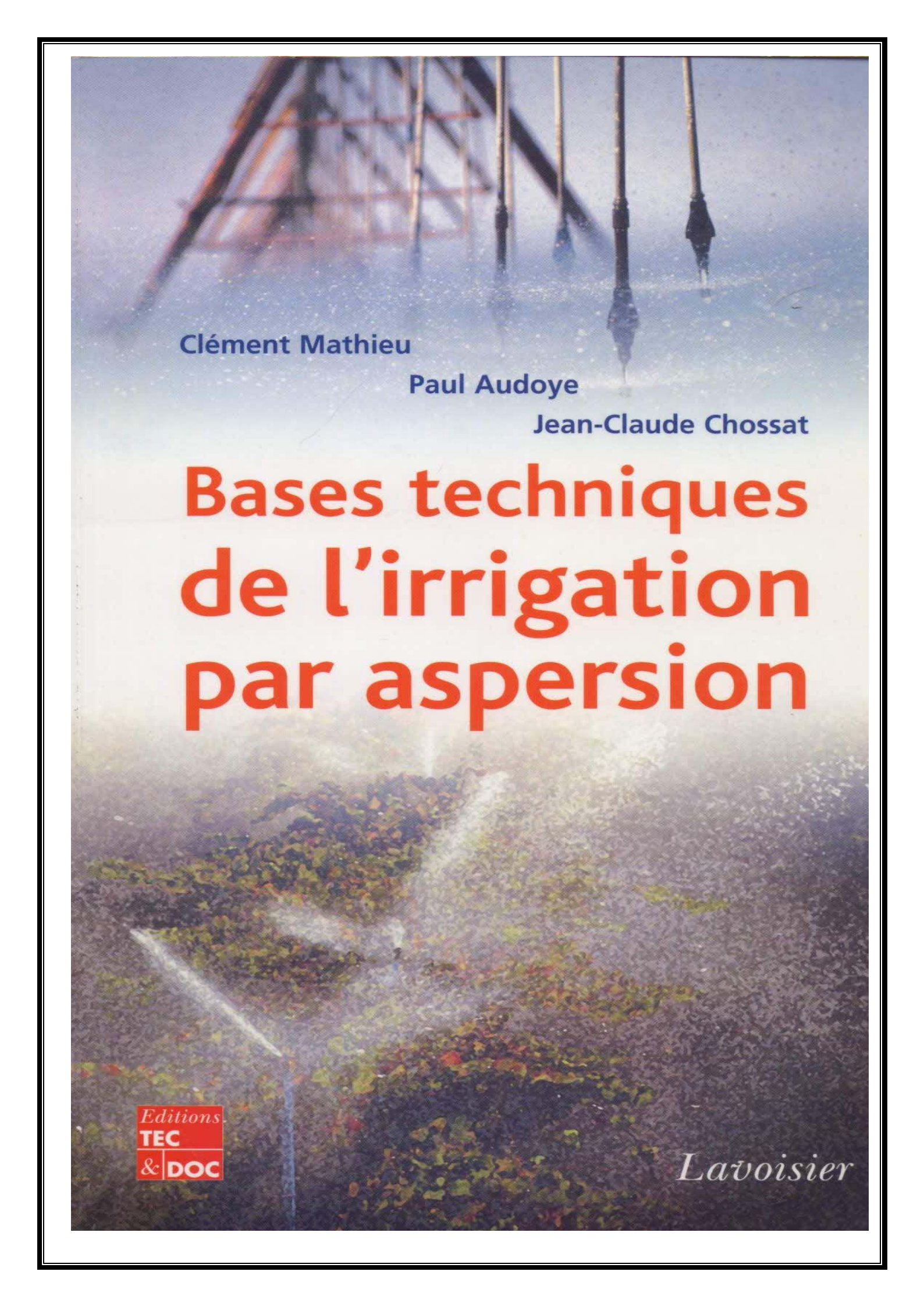




Clément Mathieu

Paul Audoye

Jean-Claude Chossat

Bases techniques de l'irrigation par aspersion

Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Table des matières

Première partie

Les paramètres fondamentaux

Chapitre 1. Le sol

1.1. Caractéristiques physiques	5
1.1.1. Texture	5
1.1.2. Charge caillouteuse	8
1.1.3. Structure et porosité	8
1.1.4. Profondeur utile	12
1.1.5. Perméabilité	17
1.1.6. Topographie et érodibilité	19
1.2. Caractéristiques chimiques	20
1.2.1. Salinité et alcalinité	20
1.2.2. Matière organique	21
1.3. Capacité pour l'eau	27
1.3.1. Teneur en eau	27
1.3.2. États de l'eau	28
1.3.3. Contrôle de l'eau dans le sol	40
1.3.3.1. Profil hydrique	41
1.3.3.2. Tensiomètre	42
A – Description	42
B – Fonctionnement	43
1.3.3.3. Sonde Watermark®	44
A – Description	44
B – Fonctionnement	45

Chapitre 2. L'eau

2.1. Origine	47
2.1.1. Eaux de surface	47
2.1.1.1. Grands barrages réservoirs	47
2.1.1.2. Retenues collinaires	48
2.1.1.3. Ouvrages de dérivation	49
2.1.1.4. Pompages sur cours d'eau et en bordure de rivière	49

2.1.2. Eaux souterraines	48
2.2. Qualités physiques	50
2.2.1. Température	50
2.2.2. Charge solide	50
2.3. Qualités chimiques	50
2.3.1. Colmatage chimique	50
2.3.2. Salinité	50
2.3.3. Alcalinité	50
2.3.4. Toxicité	50
2.3.5. Normes d'interprétation d'une analyse d'eau	50

Chapitre 3. *Le climat*

3.1. Évapotranspiration	61
3.2. Précipitations	66
3.3. Effets du vent	70
3.3.1. Effets sur l'évapotranspiration	70
3.3.2. Effets sur l'homogénéité de répartition de l'eau sur la parcelle	70

Chapitre 4. *La plante*

4.1. Des notions sur la nutrition de la plante	75
4.1.1. Sur la nutrition minérale	75
4.1.2. Sur l'importance de l'eau pour les plantes	75
4.1.3. Sur l'absorption de l'eau	76
4.2. Consommation en eau des plantes	78
4.3. Aptitudes et réactions physiologiques en fonction de l'alimentation hydrique	83
4.3.1. Réponse des rendements à l'eau	83
4.3.2. Sensibilité des plantes au déficit hydrique	84
4.3.3. Variations de la répartition de l'eau et conséquences	88
4.3.4. Dates de début et de fin de campagne d'irrigation	89
4.4. Tolérance des plantes au sel	89

Deuxième partie

La conduite de l'irrigation

Chapitre 5. *Le débit d'équipement*

5.1. Comment déterminer un débit d'équipement pour une exploitation ou une parcelle d'irrigation ?	95
5.1.1. Détermination des besoins en eau	95
5.1.1.1. Besoins en eau d'irrigation	96
5.1.1.2. Consommation des plantes	96
5.1.2. Évaluation de l'apport naturel par les pluies	96
5.1.3. Évaluation de la participation du sol	98
5.1.4. Estimation des pertes non chiffrables	98
5.1.5. Temps effectif de fonctionnement des différents matériels d'irrigation	99

5.2. Exemple d'utilisation du calcul du débit d'équipement	100
5.2.1. Consommation des plantes au mois de pointe	100
5.2.2. Contribution du sol	100
5.2.3. Apport naturel par les pluies	100
5.2.4. Besoins en eau d'irrigation au mois de pointe	101
5.2.5. Débit horaire d'équipement nécessaire	101
5.2.6. Vérification	101

Chapitre 6. Les outils de pilotage à la parcelle

6.1. Différentes méthodes	103
6.2. Prise en compte de la pluie	104
6.3. Bilan hydrique à la parcelle	105
6.3.1. Réserve du sol	105
6.3.1.1. Reconstitution de la RU	105
6.3.1.2. RFU et limites de l'enracinement	105
6.3.1.3. Sol choisi	106
6.3.1.4. Évapotranspiration	106
6.3.1.5. La pluie efficace	106
6.3.1.6. Pertes par drainage	106
6.3.2. Étude de cas	107
6.3.2.1. Premier exemple (tableau 28) : cas avec pluie intervenant dans le bilan	107
6.3.2.2. Second exemple (tableau 29) : cas sans pluie intervenant dans le bilan	110
6.3.3. En conclusion	110
6.4. Conduite de l'irrigation à l'aide de la tensiométrie	110
6.4.1. Deux types d'appareils pour un usage agricole	111
6.4.2. Représentativité et interprétation des mesures	112
6.4.3. Localisation des sites dans les parcelles irriguées suivant le mode d'irrigation	114
6.4.4. Pilotage à l'aide des tensiomètres	116
6.5. Conduite de l'irrigation à l'aide de la sonde Watermark®	119
6.5.1. Principes généraux	119
6.5.2. Quand et combien irriguer ?	123
6.5.3. Référentiels et gestion des données	127

Chapitre 7. Conseils à un futur irrigant

7.1. Études	133
7.1.1. Étude météorologique	134
7.1.2. Études agrologiques	134
7.1.3. Études hydrogéologiques et hydrologiques	135
7.1.4. Qualité de l'eau	136
7.1.5. Étude économique	136
7.1.5.1. Estimation des investissements	136
7.1.5.2. Charges supplémentaires en système irrigué	137
7.2. Conduite de l'irrigation	137

Troisième partie

Le matériel de surface

Chapitre 8. Rappel des modes d'irrigation et de leurs principales caractéristiques

8.1. Aspect historique	141
8.1.1. Origine	141
8.1.2. Source d'eau	142
8.1.3. Méthodes d'arrosage	142
8.2. Différences entre les systèmes	143
8.3. Irrigation gravitaire	145
8.3.1. Irrigation par déversement	145
8.3.2. Irrigation par bassins	146
8.3.3. Irrigation à la raie	146
8.3.4. Irrigation par planches	147
8.4. Irrigation par aspersion	149
8.4.1. Structures du réseau	149
8.4.2. Installations fixes ou semi-fixes	150
8.4.3. Installations mobiles	151
8.4.4. Irrigation par canons d'arrosage	152
8.4.5. Fonctionnement du réseau	153
8.5. Micro-irrigation	155
8.5.1. Conditions d'utilisation	155
8.5.2. Réseau d'irrigation	156
8.5.3. Fonctionnement de la micro-irrigation	157

Chapitre 9. La station de pompage

9.1. Puissances et rendements d'une pompe	159
9.2. Caractéristiques des pompes	161
9.2.1. Courbes caractéristiques	161
9.2.2. Point de fonctionnement d'une pompe	161
9.2.2.1. Installation élévatoire	162
9.2.2.2. Installation élévatoire et débitante	162
9.2.2.3. Point de fonctionnement	163
9.2.3. Le risque de cavitation	164
9.3. Couplages des pompes	166
9.4. Pompes centrifuges	166
9.4.1. Principe de fonctionnement des pompes à écoulement radial	167
9.4.2. Différents types de pompes	168
9.5. Différents types d'accouplement entre moteur et pompe	168
9.6. Différents modes d'entraînement des pompes	169
9.7. Utilisation des moteurs électriques triphasés asynchrones	170
9.7.1. Branchements et caractéristiques signalétiques	170
9.7.2. Mode de démarrage des moteurs électriques	172
9.7.3. Protections du moteur électrique	172
9.7.4. Adaptation de la puissance du moteur	173
9.8. Protections diverses de l'installation	173
9.8.1. Protection contre les coups de bélier	173
9.8.2. Protection contre les risques de blocage par l'air au point haut	173

9.8.3. Protection des moteurs diesel contre les surtensions	174
9.9. Adaptation de la station de pompage aux besoins variables d'un réseau d'irrigation	174
9.9.1. Adaptation par vannage sur une seule pompe	174
9.9.2. Adaptation par régulation du fonctionnement lorsqu'il y a plusieurs pompes	174
9.10. Surpresseurs	175
9.11. Entretien des points de pompage (profonds et superficiels)	175
9.12. Mise en place d'une station de pompage	176
9.12.1. Mise en place d'une station de surface	176
9.12.2. Mise en place de pompes immergées	176
9.13. Aspects agricoles des choix	178
9.14. Exercices	179

Chapitre 10. Le transport et la répartition de l'eau d'irrigation

10.1. Tuyaux utilisés pour l'irrigation	189
10.1.1. Caractéristiques des canalisations utilisées en irrigation	189
10.1.1.1. Matériaux	189
10.1.1.2. Description des matériels proposés sur le marché de l'irrigation	190
10.1.2. Pertes d'énergie dans les canalisations	192
10.1.2.1. Pertes d'énergie de l'eau courante	192
10.1.2.2. Pertes et caractéristiques géométriques des tuyaux	192
10.1.2.3. Nature des tuyaux composant le réseau	193
10.1.2.4. Vitesse de l'eau dans les tuyaux	193
10.1.2.5. Singularités du réseau	194
10.1.2.6. Calcul des pertes de charge	194
10.1.2.7. Dénivelée	195
10.2. Organes d'arrosage	195
10.2.1. Distribution statistique de la grosseur des gouttes	195
10.2.2. Orifices calibrés ou buses	196
10.2.2.1. Orifices calibrés	196
10.2.2.2. Buses 180° ou buses miroir	197
10.2.2.3. Buses 360°	198
10.2.2.4. Asperseurs et canons d'arrosage	198
A – Asperseurs	199
B – Canons d'arrosage	201
10.2.2.5. Buses rotatives	202
10.2.3. Caractéristiques débit-pression des buses des dispositifs asperseurs	203
10.2.3.1. Asperseur rotatif à batteur	203
10.2.3.2. Canon d'arrosage	203
10.3. Répartition pluviométrique des différents organes d'arrosage utilisés en irrigation	207
10.3.1. Mesure de la pluviométrie d'un asperseur ou d'un canon à poste fixe	207
10.3.1.1. Courbe pluviométrique obtenue au banc d'essai	209
10.3.1.2. Mesure de la pluviométrie sur le terrain	210
10.3.2. Recoupement des répartitions pluviométriques	214

Troisième partie

Le matériel de surface

Chapitre 8. Rappel des modes d'irrigation et de leurs principales caractéristiques

8.1. Aspect historique	148
8.1.1. Origine	148
8.1.2. Source d'eau	149
8.1.3. Méthodes d'arrosage	149
8.2. Différences entre les systèmes	150
8.3. Irrigation gravitaire	150
8.3.1. Irrigation par déversement	150
8.3.2. Irrigation par bassins	150
8.3.3. Irrigation à la raie	150
8.3.4. Irrigation par planches	151
8.4. Irrigation par aspersion	150
8.4.1. Structures du réseau	150
8.4.2. Installations fixes ou semi-fixes	150
8.4.3. Installations mobiles	150
8.4.4. Irrigation par canons d'arrosage	151
8.4.5. Fonctionnement du réseau	151
8.5. Micro-irrigation	150
8.5.1. Conditions d'utilisation	150
8.5.2. Réseau d'irrigation	151
8.5.3. Fonctionnement de la micro-irrigation	151

Chapitre 9. La station de pompage

9.1. Puissances et rendements d'une pompe	152
9.2. Caractéristiques des pompes	152
9.2.1. Courbes caractéristiques	152
9.2.2. Point de fonctionnement d'une pompe	152
9.2.2.1. Installation élévatoire	152
9.2.2.2. Installation élévatoire et débitante	152
9.2.2.3. Point de fonctionnement	153
9.2.3. Le risque de cavitation	153
9.3. Couplages des pompes	153
9.4. Pompes centrifuges	153
9.4.1. Principe de fonctionnement des pompes à écoulement radial	153
9.4.2. Différents types de pompes	153
9.5. Différents types d'accouplement entre moteur et pompe	153
9.6. Différents modes d'entraînement des pompes	153
9.7. Utilisation des moteurs électriques triphasés asynchrones	153
9.7.1. Branchements et caractéristiques signalétiques	153
9.7.2. Mode de démarrage des moteurs électriques	153
9.7.3. Protections du moteur électrique	153
9.7.4. Adaptation de la puissance du moteur	153
9.8. Protections diverses de l'installation	153
9.8.1. Protection contre les coups de bélier	153
9.8.2. Protection contre les risques de blocage par l'air au point haut	153

9.8.3. Protection des moteurs diesel contre les surtensions	174
9.9. Adaptation de la station de pompage aux besoins variables d'un réseau d'irrigation	174
9.9.1. Adaptation par vannage sur une seule pompe	174
9.9.2. Adaptation par régulation du fonctionnement lorsqu'il y a plusieurs pompes	174
9.10. Surpresseurs	175
9.11. Entretien des points de pompage (profonds et superficiels)	175
9.12. Mise en place d'une station de pompage	176
9.12.1. Mise en place d'une station de surface	176
9.12.2. Mise en place de pompes immergées	176
9.13. Aspects agricoles des choix	178
9.14. Exercices	179

Chapitre 10. Le transport et la répartition de l'eau d'irrigation

10.1. Tuyaux utilisés pour l'irrigation	189
10.1.1. Caractéristiques des canalisations utilisées en irrigation	189
10.1.1.1. Matériaux	189
10.1.1.2. Description des matériels proposés sur le marché de l'irrigation	190
10.1.2. Pertes d'énergie dans les canalisations	192
10.1.2.1. Pertes d'énergie de l'eau courante	192
10.1.2.2. Pertes et caractéristiques géométriques des tuyaux	192
10.1.2.3. Nature des tuyaux composant le réseau	193
10.1.2.4. Vitesse de l'eau dans les tuyaux	193
10.1.2.5. Singularités du réseau	194
10.1.2.6. Calcul des pertes de charge	194
10.1.2.7. Dénivelée	195
10.2. Organes d'arrosage	195
10.2.1. Distribution statistique de la grosseur des gouttes	195
10.2.2. Orifices calibrés ou buses	196
10.2.2.1. Orifices calibrés	196
10.2.2.2. Buses 180° ou buses miroir	197
10.2.2.3. Buses 360°	198
10.2.2.4. Asperseurs et canons d'arrosage	198
A – Asperseurs	199
B – Canons d'arrosage	201
10.2.2.5. Buses rotatives	202
10.2.3. Caractéristiques débit-pression des buses des dispositifs asperseurs	203
10.2.3.1. Asperseur rotatif à batteur	203
10.2.3.2. Canon d'arrosage	203
10.3. Répartition pluviométrique des différents organes d'arrosage utilisés en irrigation	207
10.3.1. Mesure de la pluviométrie d'un asperseur ou d'un canon à poste fixe	207
10.3.1.1. Courbe pluviométrique obtenue au banc d'essai	209
10.3.1.2. Mesure de la pluviométrie sur le terrain	210
10.3.2. Recoupement des répartitions pluviométriques	214

10.3.3. Règle de Christiansen ou coefficient d'uniformité CUC	215
10.4. Répartition pluviométrique et infiltration dans le sol	216
10.5. Hétérogénéité de l'arrosage due au vent	218
10.5.1. Vitesse du vent	218
10.5.2. Direction du vent	219
10.5.3. Effet du vent sur les portées et zones d'arrosage	219
10.5.4. Propositions pour limiter l'effet du vent	221
10.6. Défauts de répartition de l'arrosage liés à la parcelle	222
10.6.1. Pente	222
10.6.2. Végétation	222
10.7. Conclusion	223
10.8. Exercices	223

Chapitre 11. L'arrosage à poste fixe – Les couvertures d'arroseurs

11.1. Types d'association d'asperseurs pour irriguer une parcelle	229
11.1.1. Règles d'implantation	229
11.1.1.1. Nécessité d'un recouvrement des zones individuelles d'arrosage	229
11.1.1.2. Obtenir une bonne répartition pluviométrique	230
11.1.2. Différentes dispositions des asperseurs sur la parcelle ou implantation	231
11.1.2.1. Disposition en carré ou en rectangle	231
11.1.2.2. Disposition en triangle	232
11.1.3. Construction d'une implantation	233
11.2. Différents types de couvertures d'arrosage et particularités	234
11.2.1. Réseaux de rampes mobiles	234
11.2.1.1. Réseaux simples	234
11.2.1.2. Réseaux avec tuyaux souples sur rampe fixe	235
11.2.2. Réseaux à rampes fixes	237
11.2.2.1. Réseau en couverture totale	237
11.2.2.2. Réseau en couverture intégrale	237
11.2.2.3. Couvertures totale et intégrale des canons d'arrosage	239
A – Couverture totale avec des canons d'arrosage	240
B – Couverture intégrale automatique de canons d'arrosage	240
11.3. Dimensionnement d'un réseau de couverture	241
11.3.1. Différents critères utilisés pour le calcul et la définition des termes utilisés	241
11.3.1.1. Critères non modifiables	242
A – Agronomiques	242
B – Pédologiques	242
C – Agro-pédologiques	242
11.3.1.2. Critères évoluant selon les besoins et laissant une certaine marge de choix	243
11.3.2. Calculs menant à la description d'un réseau d'asperseurs à poste fixe en couverture totale ou intégrale	243
11.3.2.1. Calcul de la surface unitaire arrosée S_u	244
11.3.2.2. Calcul du débit d'équipement q	244
11.3.2.3. Dispositif d'arrosage et implantation	245

11.3.2.4. Pluviométrie admissible et temps d'arrosage	245
11.3.3. Calculs hydrauliques pour les canalisations	246
11.3.3.1. Détermination du diamètre minimum des canalisations ...	246
A – Couverture totale	246
B – Couverture intégrale	247
11.3.3.2. Détermination du nombre d'arroseurs sur une canalisation tertiaire	247
11.3.4. Vérification de l'hétérogénéité de l'arrosage	248
11.3.4.1. Cas général	248
11.3.4.2. Cas d'arrosage sur une pente	248
11.3.5. En guise de recommandations	249
11.3.5.1. Pour la couverture totale	249
11.3.5.2. Pour la couverture intégrale	250
11.4. Exercices	251

Chapitre 12. Les enrouleurs

12.1. Description de l'appareil	261
12.1.1. Description de la partie hydraulique	261
12.1.1.1. Tuyau en polyéthylène	261
A – À haute pression	262
B – À basse pression	262
12.1.1.2. Longueur du flexible	263
12.1.1.3. L'organe d'arrosage et son support	263
A – Organe d'arrosage	263
B – Traîneau	264
12.1.1.4. Moteur hydraulique	264
A – Moteurs hydrauliques à piston	265
B – Moteurs hydrauliques à turbine	265
12.1.2. Partie mécanique	268
12.1.2.1. Bobine d'enroulement	268
12.1.2.2. Régularité de l'enroulement	268
A – Régularité de l'enroulement des spires : le « trancanage »	268
B – Vitesse d'enroulement du flexible	269
C – Régularité de la vitesse d'enroulement du flexible	270
12.1.2.3. Châssis support de la bobine de polyéthylène	271
12.1.2.4. Caractéristiques diverses	271
A – Poids de l'appareil	271
B – Pneumatiques	272
12.1.3. Automatisation de l'enrouleur et la régulation de l'arrosage	273
12.1.3.1. Automates électroniques	273
12.1.3.2. Équipements annexes	275
12.2. Principe d'utilisation	275
12.2.1. Durée mensuelle d'utilisation de l'enrouleur	276
12.2.2. Durée journalière d'arrosage et temps d'irrigation par position	277
12.3. Fonctionnement hydraulique et différentes pertes d'énergie dans l'appareil	277
12.3.1. Bilan énergétique du fonctionnement	277

12.3.1.1. Perte de charge dans le tuyau d'amenée d'eau (ou secondaire)	278
12.3.1.2. Pertes de charge dans le moteur hydraulique	278
12.3.1.3. Perte de pression dans le tuyau de polyéthylène	279
12.3.1.4. Pertes de charge singulières	280
12.3.2. Performances de la buse du canon	280
12.3.2.1. Pression au canon	280
12.3.2.2. Débit délivré par une buse	280
12.3.2.3. Portée du jet du canon	281
12.4. Calcul d'un système correspondant à une parcelle donnée	282
12.4.1. Détermination des paramètres agrométéorologiques	282
12.4.1.1. Intégration des données météorologiques et agronomiques	283
A – Données météorologiques	283
B – Données pédologiques et contribution du sol	283
C – Pertes	283
12.4.1.2. Calcul du débit unitaire d'investissement	283
12.4.1.3. Calcul du débit d'équipement pour la superficie à irriguer	284
12.4.1.4. Caractéristiques dimensionnelles de la parcelle et utilisation	284
A – Topographie	284
B – Sens de la culture	284
12.4.2. Calcul hydraulique	285
12.4.2.1. Solution analytique	285
12.4.2.2. Solution par résolution numérique (formule enrouleur)	286
12.4.2.3. Exemple de dimensionnement d'une installation d'enrouleur au moyen de la solution analytique	291
A – Calcul du débit unitaire d'investissement	291
B – Présélection de l'enrouleur	291
C – Positionnement de l'enrouleur sur la parcelle	292
D – Tableau de calcul des pertes de charge dans le réseau	293
E – Choix de l'enrouleur et de la buse qui équipe son canon	293
F – Prévision plus affinée du débit qui sera délivré	294
G – Détermination de la portée du jet	295
H – Détermination de la largeur de bande	295
I – Vérifications complémentaires	295
12.4.2.4. Exemple de dimensionnement d'une installation d'enrouleur par résolution numérique	296
A – Détermination des débits, portées et largeurs de bandes <i>maxima</i> et <i>minima</i>	297
B – Si la pression à la borne baisse	299
12.4.2.5. En guise de conclusion	300
12.5. Exercices	300

Chapitre 13. Les rampes d'arrosage

13.1. Rampe pivotante	309
13.1.1. Description de l'appareil	309
13.1.1.1. Présentation générale	309
13.1.1.2. Divers éléments matériels constituant une rampe pivotante	310
A – Pivot	310
B – Travées	311
13.1.1.3. Équipement électrique	318
A – Armoire de commande électrique	318
B – Dispositifs de sécurité	319
C – Collecteur	319
D – Câblage	320
E – Installation EDF	321
13.1.1.4. Continuité hydraulique	321
A – Alimentation en eau	321
B – Gavage du pivot	321
B – Canalisation de la rampe	322
D – Articulation des canalisations entre les travées	322
E – Équipement hydraulique de la rampe et types d'arroseurs	323
F – Dispositifs particuliers contre le vent	324
13.1.2. Avancement des rampes pivotantes	325
13.1.2.1. Mise en marche des moteurs	325
13.1.2.2. Principe de l'avancement	325
13.1.3. Caractéristiques particulières à certaines rampes pivotantes	328
13.1.3.1. Déplacement de poste en poste	328
A – Intérêt économique	328
B – Déplacement par translation transversale	328
13.1.3.2. Compléments d'arrosage dans les coins de la parcelle	329
A – Canon d'extrémité arrosant dans les coins	329
B – Rampe d'extrémité qui se déploie	329
C – Autres systèmes	330
13.1.4. Dimensionnement d'une rampe pivotante	330
13.1.4.1. Calcul du besoin journalier	330
13.1.4.2. Calcul du débit d'équipement	331
13.1.4.3. Calcul du tour d'eau (doseur cyclique)	333
13.1.4.4. Répartition de l'eau le long de la rampe	334
13.1.4.5. Plan de busage	335
13.1.4.6. Régularité de la répartition pluviométrique	338
13.1.4.7. Pluviométrie instantanée	340
13.2. Rampe frontale	344
13.2.1. Principe	344
13.2.2. Équipement de la rampe	345
13.2.2.1. Portique	345
A – Son alimentation en énergie	345
B – Son alimentation en eau	345
13.2.2.2. Travées	346
13.2.2.3. Raccordement des travées	346

13.2.2.4. Porte à faux	346
13.2.3. Avancement de la rampe frontale	346
13.2.3.1. Déplacement	346
13.2.3.2. Vitesse d'avancement	347
13.2.3.3. Guidage des rampes frontales	348
A – Guidage par câble aérien	348
B – Guidage par sillon conducteur	348
C – Guidage sur les berges d'un canal	349
D – Guidage par câble enterré et émetteur haute fréquence	349
13.2.4. Hydraulique de la rampe frontale	350
13.2.4.1. Dispositifs d'alimentation	350
A – Par un canal central ou latéral	350
B – Par une conduite sous pression	351
13.2.4.2. Équipement en asperseurs	353
13.2.5. Dimensionnement d'une rampe frontale	353
13.2.5.1. Dose journalière	353
13.2.5.2. Débit d'équipement de l'installation	353
13.2.5.3. Surface horaire arrosée	354
13.2.5.4. Exemple de calcul d'un débit d'équipement	354
13.2.6. Conseils pour l'utilisation de la rampe frontale	354
13.2.7. Diverses utilisations d'une rampe frontale	356
13.2.7.1. Utilisation en va et vient	356
13.2.7.2. Utilisation en hippodrome	356
13.2.8. Pivots-rampes	356

Annexes

Annexe 1. *Test de la perméabilité par double anneau : la méthode Müntz*

Rappel historique	367
Principe	367
Matériel	370
A – Deux cylindres	370
B – Un système d'alimentation en eau	370
C – Petit matériel	370
Mode opératoire	371
Calculs et corrections de température	372
A – Calculs	372
B – Correction de température	372
Discussion	373
Variation de la perméabilité de Müntz	373

Annexe 2. *Méthode de l'infiltromètre multidisques*

Principe	375
Matériel	376
Mode Opératoire	378
A – Préparation du perméamètre	378

B – Réglage de la pression h_0 qui sera imposée à la surface	379
C – Préparation de la surface	379
D – Conduite de l'essai d'infiltration	380
Calculs	380
A – Calcul de la conductivité hydraulique	380
Discussion	381

Annexe 3. Mesures in situ des humidités caractéristiques

Mesure de la capacité de rétention après arrosage sur le terrain	383
A – Principe	383
B – Matériel	383
C – Mode opératoire	383
D – Dosage de l'humidité	384
E – Remarques	384
Mesure du point de flétrissement par la méthode biologique	385
A – Principe	385
B – Matériel	385
C – Mode opératoire	385
D – Dosage de l'humidité	386
E – Remarques	386

Annexe 4. Préparation et mise en place des tensiomètres

Matériel	387
Mode opératoire	387
A – Préparation de l'appareil	387
B – Mise en place du tensiomètre	388
Remarques	389

Annexe 5. Préparation et mise en place de la sonde Watermark®

Matériel	391
Mode opératoire	392
A – Vérification du boîtier Watermark®	392
B – Préparation et vérification des sondes	392
C – Mise en place d'une sonde	392
D – Dépose des sondes en fin de saison	394
Remarques et problèmes possibles	394

Annexe 6. Éléments d'hydraulique appliquée à l'irrigation par aspersion *Rappels sur les principales formules de calcul des pertes de charge*

L'eau sous pression dans une conduite	397
Une énergie transformable	398
L'énergie de l'eau courante	399
L'équation de Bernoulli	400
Les pertes d'énergie par frottement	402
A – Pertes linéaires	402
1 – Expression générale	402
2 – Expressions professionnelles	403
B – Pertes singulières	404

Puissance hydraulique	405
A – Puissance intrinsèque d'écoulement	405
B – Puissance développée par une pompe	406
Annexe 7. Exploitation des formules d'hydraulique utiles pour l'irrigation par aspersion	
Mise en forme utile des formules	407
Exploitation numérique des formules utiles	408
A – Avec la calculatrice	408
B – Avec l'ordinateur	408
Exploitation graphique des formules utiles	409
Exploitation des formules utiles au moyen des abaques à points alignés	410
Annexe 8. Mesure de la pression de fonctionnement des asperseurs et du débit de l'installation	
Mesure de la pression de fonctionnement des asperseurs	417
Mesure du débit	418
Annexe 9. Quadrillages d'asperseurs en implantations limites	
Détermination du rayon limite (ou portée limite) en fonction des caractéristiques de la couverture mise en œuvre	419
A – Pour l'implantation en carré ou en rectangle	419
B – Pour l'implantation en triangle	420
Surface équivalente arrosée par un asperseur dans un quadrillage	420
Annexe 10. Pertes de pression se produisant le long d'une canalisation assurant un service en route	
Annexe 11. Pluviométrie instantanée en extrémité des systèmes mouvants	
Références bibliographiques	425
Index	431
Liste des figures	439
Liste des tableaux	447
Liste des photos	451
Abréviations et sigles utilisés	455