionnement du système	Pression (bars)
Pression requise pour les goutteurs	1.00
Pertes de charge dues au frottement dans les conduites latérales	0.10
Pertes de charge dues au frottement dans les conduites principales	0.43
Pertes de charge dues au frottement dans l'ouvrage de tête	0.90
Pertes de charge mineures	0.22
Charge dynamique totale (pression) du système	2.65

TABLEAU 14.3 - Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système

Pièce n°	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
Réseau de distribution				
1.	Conduites PEHD 63mm, 6 bars	180 m	1,80	324,00
2.	Tuyaux PEFD 16mm, 4 bars	4430 m	0,32	2302,60
3.	Goutteurs 4 l/h, 1 bar	8750 U	0,06	525,00
4.	Adaptateur PP 63 mm x 2 in	1 U	6,00	6,00
5.	Adaptateur PP 16 mm x ¾ in	108 U	0,80	86,40
6.	Coude PP 63 mm	1 U	8,00	8,00
7.	Bouchon PP 63 mm	1 U	6,00	6,00
8.	Collier de prise en charge PP 63 mm x ¾ in	54 U	1,30	70,20
9.	Raccord ¾ in (acier galvanisé ou PVC)	54 U	0,25	13,50
10.	Té ¾ in (acier galvanisé ou PVC)	54 U	0,40	21,60
11.	Vanne sectionnement laiton ¾ in	108 U	2,30	248,60
	Sous-total			3609,70
Ouvrage de tête				
12.	Vanne de contrôle laiton 2 in	1 U	13,00	13,00
13.	Vanne de sectionnement laiton 2 in	2 U	12,00	24,00
14.	Vanne de sectionnement laiton ¾ in	2 U	2,30	4,60
15.	Té 2 in (acier galvanisé ou PVC)	3 U	2,00	6,00
16.	Raccord 2 in	4 U	1,00	4,00
17.	Raccord ¾ in	4 U	0,25	1,00
18.	Purgeur d'air 1 in	1 U	12,00	12,00
19.	Filtre gravier complet 2 in	1 U	600,00	600,00
20.	Filtre à disque 2 in avec jauges, etc.	1 U	180,00	180,00
21.	Injecteur à engrais complet, max. 150 l/h	1 U	500,00	500,00
	Sous-total			1344,00
	COÛT TOTAL			4953,70

FIGURE 14.3 - Exemple de projet d'irrigation par goutte-à-goutte de la pastèque.





CHAPTER 15: Systèmes familiaux peu onéreux d'irrigation goutte-à-goutte

INTRODUCTION

L'irrigation goutte-à-goutte est la méthode la plus efficace d'utilisation de l'eau pour la production de cultures. Pourtant des millions de petits fermiers ne sont pas à l'heure actuelle en mesure d'utiliser cette technique en raison:

- a) du montant élevé du capital initial requis pour l'installation du système; et
- b) du niveau de gestion relativement élevé.

Pour remédier à ces deux contraintes critiques dans des zones de pénurie d'eau, plusieurs ONG internationales (International Development Enterprises ou IDE, Direction suisse du développement et de la coopération ou DDC, Department for International Development du Royaume-Uni ou DFID) ont mis au point une série de technologies peu onéreuses ne relevant pas de l'irrigation de surface et présentant les mêmes avantages techniques (économie d'eau, rendement amélioré) que les installations conventionnelles. Le but était de permettre aux petits fermiers pauvres d'utiliser efficacement des quantités d'eau marginales et de cultiver des jardins familiaux et d'autres terrains pour la production d'aliments nécessaires à leur famille et à une petite activité commerciale.

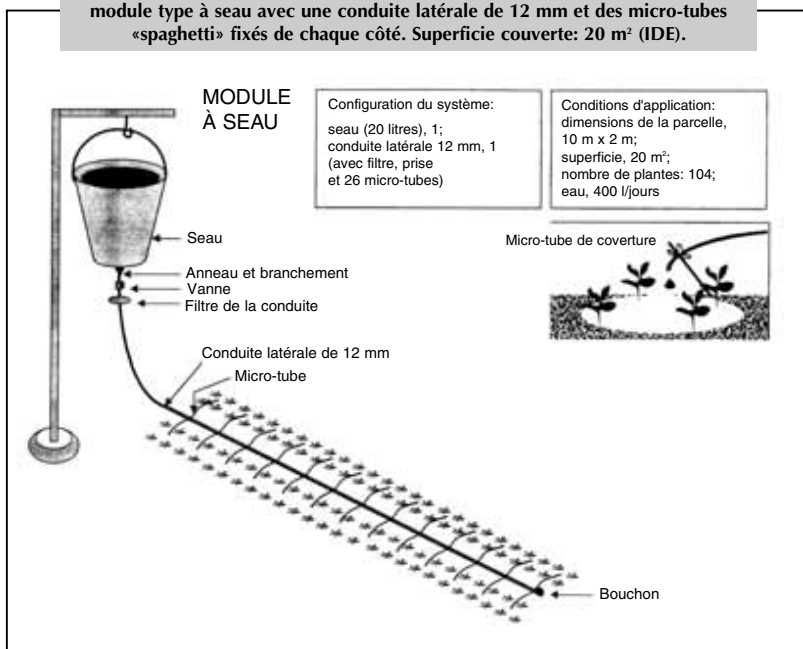
TECHNOLOGIES ABORDABLES DE MICRO-IRRIGATION

Les diverses nouvelles techniques encouragées, nommées technologies abordables de micro-irrigation, sont essentiellement le goutte-à-goutte simplifié et d'autres techniques de micro-irrigation pour de petites superficies de 100 à 500 m². La plupart d'entre elles (voir configuration des systèmes) – la ligne de goutteurs déplaçable, l'irrigation par pots filtrants en céramique, les micro-tubes «spaghetti», l'ensemble seau/poulie, le tuyau en PE avec trous perforés à intervalles fréquents et les goutteurs à sorties multiples – ont été expérimentées dans beaucoup de pays il y a déjà longtemps. Toutes ces techniques visent à la minimisation du coût d'investissement initial, au prix d'une main-d'œuvre disponible à bon marché. Ce concept est très prometteur et peut contribuer d'une manière significative à la réduction de la pauvreté dans beaucoup de régions de la planète.

Bien des efforts ont été consentis depuis le début des années 90 pour promouvoir l'application de ces systèmes dans les régions pauvres du continent indien et en Afrique sub-saharienne. Des essais de terrain et des

projets de recherche ont été réalisés pour répondre aux questions essentielles de la pertinence et de la profitabilité de ces techniques sur une base commerciale durable pour les millions de petits fermiers pauvres du monde. Nonobstant les efforts déployés et les dons et subventions alloués, les systèmes sur mesure de technologies abordables de micro-irrigation n'ont pas suscité d'intérêts sérieux chez les agriculteurs. Il convient de souligner que les agences de vulgarisation gouvernementales n'ont pas été impliquées dans des actions de transfert de technologie (figure 15.1).

FIGURE 15.1 - Configuration d'une technologie abordable de micro-irrigation par module type à seau avec une conduite latérale de 12 mm et des micro-tubes «spaghetti» fixés de chaque côté. Surface couverte: 20 m² (IDE).



D'autres configurations de technologies abordables de micro-irrigation sont proposées à la fin de ce chapitre.

Néanmoins, les systèmes de technologies abordables de micro-irrigation ont attiré l'attention des entreprises commerciales d'équipement d'irrigation en goutte-à-goutte. Un fabricant leader dans le domaine de l'irrigation moderne a développé le système familial d'irrigation goutte-à-goutte. Il s'agit d'un système à tambour amélioré. D'autres grandes compagnies ont aussi inclus ce système dans leur catalogue de produits sous diverses dénominations (ex.: «Easy Drip», etc).

LE SYSTÈME FAMILIAL D'IRRIGATION GOUTTE-À-GOUTTE

C'est une unité d'irrigation goutte-à-goutte complète, qui fonctionne par gravité à partir d'un réservoir placé à 1–1,5 m de hauteur. Il s'agit d'une méthode localisée constituée d'un système gravitaire de conduites sous pression, qui permet une installation saisonnière fixe pour cultiver des légumes, des fleurs, et d'autres cultures horticoles sur un terrain plat ou en faible pente. Il ne nécessite pas forcément de source extérieure d'énergie pour un fonctionnement normal. Le débit du système est de l'ordre de 1 m³/h. Développé spécialement pour l'exploitation familiale comme unité de production autonome, ce système est habituellement implanté sur des superficies de 500 à 1 000 m². Il est idéal en milieu rural, dans les zones de pénurie où l'eau disponible est limitée et pour une production agricole à petite échelle. Il peut être installé dans les serres et les tunnels bas, à ciel ouvert et à l'arrière des maisons villageoises.

Qu'y a-t-il de nouveau dans le système familial d'irrigation goutte-à-goutte?

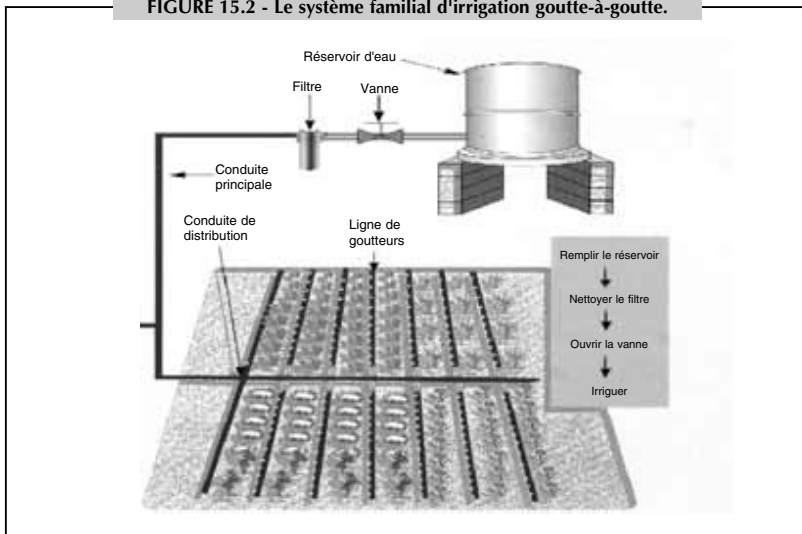
- La pression dans le système est très basse (0,1 à 0,2 bar). Pas d'énergie extérieure requise (électricité ou autre).
- L'ouvrage de tête du système est très simple et peu coûteux. Il est constitué seulement d'une vanne de sectionnement (contrôle) et d'un petit écran filtrant ou d'un filtre à disque.
- La gestion du système est très facile. Aucune compétence et/ou expertise ne sont requises.

TRAME ET COMPOSANTES DU SYSTÈME

La trame du système est presque similaire à celle de tous les systèmes d'irrigation sous pression. Un module familial complet de goutte-à-goutte se compose des quatre composantes suivantes: un réservoir d'alimentation en eau, un ouvrage de tête simple, des conduites de distribution d'eau et les lignes d'irrigation à goutteurs. Toutes les composantes du système familial d'irrigation sont fournies sous la forme d'un seul module complet. Mais dans de nombreux cas les fermiers fournissent leur propre réservoir, ce qui contribue à réduire l'investissement initial (figure 15.2). La description suivante porte sur un module familial standard de système familial d'irrigation goutte-à-goutte convenant pour une superficie d'environ 500 m².

Le réservoir d'eau

La capacité idéale du réservoir est de 300 à 3 000 l. Ce peut être un (deux ou plus) réservoir en plastique, un tonneau métallique, un bac en béton fabriqué par le fermier ou tout autre bassin adapté. Il est toujours placé de 1 à

FIGURE 15.2 - Le système familial d'irrigation goutte-à-goutte.


1,5 m au-dessus du niveau du sol, de façon à fournir suffisamment de pression gravitaire. Le remplissage du réservoir dépend des conditions locales et peut être assuré par un seau, une pompe à main ou à pédales, ou une petite pompe diesel. La source d'eau peut être un canal, des fossés, des puits de surface, des rivières ou des forages. Le réservoir est toujours couvert pour protéger l'eau contre les impuretés et l'ensoleillement et prévenir le développement des algues. Il dispose d'une vanne de vidange au fond permettant des purges fréquentes et le nettoyage des particules solides en suspension. Une prise filetée mâle de 1 pouce en plastique est encastrée dans la paroi à au moins 5 cm au-dessus du fond. Cet accessoire doit être inclus dans les pièces du système, avec le réservoir ou séparément (figure 15.3).

L'ouvrage de tête

L'ouvrage de tête comprend une vanne de sectionnement/contrôle de 1 pouce en plastique (robinet-vanne ou vanne à boisseau sphérique) ainsi qu'un filtre de conduite en PP de 120 «mesh», à tamis ou à disque. La vanne est connectée directement à la prise sur le réservoir, à l'amont du filtre.

Les conduites d'eau

Les conduites de distribution sont des tuyaux de 20, 25, ou 32 mm de diamètre en PE noir, PN 2,5 bars, longues de 50 à 75 m selon la dimension et/ou la forme de la parcelle. Elles servent de conduites

principales et latérales et sont posées sur le bord de la parcelle. Les rares raccords sont en PP à compression. De petits raccords en plastique (adaptateurs) à embout cannelé sont insérés dans les conduites latérales selon un espacement correspondant à l'écartement des rangs de culture pour alimenter les lignes de goutteurs.

Les lignes de goutteurs

Ce sont des tubes de 8 ou 12 mm de diamètre intégrant les goutteurs, faites d'un mélange de PE à basse densité linéaire conforme à la norme ISO 9260/61, avec des épaisseurs de parois de 0,6 à 0,9 mm (24 - 35 mil). Les distributeurs goutte-à-goutte intégrés sont du type à labyrinthe avec de larges passages d'eau et des filtres de protection pour éviter le colmatage.

FIGURE 15.3 - Réservoir fabriqué localement pour un système familial d'irrigation goutte-à-goutte.



Ils sont normalement espacés de 30 cm. Selon leur type, le débit de chaque goutteur varie entre 0,5 à 0,7 l/h pour une charge de 1 m, et de 0,65 à 0,95 l/h pour une charge de 2 m. Sur terrain relativement uniforme, la longueur moyenne recommandée de la ligne de goutteurs pour une charge de 1 m est de 12 à 15 m pour un diamètre de 8 mm, et de 25 à 30 m pour le diamètre de 12 mm. Les lignes sont posées le long des rangs de culture et connectées aux conduites latérales par simple pression. La longueur totale des lignes de goutteurs pour un terrain de 500 m² est d'environ 500 m.

Très souvent l'utilisation d'une petite pompe est essentielle lorsqu'un certain nombre de fermiers voisins ont des droits d'usage de l'eau sur un même puits. Dans un tel cas, il est recommandé que chaque fermier dispose d'un réservoir de plus grande dimension.

PROGRAMMATION DE L'IRRIGATION

Besoins en eau d'irrigation

L'une des difficultés pratiques du concept des technologies abordables de micro-irrigation est la définition de la quantité d'eau à appliquer et du meilleur moment pour l'appliquer. Les besoins totaux d'eau d'irrigation d'une certaine culture sont toujours les mêmes et dépendent des conditions climatiques, de la saison de croissance et de la méthode d'application de l'eau. Ils peuvent être calculés selon la méthode de la FAO. Les importantes économies en eau permises par la micro-irrigation, et en particulier le goutte-à-goutte, sont essentiellement dues aux efficacités élevées d'application de ces techniques. Les besoins en eau totaux de la plupart des cultures annuelles de plein champ (légumes et melons) varient de 300 à 650 mm, principalement en fonction de la longueur de la période de croissance et de son occurrence au cours de la saison.

Nombre et fréquence des irrigations

Dans le calcul des besoins en eau, le facteur superficie est remplacé par le nombre de plants. La superficie couverte est égale au nombre de plantes multiplié par l'espacement des plants. Comme dans le goutte-à-goutte traditionnel, dans les systèmes familiaux d'irrigation goutte-à-goutte, la surface irriguée et le volume de sol sont partiellement humectés et la disponibilité en eau du sol est restreinte. Ainsi, de fréquentes petites irrigations sont requises dans toutes les cultures saisonnières aussi bien que pérennes. Ceci doit toujours être expliqué aux fermiers utilisant les techniques de micro-irrigation, et en particulier de goutte-à-goutte.

Le nombre minimum d'irrigations par saison pour les légumes peut varier de 40 pour les pastèques à 75 pour les tomates selon la culture et la

longueur de la période de croissance. Cette dernière varie de 75 jours (haricot frais, oignon vert, courge) à 170 jours pour les tomates. L'arrosage des légumineuses peut nécessiter jusqu'à 120 irrigations. La fréquence normale d'irrigation peut varier de 1 à 3 jours avec une dose moyenne d'irrigation de 0,5 à 1 l/jour par plante durant la première phase de croissance. Durant la formation de la production, la dose augmente pour atteindre 1 à 2 litres par jour et par plante. Plus tard dans la saison, les besoins augmenteront à 3 à 6 l/jour par plante et en fin de saison, on atteindra quelquefois 5 à 7 l/jour par plante. Des applications journalières sont requises. Durant le stade des récoltes les besoins diminuent de 10 à 20 pour cent (les exigences maximales sont pour les pastèques). Les programmes d'irrigation pour les diverses cultures seront définis sur place.

CRITÈRES ET CONSIDÉRATIONS DE CONCEPTION

Superficie, dimensions et forme

La superficie à arroser peut être n'importe quelle terre agricole, plantée de cultures en rangs de faible longueur (12 à 24 m) et située en zone rurale de plaine ou de montagne. La dimension du terrain peut varier de 250 à 1 000 m². Les systèmes familiaux standard sont conçus pour une superficie de 500 m²; toutefois, des champs plus ou moins grands peuvent être irrigués, selon les espacements des rangs de culture. Les parcelles devraient être de forme normale, rectangulaire ou carrée.

Topographie et type de sol

Ces systèmes d'irrigation fonctionnent à très basses pressions, donc des terrains quasi horizontaux ou avec des pentes uniformes < 0,5 pour cent sont recommandés. Le sol peut être de n'importe quelle texture, de préférence moyenne et/ou fine, avec un taux d'infiltration < 20 mm/h. Des sols sableux très légers avec une perméabilité élevée ne sont pas recommandés.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un puits peu profond creusé à la main, un bassin, un petit cours d'eau saisonnier, un étang, ou des fossés, ou d'autres sources pouvant alimenter régulièrement le réservoir d'eau du système. Des pompes à main ou à pédales et des petits groupes de pompes diesel sont souvent utilisés à cette fin. Le débit prévu pour le système familial d'irrigation goutte-à-goutte proposé est de l'ordre de 1,1 m³/h sous une charge de 1,5 m.

Qualité de l'eau

L'eau doit être aussi propre que possible, bien que le système dispose d'un équipement complet de filtration. Chimiquement, l'eau doit avoir un pH normal de 6,5 à 8,4, avec une salinité basse à moyenne, un faible risque de sodium et de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, nitrates et le bore. La quantité totale de matière dissoute doit être comprise entre 500 et 2 000 mg/l (ppm), le taux d'adsorption du sodium doit être inférieur à 12 et le carbonate de sodium résiduel à 1,25 meq/l. La plupart des légumes saisonniers et les melons sont relativement tolérants à une teneur en bore de 1,5 à 2 mg/l. Mais les fraises et les haricots sont sensibles, donc le contenu en bore pour ces cultures ne doit pas excéder 0,7 mg/l et la salinité totale ne doit pas dépasser 1,5 dS/m (1 000 mg/l).

Catégories de cultures

Toutes les données sur les cultures de plein champ qui peuvent être cultivées sous goutte-à-goutte, dans une certaine zone, soit la saison de croissance en hiver et en été, l'espacement de plantation, etc., sont connues des agronomes et des fermiers de la région. Le tableau «Données utiles sur les cultures saisonnières courantes» est très important pour les projets de systèmes familiaux d'irrigation goutte-à-goutte et de technologies

FIGURE 15.4 - Lignes de goutteurs d'un système familial d'irrigation en Chine.



abordables de micro-irrigation. Les agronomes et fermiers locaux peuvent fournir des données pour chaque culture de plein champ (figure 15.4).

Spécifications particulières

Durée de l'application d'irrigation

Dans tous les systèmes de micro-irrigation, le dosage d'irrigation est appliqué simultanément à une superficie plus grande, mais à des taux plus faibles par unité de surface (plante) en comparaison avec les autres techniques et méthodes d'irrigation. Dans le système familial d'irrigation, le débit des goutteurs est très faible, autour de 0,65 l/h. Au dernier stade de croissance de la culture, bien des plantes requièrent jusqu'à 7–8 l/jour, donc la durée d'irrigation doit être d'au moins 5 heures pour un terrain de 1 000 m². La durée d'application de l'irrigation est liée directement au débit du système, à la capacité du réservoir, au nombre de remplissages et à la disponibilité en eau. Par exemple pour un réservoir de 200 litres de capacité avec un débit d'application de 1,1 m³/h pour une application quotidienne de 2 750 l d'eau sur 500 m² de terrain cultivé, la durée d'application serait de 2,5 heures et le nombre de remplissages du réservoir serait d'environ 14. Ce facteur doit être sérieusement considéré dans la conception et la programmation. Des applications d'eau partielles (irrigation discontinue) sont recommandées dans les périodes de demande élevées.

Installation du système familial d'irrigation goutte-à-goutte

L'assemblage des divers composants et raccords doit être réalisé correctement à l'installation de façon à éviter toute fuite. Les pertes d'eau peuvent sérieusement perturber les performances du système. De minces rubans de téflon sont utilisés pour tous les raccords filetés. Dans les systèmes familiaux d'irrigation, comme dans tous les systèmes sous pression, il faut rincer le système après l'installation. On rince en premier les conduites, puis les lignes de goutteurs sont reliées aux raccords de tête et la vanne de tête est ouverte à nouveau. Lorsque les lignes de goutteurs sont également rincées, le système est prêt à fonctionner.

COÛTS

L'investissement initial pour un système familial de conduites goutte-à-goutte (sans le réservoir) est de 100 à 120 \$EU pour une parcelle d'environ 500 m². Le prix d'un réservoir en plastique d'une capacité de 300 à 500 litres est presque équivalent. Dans les cas fréquents où les fermiers construisent eux-même leurs réservoirs, le coût est bien inférieur. Deux systèmes coûtant 200 à 240 \$EU peuvent couvrir une surface de 1 000 m². En cas de besoin une petite pompe d'alimentation peut servir à plusieurs fermiers, le coût supplémentaire étant divisé par le nombre d'utilisateurs (tableau 15.1).

**TABLEAU 15.1 - Données utiles sur les cultures saisonnières
à ciel ouvert courantes (valeurs approximatives)**

Culture	Plantation (transplant.)	Période de croissance (jours)	Récolte	Espace entre plantes (cm)		Nombre de plants par 100 m ²	Nombre minimum d'irrigations
				Le long du rang	Entre rangs		
Haricot (sur espalier ou non)	fév.–mars & août	75–90	mai–nov.	15–22 (5–10)	90 (45–60)	500–700 2 800	60
Chou	août–avril	120–140	toute l'année	30–45	45–75	300–700	20
Céleri	mai–oct.		août–mai	25–30	30–45		25
Concombre	mars–mai août–sep.	105–130	mai–août oct.–nov.	30–50	130–160	120–240	55
Aubergine	avril–mai	125–140	juin–déc.	60–75	90	150	65
Laitue	sep.–mai	70–90	toute l'année	15–30	30–45	750–2 200	20
Oignon vert	sep.–fév.	70	nov.–mai	5	15		15
Poivron	avril–mai	120–180	juil.–nov.	45–60	75	200–300	60
Courge	mars–sep.	90–120	mai–nov.	60	120–140	100–140	50
Tomate (espalier)	mars–sep.	135–190	juin–déc.	45–60	90–150	180–250	65
Tomate (sur champ)	mars–sep.	135–180	juin–déc.	60–75	150	100	65
Pastèques	mars–mai	90–120	juin–sep.	50–75	180–240	60–90	50

Remarque:

Les saisons et périodes de croissance des légumes et cultures annuelles de plein champ varient en fonction des conditions climatiques. En général la période de croissance de la plupart des cultures saisonnières varie entre 90 et 170 jours. Les valeurs indicatives ci-dessus couvrent la plupart des régions arides et semi-arides de l'hémisphère nord.

Ce coût est considérablement inférieur, pour une couverture identique, au coût d'un système conventionnel d'irrigation goutte-à-goutte à gestion sophistiquée. Dans les systèmes conventionnels, l'ouvrage de tête représente de 30 à 45 pour cent du coût initial, alors que dans le système familial cet investissement n'existe pas, la tête de commande se limitant à une vanne de 1 pouce et un filtre du même diamètre. Eu égard à ce faible coût total, le système familial peut être classé dans les systèmes d'irrigation peu onéreux.

AVANTAGES

Le système est peu coûteux, facile à installer et à faire fonctionner, et présente tous les avantages du goutte-à-goutte, lorsqu'il est correctement

utilisé et entretenu. L'engrais peut être injecté dans le système en diluant l'engrais soluble dans le réservoir en tête du système. Les dépenses d'entretien et le coût total de l'irrigation sont considérablement réduits.

Il n'y a aucune dépense d'énergie. La pression requise pour le fonctionnement est très faible (1 à 2 m de charge d'eau) comme dans les systèmes gravitaires. Dans les systèmes conventionnels de goutte-à-goutte la pression initiale à l'ouvrage de tête est de 3 à 3,5 bars.

INCONVÉNIENTS

Un manque possible de formation et de connaissances des fermiers sur les aspects agronomiques peut avoir un impact négatif. Dans certains cas la simplicité du système peut se révéler être un facteur négatif car les fermiers illettrés de bien des pays n'entretiennent pas les lignes de goutteurs, ce qui peut réduire la durée de vie des systèmes à une ou deux saisons seulement.

EXEMPLE DE PROJET – SYSTÈME FAMILIAL GOUTTE-À-GOUTTE POUR LA CULTURE DES TOMATES (SUR ESPALIER)

Superficie et cultures

La parcelle, qui mesure 20 x 25 m (500 m²), est plantée de tomates cultivées à ciel ouvert, en rangs espacés de 1,50 m. Les tomates sont espacées de 0,60 m le long des rangs. La parcelle est divisée en deux parties, chacune ayant 13 rangs de 12,5 m de long avec 21 plants par rang. Il y a donc 273 plants dans chaque partie, c'est à dire 546 en tout, sur 26 rangs. La plantation est planifiée fin juillet – début août et la période de croissance s'étendra sur 140 jours soit approximativement jusqu'au début de l'année suivante. L'irrigation est arrêtée à la fin novembre, mais la récolte se poursuit jusqu'en février.

Sol et eau

Sol de texture moyenne avec perméabilité autour de 12 mm/h et capacité de rétention de l'humidité relativement bonne. La source d'eau est un puits peu profond creusé à la main équipé d'une petite unité de pompage; l'eau est de bonne qualité avec peu d'impuretés. Le remplissage du réservoir se fait directement à partir du puits avec un tuyau en PE.

Besoins en eau et programme d'irrigation

Les besoins totaux en eau des tomates atteignent près de 650 mm. Le calcul est réalisé selon la méthode FAO. Le programme d'irrigation du système n'est pas défini à partir d'un tarissement fixe de l'humidité disponible du sol mais à des intervalles fixes d'une, deux ou trois journées. Ainsi, l'irrigation est pratiquée fréquemment et la dose varie en fonction du stade de croissance de la culture. Enfin, au stade ultime de la récolte, l'irrigation dépend de la pluie efficace et aussi du prix de la tomate sur le marché.

Dans cet exemple de projet, la culture est plantée au milieu de l'été, à l'ETo maximale. C'est un cas extrême, bien qu'assez fréquent en pratique. Comme mentionné ci-dessus: *«la fréquence normale d'irrigation peut varier de 2 à 5 jours avec une dose moyenne d'irrigation de 0,5 à 1 l/ jour par plante durant la première phase de croissance. Durant la formation de la production, la dose augmente pour atteindre 1 à 2 litres par jour et par plante. Plus tard dans la saison, les besoins augmenteront à 3 à 6 l/jour/plante et en fin de saison, on atteindra quelquefois 5 à 7l/jour/plante. Des applications journalières sont requises.»*

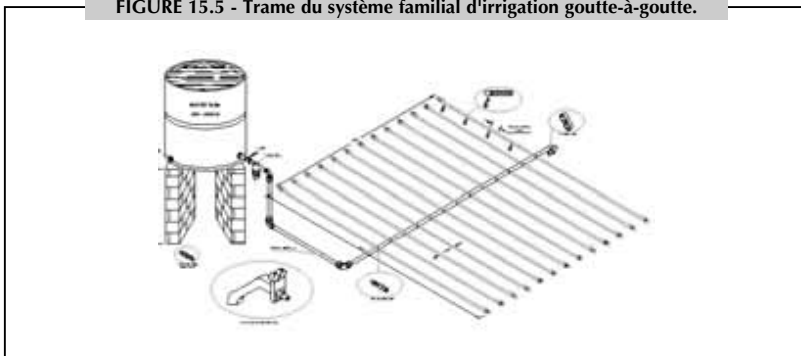
Dans cet exemple, la demande en eau est très élevée dans les premiers stades de croissance de la culture, bien que la couverture du sol par la culture, limitée au début, augmente lorsque la plante atteint les stades de milieu et de fin de saison. Durant le développement de la culture et les stades de milieu de saison, le coefficient k_c est de 1 alors qu'il atteint 0,45 à 0,75 dans les stades initiaux. L'efficacité d'application du système est de 90 pour cent. Dans cet exemple le programme d'irrigation suivant peut être utilisé comme guide (tableaux 15.2 et figure 15.5):

TABEAU 15.2 - Programme d'irrigation de l'exemple de projet

TABLEAU 15.2 - Programme d'irrigation de l'exemple de projet						
Période de croissance (stades)	Demande d'irrigation (mm)	Intervalle (jours)	Dose (litres/plant)	Dose d'irrigation (m ³)	Nombre d'irrigations	Quantité totale d'eau appliquée (m ³) pour 500 m ²
30 juil.–15 août	90	1	5,5	3	15	45
16 août.–10 sep.	155	1	5,5	3	25	75
11 sep.–10 oct.	155	2	9	5,17	15	76
11 oct.–15 déc.	210	3	8	4,77	22	104
16 déc.–15 jan.	50	Pluie efficace équivalente à l'ETc				25
TOTAL	660	–	–	–	77	326

Remarque: les besoins quotidiens en eau par plant au début de la saison sont très élevés en raison de la valeur de pointe de l'ETo en août.

FIGURE 15.5 - Trame du système familial d'irrigation goutte-à-goutte.



Trame du système (description et caractéristiques) et performances

- superficie arrosée: 0,5 ha (en moyenne) (dimensions de la parcelle: 25 x 20 m);
- type de système: irrigation goutte-à-goutte à basse pression, système fixe à positions saisonnières;
- trame du système: la conduite en PEFD de 25 mm traverse la parcelle le long du côté de 20 m avec les lignes de goutteurs, une par rang de plants, connectées de chaque côté et perpendiculairement à la conduite;
- composants du système: a) réservoir d'eau (200 l); b) vanne de contrôle de 1 in; c) filtre 1 in; d) conduite principale en PEFD de 25 mm; e) lignes de goutteurs, diamètre 8 mm;
- débit du système: 1 100 l/h, avec une pression (charge) d'environ 1,5 m;
- nombre de lignes de goutteurs: 40;
- longueur des lignes de goutteurs: 12 m;
- longueur totale des lignes de goutteurs: 480 m;
- débit des goutteurs: 0,5-0,65 l/h pour une charge de 1 m et 0,65-0,80 l/h pour une charge de 2 m;
- espacement des goutteurs sur la ligne: 30 cm;
- espacement des lignes: 1,5 m;
- nombre total de goutteurs: 1 600;
- surface entière irriguée simultanément;
- nombre de tours pour terminer une irrigation: 1.

La surface irriguée dépend du type de culture et plus particulièrement de l'espacement entre plants. Il existe plusieurs trames de système selon la dimension et la forme du champ. Un espacement réduit des goutteurs sur la ligne permet d'humidifier une bande continue le long des rangs de plants, comme dans l'irrigation par sillon.

Caractéristiques hydrauliques du système

La pression requise pour le fonctionnement normal de la ligne de goutteurs est de 1 à 1,5 m de charge d'eau. La perte de charge due au frottement dans la conduite en PEFD de 25 mm débitant 1,1 m³/h est d'environ 6 pour cent pour la conduite sans prise, et 2,25 pour cent lorsque l'eau est distribuée en route. Par conséquent le tracé du réseau et particulièrement de la conduite principale ne doit provoquer qu'une perte de charge minimale; d'où une implantation recommandée du réservoir au milieu de la parcelle, ou à proximité. Quelquefois les fermiers disposent le réservoir plus haut pour compenser ces pertes (tableau 15.3).

TABLEAU 15.3 - Liste des équipements nécessaires pour l'installation du système (système familial peu onéreux d'irrigation goutte-à-goutte)

n°	Description	Quantité	Coût
1.	Conduite PEFD 25 mm	45 m	
2.	Coude PP raccord rapide 25 mm x 1 in (femelle)	1 U	
3.	Coude PP raccord rapide 25 mm	1 U	
4.	Connecteur PP 8 mm embout cannelé	45 U	
5.	Connecteur PP 8 mm embout cannelé aveugle	10 U	
6.	Vanne de sectionnement en plastique 1 in (F)	1 U	
7.	Filtre écran en plastique 1 in (M) 120 "mesh"	1 U	
8.	Raccord de sortie en plastique 1 in (M)	1 U	
9.	Ligne de goutteurs PEFD 8 mm avec goutteurs incorporés chaque 30 cm	500 m	
	TOTAL COST		100 \$EU

Remarque: le coût du réservoir n'est pas inclus.

DIVERSES CONFIGURATIONS DE SYSTÈMES DE TECHNOLOGIES ABORDABLES DE MICRO-IRRIGATION (SELON L'IDE)

FIGURE 15.6 - Module à tambour utilisant une conduite secondaire de 16 mm, avec cinq conduites latérales de 12 mm et des micro-tubes «spaghetti» sur une superficie de 120 m²

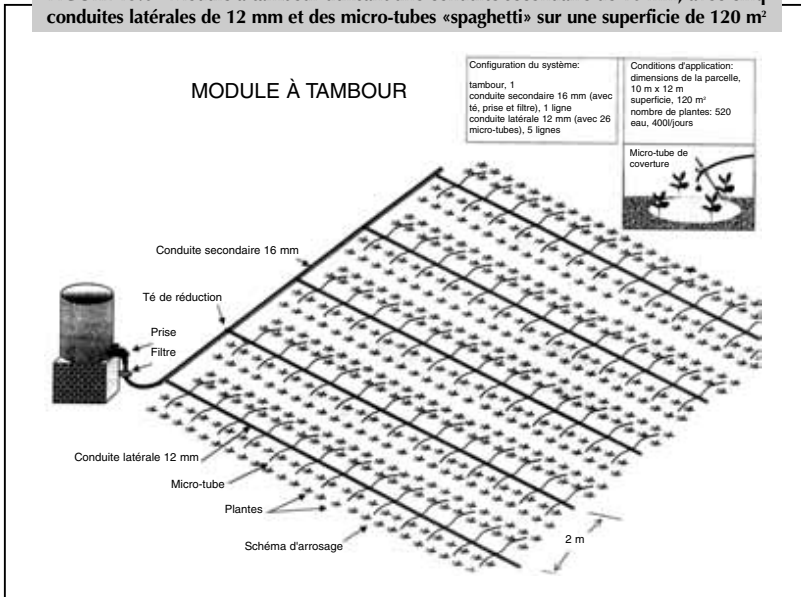


FIGURE 15.7 - Système de technologie abordable de micro-irrigation avec des lignes de goutteurs utilisant des trous de diamètre standard comme goutteurs, couverts avec des feuilles de plastique pour contrôler le débit distribué.

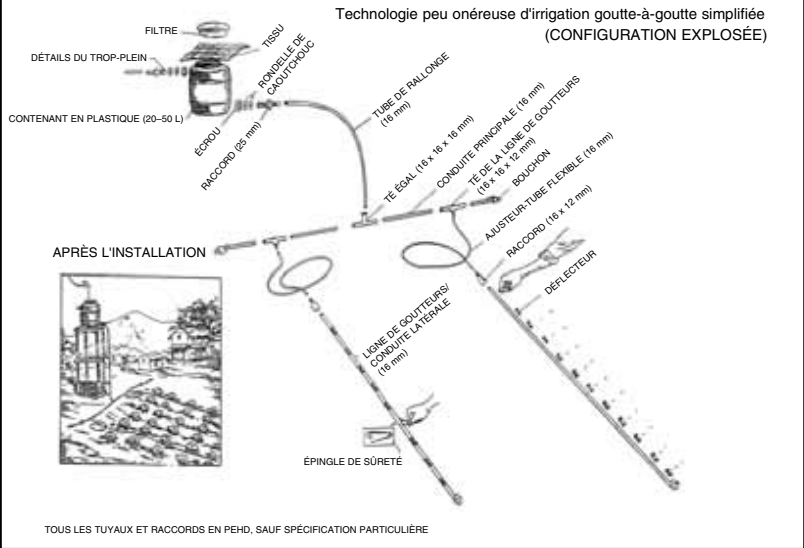


FIGURE 15.8 - Module de micro-aspersion pour 250 m².

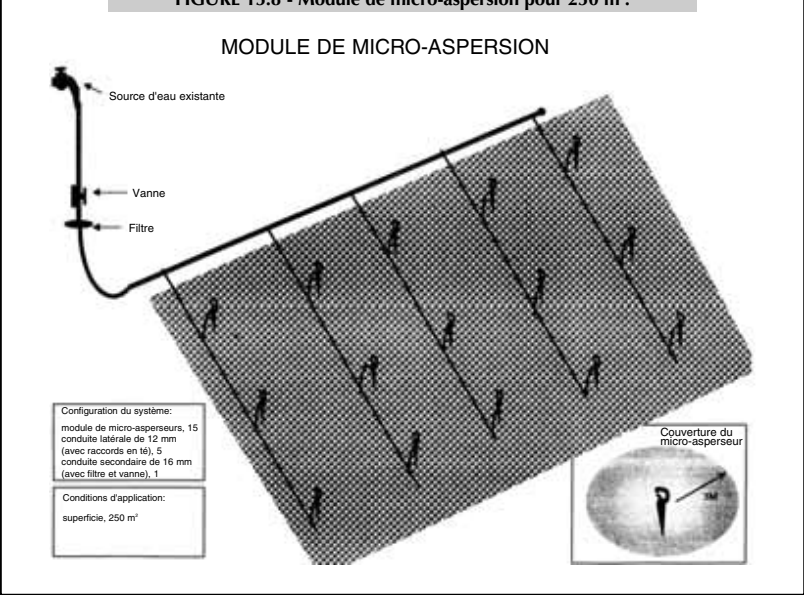


FIGURE 15.9 - Système de lignes de goutteurs déplaçables.

PLAN TYPE DE TRAME DE SYSTÈME PEU ONÉREUX D'IRRIGATION GOUTTE-À-GOUTTE

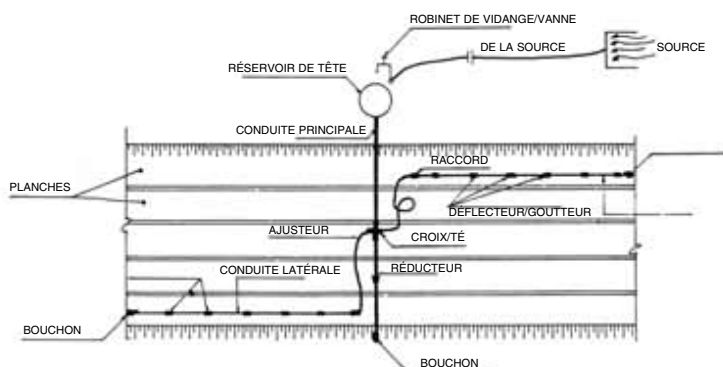
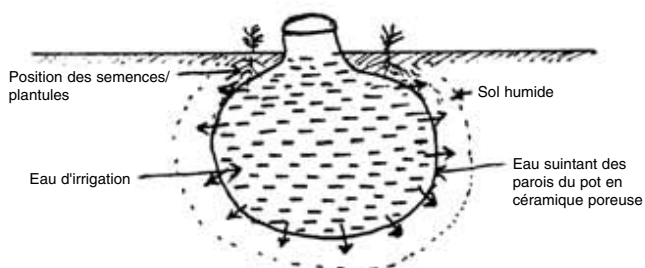


FIGURE 15.10 - Irrigation par pots en céramique poreuse.



CHAPITRE 16: L'irrigation fertilisante

INTRODUCTION

En micro-irrigation les engrais peuvent être appliqués par l'intermédiaire du système avec l'eau d'irrigation et directement dans la zone où la majorité des racines se développe. Le processus, nommé irrigation fertilisante (parfois fertigation, en traduction directe de l'anglais), se fait à l'aide d'appareils spéciaux de fertilisation, les injecteurs, installés au niveau de l'ouvrage de tête du système, avant le filtre. L'élément le plus communément appliqué est l'azote; toutefois, l'application de phosphore et de potassium est courante pour les légumes. L'irrigation fertilisante est une nécessité en irrigation goutte-à-goutte, alors qu'elle n'est pas indispensable dans les autres systèmes de micro-irrigation, bien qu'elle soit fortement recommandée et facilement réalisée.

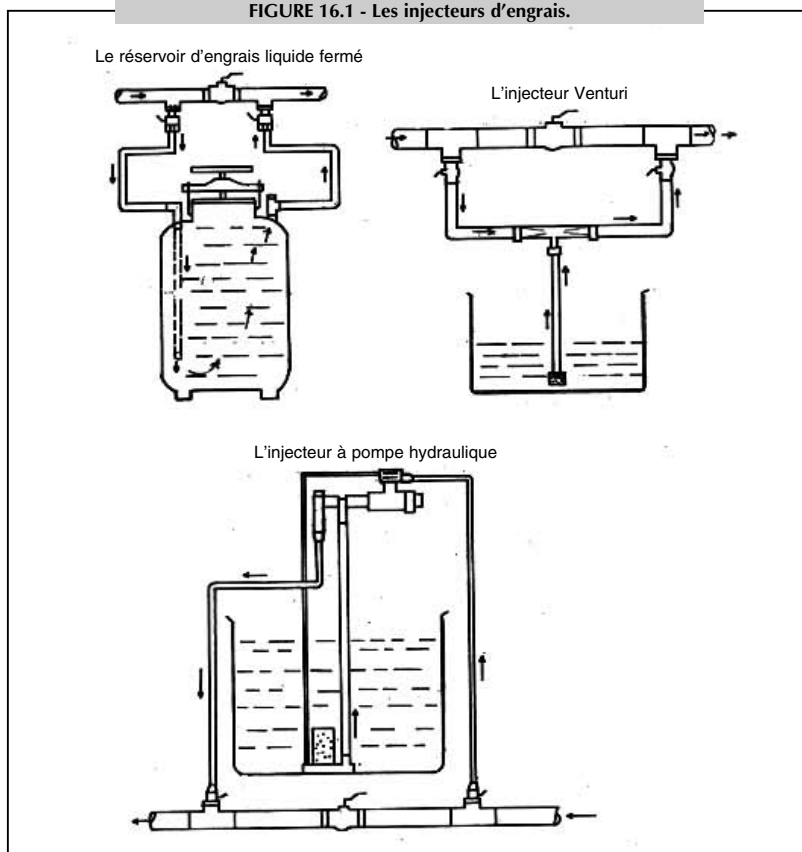
LES INJECTEURS D'ENGRAIS

Plusieurs techniques ont été mises au point pour appliquer les engrais par l'intermédiaire des systèmes d'irrigation et plusieurs types d'injecteurs sont disponibles sur le marché. Il existe deux méthodes principales: le réservoir fermé ordinaire et la pompe à injection, tous deux actionnés par la pression hydraulique dans l'installation. Les pompes à injection sont essentiellement des pompes de type Venturi ou à piston. Les réservoirs fermés sont toujours installés en dérivation, alors que les pompes à piston peuvent être installées soit en ligne, soit en dérivation.

- 1 **Réservoir d'engrais liquide (fermé).** Ce réservoir cylindrique pressurisé en métal revêtu de résine époxy, résistant à la pression du système, 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 du débit est dirigée vers la conduite d'entrée du réservoir, où il 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. Toutefois cet appareil est encore en service à très petite échelle dans certains pays en raison de son faible coût et de sa fabrication aisée (figure 16.1).

- 2 Injecteur 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 la solution de fertilisant. Le taux d'injection est très sensible aux variations de pression et de petits régulateurs de pression sont parfois requis pour une injection constante. Les pertes de charge dues à la friction sont d'environ 1 bar. Les injecteurs sont en plastique de dimension $\frac{3}{4}$ à 2 pouces et avec des taux d'injection de 40 à 2 000 litres par heure. Ils sont relativement bon marché, comparés à d'autres injecteurs.
- 3 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

FIGURE 16.1 - Les injecteurs d'engrais.



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 et peut être réglé par de petits régulateurs. Constitués de matière plastique résistante et durable, ces injecteurs sont disponibles en divers modèles et dimensions. Ils sont plus chers que les injecteurs Venturi.

APPLICATION DES ENGRAIS

La solution d'engrais sous forme liquide est injectée dans le système en quantité limitée mais de manière répétée et en continu pendant l'irrigation. Le débit de l'injecteur doit être réglé de manière à ce que la quantité calculée de la solution soit alimentée à taux constant durant tout le cycle d'irrigation, c'est-à-dire en commençant la fertilisation au début de l'irrigation et en la finissant quelques minutes avant la fin. En ce qui concerne le choix des engrais, en plus de la sélection des quantités et du type, d'autres paramètres doivent être considérés tels que leur solubilité, acidité, compatibilité et coût.

Solubilité

Le stock de solution d'engrais doit toujours être dissout dans un contenant séparé, puis versé dans le réservoir d'amorçage (figure 16.2). Les types d'engrais doivent être très solubles et ne doivent pas former d'écume ni de sédiments susceptibles de causer des problèmes de colmatage des distributeurs lorsqu'ils sont dissouts dans l'eau. La solution doit toujours être agitée et bien brassée et il faut retirer régulièrement les boues déposées au fond du réservoir. Le tuyau d'aspiration de l'injecteur ne doit pas reposer sur le fond du réservoir. L'eau chaude peut aider à dissoudre l'engrais desséché. Le degré de solubilité des engrais varie en fonction du type et du pays d'origine. Le nitrate de potassium (13-0-46) semble avoir une faible solubilité d'environ 1:8 (1 kg d'engrais sec dans 8 litres d'eau). La solubilité du chlorure de potassium (0-0-62) est de 1:3, tandis que celle du nitrate d'ammonium (34-0-0) et du nitrate de calcium (15,5-0-0) est d'environ 1:1. Les engrais secs phosphoreux ont une plus faible solubilité que les nitrates, soit environ 1: 2,5.

Acidité

L'acidité produite par diverses formes d'azote varie selon le type et dépend aussi beaucoup du type d'eau d'irrigation et de la catégorie de sols. Il faut au minimum réaliser une vérification du pH du sol au début de la saison, et une à la fin. Par ailleurs, une analyse ionique complète de l'eau est requise.

Quantité

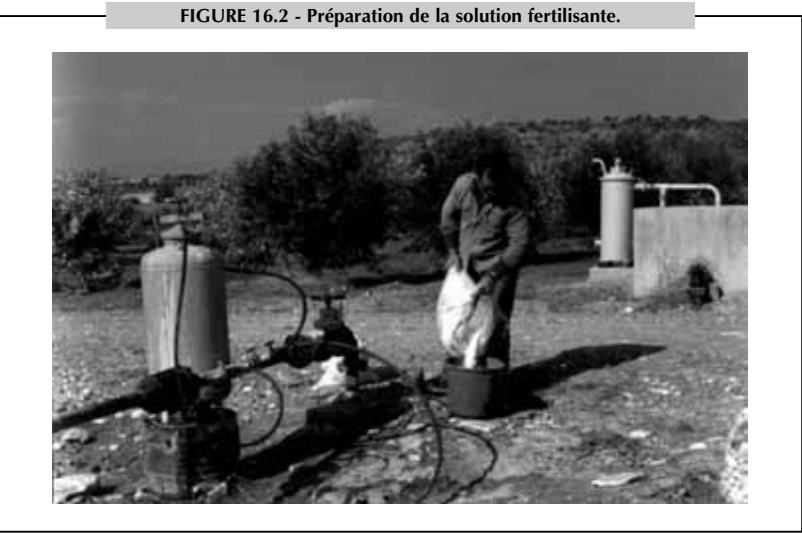
Une méthode simple pour calculer la quantité d’engrais requise pour l’irrigation fertilisante est de diviser la quantité totale des applications en une année par le nombre d’irrigations. Diverses recettes ont été élaborées dans différents pays à partir des dosages conventionnels de nutrition. La quantité totale d’engrais appliquée est également liée à la longueur de la saison de croissance et aux besoins en eau.

Le tableau 16.1 présente quelques recettes utilisées à Chypre pour l’irrigation fertilisante en continu, à un taux constant d’alimentation durant l’irrigation.

TABLEAU 16.1 - Concentration nette d'engrais en ppm (mg/l ou engrais net en g/m³ d'eau d'irrigation)			
Culture	N	P	K
Agrumes	50	12	15
Bananes	50	15	40
Tomates	180	50	250
Concombres	200	50	200
Poivrons	170	60	200
Choux	100	60	200
Oignons	100	50	150
Courges	200	50	200
Pommes de terre	150	50	180
Arachides	120	50	200
Pastèques	150	50	150

Remarque:

Les concentrations ci-dessus varient en fonction des réserves d'engrais dans le sol.



Les concentrations recommandées dans le tableau ci-dessus sont valables pour une eau d'irrigation très peu saline. De manière empirique, on estime que pour des eaux d'irrigation de qualité moyenne, la conductivité électrique de la concentration maximale d'engrais, qui s'ajoute à la salinité totale de l'eau d'irrigation, doit être d'environ 0,5 dS/m. Pour des concentrations plus élevées, le niveau de salinité dans la zone racinaire doit être vérifié fréquemment et l'application ajustée en fonction des résultats des tests effectués sur les sols.

EXEMPLE – L'IRRIGATION FERTILISANTE DES LÉGUMES

- **Culture:** tomates
- **Concentration d'engrais NPK:** 180-50-250;
- **Type d'engrais disponible:** nitrate d'Ammonium (33,5-0-0) NH_4NO_3 , phosphate Diammonium DAP (16-48-0) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; chlorure de potassium (0-0-60) K_2O
- **Débit du système:** 23 m^3/h ;
- **Dose d'irrigation:** 18 m^3 ;
- **Durée de l'application:** 1,5 heure.

Les phosphates et le potassium sont donnés sous forme d'oxydes, par conséquent ils sont convertis en éléments P et K en les multipliant par 0,4364 et 0,8302 respectivement.

Calcul des quantités d'engrais requises en grammes par m^3 d'eau

$$K = 250 \times 100 \div (60 \times 0,8302) = 0,502 \text{ kg } K_2O$$

$$P = 50 \times 100 \div (48 \times 0,4364) = 0,239 \text{ kg } (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$$

Cette quantité procure aussi 38 g de N.

$$N = (180-38) \times 100 \div 33,5 = 0,424 \text{ kg } \text{NH}_4\text{NO}_3$$

Ainsi pour 18 m^3 d'eau, qui est la dose d'irrigation, les quantités exactes sont:

$$0,502 \text{ kg} \times 18 = 9,036 \text{ kg } K_2O$$

$$0,239 \text{ kg} \times 18 = 4,30 \text{ kg } (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$$

$$0,424 \text{ kg} \times 18 = 7,63 \text{ kg } \text{NH}_4\text{NO}_3$$

Les quantités d'eau requises pour la dilution des quantités d'engrais ci-dessus sont estimées en tenant en compte de la solubilité des engrais:

9,036 kg K_2O x 3 litres	27 litres
4,30 kg Ca (H_2PO_4) x 2.5 litres	10,75 litres
7,63 kg NH_4NO_3 x 1 litre	7,63 litres
Minimum amount of water needed	45,00 litres

Si les engrais sont dilués dans 60 litres d'eau et que la durée d'irrigation est d'une heure et demie, alors le taux d'injection doit être d'environ 40 à 45 l/h afin d'achever l'irrigation fertilisante en environ 1 h 25 minutes.

CHAPITRE 17: Système de distribution par conduites

INTRODUCTION

L'irrigation par pompage est utilisée dans la majorité des terres irriguées dans les pays en développement des zones arides et semi-arides. L'eau d'irrigation prélevée dans les aquifères ou les étangs, lacs, rivières et barrages alimentés par le ruissellement de surface est pompée jusqu'aux champs par des fossés conventionnels en terre ou des canaux revêtus, ce qui provoque des pertes considérables par infiltration et évaporation, percolation en profondeur et fuites des canaux.

Des études menées dans plusieurs pays indiquent qu'il faut compter des pertes de transport moyennes de 33 pour cent sur un tronçon de canal conventionnel de 100 m. Les méthodes d'irrigation au champ, du type traditionnel gravitaire de surface en sillons, bassins, planches, etc., ont une efficacité d'application de 60 à 70 pour cent, c'est-à-dire des pertes additionnelles de 20 à 27 pour cent du total. Ainsi, l'efficacité totale d'irrigation varie approximativement entre 40 et 47 pour cent.

La solution à ce problème réside dans la mise en conduite fermées de l'eau dans le cadre des techniques d'irrigation améliorée. L'immense écart

FIGURE 17.1 - Système de distribution par conduites irriguant de jeunes arbres.



entre le gaspillage d'eau qu'entraînent les pratiques d'irrigation de surface à ciel ouvert et la grande efficacité des techniques d'irrigation améliorée peut être éliminé par l'installation de systèmes de distribution de l'eau d'irrigation par conduites. Cette technique d'irrigation a été largement utilisée avec grand succès à Chypre au début des années 60 et au Yémen (Tihama) au début des années 80. Il s'agit en fait du remplacement des canaux à ciel ouvert par un réseau fermé de conduites soigneusement conçu pour amener et distribuer l'eau aux parcelles sans pertes d'eau. La technologie est simple, son coût est minimum et elle permet, du jour au lendemain, d'accroître l'efficacité globale d'irrigation de 40 à 77 pour cent. Le système de distribution par conduites est une technique d'irrigation de surface par conduites, classifiée comme un système à basse/moyenne pression et installée de manière fixe et permanente.

TRAME ET COMPOSANTES DU SYSTÈME

La trame de base du système de distribution par conduites comprend un ouvrage de tête simple, un réseau de conduites de distribution et des bornes.

L'ouvrage de tête comprend les vannes de réglage requises (sectionnement, contrôle, purgeur d'air) montées sur une section de conduite filetée en acier galvanisé à 60 cm au-dessus du sol, avec des sorties en té pour les robinets et le manomètre. A un stade ultérieur ce dispositif peut être facilement reconverti en une unité de commande plus sophistiquée, adaptée aux systèmes de micro-irrigation.

Les conduites principales et secondaires (réseau de distribution), enterrées, sont en PVC rigide de 90 à 160 mm de diamètre, PN 4 à 6 bars. En terrain accidenté, d'autres types de conduites sont posés sur le terrain, telles les conduites en polyéthylène flexible noir (PEHD), celles en acier léger à raccord rapide ou celles en acier galvanisé avec filetage. Ces dernières ne sont utilisées que jusqu'à des diamètres de 3 pouces (75 mm), en raison de leur coût élevé.

Les bornes s'élevant au-dessus du sol sont équipées d'une vanne de sectionnement (robinet-vanne) capable de distribuer tout ou partie du débit aux fossés répartiteurs à ciel ouvert. À un stade ultérieur, des tuyaux portables légers (aluminium à raccord rapide, acier léger, tuyaux plats, PE noir, etc.) pourront être connectés aux bornes, remplaçant les fossés pour la distribution finale. Des bornes, l'eau d'irrigation est distribuée directement aux fossés répartiteurs en terre, pour être répartie vers les sillons, bassins ou planches longitudinales.

CRITÈRES ET CONSIDÉRATIONS DE CONCEPTION

Le système de distribution par conduites combine les avantages des méthodes de surface avec ceux des techniques de réseaux fermés de conduites sous pression. Les critères et paramètres de conception sont très nombreux comparés à la simplicité du système (figure 17.2). La topographie du terrain (forme, pente, etc.), le type de sol, l'importance du débit et la méthode de distribution de l'eau aux cultures (sillon, bassin, planche ou autre) doivent être attentivement pris en considération. Les bornes de prise doivent être placées aux plus hauts points des parcelles et à la bonne distance afin de permettre une pratique efficace des techniques d'irrigation gravitaire à partir des fossés de répartition.

Le critère le plus important à prendre en compte lors de la conception du réseau est sa flexibilité pour une future extension du réseau, à coût minimal, par l'adoption d'un autre système amélioré d'irrigation à basse/moyenne pression, tel qu'aspersion, goutte-à-goutte, gicleurs, etc. Ainsi, il importe de soigneusement concevoir un schéma flexible de réseau de conduites susceptible de convenir à toutes les méthodes d'irrigation et techniques de distribution.

FIGURE 17.2 - Installation des conduites.



Dans ce type d'installation, la dimension des conduites ne diminue pas au niveau des branches secondaires et tertiaires, mais reste identique sur l'ensemble du réseau (figure 17.3). Ainsi, le système peut fournir le débit total en tout point de la ferme, grâce à chaque borne individuelle. Ceci entraîne quelques coûts supplémentaires pour les conduites. Il n'y a pas de restrictions concernant le type de conduites et de raccords à utiliser, à l'exception des dimensions et de la pression de service. Le diamètre nominal (DN) des conduites du réseau dépend du débit et de la vitesse d'écoulement, qui doit être de l'ordre de 1,4 à 2 m/s (tableau 17.1). La pression de fonctionnement (PN) se situera autour de 6 bars, mais ne sera en aucun cas inférieure à 4 bars. Le diamètre de la conduite est dérivé de la formule de la vitesse d'écoulement $Q = AV$ adaptée comme suit:

$$Q \text{ (l/h)} = V \text{ (m/s)} \times 2,826 \text{ di}^2 \text{ mm}$$

où **Q** est le débit en l/h, **V** la vitesse d'écoulement choisie (en général 1,7 m/s) et **d** le diamètre intérieur en mm. Selon cette formule, les débits recommandés pour divers types et dimensions de conduites sont les suivants:

TABLEAU 17.1 - Débit par rapport au diamètre des conduites

V = 1,7 m/s ²	Acier galvanisé fileté, série légère			PVC Rigide 6 bars			PEHD 6 bars	
DN (in/mm)	2 in	2 ½ in	3 in	90	110	160	90	110
d (mm)	54	69	82	84,4	103,2	150,2	79	97
Débit (m ³ /h)	14	23	32	34	51	108	30	45

COÛTS

Ce système à basse/moyenne pression est installé de manière fixe et permanente. Le coût initial par unité de surface est inférieur en comparaison des autres systèmes d'irrigation sous pression. Le coût moyen par hectare est d'environ 850 \$EU. Dans l'exemple suivant, le coût s'élève à 900 \$EU par hectare. De même, la consommation de carburant est plus basse que dans tout autre système amélioré d'irrigation. Seules les dépenses de main-d'œuvre sont relativement élevées. Cette technique est classifiée dans les technologies peu onéreuses d'irrigation.

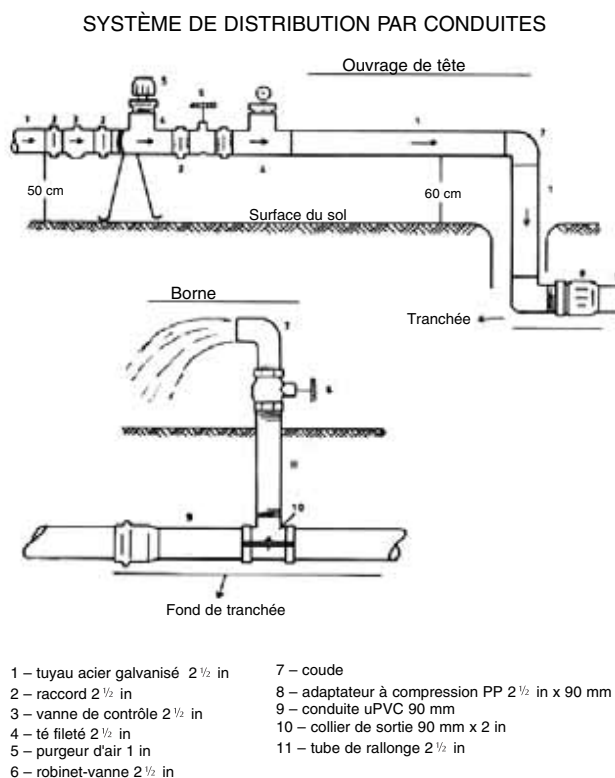
AVANTAGES

- Investissement initial faible.
- Disponibilité de l'équipement requis.
- Facilité de fonctionnement et d'entretien.
- Adaptabilité très aisée pour les utilisateurs.
- Validité pour une large gamme de cultures.
- Adaptabilité à toutes dimensions d'exploitations et formes irrégulières de parcelles.

INCONVÉNIENTS

- Nécessite des irrigants expérimentés.
- Faible efficacité d'application (distribution) au champ.
- Adaptabilité difficile aux terrains inégaux et sols sableux.
- Ne s'applique pas aux faibles débits.
- Système mieux adapté aux sols moyens/lourds.

FIGURE 17.3 - L'ouvrage de tête du système de distribution par conduites et la borne.



En dépit des avantages et inconvénients mentionnés ci-dessus, la principale caractéristique du système est qu'il constitue la première mesure à prendre pour permettre aux paysans de passer en douceur, facilement, sûrement et économiquement des pratiques d'irrigation traditionnelle à des techniques plus avancées.

EXEMPLE DE PROJET

Superficie et cultures

La superficie du projet est d'environ 3,3 ha, divisée en six parcelles de 90 x 45 m et de même forme rectangulaire. Les cultures peuvent être des agrumes, du coton, des légumes, des melons, des pommes de terre, de la

luzerne ou toute autre culture saisonnière ou pérenne. La topographie est régulière avec une pente d'environ 0,4 à 0,6 pour cent du nord au sud et de l'est vers l'ouest (voir carte).

Sol et eau

Le sol est de texture moyenne et de structure favorable avec un taux d'infiltration modéré et un bon drainage interne. L'humidité disponible est d'environ 150 mm/m de profondeur. L'eau, de bonne qualité sans risques de toxicité ni de sodium, est pompée dans un forage situé à proximité avec un débit de 27 m³/h (7,5 l/s) durant 12 h par jour.

Besoins en eau et programme d'irrigation

L'estimation des besoins et le programme d'irrigation dépendent des conditions climatiques et du type de cultures à irriguer. Cependant la disponibilité en eau est de 324 m³/jour (27 m³/h x 12 h) correspondant à une application journalière de 9,8 mm sur une surface de 3,3 ha. Cette quantité d'eau permet de satisfaire la demande de pointe de n'importe quelle culture.

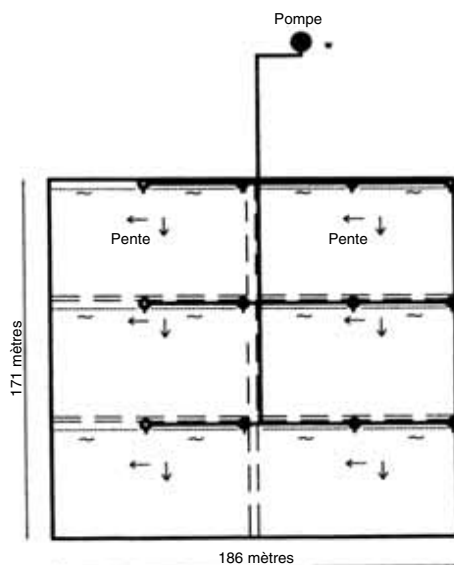
Trame du système et charge dynamique

Une conduite d'adduction d'environ 100 m en PVC rigide de 90 mm, PN 6 bars, relie la pompe à la parcelle. Le réseau de conduites de distribution à la ferme, de même type et dimension, est enterré le long des limites des parcelles. Les bornes de prise de 2 ½ pouces sortent en surface, chacune desservant une surface de 0,27 ha. La charge dynamique du système en fonctionnement normal, 0,9 bar, correspond à la somme des pertes de charge dues au frottement des conduites et de celles de l'ouvrage de tête, plus les pertes mineures, moins la différence de niveau (figure 17.5 et tableau 17.2).

FIGURE 17.4 - Trame du système de distribution par conduites.

SYSTÈME DE DISTRIBUTION PAR CONDUITES

Superficie 3,3 ha



- Conduites enterrées PVC ou PEHD 90 mm
- Bornes 2 1/2 in sortant en surface
- Fossé répartiteur en terre

17.8 Chapitre 17 – Système de distribution par conduites

TABEAU 17.2 - Liste des équipements nécessaires pour l'installation d'un système de distribution par conduites (devis quantitatif). Surface: 3,3 ha, Débit: 27 m³/h, Charge dynamique: 0,9 bar.

n.	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
	Réseau de distribution du système			
1.	Conduite en PVC rigide 90 mm, 6 bar	660 m	2,50	1650,00
2.	Raccord mâle PP 2 ½ in x 90	1 U	10,00	10,00
3.	Coude PP 90 mm	1 U	15,00	15,00
4.	Té PP 90 mm	5 U	22,00	110,00
5.	Té femelle PP 90 mm x 2 ½ in	6 U	19,00	114,00
6.	Coude femelle PP 90 mm x 2 ½ in	6 U	13,50	81,00
7.	Tube de rallonge fileté 2 ½ in	12 U	5,00	60,00
8.	Vanne laiton 2 ½ in	12 U	14,00	168,00
9.	Coude fileté mâle 2 ½ in	12 U	3,00	36,00
10.	Excavation et remblai de la tranchée	660 m	1,00	660,00
	Sous-total			2904,00
	Ouvrage de tête			
11.	Vanne réglage laiton 2 ½ in	1 U	16,00	16,00
12.	Vanne laiton 2 ½ in	1 U	14,00	14,00
13.	Té fileté femelle 2 ½ in	2 U	3,50	7,00
14.	Raccord 2 ½ in	2 U	1,00	2,00
15.	Tube fileté 60 cm 2 ½ in	2 U	5,00	10,00
16.	Coude fileté femelle 2 ½ in	1 U	3,00	3,00
17.	Purgeur d'air 1 in	1 U	12,00	12,00
18.	Manomètre avec base adaptatrice 2 ½ in	1 U	14,00	14,00
	Sous-total			78,00
	TOTAL COÛTS			2982,00

CHAPITRE 18: Irrigation par tuyaux flexibles

INTRODUCTION

Dans de nombreux pays les installations peu onéreuses d'irrigation par tuyaux sont couramment utilisées par les petits exploitants agricoles et les fermiers à temps partiel pour l'irrigation de plusieurs cultures. Cette méthode est une amélioration des méthodes traditionnelles d'irrigation par sillon et par bassin et sillon. L'eau est distribuée aux bassins et sillons par des tuyaux portables en plastique de $\frac{3}{4}$ et $1\frac{1}{2}$ pouce de diamètre dont les rampes sont mobiles et qui peuvent être orientés dans toutes les directions. Quand un sillon ou un bassin est rempli d'eau, le tuyau est déplacé manuellement à la position suivante, et ainsi de suite.

Grâce à un perfectionnement technique important, cette ancienne méthode d'irrigation de surface s'est transformée en une technique moderne et très efficace d'irrigation par tuyaux sous pression. Il s'agit d'une méthode localisée mettant en œuvre un système à basse pression avec une installation semi-permanente à déplacement manuel. Elle a été appliquée à une large échelle et utilisée extensivement dans plusieurs pays méridionaux et méditerranéens de la zone semi-aride, pour des exploitations familiales d'environ un hectare. Le système de tuyaux et bassins a aussi été installé pour les arbres et fonctionne avec succès, quand il est bien conçu, sur des exploitations couvrant jusqu'à 20 ha (figure 18.1).

FIGURE 18.1 - Irrigation de jeunes fruitiers par tuyaux et bassins.



TRAME ET COMPOSANTES DU SYSTÈME

La trame du système, le schéma hydraulique et son fonctionnement sont presque identiques à ceux des autres systèmes d'irrigation utilisant des conduites à basse pression. Sur la conduite principale sont installées des bornes alimentant des conduites latérales permanentes ou mobiles placées le long des rangs de culture. De longs tuyaux flexibles sont connectés à intervalles réguliers sur ces conduites latérales et distribuent l'eau à chaque sillon ou bassin séparément. Chaque tuyau alimente plusieurs bassins ou sillons selon sa longueur.

Le réseau de conduites est également semblable à celui des autres systèmes d'irrigation à basse pression. Ce peut être soit une installation complète avec toutes ses composantes, comme dans les installations d'aspersion et de micro-irrigation, ou une installation plus simple. Un système d'irrigation par tuyaux consiste habituellement en une seule conduite principale de n'importe quel type, un tuyau en PVC non plastifié ou PEHD de 50 à 90 mm (2–3 pouces) de diamètre ou un tuyau plat, à pression PN de 4 à 6 bars, qui sert également d'adducteur, avec des bornes sur lesquelles viennent se brancher les conduites latérales. Ces dernières peuvent être de n'importe quel type de tuyau de 50 ou 63 mm de diamètre, mais elles sont habituellement en PEFD, à pression PN de 4 bars. De longs tuyaux en plastique de plus petits diamètres sont connectés sur les conduites latérales. Parfois ces tuyaux sont alimentés directement à partir de la source d'eau qui peut être soit un petit réservoir situé à une altitude supérieure, soit une pompe à faible capacité, ou encore un simple robinet. L'ouvrage de tête ne comporte ni filtres, ni injecteurs d'engrais, ni autres accessoires.

LES TUYAUX

C'est le modèle bien connu et largement disponible du tuyau de jardin qui est utilisé. Ces tuyaux en PVC souple de petits diamètres ($\frac{3}{4}$ à $1\frac{1}{2}$ in) à embouts francs sont élastiques et flexibles. On utilise également des tuyaux souples en PE noir de 20 à 32 mm (PEFD, PN 2,5 à 4 bars). La longueur de ces tuyaux varie de 18 à 36 m et le débit transité de 1,5 à 8 m³/h. Ainsi chaque tuyau peut irriguer une superficie de 600 à 2 100 m², couverte de petits bassins ou de sillons selon la culture. Ces tailles et longueurs se sont avérées les plus pratiques pour les fermiers. Les caractéristiques moyennes de débit pour un tuyau de 24 m avec des vitesses d'écoulement maximales de 2 m/s sont présentées dans le tableau 18.1.

TYPES DE SYSTÈMES ET CRITÈRES DE CONCEPTION

Les différents types de systèmes d'irrigation par tuyaux et bassins se distinguent par les caractéristiques des tuyaux de distribution d'eau, leur position sur le champ, les procédures générales de fonctionnement et les

TABLEAU 18.1 - Caractéristiques de débit dans les tuyaux de 24 m

Type de tuyau	Diamètre nominal	Débit moyen(m ³ /h)	Pertes de charge (bar)
PVC flexible	¾ in	2,0	0,40
	1 in	3,6	0,30
	1 ¼ in	5,7	0,20
	1 ½ in	8,0	0,25
Polyéthylène souple (PEFD)	20 mm	1,5	0,85
	25 mm	2,5	0,70
	32 mm	4,5	0,40

méthodes de distribution sur le champ (bassin ou sillon). Dans les plantations d'arbres, chaque arbre a son bassin, dont la forme et les dimensions sont déterminées par son âge et l'espacement des arbres. Avec des espacements réduits de plantation, deux ou six arbres peuvent être réunis dans un bassin rectangulaire plus large le long de la rangée. Avec les légumes et les autres cultures de plein champ, la pente du terrain, le type de sol, la culture, les disponibilités en eau et les pratiques culturales conditionnent les dimensions des bassins et sillons.

Tous les types comportent des tuyaux de distribution mobiles qui sont transférés ou traînés d'un emplacement à l'autre. En ce sens, il existe quatre différents types ou variantes de ce système.

Système conventionnel de tuyaux et bassins pour les arbres

Avec un espacement courant des arbres de 6 x 6 m, un tuyau de 24 m peut irriguer 36 bassins d'arbres dans toutes les directions sur une

FIGURE 18.2 - Irrigation de légumes par tuyaux et sillons.



superficie d'environ 1 300 m². Les conduites latérales sont disposées le long des rangées tous les 36 m (tous les six rangs). Ainsi, l'espacement des tuyaux est de 36 x 36 m. Avec d'autres espacements de cultures, les distances entre conduites latérales et tuyaux diffèrent légèrement, mais pas considérablement, de celles indiquées ci-dessus (figure 18.2). Les tuyaux de jardin en PVC souple de 1 ¼ in de diamètre se sont avérés les plus pratiques, car ils peuvent aisément traverser les champs perpendiculairement et en diagonale sans être endommagés (fissurés). Les tuyaux sont déplacés à la main d'un bassin à l'autre.

Système de bassins alimentés par tuyaux traînés pour les arbres

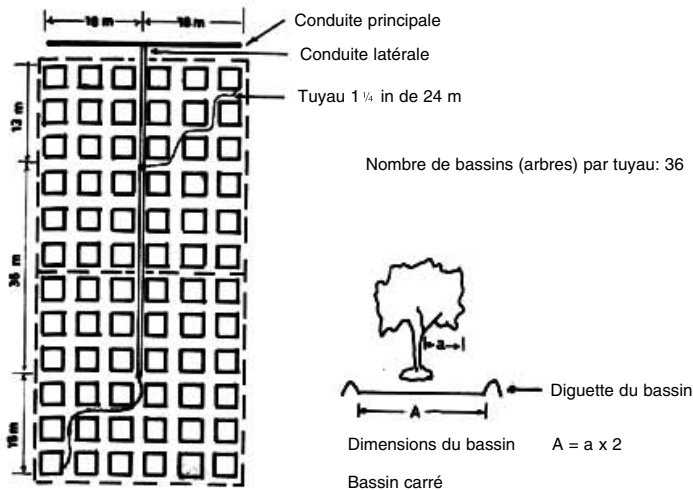
Ce type d'installation est une amélioration de la méthode conventionnelle, car il est plus aisé à concevoir et à utiliser. Les tuyaux de distribution de l'eau sont en PEFD noir et souple de 20 à 32 mm de diamètre, à pression PN de 2,5 à 4 bars, et connectés aux conduites latérales. Chaque tuyau peut irriguer deux ou quatre rangs d'arbres des deux côtés de la ligne de conduites latérales. Le tuyau est long de 20 à 40 m, la superficie irriguée variant de 900 à 1 800 m². On appelle ce type d'installation «système d'irrigation par bassins au moyen de tuyaux traînés», car au début de chaque irrigation les tuyaux sont tirés jusqu'aux bassins les plus éloignés, puis traînés vers l'arrière vers les autres bassins en revenant vers le branchement sur la conduite latérale (figure 18.3).

Système de tuyaux et bassins pour cultures de plein champ

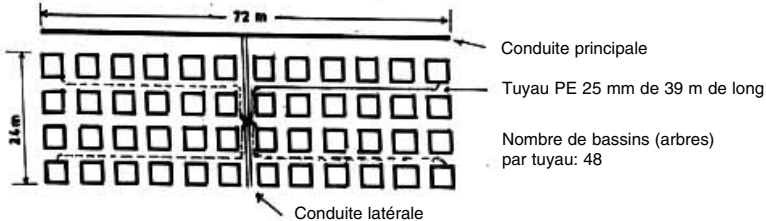
Dans ce système, les tuyaux ne peuvent pas traverser les bassins, car ils endommageraient les plantes. La dimension des petits bassins est habituellement de 12 x 12 m, 6 x 12 m, ou 6 x 18 m. Les conduites latérales sont disposées à un plus faible écartement que pour les arbres, eu égard aux dimensions des bassins et à leur disposition. Les tuyaux sont de divers types, en PVC souple ou PEFD, dans les longueurs (18 à 24 m) et diamètres (25 mm – 1 ¼ in) appropriés. Par exemple, pour des bassins de 6 x 12 m, les lignes latérales sont placées, selon la direction de la pente, tous les 24 m (une tous les quatre bassins). Les tuyaux de 24 m sont connectés aux conduites latérales à raison d'une toutes les trois longueurs de bassins (36 m), irriguant ainsi quatre bassins à l'amont, soit deux de chaque côté, et huit bassins à l'aval, soit quatre de chaque côté, pour un total de 12 bassins sur une superficie d'environ 865 m². L'espacement des tuyaux dans cet exemple est de 24 x 36 m, mais peut varier selon les besoins. Les tuyaux peuvent être déplacés d'un bassin à l'autre, soit en les traînant vers l'arrière, soit en les portant.

FIGURE 18.3 - Schéma d'un système de tuyaux et bassins pour les arbres.

Type conventionnel



Tuyau type traîné



Système de tuyaux et sillons pour l'irrigation des légumes

Comme pour les tuyaux et bassins pour les légumes, les lignes de conduites latérales sont disposées le long de la pente, les tuyaux étant raccordés à la tête des sillons. Ils sont étendus perpendiculairement à la conduite latérale et de chaque côté, et distribuent l'eau à un certain nombre de sillons, comme dans le système traîné. Les tuyaux sont généralement des tuyaux de jardin en PEFD souple et noir de 25 à 32 mm de diamètre ou en PVC souple de 1 1/4 pouce. L'espacement des tuyaux le long des conduites latérales correspond à la longueur des sillons, qui elle-

même dépend essentiellement du type de sol, de la pente et du débit. Dans ce système, les sillons sont généralement courts, de 18 à 30 m de longueur, ont 15 cm de profondeur et sont espacés d'environ 1 m. Les facteurs qui déterminent le tracé des sillons sont les pratiques culturales, les dimensions et la forme du champ et la profondeur d'application de l'irrigation. Plus cette profondeur et le débit appliqué sont faibles, plus le sillon sera court; et plus la pente est forte, plus le sillon sera long. Dans les sols sableux, le sillon est plus court que dans les lourds sols argileux. Dans les sols de texture moyenne, le rapport suivant entre la pente et le débit (tableau 18.2) peut être adopté:

TABLEAU 18.2 - Pente et ampleur du débit

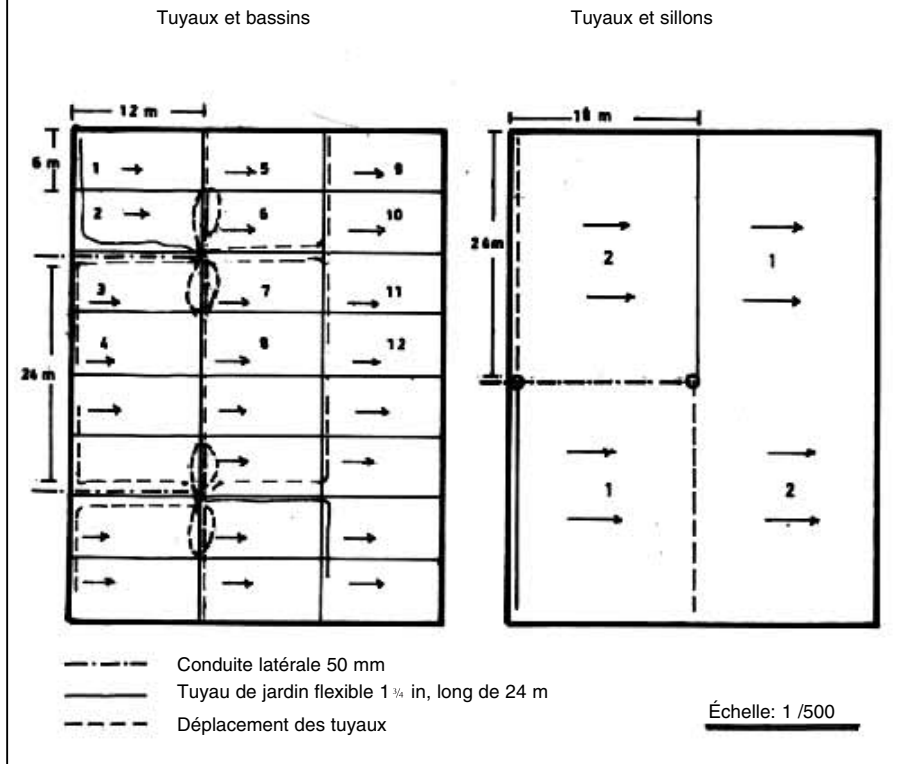
Pente (%)	0,3	0,6	1,0	1,3	1,5
Débit (m³/h)	8,0	4,0	2,25	1,75	1,5

Dans les petits bassins, le débit peut être minimal, alors que dans les plus grands il faut qu'il soit le plus important possible parce que le taux d'application est proportionnel aux besoins en irrigation. Dans les sols sableux avec un taux d'infiltration élevé, les petits tuyaux peuvent au besoin être déplacés d'un endroit à l'autre dans le bassin lui-même durant l'irrigation pour assurer une répartition uniforme de la distribution. Il est commun pour les fermiers de subdiviser les bassins en plus petits bassins, ou d'aménager de courts sillons à l'intérieur des bassins afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles. Plusieurs tracés de sillons sont appliqués (en forme de zigzag ou de clé, etc.) dans les deux types de systèmes. Lorsque le débit du tuyau sort sous forte pression, le fermier adopte sur le terrain quelques techniques informelles, telles que l'utilisation d'une boîte en fer blanc à la sortie du tuyau, ou d'un seau en plastique, pour éviter l'érosion du sol et la destruction des diguettes du bassin (figure 18.4).

COÛTS

Bien que les systèmes d'irrigation par tuyaux soient classés comme des installations semi-permanentes, les tuyaux de distribution d'eau en sont les seuls éléments mobiles. Toutefois le coût d'une installation complète est très bas, en comparaison de celui des autres systèmes améliorés de conduites sous pression. Le coût moyen pour tous les types d'irrigation par tuyaux est de l'ordre de 660 \$EU par hectare. En outre, plusieurs années d'études et d'observations ont montré que les coûts de fonctionnement, en terme d'argent liquide, sont bien inférieurs que pour tout autre système (figures 18.5 et 18.6).

FIGURE 18.4 - Irrigation par tuyaux flexibles pour les légumes et les cultures de plein champ (position et déplacement des tuyaux).



AVANTAGES

- Efficacités d'irrigation très élevées d'environ 75 pour cent, permettant de considérables économies en eau.
- Installation d'irrigation améliorée peu onéreuse.
- Technologie simple facilement utilisée par des enfants et des femmes âgées.
- Emploi lucratif de la main-d'œuvre locale dans les petites communautés.
- Utilisation de petits débits et volumes d'eau.
- Basse consommation d'énergie (carburant).

FIGURE 18.5 - Schéma de disposition des sillons courts.

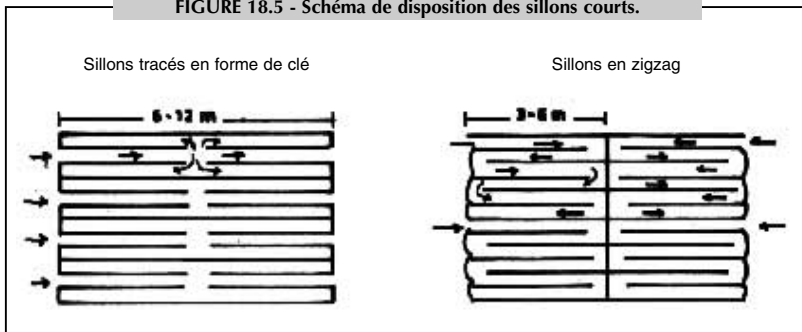


FIGURE 18.6 - Femmes irriguant de jeunes arbres avec un système de tuyaux et bassins.



INCONVÉNIENTS

- Besoins élevés en main-d'œuvre pour le fonctionnement du système.

EXEMPLES DE PROJET: TUYAUX ET BASSINS UTILISÉS POUR LA CULTURE D'ARBRES, TYPES CONVENTIONNEL ET TRAÎNÉ

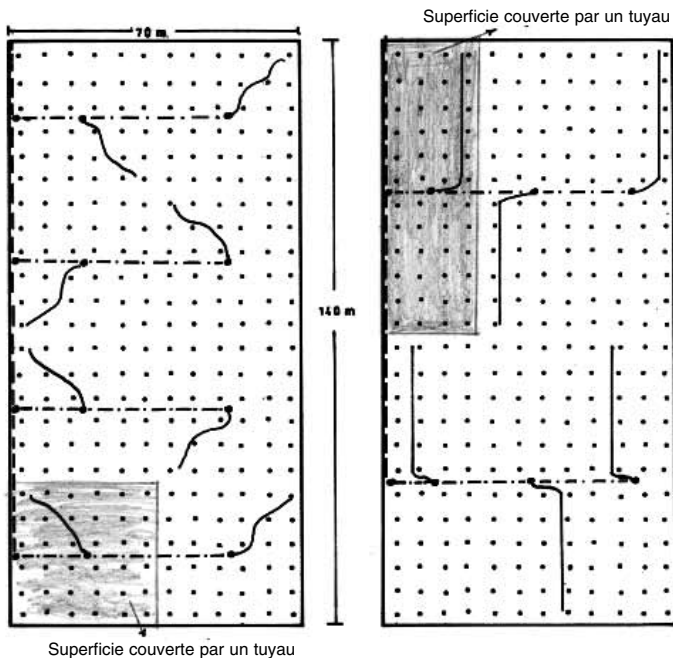
Superficie et cultures

Les dimensions du champ (pour le projet) sont de 140 m x 72 m (environ 1 ha) avec des arbres adultes plantés selon un espacement de 6 x

**FIGURE 18.7 - Irrigation d'arbres par tuyaux flexibles
(exemple de projet) (superficie d'un hectare)**

Bassin avec tuyaux conventionnels

Bassin avec tuyaux traînés



- Conduite principale PEHD 63 mm
- · - · - Conduites latérales PEHD 50 mm
- ~~~~~ Tuyaux de jardin PVC souple 1 1/4 in
- Tuyaux PEFD noir 25 mm

6 m. Il y a 24 rangs de 12 arbres dans chaque rang, soit au total 288 arbres (figure 18.7).

Sol, eau et climat

Sol de texture moyenne de bonne structure, avec une bonne infiltration et un drainage interne satisfaisant. Humidité disponible du sol: 150 mm/m de profondeur. L'eau est de bonne qualité sans risque de salinité ni de toxicité; la source d'eau est un réservoir placé à un niveau surélevé. La

demande d'irrigation de pointe est en juillet; l'évaporation moyenne en bac atteint 7 mm/jour.

Besoins en eau et programme d'irrigation

L'évaporation en bac de 7 mm/jour multipliée par 0,66 (facteur de correction de l'évaporation en bac) donne une ETo de 4,65 mm/jour. Le coefficient cultural k_c est de 0,65. Ainsi $ET_c = 4,65 \times 0,65 = 3$ mm/jour. On considère que la superficie ombragée par la canopée est de 70 pour cent, mais estimée à 82 pour cent pour les besoins du calcul. Par conséquent les besoins quotidiens en eau d'irrigation sont de $3 \times 0,82 = 2,48$ mm/jour nets. Avec une efficacité d'application du système de 75 pour cent, les besoins quotidiens nets sont de $2,48 \times 100 \div 75 = 3,3$ mm (33 m³). Si l'irrigation a lieu tous les dix jours, la dose brute d'irrigation est de $10 \times 33 = 330$ m³.

L'intervalle maximum d'irrigation admissible en juillet, avec un tarissement de 50 pour cent de l'humidité pour une profondeur d'enracinement de 0,60 m, est de $150 \times 0,6 \times 0,5 \div 3 = 15$ jours. La fréquence d'irrigation dépend de plusieurs facteurs et ne doit en aucun cas dépasser l'intervalle maximal admissible entre deux irrigations.

Trame du système, performances et caractéristiques hydrauliques

Tant dans le système conventionnel que dans celui à tuyaux traînés, une conduite principale en PEHD ou PVC de 63 mm de diamètre est implantée le long du bord du champ avec des bornes de prise de 2 pouces, quatre dans le système conventionnel et deux pour les tuyaux traînés. Des conduites latérales en PEFD de 50 mm (quatre et deux respectivement) sont posées perpendiculairement à la conduite principale et connectées aux bornes. La disposition des tuyaux diffère selon le système: dans le type conventionnel, l'espacement des tuyaux est de 36 x 36 m avec deux tuyaux de jardin (1 ¼ pouce) de 24 m de long par conduite latérale. Il y a donc quatre conduites latérales et huit positions de tuyaux. Trente-six arbres peuvent être irrigués pour chaque position de tuyau. Dans l'autre système, l'espacement des tuyaux traînés est de 24 x 48 m avec trois tuyaux en PEFD de 25 mm et de 36 m de longueur par conduite latérale. Il n'y a donc que deux conduites latérales et six positions de tuyau. Quarante-huit arbres peuvent être irrigués pour chaque position de tuyau. Les caractéristiques générales des deux systèmes sont les suivantes (tableau 18.3):

TABLEAU 18.3 - Système de tuyaux et bassins conventionnel et traîné

Caractéristiques	Tuyaux et bassins conventionnels	Tuyaux traînés et bassins
Débit du système	16 m ³ /h	16 m ³ /h
Type de tuyau	PVC souple, 1 ¼ in, 24 m	PEFD, 25 mm, 36 m
Débit du tuyau	4 m ³ /h	2,7 m ³ /h
Dimensions des bassins	5 x 5 m	5 x 5 m
Nombre de bassins par tuyau	36	48
Fréquence d'irrigation	10 jours	10 jours
Dose d'irrigation	330 m ³	330 m ³
Nombre de tuyaux fonct. simult.	4 (double poste)	6
Temps pour remplir un bassin	17,4 min	26 min
Temps pour effectuer une irrigation	20,8 h	20,8 h
	bars	bars
Pertes de charge dans les tuyaux	0,2	0,7
Pertes de charge dans les conduites latérales	0,3	0,4
Pertes de charge dans la conduite principale	0,5	0,4
Pertes mineures locales et autres	0,5	0,5
Charge dynamique totale	1,5	2,0

Équipement pour l'installation du système

TABLEAU 18.4 - Système conventionnel de tuyaux et bassins pour les arbres

n.	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
	Réseau de distribution			
1.	Conduite PEHD 63 mm, 4 bars	125 m	1,80	225,00
2.	Conduite PEHD 50 mm, 4 bars	220 m	1,20	264,00
3.	Bouchon à compression PP 63 mm	1 U	5,00	5,00
4.	Bouchon à compression PP 50 mm	4 U	3,00	12,00
5.	Adaptateur à compression PP 63 mm x 2 ½ in	1 U	5,00	5,00
6.	Adaptateur à compression PP 50 mm x 2 in	4 U	3,00	12,00
7.	Collier de prise en charge PP 63 mm x 2 in	4 U	1,30	5,20
8.	Collier de prise en charge PP 50 mm x 1 in	8 U	1,10	8,80
9.	Robinet-vanne laiton 2 in	4 U	8,00	32,00
10.	Robinet-vanne laiton 1 in	8 U	3,00	24,00
11.	Raccord 2 in	4 U	0,80	3,20
12.	Raccord 1 in	16 U	0,40	6,40
13.	Adaptateur 1 ¼ in robinet/tuyau	4 U	0,70	28,00
14.	Tuyau de jardin souple PVC 1 ¼ in L= 24 m	4 U	30,00	120,00
	COÛT TOTAL			750,60

TABLEAU 18.5 - Système de bassins alimentés par tuyaux traînés pour les arbres

n.	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
Réseau de distribution				
1.	Conduite PEHD 63 mm, 4 bars	105 m	1,40	147,00
2.	Conduite PEHD 50 mm, 4 bars	120 m	0,80	96,00
3.	Bouchon à compression PP 63 mm	1 U	5,00	5,00
4.	Bouchon à compression PP 50 mm	1 U	3,00	3,00
5.	Adaptateur à compression PP 63 mm x 2 ½ in	1 U	5,00	5,00
6.	Adaptateur à compression PP 50 mm x 2 in	2 U	3,00	6,00
7.	Collier de prise en charge PP 63mm x 2 in	2 U	1,30	2,60
8.	Collier de prise en charge PP 50 mm x 1 in	6 U	1,10	6,60
9.	Robinet-vanne laiton 2 in	2 U	8,00	16,00
10.	Robinet-vanne laiton 1 in	6 U	3,00	18,00
11.	Raccord 2 in	2 U	0,80	1,60
12.	Raccord 1 in	6 U	0,40	2,40
13.	Coude à compression 1 in x 25 mm	6 U	1,20	7,20
14.	Tuyau de jardin souple PEFD 25 mm L= 36 m	6 U	14,40	86,40
COÛT TOTAL				402,80

FIGURE 18.8 - Irrigation par tuyaux flexibles pour les légumes précoces sous tunnel bas.

IRRIGATION DU MAÏS PAR TUYAUX ET BASSINS ET DES TOMATES PAR TUYAUX ET SILLONS

Superficie et cultures

Deux parcelles de même dimension 108 x 96 m, de 1 ha chacune, sont plantées respectivement, à la mi-avril, de maïs et de tomates. La parcelle de maïs est divisée en 144 petits bassins de 6 x 12 m. La parcelle de tomates est organisée en courts sillons de 18 m de long (figure 18.9).

Sol, eau et climat

Sol de texture moyenne bien structuré, avec une bonne infiltration et un drainage interne satisfaisant. Humidité disponible du sol: 150 mm/m de profondeur. L'eau est de bonne qualité sans risque de salinité ni de toxicité; la source d'eau est un réservoir surélevé. La demande d'irrigation de pointe se produit en juillet, lorsque l'évaporation moyenne en bac est de 7 mm/jour.

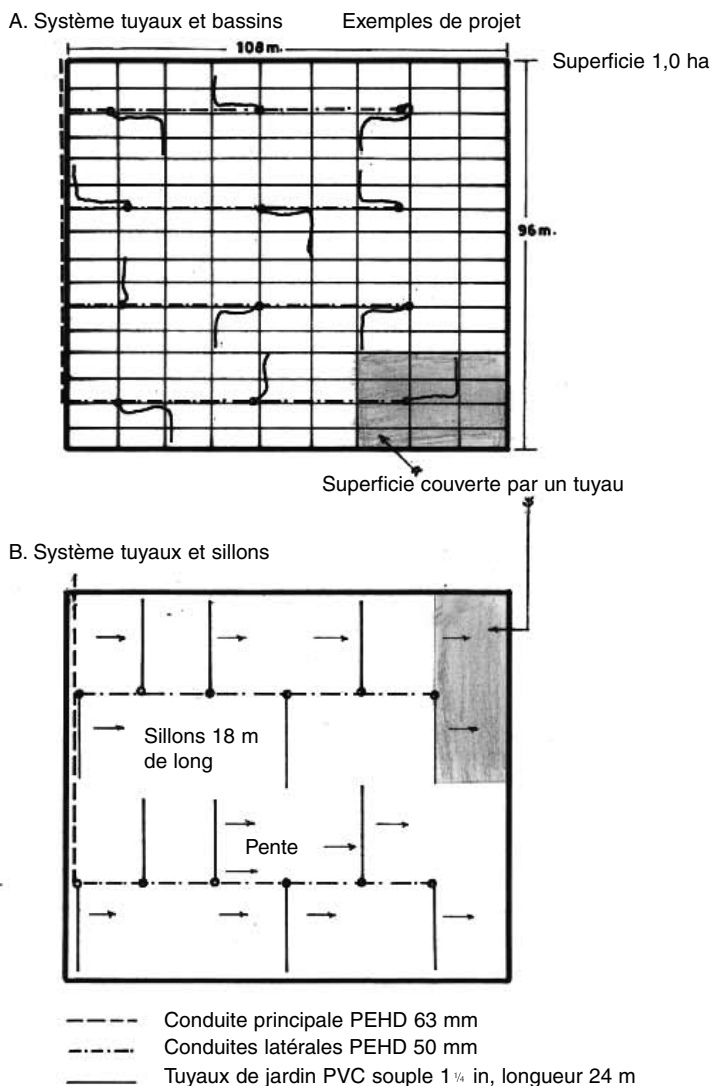
Besoins en eau et programme d'irrigation

L'évaporation en bac de 7 mm/jour multipliée par 0,66 (facteur de correction de l'évaporation en bac) donne une ETo de 4,65 mm/jour. Le coefficient cultural k_c pour le maïs au moment de la récolte en juillet est de 1 et de 0,85 pour les tomates de fin de saison. Ainsi $l'ET_c = 4,65 \times 1 = 4,65$ mm/jour pour le maïs et $4,65 \times 0,85 = 3,95$ mm/jour pour les tomates. L'efficacité d'application du système est de 75 pour cent. Par conséquent, pour le maïs, les besoins bruts de pointe en eau d'irrigation par jour sont de $4,65 \div 0,75 = 6,2$ mm (62 m^3) et pour les tomates, $3,95 \div 0,75 = 5,26$ mm ($52,6 \text{ m}^3$). En période de pointe, si l'irrigation a lieu tous les sept jours pour le maïs (tous les deux jours pour les tomates), la dose brute d'irrigation est de $7 \times 62 = 434 \text{ m}^3$ pour le maïs et de $2 \times 52,6 \text{ m}^3 = 105 \text{ m}^3$ pour les tomates. Le débit disponible du système est de 16 m^3 /heure.

Trame du système, performances et caractéristiques hydraulique

Dans les deux systèmes, les réseaux de conduites sont quasi similaires, c'est-à-dire conduites en PEHD de 63 mm pour la principale, en PEHD de 50 mm pour les conduites latérales et de 1 1/4 pouce pour les tuyaux de jardin en PVC flexible. Dans le système à bassins, l'espacement des tuyaux est de 36 m le long de la conduite latérale et de 12 m entre les conduites latérales. Il y a quatre conduites latérales, chacune avec trois tuyaux pour un total de 12 positions de tuyaux, chaque position pouvant desservir 12 bassins.

FIGURE 18.9 - Irrigation par tuyaux pour les légumes et les cultures de plein champ.



Dans le système à sillons courts, l'espacement des tuyaux est de 18 m le long de la conduite latérale et de 24 m entre les conduites latérales. Il n'y a que deux conduites latérales avec six tuyaux chacune, pour un total de 12 positions de tuyaux irriguant les sillons en aval de chaque côté de la conduite latérale. Les caractéristiques générales des systèmes sont les suivantes (tableau 18.6):

TABLEAU 18.6 - Irrigation par tuyaux et bassins et tuyaux et sillons

Caractéristiques	Tuyaux et bassins	Tuyaux et sillons
Superficie	1,0 ha	1,0 ha
Culture	maïs	tomate
Débit du système	16 m ³ /h	16 m ³ /h
Type de tuyau	PVC souple, 1 ¼ in, 24 m	PVC souple, 1 ¼ in, 24 m
Débit du tuyau	5,3 m ³ /h	5,3 m ³ /h
Nombre de tuyaux fonct. simult.	3	3
Nombre de positions des tuyaux	12	12
Nombre de tours par irrigation	4	4
Fréquence d'irrigation en pointe	7 jours	2 jours
Dose brute d'irrigation	434 m ³	105 m ³
Temps pour effectuer une irrigation	27 h	6,5 h
	bars	bars
Pertes de charge dans les tuyaux	0,20	0,20
Pertes de charge dans les conduites latérales	0,40	0,40
Pertes de charge dans la conduite principale	0,45	0,40
Pertes mineures locales et autres	0,55	0,50
Charge dynamique totale	1,60	1,50

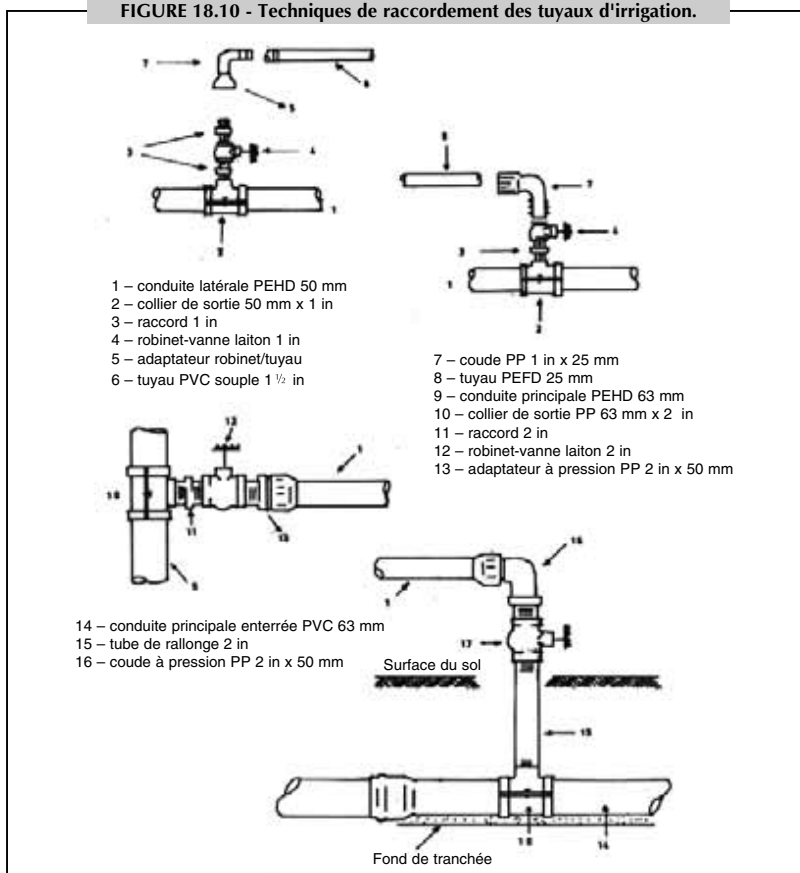
Equipment for system installation

TABLEAU 18.7 - Installation à tuyaux et bassins (maïs)

n.	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
Réseau de distribution				
1.	Conduite PEHD 63 mm, 4 bars	84 m	1,80	151,20
2.	Conduite PEHD 50 mm, 4 bars	336 m	1,20	403,20
3.	Bouchon à compression PP 63 mm	1 U	5,00	5,00
4.	Bouchon à compression PP 50 mm	4 U	3,00	12,00
5.	Adaptateur à compression PP 63 mm x 2 ½ in	1 U	5,00	5,00
6.	Adaptateur à compression PP 50 mm x 2 in	4 U	3,00	12,00
7.	Collier de prise en charge PP 63 mm x 2 in	4 U	1,30	5,20
8.	Collier de prise en charge PP 50 mm x 1 in	12 U	1,10	13,20
9.	Robinet-vanne laiton de 2 in	4 U	8,00	32,00
10.	Robinet-vanne laiton de 1 in	12 U	3,00	36,00
11.	Raccord 2 in	4 U	0,80	3,20
12.	Raccord 1 in	12 U	0,40	4,80
13.	Adaptateur 1 ¼ in tuyau/robinet	6 U	0,70	4,20
14.	Tuyau de jardin PVC souple 1 ½ in L= 24 m	6 U	30,00	180,00
COÛT TOTAL				867,00

TABLEAU 18.8 - Installation à tuyaux et sillons (tomates)

n.	Description	Quantité	Prix unitaire \$EU	Prix total \$EU
Réseau de distribution				
1.	Conduite PEHD 63 mm, 4 bars	72 m	1,80	129,60
2.	Conduite PEHD 50 mm, 4 bars	180 m	1,20	216,00
3.	Bouchon à compression PP 63 mm	1 U	5,00	5,00
4.	Bouchon à compression PP 50 mm	2 U	3,00	6,00
5.	Adaptateur à compression PP 63 mm x 2 ½ in	1 U	5,00	5,00
6.	Adaptateur à compression PP 50 mm x 2 in	2 U	3,00	6,00
7.	Collier de prise en charge PP 63 mm x 2 in	2 U	1,30	2,60
8.	Collier de prise en charge PP 50 mm x 1 in	12 U	1,10	13,20
9.	Robinet-vanne laiton 2 in	2 U	8,00	16,00
10.	Robinet-vanne laiton 1 in	12 U	3,00	36,00
11.	Raccord 2 in	2 U	0,80	1,60
12.	Raccord 1 in	12 U	0,40	4,80
13.	Adaptateur 1 ¼ in tuyau/robinet	6 U	0,70	4,20
14.	Tuyau de jardin PVC souple 1 ½ in L= 24 m	6 U	30,00	180,00
COÛT TOTAL				626,00

FIGURE 18.10 - Techniques de raccordement des tuyaux d'irrigation.


CHAPITRE 19: Données générales d'une étude technique pour un système d'irrigation sous pression

INTRODUCTION

Le choix d'un système d'irrigation est parfois prédéterminé par des facteurs restrictifs spécifiques qui ne laissent pas d'alternatives. Dans d'autres cas, lorsque plus d'un système est en théorie possible, le choix final se fait sur la base de critères valides tels que:

- la validité et l'adaptabilité dans les conditions existantes;
- le coût;
- l'efficacité (économie d'eau);
- la flexibilité du tracé du réseau;
- les rendement et profit potentiels;
- la durabilité.

Une étude technique minimale est indispensable pour garantir une planification, conception et mise en oeuvre satisfaisantes de chaque système d'irrigation au niveau de l'exploitation.

COLLECTE DES DONNÉES

La collecte et la préparation de l'information nécessaire sont liées aux caractéristiques et types de système d'irrigation et aux techniques qu'il utilise. Une étude sérieuse des descriptions des systèmes et de leurs caractéristiques techniques est d'importance majeure pour définir les critères de sélection des systèmes d'irrigation. Des plans détaillés et des projets avec cartes, instructions d'installation, schémas de montage, programmes et calendriers d'irrigation sont préparés après la sélection des systèmes et cultures à irriguer. Les fournisseurs des systèmes doivent toujours fournir un manuel d'utilisation de leur matériel.

Les données requises pour l'installation d'un système d'irrigation sur chaque parcelle individuelle doivent être rassemblées dans une fiche de données selon le modèle suivant:

Fiche de données sur l'exploitation agricole

- a) *Identification de l'exploitation*: Identification de l'exploitation: nom, situation, propriétaire (privé ou gouvernement), dimension (ha ou m²) et plan d'assolement.

- b) *Topographie*: carte topographique du terrain à grande échelle, ou dessin schématique avec les dimensions, mentionnant: l'orientation vers le Nord, l'arrangement et les dimensions des parcelles, l'emplacement de la source d'eau, les routes/pistes rurales, les bâtiments, etc., et indiquant les courbes de niveau ou points d'élévation et la direction des pentes.
- c) *Cultures*: types, superficies et situation de chaque culture sur la carte - âge des cultures pérennes – plan d'assolement des cultures annuelles – espacement des plants le long des rangs et entre eux – direction des rangs – hauteur des plants – période/saison de croissance et d'irrigation – coefficients cultureaux.
- d) *Sols*: types et caractéristiques physiques, par exemple sableux, argilo-sableux, limoneux, argilo-limoneux – perméabilité, drainage interne – capacité de rétention de l'humidité – profondeur du sol superficiel – existence de couches dures – problèmes potentiels de salinité, toxicité, alcalinité.
- e) *Climat et altitude*: altitude de l'exploitation par rapport au niveau de la mer – pluviométrie (totaux mensuels moyens sur les cinq dernières années) et pluies efficaces - température (maximales, moyennes, mensuelles) – humidité relative – vents prévalents (direction et vitesse) – valeurs de l'ETo.
- f) *Eau*: sources d'alimentation en eau (forage profond, source, rivière, autre) – situation (distance de la ferme et distance entre elles, différences de niveau) – débit disponible (m^3/h ou l/s) et quantité journalière au niveau minimum – qualités physiques (teneur en particules étrangères en suspension telles que sable, limon, impuretés, algues, etc.), chimique (analyse ionique complète plus bore et nitrates) et biologique en cas d'eaux usées traitées – profondeur du forage, niveau statique, abaissement et capacité réelle avec marge de sécurité – unité de pompage existante: type, débit, hauteur de refoulement.
- g) *Conditions existantes*: réseau d'adduction existant – méthode d'irrigation actuelle (fréquence d'application, heures de fonctionnement, volumes d'eau distribués).
- h) *Disponibilité en main-d'oeuvre* et nombre moyen d'heures travaillées dans les champs – heures de fonctionnement quotidiennes maximales recommandées pour les installations d'irrigation améliorées.
- i) *i) Recommandations et remarques*: toute autre information pertinente pour le projet. - recommandations et remarques diverses.

En ce qui concerne la disponibilité en eau, on remarquera que si la source d'eau est éloignée de la zone à irriguer, une conduite d'adduction devra être installée de la source à cette zone. Ni la distance, ni la différence de niveau entre les deux points ne devront perturber la pression requise pour le fonctionnement normal du système. Une pompe de remise en pression sera installée soit en tête de la conduite d'adduction, soit en tête du réseau d'irrigation. Les dispositions à prendre seront adaptées aux conditions du site.

CRITÈRES DE SÉLECTION ET PARAMÈTRES DES DIVERS SYSTÈMES

Les critères et données rassemblés seront examinés et évalués en fonction des caractéristiques et performances techniques des divers systèmes d'irrigation. On trouvera ci-dessous les principaux paramètres à considérer pour la sélection d'un système. D'autres paramètres et facteurs sont également pris en considération, tels que la facilité d'accès, l'appartenance à une zone protégée, l'intégration à une ferme organisée, la disponibilité en main-d'œuvre, les installations de fonctionnement et d'entretien, etc.

Remarque: les descriptions et caractéristiques des systèmes sont détaillées dans les chapitres précédents relatifs à chaque système.

Systèmes d'irrigation à pivot central

Type de cultures

Pratiquement toutes les cultures conviennent. Les cultures de plein champ recommandées sont les céréales, les cultures industrielles, les légumes à feuilles et les fourrages.

Superficie, dimension et forme

Le terrain doit être un champ agricole normal d'une superficie relativement grande, 15 à 100 ha. Le système à pivot central doit pouvoir être déplacé d'une position à l'autre. Cela s'applique surtout à l'irrigation supplémentaire des céréales en période de sécheresse.

Topographie

Le système à pivot central peut fonctionner sur un sol inégal; toutefois un sol horizontal ou à faible pente uniforme de moins de 3 pour cent est recommandé. Une topographie ondulée peut entraîner de nombreuses difficultés, en particulier en cas de ruissellement.

Sols

Le sol doit être de texture moyenne avec un taux élevé d'infiltration (> 15 mm/h), un bon drainage interne et une bonne capacité de rétention de l'humidité.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir d'eau. Mais les systèmes à pivot central, comme tous les systèmes circulaires, doivent toujours être alimentés à partir d'une borne placée au centre de la zone à irriguer, près du pivot. Donc, une conduite d'adduction enterrée doit être installée entre la source et le pivot. À l'extrémité de la conduite, au milieu de la superficie et près du pivot, la borne doit être installée pour fournir l'eau d'irrigation sous une pression d'environ 3 bars. La prise du système sera connectée à la borne par un tuyau flexible à raccord rapide. À chaque position du pivot central doit correspondre une borne fixe.

Qualité de l'eau

L'eau doit être propre et exempte de matières solides en suspension et autres impuretés, d'un pH normal compris entre 6,5 et 8,4 sans risque de salinité, de sodium ni de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, les nitrates ou le bore. La quantité totale de matière dissoute ne doit pas dépasser 1 500 mg/l (ppm); taux d'adsorption du sodium < 12; carbonate de sodium résiduel < 1,25 meq/l; teneur en bore < 0,7 mg/l; chlorures < 200 mg/l; nitrates (NO_3) < 100 mg/l et faibles teneurs en bicarbonates (HCO_3).

Besoins en carburant

Les systèmes à pivot central sont équipés de générateurs pour actionner les tours et les pompes de remise en pression, toutes deux commandées par des moteurs diesel. On connectera le réservoir de carburant du moteur à des réservoirs plus importants placés à proximité, afin d'assurer aux systèmes à pivot central un fonctionnement de longue durée sans interruption.

Systèmes d'irrigation par aspersion à enrouleurs à rampes repliables

Type de cultures

Les plantes à cultiver avec ce système sont pratiquement les mêmes que celles préconisées pour le système à pivot central, telles que blé, orge, pois chiches, lentilles, pommes de terre, les cultures industrielles de soja, maïs, tournesol, légumes à feuilles, pastèques, trèfle, les cultures pérennes, etc. Le système est surtout utilisé pour l'irrigation supplémentaire des céréales (blé et orge) durant les mois d'hiver. La hauteur des plantes doit être prise en compte pour le calage de la rampe mobile au-dessus du sol.

Superficie, dimension et forme

La zone à irriguer doit être un champ agricole normal d'au moins 1,8 ha. Le système doit pouvoir être déplacé d'une position à l'autre. On utilise habituellement ce système pour l'irrigation supplémentaire des céréales durant les périodes de sécheresse.

Topographie

Le système à rampe repliable peut fonctionner sur un sol inégal; toutefois un sol horizontal ou à faible pente uniforme de moins d'un pour cent est recommandé. Une topographie ondulée peut entraîner de nombreuses difficultés surtout en cas de ruissellement.

Sols

Le sol doit être de texture moyenne avec un taux élevé d'infiltration (> 15 mm/h), un bon drainage interne et une bonne capacité de rétention de l'humidité.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir d'eau. Le système peut être alimenté par des bornes placées en différents points des bordures de la parcelle agricole. La prise du système est raccordée à la borne ou à la sortie de la pompe au moyen d'un tuyau flexible à raccord rapide. À chaque position du système à rampe mobile doit correspondre une borne fixe. La source d'eau doit se situer aussi près que possible du champ à irriguer. La pression de l'eau doit être comprise entre 3,5 et 5,5 bars.

Qualité de l'eau

L'eau doit être propre et exempte de matières solides en suspension et autres impuretés, d'un pH normal compris entre 6,5 et 8,4 sans risque de salinité, de sodium ni de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, les nitrates ou le bore. La quantité totale de matière dissoute ne doit pas dépasser 1 500 mg/l (ppm); taux d'adsorption du sodium < 12 ; carbonate de calcium résiduel $< 1,25$ meq/l; teneur en bore $< 0,7$ mg/l; chlorures < 200 mg/l; nitrates (NO_3) < 100 mg/l et faibles teneurs en bicarbonates (HCO_3).

Systèmes d'irrigation goutte-à-goutte

Type de cultures

Les cultures de plein champ pouvant être cultivées sous irrigation goutte-à-goutte sont, entre autres, toutes les plantes disposées en rangs et principalement les légumes en hiver et en été, ainsi que les pastèques. Les arbres à feuilles caduques donnent d'excellents résultats sous irrigation goutte-à-goutte.

Superficie, dimension et forme

La superficie à irriguer peut être n'importe quelle ferme plantée de cultures de plein champ en rang de toutes longueurs comprises entre 40 et 150 m et située en montagne ou en plaine. La dimension des parcelles peut varier de 0,2 à 1 ha. Leur forme doit être normale, rectangulaire ou carrée.

Topographie

On recommande des systèmes de goutte-à-goutte soit avec des gouteurs normaux, soit munis de compensateurs de pression, pouvant fonctionner sur des terrains irréguliers. Des terrains horizontaux ou avec une pente uniforme inférieure à 3 pour cent sont toutefois recommandés.

Sols

Le sol peut être de toute texture, mais de préférence moyenne et/ou fine avec des taux d'infiltration inférieurs à 20 mm/h. Des sols sableux très légers avec une perméabilité élevée ne sont pas recommandés.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir d'eau. Si une pompe de remise en pression est nécessaire, elle doit être installée en amont du système, avant l'ouvrage de tête. La pression de l'eau doit être d'environ 3 bars.

Qualité de l'eau

L'eau doit être aussi propre que possible, bien qu'un dispositif de filtration complet soit toujours requis. Chimiquement, elle doit présenter un pH normal compris entre 6,5 et 8,4 sans risque de salinité, de sodium ni de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, les nitrates ou le bore. La quantité totale de matières dissoutes doit être comprise entre 500 et 2 000 mg/l (ppm); taux d'adsorption du sodium < 12; carbonate de sodium résiduel < 1,25 meq/l; teneur en bore < 0,9 mg/l.

Systèmes d'irrigation par mini-asperseurs (pour arbres fruitiers)

Type de cultures

Tout arbre fruitier pouvant être cultivé dans la région.

Superficie, dimension et forme

Il peut s'agir de n'importe quel champ agricole situé en plaine ou en montagne, qui est ou sera planté d'arbres fruitiers en rangs d'une longueur maximale de 80 à 90 m sur un sol uniforme. La dimension des parcelles individuelles peut être de 0,5 à 1 ha. La forme doit être normale, rectangulaire ou carrée.

Topographie

Le système d'irrigation par mini-asperseurs ne fonctionne normalement que sur des sols uniformes; par conséquent, des sols horizontaux ou en pente uniformes de 0,25 à 5 pour cent sont recommandés. Sur les sols en pente, la longueur des rangs et des lignes de mini-asperseurs varie en conséquence.

Sols

Le sol peut être de n'importe quelle texture, de préférence moyenne ou fine, mais avec un taux d'infiltration inférieur à 6 mm/h. Des sols sableux très légers avec une perméabilité élevée conviennent également.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir d'eau. La pression de l'eau doit être de 2,5 à 3 bars.

Qualité de l'eau

L'eau doit être aussi propre que possible, bien qu'un dispositif de filtration à disque soit requis. Chimiquement, elle doit présenter un pH normal compris entre 6,5 et 8,4 sans risque de salinité, de sodium ni de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, les nitrates et spécialement les chlorures et le bore. La quantité totale de matière dissoute doit être comprise entre 500 et 1 500 mg/l (ppm); taux d'adsorption du sodium < 12; carbonate de sodium résiduel < 1,25 meq/l; Cl < 12 meq/l; teneur en bore < 0,7 mg/l.

Systèmes de distribution par conduites

Type de cultures

Les cultures de plein champ qui peuvent être cultivées avec cette technique, sont, entre autres, presque toutes les cultures annuelles et pérennes d'hiver et d'été, c'est-à-dire légumes, céréales, melons, fourrages et arbres fruitiers.

Superficie, dimension et forme

Située de préférence dans des zones plus ou moins unies, la surface à irriguer peut être n'importe quelle ferme agricole plantée de cultures de plein champ irriguées avec des sillons, des planches, des bassins ou n'importe quelle méthode d'application de l'eau à la parcelle. La dimension des parcelles peut varier de 0,1 à 1 ha et on peut y planter une ou plusieurs variétés. Normalement des formes rectangulaires ou carrées sont recommandées.

Topographie

Le réseau de distribution en conduites peut être installé et fonctionne parfaitement sur des terrains irréguliers; toutefois les bornes du système doivent être implantées aux plus hauts points de chaque parcelle. L'application de l'eau se faisant en surface, des terrains horizontaux ou avec des pentes uniformes régulières de 0,1 à 0,25 pour cent sont recommandées.

Sols

Le sol peut être de n'importe quelle texture, de préférence moyenne ou fine, mais avec un taux d'infiltration inférieur à 20 mm/h. Des sols sableux très légers avec une perméabilité très élevée ne sont pas recommandés.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir d'eau. La pression de l'eau doit être de 1 à 2 bars.

Qualité de l'eau

L'eau doit être aussi propre que possible. Chimiquement, elle doit présenter un pH normal compris entre 6,5 et 8,4, avec une salinité basse à moyenne, avec un faible risque de sodium ou de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, les nitrates, ou le bore. La quantité totale de matière dissoute doit être comprise entre 500 et 2 500 mg/l (ppm) taux d'adsorption du sodium < 12; carbonate de sodium résiduel < 1,25 meq/l et teneur en bore < 0,75 mg/l.

Systèmes d'irrigation par aspersion à tuyaux flexibles mobiles*Type de cultures*

Luzerne et autres fourrages, maïs, tournesol, et autres cultures plantées avec une forte densité. Le système peut être installé avec succès dans les pépinières.

Superficie, dimension et forme

La surface à irriguer peut être n'importe quelle ferme nivelée située en montagne ou en plaine, plantée de cultures agricoles. La dimension des parcelles peut varier de 0,5 à 1 ha. La forme est normale, rectangulaire ou carrée.

Topographie

Le système d'aspersion à tuyaux mobiles fonctionne normalement sur des terrains réguliers et plats; la préférence sera donnée à des terrains horizontaux ou en pente uniforme douce de 0,25 à 2 pour cent.

Sols

Le sol peut être de n'importe quelle texture, de préférence moyenne ou/et fine, mais avec un taux d'infiltration inférieur à 8 mm/h et un bon drainage interne. Des sols sableux très légers avec une perméabilité élevée conviennent également.

Conditions de vent

Les conditions de vent doivent être enregistrées et classées selon la direction et la vitesse (0-0,7 m/s pas de vent, 0,7-2,5 m/s vent léger, 2,5-3,5 m/s vent modéré à fort, et > 3,5 m/s vent très fort). L'aspersion n'est pas recommandée dans des conditions de vent fort.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un forage, une rivière ou un petit réservoir d'eau. Le système est conçu pour une pression de l'eau de 3,5 bars.

Qualité de l'eau

L'eau doit être de bonne qualité convenant pour l'irrigation. Chimiquement, elle doit présenter un pH normal compris entre 6,5 et 8,4, avec une salinité faible à moyenne, avec un faible risque de sodium ou de problèmes de toxicité causés par les chlorures, les bicarbonates et les nitrates. La quantité totale de matière dissoute doit être comprise entre 500 et 2 000 mg/l (ppm); taux d'adsorption du sodium < 12 ; carbonate de sodium résiduel $< 1,25$ meq/l; et teneur en bore < 1 mg/l.

Systèmes familiaux peu onéreux d'irrigation goutte-à-goutte

Type de cultures

Les cultures de plein champ qui peuvent être cultivées en irrigation goutte-à-goutte sont essentiellement des légumes d'hiver et d'été, ainsi que des pastèques.

Superficie, dimension et forme

La superficie à irriguer peut être n'importe quelle ferme plantée de cultures de plein champ en rangs courts de 12 à 24 m, située en zone rurale de montagne ou de plaine. La dimension des parcelles peut varier entre 250 et 1 000 m². La forme doit être normale, rectangulaire ou carrée.

Topographie

Ces systèmes de goutte-à-goutte fonctionnent à très basse pression. Des terrains horizontaux ou avec une pente uniforme inférieure à 0,5 pour cent sont toutefois recommandés.

Type de sols

Le sol peut être de toute texture, mais de préférence moyenne et/ou fine avec des taux d'infiltration inférieurs à 20 mm/h. Des sols sableux très légers avec une perméabilité élevée ne sont pas recommandés.

Disponibilité en eau

La source d'eau peut être un puits de surface, un bassin, un tuyau de jardin ou tout autre dispositif pouvant remplir régulièrement le réservoir de tête du système. Le débit de ces systèmes à la conception est de l'ordre de 1,1 m³/h sous une charge de 1,5 m.

Qualité de l'eau

L'eau doit être aussi propre que possible, bien qu'un dispositif de filtration complet soit prévu. Chimiquement, elle doit présenter un pH normal compris entre 6,5 et 8,4 avec une salinité basse à moyenne, avec un faible risque de sodium et de problèmes de toxicité causés par les bicarbonates, les nitrates ou le bore. La quantité totale de matière dissoute doit être comprise entre 500 et 2 000 mg/l (ppm) taux d'adsorption du sodium < 12 ; carbonate de sodium résiduel $< 1,25$ meq/l; et teneur en bore $< 0,9$ mg/l.

CHAPITRE 20: Fonctionnement et entretien

INTRODUCTION

Le fonctionnement efficient d'un système d'irrigation dépend principalement de la capacité de l'exploitant d'en faire le meilleur usage. Pour chaque système, en fonction de son type et de ses caractéristiques, ainsi que de la manière dont l'eau est fournie à la ferme, il existe plusieurs mesures à prendre et facteurs à considérer afin d'assurer un fonctionnement efficient et d'obtenir les meilleures performances de l'installation. Parfois, l'aménagement du réseau d'irrigation ne donne pas entière satisfaction en raison d'une conception mal adaptée, d'une installation défectueuse, ou d'un équipement non-conforme aux spécifications. Toutefois, la manière dont le système d'irrigation dans son ensemble et ses composantes sont exploités et entretenus déterminera le succès ou l'échec de tout système correctement conçu et aménagé.

Le fonctionnement et l'entretien du réseau d'irrigation sont également les facteurs essentiels d'une bonne gestion de l'irrigation. Les exploitants agricoles doivent avoir une bonne connaissance des procédures de fonctionnement et d'entretien de leur installation. Cette connaissance peut s'acquérir à partir des informations complètes, des démonstrations et des instructions écrites que doivent fournir les fabricants et fournisseurs.

FONCTIONNEMENT

Quand et comment irriguer?

L'application de la quantité exacte d'eau requise par les cultures au moment opportun est l'objectif essentiel de l'aménagement d'un réseau d'irrigation. Généralement, les fermiers appréhendent bien les principaux aspects de la programmation de l'irrigation, tels que le débit et la quantité d'eau, les heures de fonctionnement et la fréquence d'irrigation, et sont capables de suivre les instructions données. Correctement installés, exploités et entretenus, les réseaux d'irrigation permettent aux fermiers d'exercer un contrôle absolu sur l'utilisation de l'eau au niveau de la ferme. Ainsi, il est aisé pour eux d'appliquer les programmes d'irrigation basés sur les cultures, les sols, le climat, les disponibilités en eau et les facteurs de qualité.

Démarrer et arrêter le système

Le démarrage et l'arrêt d'un réseau d'irrigation sous pression doivent être effectués avec grand soin afin de prévenir les surpressions et coups de bélier et d'éviter la formation de poches d'air dans les conduites.

L'ouverture et la fermeture des vannes en tête du système et sur les conduites principales et secondaires se feront toujours très lentement.

Lorsqu'il y a une pompe, que ce soit une motopompe ou un modèle entraîné par un moteur, les instructions du fournisseur devront être scrupuleusement suivies. L'amorçage de la pompe, le remplissage des conduites, la mise en vitesse et la lubrification des équipements de pompage sont des facteurs de première importance. Les fabricants fournissent dans leur documentation des instructions détaillées pour démarrer et faire fonctionner chaque unité de pompage.

Performance du système

De fréquentes observations et vérifications doivent être réalisées durant la saison d'irrigation afin de garantir un fonctionnement correct et une bonne performance du système. Ceci implique un certain nombre de procédures permettant de réaliser des évaluations simples à partir des mesures prises sur le terrain.

L'équipement requis pour cette tâche est le suivant:

- une carte ou un schéma de la superficie irriguée montrant l'emplacement de toutes les composantes du système, ainsi que des différentes parcelles;
- un manomètre portable (0 à 6 bars), avec adaptateur spécial et embout à tube pivotant;
- un chronomètre;
- un ruban de mesure d'environ 20 m;
- des récipients de mesure d'une capacité de 1 à 5 litres;
- une tarière à sol, pelle ou sonde;
- un carnet de notes pour enregistrer les données.

Dans la plupart des systèmes de conduites sous pression, il existe un certain nombre de facteurs qui doivent être évalués pour déterminer le niveau de fonctionnement, et qui peuvent être réajustés s'ils ne sont pas satisfaisants.

Les pressions de fonctionnement

Sur le système en fonction, des mesures de pression sont relevées en divers points du réseau de conduites, de préférence au début et à la fin des conduites principales et secondaires. Les pressions du premier et dernier

distributeur sur un certain nombre de conduites latérales seront également mesurées. Toutes les pressions devront se situer dans les marges prévues. Sur terrain uni, la pression du distributeur ne doit pas différer de plus de 20 pour cent de la pression moyenne recommandée. Toute modification doit immédiatement faire l'objet d'investigations.

Débit

Il faut aussi déterminer le débit des distributeurs semblables dont on mesure les pressions de fonctionnement, ce qui se fait en mesurant le temps nécessaire pour remplir d'eau un récipient gradué. Les résultats doivent concorder avec les spécifications du fournisseur et les écarts entre les deux quantités doivent être inférieurs à 10 pour cent. Le débit total du système doit correspondre à la somme des débits moyens des distributeurs.

Uniformité de l'application et profondeur d'humidification

Ce facteur peut être vérifié en sondant le sol en différents endroits, au moyen d'une sonde, d'une pelle ou d'une tarière. L'examen peut se faire de 12 à 24 heures après l'irrigation en fonction du type de sol. L'eau doit pénétrer quelques centimètres en dessous de la zone racinaire. Il est ainsi facile de déterminer les zones absorbant plus ou moins l'eau pour permettre des investigations ultérieures.

Il faut éviter de baser les évaluations sur toute forme d'observation visuelle car cela peut entraîner des erreurs de jugement. En plus des évaluations simples énumérées ci-dessus, les vérifications, modifications sur place, réaménagements et mesures d'entretien préventif suivants sont nécessaires:

- vérifier et réparer toute fuite sur les conduites ou les vannes;
- positionner les asperseurs verticalement au-dessus du sol et vérifier l'espacement;
- remplacer ou réparer les distributeurs bouchés;
- purger le réseau d'irrigation au moins trois fois durant la saison d'irrigation lorsque l'eau utilisée est d'origine souterraine. Avec l'eau d'un réservoir, purger toutes les quatre irrigations. Un temps approximatif de purge de 2 à 3 minutes sur chaque ligne évitera la sédimentation sur les parois internes des conduites;
- nettoyer soigneusement les filtres du système avant chaque irrigation. Durant l'irrigation, vérifier la différence de pression minimale entre l'entrée et la sortie du filtre principal;
- vérifier périodiquement les vannes de contrôle et les purgeurs d'air pour garantir leur bon fonctionnement;
- inspecter les équipements en plastique, vannes et dispositifs divers pour déceler les fissures et autres dommages physiques;
- purger les injecteurs d'engrais (pompe et réservoir) après chaque utilisation. Inspecter les tuyaux et valves;
- effectuer systématiquement des vérifications pour repérer les équipements défaillants qui ont subi des détériorations physiques et autres dommages par la faute d'engins, d'animaux, etc;

- effectuer fréquemment des vérifications visuelles pour veiller à ce que l'équipement soit en bon état et fonctionne efficacement.

Installation de pompage

L'entretien préventif du système de pompage est essentiel durant la saison d'irrigation. Les manuels d'entretien de l'équipement contiennent des chapitres sur le dépannage, très utiles pour résoudre les problèmes courants associés au fonctionnement normal de l'unité de pompage. Les vérifications et inspections suivantes sont recommandées pour la plupart des pompes entraînées par moteur thermique ou électrique:

- bruit;
- vibrations;
- fuites;
- températures des paliers à roulement et bobinages;
- consommation de carburant ou d'électricité;
- capacité et débit délivré (débit et pression dynamique);
- crépine de ventilation (à nettoyer le cas échéant);
- pression d'huile;
- huile et lubrifiant (renouveler le cas échéant).

ENTRETIEN

Le fonctionnement à long terme d'un réseau d'irrigation dépend en grande partie de l'entretien de base effectué par le fermier. Le service d'entretien périodique des installations de pompage et la réparation des dispositifs spéciaux (filtres, injecteurs, etc.) est exécuté par du personnel spécialisé dans l'entretien et la réparation.

L'entretien sera effectué durant une période de non-utilisation afin de préparer l'installation: a) pour la fermeture hors saison; et b) pour la remise en service la prochaine saison. Tout l'équipement exige d'être manipulé relativement soigneusement lors du stockage et de l'entretien. À chaque installation correspond une procédure propre aux divers aspects du réseau de distribution et de l'unité de pompage.

Réseau du système

La procédure pour le réseau consiste à:

- purger les conduites principales et secondaires, les adducteurs, et les conduites latérales;
- rechercher les éventuels dommages subis par les réseaux, et les réparer;
- ouvrir et drainer complètement toutes les vannes;

- enlever la saleté, les restes de corrosion et autres matériaux étrangers de tous les composants;
- vérifier les éventuels bouchages, dommages et signes d'usure et de détérioration sur les distributeurs, et remplacer le cas échéant;
- stocker tous les distributeurs sur des étagères dans un endroit propre et sec, à l'écart des engrais, produits chimiques, huiles, graisses et lubrifiants;
- examiner l'état des vannes de sectionnement et des purgeurs d'air;
- rincer et drainer les dispositifs de filtrage et d'injection des fertilisants;
- nettoyer tous les éléments des filtres;
- vérifier l'état des garnitures et étanchéités; enlever, nettoyer et stocker dans un endroit sec;
- rassembler tous les tubes portables en plastique en les enroulant; stocker convenablement les rouleaux;
- inspecter tous les tubes portables en métal pour repérer d'éventuels dommages, et consulter les fournisseurs si des réparations sont nécessaires; les stocker correctement à l'écart des lignes et clôtures électriques;
- drainer complètement tous les tuyaux laissés à l'extérieur.

Installation de pompage

Les installations de pompage se composent habituellement d'une pompe centrifuge et d'une unité d'entraînement (moteur électrique ou moteur à combustion interne). Les instructions d'entretien sont fournies par les fabricants et disponibles dans les associations d'utilisateurs de pompes et autres organisations axées sur les questions techniques. Il faut être particulièrement attentif à la protection des moteurs de l'humidité qui peut s'accumuler dans les machines et causer de sérieux dommages.

On trouvera ci-dessous une liste de vérifications, inspections et mesures à effectuer pour la préparation de la station de pompage a) avant la mise hors-service en fin de saison, et b) avant l'ouverture de la prochaine saison:

Entretien avant la mise hors-service en fin de saison

Pompes centrifuges

- drainer l'eau de la pompe et des tuyaux de connexion;
- si possible retirer et stocker les tubes d'aspiration;
- couvrir l'axe et toute pièce de métal exposée, et huiler ou graisser tous les paliers avec un lubrifiant de protection;
- desserrer les courroies en V ou plates, et glisser du papier ingraissable entre la courroie et la poulie;
- desserrer la couronne de garnissage;
- nettoyer les débris et tout autre matériel de l'hélice et de la volute.

Moteurs à combustion interne

- faire tourner le moteur pour chauffer l'huile du carter; arrêter le moteur et vidanger le carter; remplacer le filtre et remplir le carter avec une huile à moteur de haute qualité; mettre en marche et faire tourner lentement pendant deux minutes pour assurer l'huilage de toutes les surfaces;
- arrêter le moteur; enlever les bougies et verser 60 ml d'huile à moteur dans chaque ouverture; en débranchant l'allumage, faire faire plusieurs révolutions pour distribuer l'huile sur les parois des cylindres et les mécanismes de soupapes, revisser les bougies;
- drainer l'huile du carter; vidanger le système de refroidissement et fermer les robinets de vidange; drainer le carburant du réservoir, des tubes et du carburateur; remettre toutes les prises et fermer les robinets de vidange;
- lubrifier tous les raccords et fermer de manière étanche, avec du ruban adhésif étanche à l'eau, toutes les ouvertures, incluant la prise d'air, la sortie d'échappement et le tube d'aération du carter;
- vérifier les bouchons de remplissage de l'huile, du réservoir de carburant et du radiateur;
- vaporiser tous les raccords et l'équipement électrique avec un produit isolant adéquat;
- glisser une bande de papier ingraissable sous la poulie de la courroie en V;
- retirer la batterie et la stocker entièrement chargée;
- lorsque le moteur est à l'air libre, le couvrir avec une bâche étanche.

Moteurs électriques

- veiller à ce que tous les paliers soient bien lubrifiés;
- couvrir le moteur pour le protéger des rongeurs, des insectes et de la poussière; assurer l'aération;
- bloquer la boîte de commande dans la position "arrêt" et, si le moteur est laissé à l'air libre, couvrir d'une protection contre l'humidité et la poussière.

Préparation avant l'ouverture de la prochaine saison

Pompes centrifuges

- s'il y a un filtre à détrit, le nettoyer et le ré-installer correctement;
- sur les pompes centrifuges à axe horizontal, s'assurer que le clapet de pied à l'aspiration fonctionne correctement;
- installer la conduite d'aspiration des pompes horizontales et/ou les pompes à turbine verticales et/ou vérifier qu'elles soient suffisamment submergées; pour les pompes à turbine et axe vertical des forages profonds, vérifier l'ajustement des hélices;
- nettoyer tous les passages de l'écoulement;

- resserrer la couronne de garnissage selon l'ajustement d'origine;
- remplacer l'huile des paliers ou lubrifier les paliers à la graisse;
- vérifier que l'axe de la pompe tourne librement sans jeu excessif;
- démarrer la pompe et vérifier son fonctionnement normal.

Moteurs à combustion interne

- retirer tous les adhésifs obstruant les ouvertures scellées;
- ouvrir la vanne du réservoir de carburant, fermer les robinets de vidange et ajouter le liquide de refroidissement;
- vérifier la prise pour l'huile, remplacer le filtre à huile et ajouter l'huile nécessaire au moteur;
- dévisser les bougies et vaporiser une huile légère sur les parois des cylindres;
- revisser les bougies et faire tourner manuellement le moteur de quelques tours pour répartir l'huile dans les cylindres;
- lubrifier tous les accessoires du moteur;
- lorsqu'un distributeur est utilisé, nettoyer l'intérieur et l'extérieur du capot, inspecter le capot et le rotor pour détecter d'éventuelles fissures; lubrifier sans excès le distributeur avec un lubrifiant adapté; lorsqu'une magnéto est utilisée, vérifier les points sensibles à l'usure et aux fissures; lubrifier le rotor;
- lorsqu'un filtre à air à bain d'huile est utilisé, le nettoyer et le remplir avec l'huile de viscosité requise;
- vérifier toutes les cosses et les connexions électriques;
- démarrer le moteur; le faire tourner lentement pendant quelques minutes, vérifier la pression d'huile; si on n'atteint pas la valeur prescrite, arrêter le moteur et en chercher la raison;
- vérifier le niveau d'huile du carter et compléter, le cas échéant, jusqu'à atteindre le niveau requis sur la jauge.

Moteurs électriques

- nettoyer tous les débris accumulés durant la période d'arrêt;
- changer l'huile des paliers en utilisant le lubrifiant spécial, ne pas dépasser le niveau prescrit, utiliser une pompe à graisse pour lubrifier les paliers;
- changer l'huile des démarreurs bas voltage;
- vérifier que les auvents d'aération sont ouverts; ôter la poussière et les saletés de toutes les parties mobiles du moteur et du panneau de commande;
- vérifier et resserrer toutes les connexions électriques, remplacer les connexions qui ont chauffé avec du matériel neuf; tester les cosses et les réchauffeurs pour la continuité et les courts-circuits; nettoyer toutes les surfaces aimantées; vérifier la disponibilité de fusibles de rechange de toutes dimensions; s'assurer du bon état des câbles protégés et de leurs conduits; vérifier que tous les points de raccord sont libres de toute corrosion;

- s'assurer que l'intérieur de l'armoire de service ne porte pas de traces d'humidité;
- actionner toutes les parties mobiles à la main avant de mettre sous tension.

CONCLUSION

Grâce à leur investissement dans des équipements relevant des techniques améliorées d'irrigation, les fermiers s'attendent à économiser des quantités considérables d'eau, augmenter les rendements et améliorer la qualité des cultures.

Les professionnels et vulgarisateurs en irrigation, en association avec les fabricants et les fermiers, ont collaboré durant des années pour mettre au point des mesures appropriées de fonctionnement et d'entretien des systèmes d'irrigation. L'économie d'eau est et continuera d'être un objectif majeur pour les fermiers, les industries et les gouvernements. Toutes les parties intéressées doivent coopérer pour atteindre cet objectif.

CHAPITRE 21: Terminologie d'irrigation

A.	
Analyse de sensibilité	Étude de l'influence des modifications de paramètres discrets sur les résultats optimisés. Les paramètres dont les modifications de valeur ont une influence plus significative sur les résultats doivent être traités avec attention, alors que d'autres paramètres peuvent être considérés comme relativement insignifiants.
Aspersion par rampes pivotantes	Système d'irrigation par aspersion dont la source d'eau est centrale, dans lequel un système rotatif de tuyaux et d'asperseurs ou rampe pivotante tourne autour d'un point central pour arroser une surface circulaire.
B.	
Bassin versant	Bassin récepteur des eaux de pluie d'un lac, d'un réservoir ou d'une section particulière d'un cours d'eau ou d'un canal. (Synonyme: impluvium, aire de collecte ou bassin de drainage pour des bassins plus petits).
Besoin de lessivage	Fraction de l'eau s'infiltrant dans le sol, qui doit passer à travers la zone racinaire afin d'éviter que la salinité du sol n'excède une valeur préétablie. Le besoin de lessivage s'utilise surtout dans des conditions stables ou moyennes et à long terme.
Besoins en eau de pointe des cultures	Pour une culture donnée, besoins en eau de pointe des cultures, durant le mois où les besoins en eau sont au maximum.
Besoins en eau des cultures	Quantité d'eau totale requise pour l'évapotranspiration d'une culture donnée, depuis sa plantation jusqu'à sa récolte, dans un régime climatique spécifique, quand la pluie ou/et l'irrigation maintiennent une teneur adéquate d'eau dans les sols, de façon à ne limiter ni la croissance de la plante, ni le rendement de la culture.
Besoins en eau d'irrigation	Quantité d'eau d'irrigation, à l'exclusion des précipitations, requise pour la production normale des cultures. Elle inclut l'évaporation des sols et certaines pertes inévitables dans des conditions données. Elle est habituellement exprimée en unités de hauteur d'eau (mm) et se définit en termes mensuels, saisonniers ou annuels, ou pour une saison culturale particulière.
Besoins nets en irrigation	Besoins en irrigation d'une culture, à l'exclusion des pertes de tous types, exprimés en couche d'eau (en mm) par jour, mois ou toute autre période.
Bilan des ressources et demandes en eau	Ressources en eau mobilisables dans une certaine unité hydraulique, durant une période donnée, comparées aux caractéristiques qualitatives et quantitatives des besoins en eau auxquels ces ressources doivent répondre.
C.	
Capacité au champ (CC)	Quantité d'eau retenue dans le sol un à quatre jours après la saturation, quand l'eau gravitationnelle est drainée dans les couches inférieures du sol. Dans les sols légers, 18 à 36 heures sont nécessaires pour drainer l'eau gravitationnelle après la saturation et dans les sols lourds de 36 heures à 4 jours. Dans les sols légers la capacité au champ est plus faible que dans les sols lourds. La quantité d'eau nécessaire à un sol léger pour atteindre l'état d'humidité de la capacité au champ à une certaine profondeur est inférieure à celle nécessaire à un sol lourd. La même quantité d'eau appliquée par irrigation ou pluie humidifiera un sol léger plus profondément qu'un sol lourd.

21.2 Chapitre 21 – Terminologie d'irrigation

Capacité de débit	Débit hydraulique (en m ³ /h ou l/s) donné ou fixé pour couvrir les besoins en eau d'irrigation de la surface à irriguer en période de pointe. Elle est inversement proportionnelle à la durée d'application. Le débit normatif sera habituellement le débit le plus petit possible en vue d'optimiser les dimensions des conduites d'un réseau et de ses équipements.
Capacité de rétention de l'humidité	Quantité d'eau (humidité) requise pour remplir tous les espaces vides entre les particules de sol, c'est-à-dire la limite supérieure du contenu possible en eau. Elle est habituellement exprimée en pourcentage du volume de sol (1% = 1mm/dm de profondeur de sol), ou parfois en pourcentage du poids sec du sol.
Capacité d'un puits ou forage	Débit maximum d'extraction d'un puits ou forage, en l/s ou m ³ /s ou m ³ /h.
Capacité potentielle d'un puits	Débit d'eau maximum qui pourra être artificiellement extrait d'un aquifère dans un futur prévisible, sans tenir compte du recouvrement des coûts. La capacité potentielle (ou limite physique de rendement) est par conséquent égale à la recharge actuelle, ou à celle anticipée dans un futur prévisible, moins la recharge naturelle non recouvrable.
Caractéristiques de l'humidité du sol	La saturation, la capacité au champ et le point de flétrissement d'un sol peuvent être déterminés selon plusieurs méthodes directes ou indirectes exigeant un travail de terrain ou de laboratoire et des calculs simples. La méthode gravimétrique est la méthode la plus ancienne, courante et fiable pour déterminer la capacité au champ. Des échantillons de sol prélevés à plusieurs profondeurs sont placés dans un four à 105°C pour une durée de 8 h (sols légers) à 16 h (sols lourds). Trois échantillons de sols sont pesés avant et après le séchage et la différence en poids sec donne le pourcentage de capacité au champ par rapport au poids. Les autres méthodes pour déterminer la capacité au champ sont a) l'utilisation de certaines pressions sur les échantillons de sol, soit 0,10-0,30 atm dans l'appareil à plaque de pression, b) l'appareil de centrifugation de l'équivalent d'humidité et c) le test accéléré de teneur en eau. Les valeurs données par la méthode de l'appareil à plaque de pression sont plus élevées que celles fournies par la méthode gravimétrique pour les sols lourds. Le point de flétrissement permanent peut être déterminé par la méthode de la presse à membrane avec laquelle on applique une pression d'air de 15 atm aux échantillons de sol saturés; ensuite, la teneur en humidité est obtenue par la méthode gravimétrique.
Conductivité hydraulique	1. Débit d'un fluide à travers la section unitaire d'une masse poreuse sous un gradient hydraulique unitaire, à une température spécifiée (quelquefois nommée: unité de perméabilité, constante de transmission ou coefficient de transmission). 2. Flux d'écoulement par gradient unitaire de potentiel hydraulique.
Contrôle de la salinité	Diminution ou prévention de la contamination par l'eau salée de l'alimentation en eau agricole, municipale et industrielle, ou réduction des sels alcalins et prévention de la détérioration des sols cultivables.
Contrôle de l'érosion	Application des mesures requises pour contrôler l'érosion accélérée des terrains grâce à de la végétation ou des ouvrages artificiels, tels que des terrasses, barrages ou digues.
Courbe débit - temps	Courbe des débits d'un cours d'eau en fonction du temps, utilisée par exemple pour définir le débit minimum et identifier les périodes de basses eaux pour l'estimation des prélèvements d'eau d'irrigation.
Cycle d'irrigation	Livraisons successives d'eau à toutes les unités d'un réseau de manière à réaliser une irrigation donnée sur l'ensemble de la zone concernée.

D.	
Débit	Quantité (volume) d'eau traversant une section donnée de tuyau, canal, valve, buse d'aspersion ou distributeur, etc., pendant une période de temps donnée, exprimée en m ³ /h, l/s, gal/mn, etc.
Débit nominal d'un goutteur	Débit en l/h à la pression nominale indiquée par le fabricant. Ce débit est déterminé par un test réalisé conformément à la norme ISO sur 25 échantillons pris au hasard. Dans le cas du goutteur autorégulé, la pression d'épreuve est la moyenne arithmétique des pressions minimum et maximum dans la gamme de régulation indiquée par le fabricant.
Déficit d'humidité des sols	Quantité d'eau à apporter à un sol pour garantir un bon drainage.
Densité apparente	La densité apparente, ou poids volumique ou gravité spécifique apparente d'un sol, est le poids sec d'une unité volumique de sol comprenant à la fois les particules du sol et les espaces entre ces particules. Exprimée en g/cm ³ , elle varie d'un sol à l'autre selon sa texture et sa structure et dépend aussi de sa porosité. Ainsi plus le pourcentage de pores est important, plus le poids volumique (densité apparente) du sol est réduit.
Distributeurs d'eau	Dispositifs de toutes sortes et de toutes dimensions qui, montés sur une conduite, fonctionnent sous pression pour fournir de l'eau sous diverses formes: jets d'eau dirigés en l'air (asperseurs et canons d'arrosage), pulvérisation ou brouillard (diffuseurs), gouttes continues (goutteurs) ou débits faibles ou en fontaine (barboteurs). Le rapport de pression/débit et les autres performances (ex.: schéma de distribution, mode de dissipation de l'énergie (pression), type et dimensions des raccords) sont toujours indiqués. Les asperseurs, goutteurs, gicleurs, diffuseurs, barboteurs, pulsateurs et tuyaux d'arrosage sont des distributeurs d'eau.
Drainage déficient	Se produit dans un sol qui perd lentement son eau par gravité, ou dans les zones où la nappe souterraine reste à un niveau élevé. Le plus souvent, la zone racinaire du sol ne perd son excès d'eau que durant les mois d'été. Sans amélioration de ces conditions, le rendement des cultures sera médiocre (ex.: eaux stagnantes et marginales, environnement de marais et tourbières)
Durée de l'application	Temps requis pour l'achèvement d'un cycle d'irrigation.
E.	
Efficience de l'application de l'irrigation	Pourcentage de l'eau d'irrigation appliqué à la zone à irriguer, qui est stocké dans la zone racinaire et directement disponible pour les cultures; il est exprimé en pourcentage (%) ou en fraction: Efficience de l'application de l'irrigation (%) = (eau stockée x 100)/eau appliquée.
Efficience de l'irrigation	Taux ou pourcentage de l'eau d'irrigation consommée par les cultures d'une exploitation, d'un champ ou d'un projet irrigués, par rapport à l'eau dérivée de la source d'alimentation. Elle est aussi nommée efficience d'irrigation à la ferme ou efficience de distribution, lorsque l'eau est mesurée à la vanne en tête de la ferme; efficience d'irrigation au champ lorsque mesurée à la parcelle, et efficience de transport et de distribution ou efficience globale, lorsque mesurée à la source d'alimentation.
Efficience de transport et de distribution de l'eau	Ratio ou pourcentage de la quantité d'eau délivrée à la parcelle d'irrigation par rapport à celle dérivée et mesurée à la source d'alimentation.
Efficience globale	Taux ou pourcentage de l'eau d'irrigation consommée par les cultures par rapport à l'eau dérivée et mesurée à la source d'alimentation.

Espace lacunaire du sol	Pourcentage du volume d'un sol qui n'est pas occupé par les particules du sol et qui est rempli d'air et d'eau. L'espace lacunaire est plus important dans les sols à texture fine (lourds) que dans les sols à texture grossière (légers). En théorie, on distingue les pores capillaires qui retiennent l'eau contre l'attraction gravitationnelle et les pores non capillaires qui contiennent de l'air. C'est dans ces pores que se produisent les mouvements descendants des eaux provoqués par la gravité.
Eutrophisation	Processus d'une masse d'eau devenant anaérobique, c'est-à-dire sans oxygène. Les activités humaines qui ajoutent des éléments nutritifs à une masse d'eau peuvent accélérer ce processus.
Evaporation en bac	Quantité d'eau perdue par évaporation d'une surface d'eau à l'air libre dans un bassin normalisé (habituellement bassin de classe A ou bassin submergé Colorado).
Evapotranspiration de référence de la culture (ET _o)	Taux d'évapotranspiration d'une vaste surface de référence couverte d'un herbage de 8 à 15 cm de haut en pleine croissance, qui recouvre complètement le sol et ne manque pas d'eau. Les méthodes d'estimation de cette évapotranspiration (ET _o) sont le rayonnement, la méthode Penman et l'évaporation en bac (présentée dans le bulletin d'irrigation et drainage de la FAO n°24). Dans toutes ces méthodes il est exprimé en mm/jour de valeur moyenne sur des périodes de plus de 30 ou 10 jours. Il est normalement possible de se procurer les données d'ET _o dans tous les pays. Elles peuvent aussi être calculées à partir des données climatiques.
Évapotranspiration réelle	Représente la quantité réelle d'eau prélevée par la plante, déterminée par le niveau de l'eau disponible dans le sol.
F.	
Fertigation	Les fertilisants sont appliqués avec l'eau par l'intermédiaire du système d'irrigation et directement dans la zone où la plupart des racines se développent. Ce processus de «fertigation» se fait à l'aide de l'appareil de fertilisation (injecteurs) placé dans l'unité de contrôle, à la tête du système. Les fertilisants, liquides ou secs, sont d'abord dissous et dilués dans un contenant séparé puis versés dans le réservoir de l'injecteur, pour permettre leur introduction dans le système pendant son fonctionnement.
Fonctionnement et entretien (F&E)	Le fonctionnement est la procédure mise en place pour faire fonctionner tel que prévu un équipement, une usine de traitement ou d'autres systèmes ou aménagements, à l'exclusion de la réalisation ou de l'aménagement initiaux de l'unité. L'entretien est la procédure mise en place pour maintenir l'équipement, l'usine ou le système en bon état de fonctionnement pour qu'ils puissent remplir, de manière fiable et continue, les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus.
Front d'infiltration	Profondeur du sol au-dessus de laquelle la teneur en eau du sol atteint la capacité au champ maximale et qui dépend de la quantité d'eau appliquée et de la texture du sol.
G.	
Gaines de micro-irrigation	Tuyaux goutte-à-goutte d'une seule pièce à paroi mince (0,12-1,1 mm) dont les points de distribution peuvent être espacés de 10, 20, 30, 35, 45 cm ou à tout autre intervalle voulu, qui distribuent de très faibles quantités d'eau (0,4-1 l/h) à de faibles pressions de fonctionnement (0,6-1 bar). Fabriqués en polyéthylène noir, ils existent en plusieurs diamètres de 12 à 20 mm et en plusieurs épaisseurs de parois.
Goutteurs	Petits distributeurs en plastique durable, montés sur les conduites d'irrigation en polyéthylène de petite taille (12-25 mm) à l'intervalle désiré, ou intégrés dans ces conduites. L'eau y pénètre à une certaine pression de fonctionnement et est expulsée à une pression nulle sous la forme de gouttes à faible débit permanent (1-24 l/h).

H.	
Humidité disponible (du sol)	Teneur en eau disponible du sol, exprimée en pourcentage, correspondant à la différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement. C'est la principale source d'eau alimentant les plantes, qu'on appelle habituellement l'eau capillaire. % d'humidité disponible = % de capacité au champ - % point de flétrissement Le pourcentage d'humidité disponible du sol en poids sec, à tous les états, est converti en poids volumique par multiplication avec la densité apparente du sol. Les valeurs de la teneur en eau du sol sont toujours exprimées en poids volumique: % d'humidité disponible en poids sec x densité apparente du sol (g/cm³) = % d'humidité disponible en poids volumique Le pourcentage d'humidité disponible du sol en poids volumique peut s'exprimer en quantité (hauteur) d'eau, en mm par mètre de profondeur du sol: 10,92 % d'humidité disponible du sol en poids volumique = 109,2 mm d'eau par mètre de profondeur du sol.
I.	
Intensité des précipitations	Intensité des pluies exprimée en unités de hauteur par unité de temps. C'est le ratio de la hauteur totale de pluie par rapport à la durée de la chute de pluie.
Investissement initial	Dépenses totales engagées pour une construction depuis son démarrage, ses équipements et son installation, excluant les coûts de fonctionnement, d'entretien et de réparation, mais incluant les coûts d'investigation et tous les frais d'extension ou d'amélioration.
Irrigation de surface	Méthode d'irrigation dans laquelle l'eau est appliquée au terrain par simple écoulement gravitaire avant l'infiltration. Elle inclut divers systèmes selon la relative importance de la phase d'inondation de la surface et de celle d'infiltration après accumulation.
Irrigation goutte-à-goutte	Dans sa forme la plus simple, il s'agit d'une méthode d'irrigation utilisant un système de tuyaux en plastique perforés, posés sur le sol à la base des rangées de plantes (= irrigation par tuyaux perforés). Dans sa forme plus avancée, il s'agit d'un système de micro-irrigation à débit très faible (généralement moins de 8 l/h) et pression nulle, c'est-à-dire goutte après goutte. L'eau qui goutte s'infiltre directement dans le sol où elle humidifie un volume de sol appelé bulbe.
Irrigation gravitaire	Méthode d'exploitation d'un système d'irrigation total ou partiel utilisant uniquement la gravité, l'eau étant disponible à un niveau suffisant (ou une pression suffisante) pour assurer son adduction, sa distribution et sa répartition sur les champs.
Irrigation localisée (ou micro-irrigation)	Méthodes d'irrigation permettant d'apporter l'eau aux plantes sans la répandre sur toute la zone, en ne l'appliquant qu'à la surface du sol autour des plantes
Irrigation par aspersion	Irrigation qui projette l'eau en l'air pour tomber à la surface du sol sous forme de fines gouttelettes.
Irrigation par aspersion par tuyaux perforés	Méthode d'aspersion dans laquelle la ligne de buses est composée de tuyaux légers et portables, dont la paroi est perforée de plusieurs rangées de petits trous disposés de telle manière que l'eau soit appliquée des deux côtés de la ligne d'alimentation.
Irrigation par bassin	Méthode d'irrigation par gravité dans laquelle les cultures sont circonscrites par une diguette formant une retenue de submersion, nommée bassin, de forme quelconque, ronde ou carrée. L'eau d'irrigation est généralement fournie directement par un fossé ou canal d'alimentation, ou encore d'autres bassins.

Irrigation par épandage d'eaux de crue	Méthode d'irrigation aléatoire utilisant les eaux de crue d'un système hydraulique normalement à sec (fleuve, rivière, oued). Elle comprend la construction, en travers du lit du cours d'eau, de digues de dérivation en terre et de canaux conduisant l'eau vers des champs cloisonnés, où l'eau sera accumulée jusqu'à infiltration totale.
Irrigation par planches	Sous-système de l'irrigation par submersion contrôlée, dans laquelle le terrain est divisé en planches parallèles séparées par des diguettes en terre. L'eau est délivrée par un fossé aménagé à la partie supérieure des planches, et passe successivement d'une planche à l'autre. La partie amont de chaque planche est nivelée horizontalement, ce qui permet à la lame d'eau de s'écouler uniformément sur toute la surface en aval
Irrigation par pompage	Méthode de fonctionnement d'un système entier ou partiel utilisant en tout ou en partie une pression artificielle qui assure le transit de l'eau, sa livraison ou sa distribution au champ.
Irrigation par sillon	Méthode d'irrigation similaire à l'irrigation à la raie utilisée dans les sols perméables. Elle consiste à alimenter d'étroits sillons très proches les uns des autres avec de faibles débits de façon à humecter plus facilement la masse de sol située entre deux rangées de cultures (souvent des vergers). Les sillons parallèles aux rangées peuvent être réalisés mécaniquement au moyen d'une sillonneuse.
Irrigation par déversement	Tous les types d'irrigation qui font appel à l'élévation du niveau des cours d'eau par les crues pour inonder des zones cultivées sans ouvrages importants, c'est-à-dire les pratiques de décrue et l'épandage de crue, dirigée ou sauvage.
Irrigation pérenne	Une irrigation est pérenne quand les terrains de la zone concernée peuvent être irrigués toute l'année en bénéficiant des volumes d'eau dont ils ont besoin.
Irrigation saisonnière	Une irrigation est saisonnière quand les terrains de la zone concernée sont irrigués seulement durant une partie de l'année, nommée saison d'arrosage.
Irrigation supplémentaire	Irrigation utilisée occasionnellement seulement pour pallier les courtes et irrégulières périodes de sécheresse.
M.	
Méthode d'aspersion sous les branches	Méthode d'aspersion utilisée dans les vergers avec de petits asperseurs ayant un jet tendu de façon à ne pas arroser les feuilles et éviter l'effet du vent sur la distribution de l'eau. De tels asperseurs peuvent être permanents, semi-permanents ou portables.
Méthode de distribution de l'eau	Mode de fonctionnement d'un système d'irrigation visant à transporter l'eau de la source d'alimentation à chaque champ desservi par le système.
Micro-distributeurs	Petits distributeurs d'eau (goutteurs, diffuseurs, barboteurs, mini-asperseurs) en plastique durable dont le débit d'eau varie approximativement de 1 à 170 l/h à une pression de fonctionnement de 0,6 à 2 bars. Les diamètres permettant le passage de l'eau sont très réduits et les spécifications de filtration vont de 100 microns (goutteurs) à 200 microns (mini-asperseurs).
Micro-irrigation avec mini-diffuseurs	Système de micro-irrigation dans lequel l'eau est émise en petits jets, soit par de petits diffuseurs fixes produisant de petites gouttes fines distribuées sur une certaine surface, soit par des jets individuels à basse pression localisant l'eau sur le sol en taches séparées. Leur débit, généralement limité (20-60 l/h à 1 bar) est souvent émis sous la forme de secteurs circulaires, soit pour éviter d'humidifier le col des arbres, soit pour limiter l'arrosage de la bande latérale de l'espace entre les rangs, qui doit rester sec. Leur utilisation est limitée aux vergers.
Micro-irrigation mobile	Machine d'irrigation (généralement à ligne frontale de buses) dans laquelle la ligne mobile de buses fonctionnant à basse pression applique l'eau directement dans les espaces entre les rangs de cultures annuelles. Des petits tuyaux suspendus, munis à leur extrémité d'embouts, alimentent de petits bassins aménagés auparavant ou de simples raies cloisonnées.

Module flexible ou semi-module	Dispositif qui délivre automatiquement un débit, indépendamment des fluctuations du niveau de l'eau (ou des pressions) à l'aval, et ne varie qu'avec le niveau de l'eau (ou la pression) à l'amont. Utilisé pour la régulation par l'aval.
O.	
Ouvrages d'adduction	Ouvrages construits pour assurer le contrôle général d'un système et l'adduction des eaux, des ouvrages de prise jusqu'aux zones à irriguer.
P.	
Perméabilité du sol	Propriétés permettant au sol de conduire ou de laisser s'écouler l'eau. Définie quantitativement comme la conductivité hydraulique (K), elle dépend étroitement de la texture du sol et de la qualité de l'eau d'irrigation.
Pertes d'eau dans les canaux	Pertes d'eau dans les ouvrages de transit depuis la source d'alimentation jusqu'au point d'utilisation, dans les voies naturelles ou artificielles telles que les canaux, adducteurs, distributeurs, fossés ou rigoles. Elles incluent l'évaporation à partir de la surface libre de l'eau, les infiltrations et la transpiration occasionnelle de la végétation poussant dans l'eau ou le long des chenaux naturels, canaux et rigoles (Synonyme.: pertes de transport).
Pertes de charge dues au frottement	Pertes de pression (charge) dans le système d'irrigation qui se produisent au cours de l'écoulement des eaux dans le réseau fermé de conduites du système par l'effet de la friction entre l'eau et les parois des conduites. Les pertes sont proportionnelles à l'écoulement (débit) et fonction de la surface représentée par les conduites et des diverses obstructions à l'écoulement que constituent les contractions, prises d'eau, vannes, etc. Ces pertes se mesurent en m/ft (ou atm/bar).
Point de flétrissement	État d'humidité du sol quand la teneur en eau est très faible et difficilement utilisable par les plantes. L'humidité est encore plus faible dans le sol lorsque le point de flétrissement permanent est atteint (niveau hygroscopique) et les plantes se flétrissent de manière permanente. Le pourcentage de teneur en eau au point de flétrissement représente près de la moitié de la teneur en eau de la capacité au champ.
Point de flétrissement permanent	Contenu d'humidité du sol exprimé en pourcentage du volume de sol ou de son poids sec, au moment où les feuilles d'une plante croissant dans ce sol subissent d'abord une réduction permanente de leur teneur en humidité, résultant de la déficience en alimentation en eau du sol.
Potentiel d'irrigation	Superficie totale qu'il est possible d'irriguer, plus celle qui peut être planifiée pour l'irrigation dans un bassin fluvial, une région ou un pays, à partir des ressources en eau disponibles, sur la base de projets conçus à partir de pratiques techniques satisfaisantes au moment de l'évaluation du potentiel.
Pourcentage de sodium échangeable	Degré de saturation du complexe absorbant du sol avec du sodium. Il peut être calculé par la formule: $\% \text{ sodium échangeable} = \frac{\text{sodium échangeable (meq/100g de sol)}}{\text{capacité d'échange du cation (meq/100g de sol)}} \times 100.$
Pression du système	Pression ou charge maximale d'eau ou quantité d'eau nécessaire pour le fonctionnement normal du système. Cela comprend: a) les pertes totales de charge dues au frottement dans les conduites, pièces de raccord et autres accessoires présents du commencement jusqu'à l'extrémité distale du réseau fermé de conduites, b) la pression nécessaire pour les distributeurs d'eau, c) la pression nécessaire pour l'unité de contrôle à la tête du système et d) plus ou moins la différence d'élévation entre le commencement et l'extrémité distale du réseau fermé de conduites.
Profil du sol	Disposition des différentes couches (horizons) d'un sol, de haut en bas, de la surface à la roche-mère. La couche supérieure, appelée horizon A, est normalement consacrée à la culture. La couche située en dessous, appelée horizon B, contient habituellement davantage d'argile. Encore plus en dessous se trouve l'horizon C. Les horizons A et B constituent ce qu'on appelle le sol.

Profondeur effective d'enracinement	Les sols formés dans des conditions différentes ont des profils différents. Le profil des sols jeunes formés par les matières alluviales n'est que peu ou pas développé et il existe parfois une grande variation de texture sur la profondeur de la zone racinaire de ces sols. Une profondeur moyenne de 70 cm ou même moins convient à presque tous les types de cultures. Avec les méthodes modernes d'irrigation et d'apport d'éléments nutritifs (fertigation), des profondeurs de 45 cm suffisent pour cultiver la plupart des légumes et les arbres à enracinement superficiel. Profondeur de sol d'où les plantes extraient près de 80% de l'eau dont elles ont besoin (essentiellement de la couche supérieure où le système racinaire est le plus dense).
R.	
Régulation avec contrôle à l'amont	Méthode de régulation selon laquelle l'écoulement dans un canal (ou une conduite) est contrôlé au niveau d'une vanne par le niveau de l'eau (ou de la pression) mesuré par un capteur ou un flotteur connecté à la vanne et placé immédiatement à l'amont de la vanne. Il s'agit d'une méthode de contrôle basée sur l'alimentation.
Régulation avec contrôle à l'aval	Méthode de régulation selon laquelle l'écoulement dans un canal (ou une conduite) est contrôlé au niveau d'une vanne par le niveau de l'eau (ou de la pression) mesuré par un capteur ou un flotteur connecté à la vanne et placé immédiatement à l'aval de la vanne. Il s'agit d'une méthode de contrôle basée sur la distribution.
Réserve d'eau facilement utilisable	État d'humidité du sol représentant 40 à 70% de l'humidité totale du sol que les plantes peuvent facilement absorber. C'est le produit de l'humidité totale par P (fraction), le déficit ou la déplétion d'humidité maximal admissible du pourcentage d'humidité total, soit: Réserve d'eau facilement utilisable = humidité totale x P
S.	
Saturation du sol	État du sol saturé quand tout l'espace lacunaire du sol est rempli d'eau, après une pluie ou une irrigation abondante. La quantité d'eau qu'un sol peut retenir à sa capacité de saturation dépend du volume de son espace lacunaire. La capacité de saturation est donc plus importante dans les sols lourds que dans les sols légers.
Surface nette irrigable	Surface globale limite d'un projet, système d'adduction ou canal, appropriée pour l'irrigation, excluant les surfaces ne convenant pas pour l'irrigation (nature du sol, sols trop élevés pour être irrigués par gravité ou économiquement par pompage ou autres moyens de relevage).
Surirrigation (irrigation excédentaire)	Irrigation excessive en comparaison des besoins réels, due à des doses excessives d'arrosage, un intervalle insuffisant entre les irrigations, ou une surestimation des besoins (évapotranspiration moindre ou excès de précipitations par rapport à la norme). Cela provoque soit un lessivage du sol, s'il est suffisamment drainé, soit un engorgement du sol, qui nuit à la croissance des cultures.
Système d'aspersion latéral à aile roulante	Méthode d'aspersion dans laquelle la ligne de buses, qui porte des asperseurs à moyenne pression, est utilisée comme un axe muni de roues à intervalles réguliers (aile roulante). L'eau est distribuée sans bouger le système, puis, entre deux irrigations, l'aile est déplacée à sa nouvelle position en la faisant manuellement rouler toute entière.
Système de drainage de surface	Fossés peu profonds ou drains ouverts qui collectent les écoulements de surface ou les eaux de drainage.
Système de drainage souterrain	Tout système de drainage (puits drainant ou tuyaux de drainage) conçu pour contrôler la nappe d'eau souterraine.

Système d'irrigation entièrement automatique	Système ou réseau d'irrigation d'une exploitation, dans lequel les besoins en eau des plantes sont couverts automatiquement. Il fait usage de dispositifs qui mesurent le taux d'humidité du sol (par exemple un tensiomètre) ou d'autres indicateurs des besoins en irrigation (par exemple, la durée écoulée depuis la dernière pluie), et déclenchent une série d'opérations permettant au réseau d'apporter l'eau nécessaire en temps voulu.
Système d'irrigation individuelle	Systèmes situés à l'aval des prises desservies par le système d'irrigation collective et destinés à livrer l'eau aux exploitations ou aux champs d'une aire individuelle.
Système d'irrigation par aspersion	Réseau de conduites sous pression portant des asperseurs ou des buses, conçu pour projeter des jets ou pulvériser de l'eau sous forme de gouttes à la surface des terres.
Système principal de drainage	Système qui conduit les eaux de drainage du champ drainé à un débouché vers l'extérieur ou un exutoire.
Système semi-automatique de distribution de l'eau à la parcelle (Système partiellement automatique)	Système d'irrigation dans lequel la distribution de l'eau et son application à la parcelle sont partiellement automatiques et partiellement manuelles. Un système semi-automatique peut exécuter automatiquement une séquence d'opérations pour une irrigation unique, mais demande à être démarré (ou réactivé) manuellement avant l'irrigation suivante. Il peut impliquer l'utilisation de vannes volumétriques ou temporisées, mises en action manuellement, mais se fermant automatiquement.
T.	
Tableau de qualité des eaux d'irrigation	Ce tableau donne des directives sur l'interprétation de la qualité des eaux pour la production des cultures. Adapté en 1974 par le comité de consultants de l'université de Californie (États-Unis), puis révisé en 1979, il souligne l'influence à long terme de la qualité de l'eau sur la production des cultures et la gestion des exploitations.
Taux d'adsorption du sodium (SAR)	Ratio utilisé pour les extraits de sol et les eaux d'irrigation, pour exprimer l'activité relative des ions de sodium en réaction d'échange avec le sol. Si les concentrations ioniques sont exprimées en meq/l: $SAR = Na^+ \times [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{0.5}$
Taux de percolation	Exprimé en millimètres par heure ou jour, taux maximal d'écoulement de l'eau dans le sous-sol à partir de la surface du sol dans des conditions spécifiques.
Taux d'infiltration	Le taux d'infiltration ou de pénétration des sols est la quantité maximale d'eau par unité de surface qui peut pénétrer la surface du sol par unité de temps pendant l'irrigation. Exprimé en mm/h, il est fonction de l'état de la surface du sol et de ses caractéristiques physiques.
Technologie conventionnelle	Technologie basée sur une longue expérience qui n'utilise pas les derniers développements techniques (à comparer avec la technologie alternative).
Tensiomètre	Instrument de mesure de la succion que les racines des plantes doivent exercer pour extraire l'humidité du sol.
Tension d'humidité des sols	Pression équivalente négative, ou aspiration de l'humidité par le sol, exprimée en unités de pression (bar ou pascal).
Tension globale de l'eau dans le sol	Somme de la tension de l'eau dans le sol et de la pression osmotique, à laquelle l'eau doit être soumise pour être en équilibre avec l'eau du sol.

Texture du sol	Le sol, en tant que corps matériel, est défini par la taille et l'agencement de ses particules, qui déterminent sa porosité. Les particules se divisent essentiellement en trois fractions de taille: a) le sable, b) le limon et c) l'argile. Selon le système de classification de l'USDA (United States Department of Agriculture), les sols sont classés selon leur composition granulométrique, c'est-à-dire le pourcentage de leur teneur en sable, limon et argile. Les sols contenant beaucoup de sable sont considérés comme des sols légers ou sableux et ceux qui contiennent un pourcentage élevé d'argile sont appelés sols lourds. Les propriétés du sol telles que la capacité de rétention de l'humidité et le taux d'infiltration dépendent essentiellement de sa texture.
Transfert de technologies	Ce transfert consiste à fournir aux utilisateurs d'un projet les connaissances techniques et l'essentiel des instructions nécessaires pour maîtriser les fonctions de fonctionnement et d'entretien, ou de former le personnel à cet effet. Ce transfert peut rester trop théorique ou abstrait s'il n'est pas accompagné par: i) un transfert de savoir-faire entre les fonctionnaires de la société de développement et les utilisateurs; ii) une série de démonstrations et iii) un suivi convenable des opérations concrètes (technique et gestion).
V.	
Valeur économique par unité d'irrigation	Valeur d'une culture pratiquée par unité d'eau d'irrigation, si la culture est irriguée de manière permanente pendant toute sa croissance.
Vitesse admise	Vitesse maximale à laquelle l'eau peut être transportée de manière sûre dans un canal ou une conduite. Vitesse maximale qui peut être atteinte dans une section importante de canal sans provoquer d'érosion.
Z.	
Zone à irriguer	Zone spécifique définie pour être irriguée par le système d'irrigation.

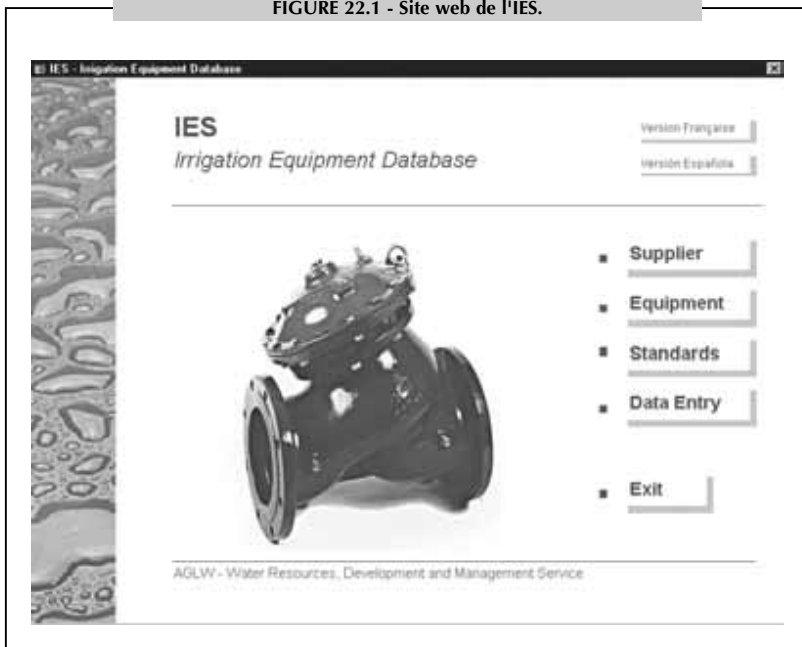
CHAPITRE 22: Base de données pour la fourniture d'équipements d'irrigation – IES

La base de données IES est une initiative conjointe du Service de la mise en valeur et gestion des ressources en eau et du Programme international pour la recherche et la technologie en irrigation et drainage (IPTRID). Elle a été élaborée dans le cadre de la mission de la FAO pour offrir des informations sur l'irrigation, à partir de la première version de ce manuel. Les bénéficiaires potentiels de l'IES sont ceux qui ont besoin d'informations sur l'équipement d'irrigation disponible au niveau régional ou national.

La base de données IES vise à établir une liste de services d'équipements d'irrigation et de fabricants et fournisseurs de matériels d'irrigation à l'échelle mondiale. Il suffit de sélectionner un pays sur une carte pour voir s'afficher les fournisseurs et fabricants nationaux. En outre, le site web offre un service de recherche dans la base de données qui permet de déterminer quels fournisseurs et fabricants proposent des équipements particuliers d'irrigation à partir d'une gamme limitée de critères de recherche. En plus de fournir des informations détaillées pour entrer en contact avec les fournisseurs et fabricants, le site donne accès à une liste des équipements d'irrigation proposés par chacun d'entre eux. L'option équipement donne une description détaillée des pièces d'équipement, y compris une photo et, le cas échéant, une liste des normes internationales correspondantes. Le repérage est facilité par une option de recherche à partir d'un nom et/ou d'un mot-clé. La liste complète des normes portant sur les équipements d'irrigation, classifiées par institution, peut être consultée aux pages relatives aux normes.

Cette application est essentiellement pilotée par les fournisseurs et fabricants en ce que l'information que contient la base de données est exclusivement proposée et mise à jour par les fournisseurs et fabricants d'équipements d'irrigation. Une fois qu'ils ont demandé leur inscription, ceux-ci reçoivent un courriel de confirmation accompagné d'un code confidentiel d'identification de fournisseur ou fabricant permettant à tout moment la mise à jour indépendante des informations portant sur les fournisseurs et fabricants et leurs équipements. La FAO ne peut donc aucunement garantir que les informations fournies sont exactes et récentes et ne reconnaît aucune responsabilité découlant de ces informations. L'information proposée n'est accessible sur la base de données qu'après vérification par le personnel de l'IES. La FAO se réserve le droit de rejeter toute contribution non pertinente.

FIGURE 22.1 - Site web de l'IES.



La base de données IES est située sur le web (figure 22.1) à l'adresse suivante:

<http://www.fao.org/nr/water/ies/>

Le fait qu'il soit fait mention sur le site d'entreprises spécifiques, de leurs produits ou de certaines marques ne signifie en aucune manière que l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture les avalise ni que les opinions exprimées reflètent nécessairement celles de la FAO.

Pour toute question technique concernant ce site web, qu'il s'agisse du fonctionnement de la base de données ou du contenu de l'IES, nous vous proposons d'envoyer un message à ses gestionnaires (ies@fao.org).

ANNEXE:

Tableau de Conversion des Unités

TABLEAU DE CONVERSION DES UNITÉS

TABLEAU DE CONVERSION DES UNITÉS			
Unités	Unités S.I. ¹	Conversion	
A	B	A en B	B en A
Longueur		Multiplier par	
pouce (in) ²	mm	25,4	0,0394
in	m	0,0254	39,3700
pied (ft) ³	pouce	12	0,0833
ft	cm	30,48	0,0328
ft	m	0,3048	3,2808
yard (yd)	m	0,9144	1,0940
chain	m	20,1168	0,0497
mille ⁴	m	1,609	-
mille	km	1,6090	0,62137
mille nautique	km	1,852	0,5399
Surface		Multiplier par	
in ²	cm ²	6,451	0,155
in ²	m ²	0,000645	1 550,150
ft ²	m ²	0,0929	10,764
mille ²	km ²	2,5899	0,386
acre	m ²	4 046,87	-
acre	ha	0,405	2,471
hectare (ha)	m ²	10 000	0,0001
km ²	ha	100	0,01
Poids		Multiplier par	
once (oz)	g	28,35	0,0353
livre (lb) ⁵	kg	0,4536	2,205
oke	kg	1,27	0,78737
hundredweight (cwt)	kg	50,8	0,0197
tonne longue(R.-U.)	kg	1 016,0	-
tonne courte(E.-U.)	kg	907,0	-
tonne métrique	kg	1 000	-
Capacité ou Volume		Multiplier par	
in ³	cm ³ (cc)	16,387	0,061
ft ³	L (liters)	28,3	0,0353
ft ³	m ³	0,0283	35,315
m ³	l	1 000	0,001
gallon imp.(R.-U.)	l	4,546	0,2199
gallon imp.(R.-U.)	m ³	0,0045	220
gallon (E.-U.)	l	3,785	0,264
gallon (E.-U.)	m ³	0,00378	264
1 acre foot = 1234 m ³			

¹ S.I.: Système international (métrique)² pouce = inch (in)³ pied(s) = foot – feet (ft)⁴ mille = mile (mi)⁵ livre = pound (lb)

23.2 Annex – Tableau de Conversion des Unités

TABLEAU DE CONVERSION DES UNITÉS			
Unités	Unités S.I.	Conversion	
A	B	A en B	B en A
Débit		Multiplier par	
gal. imp./mn (igpm)	l/s	0,0758	13,199
gal. imp./mn (igpm)	l/h	272,88	0,00366
gal. mp./mn (igpm)	m³/h	0,273	3,666
gal. E.-U./mn	l/s	0,0631	15,85
gal. E.-U./mn	l/h	227,12	0,0044
gal. E.-U./mn	m³/h	0,227	4,4
ft³/s (cfs)	l/s	28,32	0,0353
ft³/s (cfs)	m³/h	101,94	0,0098
Pression		Multiplier par	
lb/in² (psi)	mètre d'eau	0,703	1,465
lb/in² (psi)	bar	0,06895	14,5
lb/in² (psi)	kPa ⁶	6,89	0,145
kg/cm²	mètre d'eau	10	0,1
kg/cm²	bar	0,981	1,0193
kg/cm²	atm	0,9678	1,0332
atm	kPa	101,3	0,00987
atm	kN/m²	101,3	0,00987
atm	kN/mm²	0,1	10
atm	bar	1,013	0,9869
atm	mètre d'eau	10,33	0,0968
atm	mm de mercure	760	0,001316
bar	kPa	100,0	0,01
bar	mètre d'eau	10,19	0,098
Vitesse		Multiplier par	
milles par heure (mph)	km/h	1,609	0,6215
mph	m/sec	0,4469	2,2374
Température		Multiplier par	
°F (Fahrenheit)	°C (Celsius)	$F = 9/5 C + 32$	$C = 5/9 (F - 32)$
Chaleur		Multiplier par	
Btu	kcal	0,252	3,968
Btu	kJ	1,055	0,9478
kcal	kJ	4,18674	0,2388
Puissance		Multiplier par	
horsepower (hp)	kW	0,7457	1,341
Conductivité électrique		Multiplier par	
mmhos/cm	dS/m	0,99999	0,99999

⁶ kPa = kiloPascal

L'accroissement de l'efficience de l'irrigation et de la productivité de l'eau à tous les niveaux de la chaîne de production est une priorité dans un nombre croissant de pays confrontés aux problèmes de la rareté de l'eau. Les techniques d'irrigation sous pression associées à une modernisation de l'agriculture peuvent contribuer à une augmentation substantielle de l'efficience et de la productivité de l'eau en irrigation. Ce manuel se veut un guide pratique à l'utilisation des techniques d'irrigation sous pression à l'usage des agriculteurs, des techniciens d'irrigation et des agents de vulgarisation.

ISBN 978-92-5-205817-5



TC/M/A1336F/1/01.08/500