



2^e édition **Traité**
d'irrigation

Jean-Robert Tiercelin • Alain Vidal
coordonnateurs



Editions
TEC
& **DOC**



Lavoisier

Table des matières

Préface de la première édition	III
Préface de la deuxième édition	VI
Introduction générale	VIII
Liste des auteurs	XI
Liste des relecteurs (sauf rédacteurs)	XVI
Comités de lecture	XVIII
Lexique des sigles	XIX

Première partie **L'eau et la production**

Introduction	3
---------------------------	---

Chapitre 1

Généralités. L'eau dans la biosphère (<i>Alain Perrier et Andrée Tuzet</i>)	7
Introduction	7
1. Bilans globaux et cycle de l'eau	8
1.1. Bilan énergétique de l'atmosphère et cycle de l'eau	8
1.1.1. L'énergie solaire	8
1.1.2. Rétroactions thermiques et rayonnements telluriques	10
1.1.3. Bilans radiatifs et rééquilibrages convectifs entre interfaces et atmosphère	12
1.2. Cycle biosphérique de l'eau	14
1.2.1. Précipitations (apports)	15
1.2.2. Évaporations (pertes)	15

1.2.3.	Cycle de l'eau et bilan hydrique des compartiments	15
1.2.4.	Cycle de l'eau régional	17
1.3.	Les systèmes thermiques de la biosphère	17
2.	Facteurs climatiques et thermodynamiques de l'air	19
2.1.	Les facteurs climatiques extrinsèques	19
2.1.1.	Les rayonnements : apport d'énergie radiative	20
2.1.2.	Les précipitations : apport d'eau	21
2.2.	Les facteurs climatiques intrinsèques	22
2.2.1.	La température de l'air	22
2.2.2.	Le contenu en eau de l'air	23
2.2.3.	La vitesse du vent	26
2.2.4.	Neutralité, instabilité et stabilité	29
3.	Bilan d'énergie et évaporation de surface	30
3.1.	Bilan d'énergie de l'interface	30
3.1.1.	Les termes du bilan radiatif	31
3.1.2.	Le bilan d'énergie	35
3.2.	Disponibilité de l'eau à l'interface et bilan hydrique	37
3.2.1.	Définition de la disponibilité en eau de surface	37
3.2.2.	Le bilan hydrique	40

Chapitre 2

	Connaissance de base des systèmes : sol, plante, atmosphère	47
1.	Statique et dynamique de l'eau dans le sol (<i>Marc Soutter et André Musy</i>)	47
1.1.	Propriétés physiques du sol	48
1.1.1.	Texture	49
1.1.2.	Structure	49
1.2.	Caractérisation de la solution du sol	50
1.2.1.	Teneur en eau	51
1.2.2.	État énergétique de la solution du sol	52
1.2.3.	Relations entre teneur en eau et potentiel de pression	54
1.3.	Circulation de l'eau dans le sol	56
1.3.1.	Loi de comportement dynamique : la loi de Darcy généralisée	57
1.3.2.	Équations de continuité	59
1.3.3.	Équations générales des écoulements	60
1.4.	Régime de l'eau au champ	62
1.4.1.	Infiltration	63
1.4.2.	Redistribution	66
2.	Fonctionnement hydrique et écophysiologie de la plante (<i>Jean-François Castell</i>)	67
2.1.	Caractérisation de l'état hydrique des végétaux	68
2.1.1.	Les grandeurs liées au contenu en eau des tissus	68
2.1.2.	Le potentiel hydrique et ses composantes	69
2.1.3.	Relation entre teneur en eau et potentiel hydrique : le diagramme d'Höfler	72
2.2.	Circulation de l'eau dans la plante	75
2.2.1.	Les voies de circulation de l'eau dans la plante	75
2.2.2.	Mécanisme de la circulation de l'eau dans la plante	77

2.3.	Régulation des pertes d'eau par les stomates	78
2.3.1.	Description de l'appareil stomatique	78
2.3.2.	Mécanismes de la régulation stomatique	79
2.3.3.	Fonctionnement biochimique du stomate	81
2.3.4.	Facteurs du milieu et régulation stomatique	82
2.4.	Effets d'une contrainte hydrique sur le fonctionnement de la plante	84
2.4.1.	Effet d'une contrainte hydrique sur la photosynthèse	85
2.4.2.	Effets d'une contrainte hydrique sur la croissance	87
2.4.3.	Conséquences sur le fonctionnement de la plante	88
2.5.	Conséquences sur la production végétale	89
2.5.1.	Phases sensibles	89
2.5.2.	Efficacité d'utilisation de l'eau	90
2.6.	Conclusion	92
3.	Relations sol-plante et absorption hydrique (<i>Loïc Pagès, Claude Doussan, Gilles Vercambre, Laurent Bruckler et Robert Habib</i>)	93
3.1.	Le rôle du sol dans l'alimentation hydrique	95
3.1.1.	Transferts hydriques dans le sol au cours de la phase d'approvisionnement	96
3.1.2.	Transferts hydriques à l'interface sol-racines au cours de la phase d'absorption	100
3.2.	Rôle des systèmes racinaires dans l'alimentation hydrique	102
3.2.1.	Dynamique spatiale des sites d'absorption	102
3.2.2.	Capacités d'absorption et de transport au sein du système racinaire	110
3.3.	Modélisation des relations sol-plante	115
3.3.1.	Pourquoi modéliser les transferts hydriques dans le système sol-plante ?	115
3.3.2.	Évolution des concepts sur les transferts hydriques sol-plante	116
3.3.3.	Les tendances actuelles	118
3.4.	Conclusion	120
4.	Approche théorique du continuum sol-plante-atmosphère (<i>Alain Perrier et Andrée Tuzet</i>)	120
4.1.	Circulation de l'eau dans le continuum	122
4.1.1.	La circulation de l'eau dans la plante	122
4.1.2.	Le continuum sol-plante-atmosphère	130
4.2.	Méthodes et techniques de suivi de l'eau dans la plante	150
4.2.1.	L'analyse des structures de la plante	151
4.2.2.	Les potentiels hydriques de la plante	152
4.2.3.	La résistance stomatique	152
4.2.4.	La température de surface des organes	153
4.2.5.	L'analyse des variations de diamètre ou d'épaisseur foliaire	153
4.2.6.	La transpiration foliaire	154
4.2.7.	L'analyse des débits dans les tiges et les troncs	154

Chapitre 3

Les besoins en eau des cultures : analyse et applications	161
1. Bases conceptuelles de l'analyse des besoins (<i>Andrée Tuzet et Alain Perrier</i>)	161
1.1. Approche théorique	162
1.1.1. Bilan énergétique et évaporation	162

1.1.2.	L'évapotranspiration des couverts	169
1.2.	Les déterminations de l'évapotranspiration des couverts	174
1.2.1.	L'évapotranspiromètre pesable ou lysimètre	174
1.2.2.	Les méthodes basées sur le bilan d'énergie	175
1.2.3.	La méthode des fluctuations	176
1.2.4.	Méthode basée sur l'estimation de la demande climatique	176
2.	Approche agrométéorologique du conseil à l'irrigation (Emmanuel Choisnel)	177
2.1.	Données de référence pour évaluer l'évapotranspiration maximale des cultures	178
2.1.1.	L'évapotranspiration potentielle	178
2.1.2.	Les mesures par bac d'évaporation	179
2.1.3.	L'évapotranspiration maximale	179
2.1.4.	Les coefficients culturaux	180
2.1.5.	Variabilité spatio-temporelle de l'ETP	181
2.2.	Variabilité spatio-temporelle des données pluviométriques	181
2.2.1.	Les banques de données pluviométriques	182
2.2.2.	Les statistiques pluviométriques	182
2.2.3.	Les cartographies de la pluviométrie	183
2.3.	L'approche agrométéorologique de l'irrigation	184
2.3.1.	La modélisation du bilan hydrique du sol	184
2.3.2.	L'estimation statistique des besoins en eau d'irrigation	186
2.3.3.	Calcul du bilan hydrique du sol avant la période d'irrigation	188
2.3.4.	Le conseil agrométéorologique pendant la période d'irrigation	188
2.4.	Irrigation et changement climatique	190
2.5.	Conclusion	190
3.	Études pédologiques préalables à l'irrigation. Réalisation et contenu (Michel Bornand et Jean-Claude Favrot)	191
3.1.	Objectif des études pédologiques appliquées	191
3.1.1.	Destinataires et sources d'information	191
3.1.2.	Buts généraux des études et paramètres pédologiques à caractériser	191
3.1.3.	Plan adopté	193
3.2.	Caractéristiques générales d'une étude pédologique préalable à l'irrigation	193
3.2.1.	Buts et échelles de la cartographie	193
3.2.2.	Conduite des études pédologiques	194
3.2.3.	Formalisation des résultats : carte, notice, systèmes d'information géographique (SIG)	197
3.2.4.	Études pédologiques en milieux particuliers	199
3.3.	Cartographie des sols et aptitude à l'irrigation	199
3.3.1.	Intérêt de la carte des sols : base pour la connaissance du milieu et les orientations d'aménagement	199
3.3.2.	Appréciation de l'aptitude à l'irrigation : critères, méthodes	200
3.3.3.	Schémas d'interprétation et zonages proposés	201
3.3.4.	Données pour la conception des ouvrages collectifs	202
3.4.	Typologie régionale des sols et gestion de l'irrigation à l'échelle de l'exploitation agricole	203
3.4.1.	Nature et utilisation des données	203
3.4.2.	Démarches d'acquisition des données pour une typologie des sols	204

3.4.3.	Formalisation des résultats de la typologie des sols	208
3.4.4.	Conditions de réalisation et d'utilisation des typologies	208
3.5.	Annexe : contenu des cahiers des charges.	210
3.5.1.	Cahiers des clauses techniques générales (CCTG).	210
3.5.2.	Cahiers des clauses techniques particulières (CCTP).	210
4.	Réserve en eau des sols et bilan pédo-climatique, approche pratique (Jean-Paul Luc).	211
4.1.	Expression du bilan hydrique et rôle des différents termes.	211
4.1.1.	Variation de stock : ΔS	212
4.1.2.	Pluie	215
4.1.3.	Évapotranspiration	215
215	4.1.4. Drainage	215
4.1.5.	Ruissellement	217
4.2.	Gestion du bilan hydrique	217
4.2.1.	Utilisation des mesures de teneur en eau des sols	217
4.2.2.	Utilisation des mesures de potentiel hydrique	222
4.2.3.	Synthèse	226
4.3.	Conclusion.	227
5.	Méthode pratique du calcul des besoins en eau (Luis Santos Pereira, Richard Allen et Alain Perrier)	227
5.1.	Évapotranspiration de référence	229
5.1.1.	L'équation de Penman-Monteith	229
5.1.2.	Évapotranspiration de référence	231
5.1.3.	Calcul de l'évapotranspiration de référence	234
5.2.	Évapotranspiration des cultures et coefficients culturaux.	241
5.2.1.	Introduction à l'évapotranspiration des cultures et aux coefficients culturaux	241
5.2.2.	Coefficients culturaux moyens	244
5.2.3.	K_c de la phase initiale pour les plantes annuelles.	246
5.2.4.	K_c pour la mi-saison et l'arrière-saison	256
5.3.	Approche des coefficients culturaux de base	259
5.3.1.	Coefficients culturaux de base K_{cb}	259
5.3.2.	Le coefficient d'évaporation du sol K_e	260
5.3.3.	Coefficient de réduction lié au stress hydrique, K_s	264
5.3.4.	Coefficient cultural pour des conditions végétatives atypiques	265
266	5.4. Besoin en eau d'irrigation	266
6.	Étude pragmatique et synthétique d'un projet (Bertrand Muller, Bruno Lidon, Florent Maraux)	268
268	6.1. Généralités sur le bilan hydrique et sa modélisation.	269
271	6.2. Choix d'une date de semis optimale en conditions pluviales strictes	270
271	6.2.1. « Comment jouer sur la date de semis afin de minimiser le risque, ou maximiser l'espérance de réussite d'une culture ? »	271
273	6.2.2. Résultats des simulations	273
273	6.2.3. Discussion.	273
274	6.3. Dimensionnement d'un système d'irrigation de complément.	274
274	6.3.1. Description du cadre.	274
274	6.3.2. Estimation des besoins nets en irrigation de complément	274

276	6.3.3. Spécificité du problème posé par la conception d'un réseau d'irrigation de complément	276
	6.3.4. Les différentes étapes de l'évaluation de la demande en eau et du débit d'équipement	276
	6.3.5. Synthèse	279
	6.4. Opportunité économique d'un investissement d'irrigation de complément	280
	6.4.1. Quelques rappels : les fonctions eau-rendement	280
	6.4.2. Illustration : cas d'une étude réalisée pour une société sucrière indonésienne	282
	6.5. Conclusion sur les méthodes présentées	287

Chapitre 4

	Aspects qualitatifs	297
1.	Irrigation, vignoble et produits de la vigne (<i>Alain Carbonneau</i>)	297
1.1.	Particularités de la biologie de la vigne	297
1.2.	Produits de la vigne	298
1.2.1.	La plante	298
1.2.2.	Le raisin	298
1.2.3.	Les produits de transformation	299
1.2.4.	Lignes directrices de l'étude	299
1.3.	Nécessité ou non de l'irrigation	299
1.3.1.	Possibilité ou interdiction de l'irrigation au plan mondial	300
1.3.2.	Préalables à la décision d'irrigation	300
1.4.	Adaptation du vignoble à l'irrigation	305
1.4.1.	Adaptation des variétés	305
1.4.2.	Stratégie de production élevée	306
1.4.3.	Stratégie de régularisation de la qualité	307
1.4.4.	Optimisation de la forme	310
1.5.	Mode d'irrigation	311
1.5.1.	Irrigation gravitaire ou par submersion	311
1.5.2.	Irrigation par aspersion	312
1.5.3.	Irrigation localisée	313
1.6.	Maîtrise du fonctionnement hydrique	313
1.6.1.	Besoins en eau de la vigne	314
1.6.2.	Pilotage des irrigations	315
1.7.	Résultats viticoles et œnologiques. Conclusions	318
1.7.1.	Productions de raisins de table	318
1.7.2.	Productions de raisins de cuve	318
320	2. Irrigation et qualité des fruits (<i>Jean-Gérard Huguet et Michel Génard</i>)	320
2.1.	Eau et fonctionnement végétatif de l'arbre	321
2.1.1.	Système racinaire	321
2.1.2.	Système aérien végétatif	321
2.2.	Le fruit	322
2.2.1.	Les différentes phases de croissance des fruits et leur sensibilité à la sécheresse	323
2.2.2.	Multiplification cellulaire	323
2.2.3.	Grossissement cellulaire : flux pédonculaire et flux transpiratoire	323

2.2.4. Maturation	327
2.3. Conduite de l'irrigation et qualité des fruits	327
2.3.1. Coefficients culturaux.	327
2.3.2. La modération hydrique comme levier d'action sur la qualité des fruits ...	328
2.4. Conclusion et prospective	331
3. Maîtrise de la qualité des céréales et aperçu sur la qualité des pommes de terre (Alain Bouthier et Jean-Marc Deumier)	332
3.1. La teneur en protéines des grains, paramètre important de la qualité des céréales	333
3.1.1. Blé tendre	333
3.1.2. Blé dur	334
3.1.3. Orges de brasserie.	335
3.2. Facteurs de variabilité de la teneur en protéines des grains de céréales	336
3.2.1. Élaboration de la teneur en protéines des grains	336
3.2.2. La fertilisation azotée : un des facteurs de production les plus influents sur la teneur en protéines des grains.	337
3.3. Intérêt de l'irrigation pour une meilleure maîtrise de la teneur en protéines des céréales	339
3.3.1. Pour éviter des teneurs en protéines trop élevées : cas des orges brassicoles et blés biscuitiers	339
3.3.2. Pour assurer des teneurs en protéines élevées sans préjudice pour l'environnement	341
3.4. Conclusion.	342

Deuxième partie

Conception technique des aménagements

Introduction	349
---------------------------	-----

Chapitre 5

Ouvrages de tête et réseaux de distribution	351
1. Ouvrages de dérivation et de prise d'eau en rivières (Gérard Degoutte)	351
1.1. Principe général et terminologie de base.	351
1.2. Transport solide en rivière.	353
1.3. Choix du site	356
1.4. Le seuil de dérivation	358
1.4.1. Types de seuils de dérivation	358
1.4.2. Fondations	361
1.4.3. Calculs hydrauliques.	366
1.4.4. Dégravement et vanne de chasse	367
1.4.5. Protection contre les corps flottants	370
1.4.6. Passes à poissons	371
1.5. L'ouvrage de prise	373
1.5.1. Seuil de prise	373
1.5.2. Vannes de prises	374

1.5.3. Organes de dessablage	374
1.5.4. Protection de l'ouvrage de prise contre les crues	377
2. Réseaux de canaux (<i>Tran-Minh Duc</i>)	379
2.1. Définitions	379
2.2. Schéma d'un réseau de canaux	379
2.3. Les ouvrages linéaires	380
2.3.1. Tracé des canaux	380
2.3.2. Profil en long	381
2.3.3. Profils en travers	383
2.3.4. Revêtement des canaux	387
2.4. Ouvrages ponctuels	392
2.4.1. Ouvrages de régulation de niveau	393
2.4.2. Ouvrages de répartition et de prise	393
2.4.3. Ouvrages de sécurité	401
2.4.4. Ouvrages de franchissement	403
2.4.5. Ouvrages divers (voir aussi document en couleur V/5)	408
3. Régulation des transferts d'eau en canaux : théorie (<i>Pierre-Olivier Malaterre</i>)	411
3.1. Contexte général	411
3.1.1. Les canaux d'irrigation	411
3.1.2. Canal d'irrigation et système de production	412
3.1.3. L'automatisation	416
3.2. Classification	417
3.2.1. Définition d'une classification	417
3.2.2. Les variables considérées	418
3.2.3. Logiques de contrôle	425
3.2.4. Méthodes de synthèse	429
3.2.5. Mise en œuvre	433
4. Régulation des transferts d'eau en canaux : ouvrages et équipements (<i>Jean Goussard</i>)	441
4.1. Ouvrages hydrauliques et équipements hydromécaniques de réglage et de sécurité	442
4.1.1. Généralités	442
4.1.2. Dispositifs passifs de régulation des niveaux et débits	443
4.1.3. Vannes de réglage conventionnelles	446
4.1.4. Vannes autorégulatrices	448
4.2. Équipements d'instrumentation	453
4.2.1. Généralités	453
4.2.2. Critères de qualité et de choix	454
4.2.3. Capteurs de position	454
4.2.4. Capteurs de niveau (ou limnimètres)	455
4.2.5. Procédés et équipements de mesure des débits	456
4.3. Procédés et équipements de transmission à distance	458
4.3.1. Généralités	458
4.3.2. Transmission par câbles du type téléphonique	460
4.3.3. Transmission par câbles à fibres optiques	461
4.3.4. Transmission par radio UHF/VHF	462
4.3.5. Transmission par faisceaux hertziens	464

4.4. Équipements de traitement des données	465
4.4.1. Incidence de l'évolution de la technologie	465
4.4.2. Régulateurs locaux électromécaniques	465
4.4.3. Régulateurs numériques et postes locaux à base de microprocesseurs	466
4.4.4. Équipement des postes centraux	467
4.5. Conclusion	470
5. Réseaux collectifs d'irrigation sous pression (<i>Bernard Brémond</i>)	471
Introduction	471
5.1. Tracé économique	471
5.2. Description des réseaux ramifiés	471
5.3. Calcul des débits	472
5.4. Calcul optimal du réseau et de la station de pompes	473
5.4.1. Coûts liés au réseau, méthode de dimensionnement économique	474
5.4.2. Coûts liés à la station de pompage	476
5.4.3. Optimisation globale	477
5.4.4. Cas des surpresseurs	477
5.5. Renforcement	477
5.6. Calcul de la courbe caractéristique du réseau	478
5.6.1. Caractéristique supérieure	479
5.6.2. Caractéristiques indicées	481
5.6.3. Tracé final	481
5.7. Les protections antibélier	481
5.8. Cas des réseaux maillés	482
5.9. Maintenance	482
Conclusion	482

Chapitre 6

489 Irrigation à la parcelle	489
1. Panorama des techniques d'irrigation et éléments de choix (<i>Moussa Laurent Compaoré</i>)	489
1.1. Les techniques d'irrigation à la parcelle	489
1.1.1. Les techniques d'irrigation de surface	489
1.1.2. Les techniques d'irrigation sous pression	504
1.1.3. Les techniques d'irrigation de sub-surface, ou subirrigation	508
1.2. Choix des techniques d'irrigation	509
1.2.1. Généralités	509
1.2.2. Avantages et inconvénients des techniques d'irrigation de surface	510
1.2.3. Avantages et inconvénients communs aux techniques d'irrigation sous pression	510
1.2.4. Avantages et inconvénients spécifiques de l'aspersion	511
1.2.5. Avantages et inconvénients spécifiques de l'irrigation localisée	512
1.2.6. Avantages et inconvénients de l'irrigation souterraine par drains enterrés	512
2. Irrigation de surface (<i>Luis Santos Pereira, Abdelaziz Zaïri et Jean-Claude Mailhol</i>) ...	513
2.1. Introduction	513
2.2. Bref rappel des méthodes d'irrigation	514
2.3. Équations de base	518

2.3.1.	Équations d'écoulement	518
2.3.2.	Équations d'infiltration	519
2.3.3.	Modèles de simulation	520
2.4.	Infiltration	523
2.5.	Évaluation des irrigations à la parcelle et estimation de l'infiltration	524
2.5.1.	Évaluation au champ	524
2.5.2.	Estimation des paramètres d'infiltration et rugosité	526
2.6.	Performances de l'irrigation	529
2.7.	Conception de projet	531
2.8.	Nivellement	531
2.9.	Conduite des arrosages	535
2.10.	Équipements pour l'application de l'eau et automatisation	536
2.10.1.	Équipements pour l'irrigation à la raie	536
2.10.2.	L'irrigation par vagues	539
2.10.3.	Transirrigation	543
2.10.4.	Systèmes de distribution de l'eau pour bassins	545
2.11.	Gestion du sol	547
2.12.	Fertirrigation et contrôle des contaminations de l'environnement par les engrais et les composés chimiques	547
↔ 3.	<u>L'irrigation par aspersion</u> (Jean-Robert Tiercelin et Jacques Granier)	549
3.1.	Généralités	549
3.1.1.	Qualité de l'arrosage	549
3.1.2.	Architecture d'un système d'arrosage	553
3.2.	Les organes d'arrosage	553
3.2.1.	Débit des organes d'arrosage	553
3.2.2.	Différents types d'organes d'arrosage	554
3.2.3.	Un point pratique essentiel : la pression de service	556
3.3.	Les systèmes de répartition de l'eau	556
3.3.1.	Considérations générales	556
3.3.2.	Éléments communs de dimensionnement pour les différents types d'installations	557
3.3.3.	Les quadrillages d'asperseurs	558
3.3.4.	L'enrouleur	563
3.3.5.	Les rampes automotrices articulées	566
3.4.	Dispositifs d'alimentation de la parcelle	569
3.5.	Conception des installations	569
3.6.	Contrôle des risques liés à l'aspersion	570
3.6.1.	Inconvénients rencontrés au niveau du sol	570
3.6.2.	L'effet du vent	573
3.6.3.	L'utilisation d'eaux de qualité médiocre	580
3.6.4.	Les difficultés liées à la topographie	581
3.7.	Applications particulières de l'aspersion	582
3.7.1.	Application de substances chimiques	582
3.7.2.	Lutte antigel	582
3.7.3.	Utilisation d'eaux résiduaires	583
↔ 4.	<u>Irrigation localisée</u> (Yves Pénadille)	583
4.1.	Définitions	583

4.2. Développement	583
4.3. Avantages et inconvénients	585
4.3.1. Avantages	585
4.3.2. Inconvénients	586
4.4. Les composants d'une installation d'irrigation localisée	588
4.5. La ressource en eau	588
4.5.1. Origine de l'eau	588
4.5.2. Disponibilité en eau	589
4.5.3. Analyse de l'eau	589
4.6. La station de tête	590
4.6.1. Le compteur d'eau	590
4.6.2. Le clapet anti-retour	591
4.6.3. Le régulateur de pression aval	591
4.6.4. La soupape de décharge	591
4.6.5. La ventouse	591
4.7. La filtration de l'eau	591
4.8. Les causes d'obstruction	592
4.8.1. Obstruction physique	592
4.8.2. Obstruction chimique	593
4.8.3. Obstruction biologique	593
4.9. Les différents types de filtres	593
4.9.1. Les filtres à sable	593
4.9.2. Les filtres à tamis	594
4.9.3. Les filtres à disques	596
4.10. La chimigation	596
4.10.1. La fertigation	596
4.10.2. Les matériels d'injection	597
4.11. L'automatisation	601
4.11.1. Généralités	601
4.11.2. Les vannes volumétriques	602
4.11.3. Les vannes hydrauliques	602
4.11.4. Les vannes électriques	602
4.11.5. Les programmeurs d'arrosage	603
4.11.6. Les ordinateurs d'arrosage	603
4.12. Les distributeurs	604
4.12.1. Considérations générales	604
4.12.2. Différents types de distributeurs	608
4.12.3. Critères de choix des distributeurs	610
4.12.4. Essais des distributeurs	611
4.13. Les canalisations	615
4.13.1. Les canalisations principales et secondaires	615
4.13.2. Le porte rampes	615
4.13.3. Les rampes	615
4.14. Entretien du réseau	616
4.14.1. Lutte contre le colmatage organique	616
4.14.2. Lutte contre le colmatage chimique	617
4.14.3. Purge des canalisations	617

4.15. Contrôle des installations	617
4.15.1. Mode opératoire	617
4.15.2. Résultats	618
5. L'irrigation souterraine par réseaux de drainage ou subirrigation (Jean-Claude Chossat et Jean-Claude Favrot)	618
5.1. Principes généraux et extension de la technique	618
5.2. Conception des réseaux	620
5.2.1. Les éléments constitutifs d'un réseau	620
5.2.2. Conditions d'application de la technique	622
5.2.3. Outils pour la conception du réseau	622
5.3. Conduite et résultats de la subirrigation	623
5.3.1. Contrôle de la nappe et conduite des arrosages	623
5.3.2. Résultats Agronomiques	625
5.3.3. Efficience	625
5.4. Conclusion	625

Chapitre 7

Aménagements spéciaux	635
1. Cultures de crue et de décrue contrôlées. Cas de l'Afrique de l'Ouest (François Gadelle)	635
1.1. Les cultures traditionnelles de crue et de décrue	636
1.1.1. Typologie des utilisations traditionnelles des crues naturelles	636
1.1.2. La riziculture traditionnelle	636
1.1.3. La culture de décrue le long des fleuves Sénégal et Niger	637
1.2. Les aménagements de submersion contrôlée	638
1.2.1. Principes de l'aménagement type	638
1.2.2. Gestion hydraulique de l'aménagement	640
1.2.3. Les études préalables à un aménagement de submersion contrôlée	640
1.2.4. Choix des fréquences de protection contre les crues et des fréquences de remplissage	642
1.2.5. Sécurisation du remplissage	643
1.2.6. Les aménagements pour l'élevage	644
1.2.7. Les « semi-aménagements »	644
1.3. L'intensification des aménagements de submersion	645
1.3.1. Division des cuvettes	645
1.3.2. La sécurisation de la phase pluviale	647
1.3.3. La création de périmètres irrigués à l'intérieur des périmètres	648
1.4. Les aménagements pour la décrue	648
1.4.1. L'aménagement type pour la décrue	648
1.4.2. Calcul des aménagements de décrue	649
1.4.3. Intensification de la culture de décrue contrôlée	649
1.4.4. Autres aménagements de décrue	650
1.5. La rentabilité des aménagements de submersion et de décrue contrôlée	650
1.5.1. Le coût des aménagements de submersion contrôlée	650
1.5.2. Espérances de production	651
1.5.3. Rentabilité des aménagements de submersion ou de décrue contrôlée	652
1.6. Conclusions	652

1.6.1. Avantages et inconvénients de la submersion et la décrue contrôlées	652
1.6.2. L'avenir de la submersion contrôlée	653
2. L'aménagement des bas-fonds en Afrique de l'Ouest (Philippe Lavigne Delville)	654
2.1. Les bas-fonds en Afrique de l'Ouest	655
2.1.1. Qu'est-ce qu'un bas-fond ?	655
2.1.2. Une alimentation en eau multiple, une hydrologie complexe	658
2.1.3. Des grands types régionaux, selon le climat et le substrat géologique	659
2.2. L'enjeu des bas-fonds dans les systèmes de production	661
2.2.1. Un milieu spécifique, un espace multi-usages	661
2.2.2. Un enjeu économique	662
2.2.3. Les contraintes hydriques et hydrologiques des systèmes de culture de bas-fonds	664
2.3. Les principes de l'aménagement de bas-fond	667
2.3.1. L'aménagement est un investissement foncier, qui s'intègre dans un espace multi-usages	667
2.3.2. Aménager en réponse à des demandes définies	668
2.3.3. Une maîtrise partielle de l'eau	669
2.3.4. Les étapes de la préparation technique d'un projet d'aménagement	669
2.4. Des modèles techniques variés, en évolution	670
2.4.1. En zone sahélo-soudanienne	670
2.4.2. En zone soudanienne	673
2.4.3. En zone guinéenne	675
2.5. Conclusions	676

Chapitre 8

 Qualité et performance des équipements et systèmes d'irrigation	681
1. Normalisation et certification dans le domaine de l'irrigation (Denis Baudequin, Bruno Molle et Jacques Granier)	681
1.1. Pourquoi une normalisation en matière d'irrigation ?	681
1.1.1. Le caractère mondial de l'industrie de l'irrigation	681
1.1.2. Les spécificités des techniques d'irrigation et de leurs utilisateurs dans les différentes régions du monde	681
1.1.3. Une utilisation accrue des technologies modernes	682
1.2. À quoi servent les normes ?	683
1.2.1. Terminologie utilisée	683
1.2.2. Les normes et la technique	685
1.2.3. Les normes et le temps	685
1.2.4. Utilisation des normes dans les différents pays	686
1.3. À qui servent les normes ? Les partenaires de la normalisation en irrigation	689
1.4. Les différents niveaux de normalisation	690
1.4.1. Les normes nationales	691
1.4.2. Les normes européennes	691
1.4.3. Les normes internationales	692
1.5. Le travail de normalisation : l'élaboration, l'approbation et la publication d'une norme	693
1.5.1. Élaboration	693
1.5.2. Approbation	696

1.5.3. Publication	696
1.6. La certification des équipements et des systèmes d'irrigation	696
1.6.1. La certification de produits et les marques de qualité	697
1.6.2. La certification d'entreprise	697
1.6.3. La certification des personnes et des services	698
1.6.4. Le marquage CE	698
1.7. Les essais et les laboratoires d'essais	699
1.8. Perspectives	699
2. Essais des matériels et des systèmes d'irrigation. Qualité et certification (Denis Baudequin, Jacques Granier et Bruno Molle)	700
2.1. Pourquoi des essais ?	700
2.1.1. Pour les utilisateurs	700
2.1.2. Pour les industriels	700
2.1.3. Pour l'intérêt général	701
2.1.4. Utiliser des méthodes d'essais reconnues	701
2.1.5. Améliorer la qualité des matériels et systèmes d'irrigation : un enjeu mondial	702
2.2. Les laboratoires d'essais et leurs partenaires	702
2.2.1. Le rôle des laboratoires	702
2.2.2. La certification et l'assurance de la qualité	704
2.2.3. L'apparition d'un nouvel acteur, le réseau de laboratoires INITL	704
2.3. Sur quoi portent les essais ?	705
2.3.1. Les matériels	705
2.3.2. Les systèmes	706
2.4. La place des essais dans le contexte normatif général	706
2.4.1. En amont des essais : les normes et les contrôles de qualité	706
2.4.2. En aval des essais : l'utilisation des résultats	706
2.5. Les essais en irrigation : quelques exemples	707
2.5.1. Essais de performance hydraulique et de répartition d'eau	707
2.5.2. Essais de perte de charge et d'aptitude à l'usage	707
2.5.3. Essais de durabilité et de vieillissement	708
2.5.4. Essais de sécurité	709
2.5.5. Essais de performance au champ	709

Troisième partie

Aspects environnementaux

Introduction	713
---------------------------	-----

Chapitre 9

 Aspects environnementaux	715
1. Irrigation et pollutions diffuses (Alain Delacourt)	715
1.1. Introduction	715
1.2. Pollutions diffuses	717

1.2.1.	Origine de la pollution	717
1.2.2.	Conséquences environnementales et sanitaires	718
1.3.	Aspects réglementaires	719
1.3.1.	Qualité des eaux de consommation	719
1.3.2.	Qualité des eaux superficielles et souterraines	720
1.4.	Impacts de l'irrigation	722
1.4.1.	Problématique	722
1.4.2.	Risques liés aux apports d'eau	723
1.4.3.	Risques liés aux pratiques d'irrigation	725
1.5.	Risques liés à la fertilisation	727
1.5.1.	Niveaux de fertilisation	728
1.5.2.	Mode d'apport des engrais	728
1.5.3.	L'irrigation fertilisante ou fertigation	729
1.6.	Risques liés aux traitements phytosanitaires	730
1.6.1.	Pollutions ponctuelles	730
1.6.2.	Pollutions diffuses	730
1.7.	Évaluation des risques de pollution diffuse	732
1.7.1.	Méthodes de terrain	732
1.7.2.	Les outils de modélisation	733
1.7.3.	Les outils cartographiques	735
1.7.4.	Les indicateurs	735
1.8.	Conclusion	736
2.	Réutilisation agricole des eaux usées (<i>Dimitri Xanthoulis</i>)	737
2.1.	Introduction	737
2.2.	La planification	738
2.2.1.	Investigations préliminaires	738
2.2.2.	Identification du marché potentiel	739
2.2.3.	Évaluation détaillée	739
2.3.	Composition des eaux usées	740
2.3.1.	Qualité chimique des eaux usées pour l'irrigation	741
2.3.2.	Qualité microbiologique des eaux usées pour l'irrigation	745
2.3.3.	La concentration en éléments fertilisants	747
2.4.	Mesures de lutte sanitaire	751
2.4.1.	Traitement des eaux résiduaires	751
2.4.2.	Mesures professionnelles	752
2.4.3.	Choix des cultures	753
2.4.4.	Choix de la méthode d'irrigation	754
2.4.1.	L'irrigation de surface	757
2.4.2.	L'irrigation par aspersion	760
2.4.3.	L'irrigation localisée	762
2.4.4.	Sensibilité des distributeurs au bouchage	763
2.5.	Impacts environnementaux associés à l'utilisation des eaux usées en irrigation	766
2.5.1.	Avantages environnementaux	766
2.5.2.	Effets négatifs potentiels sur l'environnement	766
3.	Drainage et assainissement des périmètres irrigués (<i>Daniel Zimmer et Sami Bouarfa</i>)	768
3.1.	Le drainage en périmètre irrigué	768

3.1.1. Définitions	768
3.1.2. Excès d'eau – excès de sels	769
3.1.3. Drainage en périmètres irrigués	771
3.2. Évaluation des besoins en drainage	771
3.2.1. Diagnostic du système	774
3.2.2. Scénarios d'évolution	778
3.3. Techniques et dimensionnement du drainage en périmètres irrigués	779
3.3.1. Drainage de surface	780
3.3.2. Drainage souterrain horizontal	781
3.3.3. Drainage souterrain vertical	789
3.3.4. Critères de choix entre différentes techniques	790
3.3.6. Entretien et pérennité des systèmes de drainage	793
3.4. Réutilisation et rejet des eaux de drainage	795
3.4.1. Potentialités et stratégies de réutilisation	795
3.4.2. Rejet des eaux de drainage	796
4. Processus et gestion de la salinité des sols (<i>Serge Marlet et Jean-Olivier Job</i>)	797
4.1. Introduction sur les milieux salés	797
4.2. Mécanismes et processus de la salinisation des sols	798
4.2.1. Aperçu sur les mécanismes géochimiques associés à la salinisation des sols	798
4.2.2. Processus et influence de la salinisation des sols	800
4.2.3. Processus et influence de l'alcalinisation des sols	804
4.2.4. Processus et influence de la sodisation des sols	805
4.2.5. Modélisation	806
4.2.6. Évaluation de la qualité des eaux	808
4.2.7. Processus d'oxydoréduction	811
4.2.8. Les sols salsodiques	812
4.3. Gestion de la salinité dans les périmètres irrigués	813
4.3.1. Le contexte général de l'irrigation, du drainage et de la salinisation des terres	813
4.3.2. Gestion de la salinité	816
4.3.3. Options agronomiques de gestion de la salinité	817
4.3.4. Options de génie rural et managériales de gestion de la salinité	820
4.3.5. Options de politique publique économiques et sociales de gestion de la salinité	821
4.4. Conclusion	822
5. Contrôle des maladies parasitaires liées aux aménagements hydrauliques (<i>André Mermoud</i>)	822
5.1. Vecteurs des maladies parasitaires	823
5.2. Principales maladies parasitaires liées aux aménagements hydrauliques	824
5.2.1. Paludisme	824
5.2.2. Schistosomiase	825
5.2.3. Onchocercose	826
5.3. Lutte contre les maladies parasitaires	828
5.3.1. Lutte chimique	829
5.3.2. Lutte biologique	829
5.3.3. Aménagement de l'environnement	830

5.3.4. Procédure d'évaluation des risques et des mesures de prévention	835
5.4. Conclusion	836

Quatrième partie

Aspects économiques, sociaux et politiques

Introduction	853
-------------------------------	-----

Chapitre 10

Aspects économiques, sociaux et politiques	855
---	-----

1. L'évaluation économique des projets (<i>Jean-Marc Boussard</i>)	855
1.1. Comment juger de l'intérêt d'un projet pour la collectivité ?	857
1.1.1. Le rôle de l'État dans une économie de marché	857
1.1.2. Le rôle de l'État dans les projets d'irrigation	858
1.1.3. Les « grands travaux » et la fermeture du circuit économique	858
1.2. « Méthode des effets » ou « méthode des prix de référence » : les deux faces d'une même pièce	860
1.3. Comment définir et mesurer les effets directs d'un projet ?	863
1.3.1. Délimitation économique du projet et estimation des quantités produites	863
1.3.2. La question des prix de référence	865
1.3.3. Comment déterminer la valeur de l'épargne et du capital dans un avenir incertain ?	867
1.3.4. De l'évaluation économique au plan de financement	869
1.4. Autres remarques sur l'évaluation	869
2. La tarification de l'eau d'irrigation : une élaboration en fonction des coûts ou de sa valorisation par les agriculteurs ? (<i>Thierry Rieu</i>)	870
2.1. Introduction	871
2.2. Le cadre réglementaire et le développement de l'irrigation en France	871
2.3. Les systèmes tarifaires en place	873
2.3.1. La tarification en fonction de l'offre	874
2.3.2. La tarification en fonction de la demande	876
2.4. Sensibilité de la demande en eau au prix	877
2.4.1. Incitation à l'économie d'eau	877
2.4.2. Atteinte de l'équilibre budgétaire	878
2.5. Usage conjoint de quotas et d'une tarification	879
2.6. Conclusions	881
3. Stratégies des acteurs et aménagements hydro-agricoles (<i>Jean-Michel Yung</i>)	882
3.1. Pour une prise en compte des stratégies des producteurs	882
3.2. Propositions d'une approche pour étudier les stratégies des producteurs	883
3.2.1. Définition proposée	883
3.2.2. Brève présentation de quelques implications méthodologiques	884
3.2.3. Développer une approche typologique des pratiques des acteurs	885
3.3. Bref essai d'illustration de la méthode : présentation de quelques observations sur les stratégies des producteurs de l'Office du Niger	886

3.3.1. Aperçus sur la situation des producteurs	886
3.3.2. Acteurs et objectifs	888
3.3.3. Observations sur quelques types de stratégies des producteurs	892
3.4. Conclusion	895
4. Questions sur l'irrigation, comme instrument privilégié des politiques agricoles et alimentaires méditerranéennes – Exemples du Maroc, de la Tunisie et de la Turquie (<i>Anne -Marie Jouve</i>)	896
4.1. L'irrigation : instrument privilégié des politiques agroalimentaires des pays méditerranéens	896
4.2. Les résultats mitigés des politiques d'irrigation	898
4.2.1. Utilisation des ressources productives	899
4.2.2. Accroissement des productions	900
4.3. L'intensification des cultures pluviales : une alternative ?	901
4.3.1. Les atouts	902
4.3.2. Les difficultés	902
4.3.3. Les possibilités	903
4.4. Les freins à l'intensification de l'agriculture irriguée dans les grands périmètres	904
4.4.1. Des aménagements peu au service de la mise en valeur agricole	904
4.4.2. Décalage entre stratégie étatique et logiques paysannes	904
4.4.3. Participation insuffisante des agriculteurs	905
4.4.4. Les grands périmètres à l'épreuve de la libéralisation : l'essor des pompages privés	905
4.5. Conclusion	906
5. L'irrigation dans le cadre des politiques de gestion des ressources en eau (<i>Jean Margat</i>)	906
5.1. Le concept de ressource en eau	906
5.2. Pourquoi et comment gérer les ressources en eau ?	907
5.3. Une demande en eau très spécifique	908
5.3.1. Aspects généraux	908
5.3.2. Aspects économiques	910
5.4. L'irrigation dans le monde	911
5.5. L'irrigation et l'aménagement des eaux	914
5.6. Variété des situations et des problèmes	915
5.6.1. Pays tempérés développés	916
5.6.2. Pays arides et semi-arides, notamment méditerranéens	917
5.7. Conclusions	918
6. Eau virtuelle et sécurité alimentaire : une externalisation partielle des politiques agricoles et des politiques de l'eau ? (<i>Sara Fernandez</i>)	919
6.1. À l'origine du concept, une analyse des problèmes d'eau au Moyen-Orient relevant des sciences sociales	919
6.2. Derrière les questions d'eau virtuelle appliquées au Moyen-Orient, celle de la définition et des causes de la pénurie	921
6.3. D'un outil d'analyse localisé vers un outil d'analyse quantitatif pour faire le lien entre gestion locale et problèmes globaux liés à l'eau	925
6.4. Un concept aux applications variées et controversées	927
6.5. L'eau virtuelle, un outil pour discuter des échelles de gestion et de répartition de l'eau ?	930

7. L'irrigation, une très vieille histoire (<i>Françoise Conac</i>)	930
7.1. L'irrigation, 8 000 ans d'histoire ?	932
7.1.1. Les débats sur la naissance et l'extension de l'irrigation	934
7.1.2. Les aires de naissance de l'irrigation	937
7.2. Quelles leçons utiles tirer du passé de l'irrigation ?	987
Annexe	999

Cinquième partie

Management des périmètres irrigués

Introduction	1003
-------------------------------	------

Chapitre 11

Management d'un organisme gestionnaire de périmètre irrigué.	1005
1. Organisation et fonctionnement d'un service de distribution d'eau (<i>René Tourette</i>)	1005
1.1. L'exploitation au sein de l'organisme de gestion d'un périmètre irrigué	1005
1.2. Les missions de l'exploitation	1006
1.2.1. La mission technique	1006
1.2.2. La mission de gestion des relations	1007
1.3. L'organisation du service de distribution	1008
1.3.1. Le personnel d'exploitation – Qualification et tâches confiées	1008
1.3.2. L'organisation de l'encadrement du personnel d'exploitation	1010
1.3.3. Autres moyens à mettre en œuvre	1011
1.3.4. Les services d'appui	1012
2. Maintenance des ouvrages et équipements (<i>Jacques Plantey et Jacques Blanc</i>)	1013
2.1. Définitions de base	1013
2.1.1. Définition de la maintenance	1013
2.1.2. Les types d'actions de maintenance	1013
2.1.3. Les niveaux de maintenance	1015
2.2. Organisation générale de la fonction maintenance pour les aménagements d'hydraulique agricole	1015
2.2.1. Principes d'une politique de maintenance	1015
2.2.2. Principes d'organisation de la maintenance	1015
2.3. Enregistrement des données	1018
2.3.1. Inventaires	1019
2.3.2. Enregistrement des interventions de maintenance	1021
2.3.3. Possibilités d'exploitation des données enregistrées	1024
2.3.4. Choix d'un logiciel de GMAO	1024
2.3.5. Mise en œuvre de la GMAO	1024
2.4. Traitement des données de maintenance, optimisation des actions	1025
2.4.1. Coûts de maintenance	1025
2.4.2. Fiabilité	1026
2.4.3. Taux de défaillance	1026
2.4.4. Statistiques	1027

2.5.	Techniques d'analyse de la fiabilité	1027
2.5.1.	Généralités	1027
2.5.2.	AMDEC	1027
2.5.3.	MBF	1028
2.6.	Techniques de maintenance préventive	1029
2.6.1.	Généralités	1029
2.6.2.	Maintenance préventive systématique	1030
2.6.3.	Maintenance prédictive	1031
2.6.4.	Remplacement anticipé d'équipements ou sous-ensembles	1032
2.6.5.	Organisation du calendrier des interventions	1032
2.7.	Gestion des matières consommables, pièces de rechange, magasins, stocks	1033
2.7.1.	Généralités, nécessité des stocks	1033
2.7.2.	Matériel de secours immédiat (MSI)	1034
2.8.	Les contrats de sous-traitance	1035
2.8.1.	L'inventaire	1035
2.8.2.	Règles de l'appel d'offres	1036
2.8.3.	Les clauses techniques	1036
2.8.4.	Articles concernant les clauses juridiques et financières	1037
2.9.	Financement de la maintenance	1038
2.9.1.	Généralités	1038
2.9.2.	Ratios estimatifs des coûts d'entretien (maintenance préventive et corrective)	1039
2.9.3.	Ratios estimatifs des besoins de financement pour le renouvellement	1040
2.9.4.	Constitution du budget de maintenance	1041
2.10.	Politique de qualité en matière de maintenance	1042
3.	Management général d'un organisme gestionnaire de périmètre irrigué (<i>Jean-Pierre Nicol</i>)	1043
3.1.	Missions de l'organisme de gestion de périmètre irrigué	1043
3.1.1.	Fonctions à assurer pour la bonne marche du périmètre	1043
3.1.2.	Répartition des fonctions entre les acteurs	1045
3.1.3.	Évolution dans le temps de l'organisation	1048
3.2.	Cadre institutionnel et juridique	1049
3.2.1.	Cadre juridique	1049
3.2.2.	Relations de l'organisme de gestion avec l'État	1050
3.2.3.	Relations de l'organisme de gestion avec les irrigants	1052
3.3.	Équilibre financier de l'organisme de gestion	1055
3.3.1.	Macroéconomie, microéconomie	1055
3.3.2.	Déficits intercalaires	1056
3.3.3.	Prix de l'eau	1057
3.3.4.	Financement de la maintenance, du gros entretien et du renouvellement	1058
3.4.	Principes d'organisation des services de l'organisme de gestion	1060
3.4.1.	Critères de regroupement	1060
3.4.2.	Responsabilité de gestion	1061
3.4.3.	Mise en œuvre de l'organisation	1061
4.	Le partenariat public-privé en irrigation-drainage (<i>Bernard Préfol</i>)	1062
4.1.	Contexte	1062

4.2. Cadre analytique	1063
4.3. Enseignements du secteur AEP	1065
4.4. Émergence du PPP en irrigation-drainage	1067
4.5. Conclusions et recommandations	1069
Annexe 1 : Rappel historique des évolutions institutionnelles du secteur I & D	1072
Annexe 2 : Principales caractéristiques étudiées	1074
Annexe 3 : Trois exemples de présentation schématique du PPP en I & D	1076

Chapitre 12

Gestion de l'eau pour l'irrigation	1079
1. Principes et pratiques de la distribution de l'eau dans les systèmes gravitaires (<i>Luc Gilot et Thierry Ruf</i>)	1079
1.1. Les contraintes de la distribution	1080
1.1.1. Contraintes à l'échelle de la parcelle	1081
1.1.2. Contraintes techniques à l'échelle du réseau	1082
1.1.3. Contraintes de la rareté relative de l'eau	1082
1.1.4. Contraintes sociales	1083
1.2. Les trois modes génériques de distribution de l'eau	1083
1.2.1. Distributions rigides	1083
1.2.2. Distribution par gestion centrale	1085
1.2.3. Distribution à la demande	1086
1.3. Modalités formelles d'assouplissement du tour d'eau	1086
1.3.1. Rotations modulées	1086
1.3.2. Rotations souples	1087
1.3.3. Distribution arrangée	1087
1.4. Le paramétrage des modes de distribution	1088
1.4.1. Allocation des volumes d'eau aux parcelles, notion de droit d'eau	1088
1.4.2. Choix de l'ordre des arrosages (en distribution au tour d'eau)	1091
1.4.3. Divers éléments d'assouplissement	1092
1.5. La distribution entre groupes d'utilisation	1094
1.6. La distribution dans la pratique	1095
1.6.1. Facteurs hydrauliques : des débits livrés aléatoires	1095
1.6.2. Facteurs humains : stratégies et tactiques agricoles	1096
1.7. Évolution des systèmes irrigués au cours du temps	1098
1.8. Conclusion	1099
2. Gestion de la demande en eau dans un contexte de ressource limitée (<i>Patrick Hurand et Henri Tardieu</i>)	1100
2.1. Recherche de l'équilibre à long terme	1101
2.1.1. L'approche économique de l'équilibre à long terme	1101
2.1.2. La confrontation « demande-ressource » : le schéma d'aménagement	1104
2.2. Recherche de l'équilibre à moyen et court terme : la gestion opérationnelle	1111
2.2.1. Justification économique d'une gestion à plusieurs pas de temps	1112
2.2.2. La concertation entre usagers : pas de temps annuel	1114
2.2.3. La gestion stratégique ou gestion au pas de temps hebdomadaire	1115
2.2.4. La gestion au pas de temps horaire	1116
2.3. Conclusion	1119

3. Gestion de l'irrigation au niveau de l'exploitation agricole (<i>Jean-Marc Deumier, Pascal Leroy, Claude Jacquin, Bernard Balas, Alain Bouthier, Bernard Lacroix et Jacques-Éric Bergez</i>)	1120
3.1. Les questions des agriculteurs	1121
3.1.1. Les décisions stratégiques	1122
3.1.2. Les décisions tactiques	1123
3.2. « L'approche exploitation » : une démarche à privilégier dans le conseil en irrigation	1124
3.3. La mise au point d'une méthode de diagnostic de la gestion de l'irrigation à l'échelle de l'exploitation agricole	1124
3.3.1. La capacité d'arrosage et l'offre hydrique pour les plantes	1124
3.3.2. Le schéma de diagnostic	1125
3.4. Des outils pour une meilleure gestion des systèmes irrigués	1128
3.4.1. Le logiciel LORA : raisonner l'assolement sur le périmètre irrigable	1128
3.4.2. IRMA – MODERATO : réflexion sur un programme prévisionnel d'arrosage	1129
3.4.3. IRRINOV® : un outil de pilotage des irrigations	1133
3.5. Conclusion	1136
4. Télédétection appliquée au suivi et au pilotage de l'irrigation (<i>Alain Vidal</i>)	1137
4.1. Température de surface et évapotranspiration	1138
4.2. Sources d'images satellitaires infrarouge thermique	1138
4.3. Exemples d'application	1139
4.3.1. Estimation des besoins en eau des cultures	1139
4.3.2. Pilotage des irrigations	1140
4.3.3. Vers une utilisation opérationnelle et commerciale	1143

Sixième partie

Démarches générales

Introduction	1151
---------------------	------

Chapitre 13

Démarches générales	1153
1. Démarche générale proposée pour la conception ou la réhabilitation d'un projet d'irrigation (<i>François Gadelle</i>)	1153
1.1. Contexte général	1153
1.1.1. L'eau dans le contexte d'une gestion globale	1153
1.1.2. L'adaptation des techniques au contexte local	1154
1.1.3. La prise en compte des contraintes environnementales et sociales	1154
1.1.4. La participation des bénéficiaires	1154
1.1.5. Buts de l'exposé	1155
1.2. Revue du secteur de l'irrigation et formulation d'une stratégie	1156
1.2.1. Revue du secteur de l'irrigation	1156
1.2.2. Élaboration d'une stratégie	1158
1.3. Conceptualisation et comparaison des différentes options	1159

1.3.1. Examen des données existantes	1159
1.3.2. Reconnaissance sur le terrain	1160
1.3.3. Études techniques	1161
1.3.4. Étude économique	1161
1.3.5. Évaluation préliminaire de la capacité institutionnelle	1161
1.3.6. Étude préliminaire finale	1162
1.4. Étude de faisabilité	1162
1.4.1. Les différentes approches de l'étude de faisabilité	1162
1.4.2. Le contenu de l'étude de faisabilité	1163
1.4.3. Programme de mise en œuvre	1164
1.4.4. Parvenir à un consensus sur la proposition de projet	1165
2. Durabilité socio-économique des services d'irrigation (<i>Henri Tardieu</i>)	1165
Conclusion et propositions pour le dialogue	1173
Annexe 1 : Contenu d'un dossier type de projet d'irrigation	1174
Annexe 2 : Actions à exécuter et niveau de détail demandé aux étapes successives du projet d'étude	1175
Annexe 3 : Définition des principaux concepts	1181
Bibliographie générale	1189
Index	1251