

Table des matières

Avant-propos		3
Introduction	Le cycle de l'eau et la notion de bilans en hydrologie	5
	Le cycle de l'eau et les principes de calcul du bilan en hydrologie	5
	<i>Le cycle de l'eau</i>	5
	<i>Les principes de calcul du bilan en hydrologie</i>	7
	L'échelle d'espace des bilans hydrologiques : le bassin versant	9
	L'échelle de temps des calculs de bilans : le déroulement de l'année hydrologique	10
	<i>Choix d'une échelle de temps</i>	10
	<i>L'hiver hydrologique</i>	12
	<i>L'été hydrologique</i>	12
	Le bilan hydrologique, outil pour l'étude des fonctionnements hydrologiques	13
	<i>Intérêt de la méthode</i>	13
	<i>Bassins représentatifs, bassins expérimentaux</i>	14
	<i>Problèmes et limites des méthodes de bilans</i>	17
	Conclusion	17
	Bibliographie	18

PREMIÈRE PARTIE

LA PHASE AÉRIENNE DU CYCLE DE L'EAU 19

Chapitre 1	Les précipitations	21
	Introduction et définitions	21
	Origines et caractéristiques des précipitations	22
	<i>Mécanismes de genèse des précipitations</i>	22
	<i>Les différents types de précipitations</i>	25
	<i>Importance du type de précipitations dans les études hydrologiques</i>	28
	L'inégale répartition des précipitations dans l'espace et dans le temps	30
	<i>Inégale répartition dans l'espace</i>	30
	<i>Inégale répartition des pluies dans le temps</i>	33
	La mesure de la hauteur d'eau précipitée	35
	<i>Les pluviomètres : problèmes de captation</i>	36
	<i>Pluviographes</i>	37

	<i>Pluie « météorologique » et pluie « hydrologique »</i>	41
	<i>La mesure des phénomènes extrêmes</i>	41
	Pluie maximale probable	42
	Estimation de la pluie régionale	45
	<i>Mise au point d'un réseau de pluviomètres</i>	45
	<i>Intégration spatiale des données ponctuelles</i>	46
	<i>Mesures radar ou satellitaires</i>	49
	Analyses statistiques des données de précipitations	52
	<i>Contrôle et homogénéisation des données pluviométriques :</i>	
	<i>méthode des doubles cumuls</i>	52
	<i>Étude fréquentielle des pluies</i>	53
	La neige	58
	<i>Hauteur de neige</i>	58
	<i>Fonte de la neige</i>	59
	Conclusion	60
	Bibliographie	60
Chapitre 2	L'interception	64
	Introduction et définitions	64
	Les pertes résultant de l'interception	65
	<i>Facteurs liés à la végétation</i>	66
	<i>Facteurs météorologiques</i>	67
	Mesures et modélisation de l'interception	70
	<i>Mesures directes</i>	70
	<i>Méthodes indirectes</i>	72
	<i>Modélisation de l'interception</i>	73
	Les résultats des mesures : valeurs de l'interception pour différents types de couverts	76
	<i>Interception par la végétation forestière</i>	77
	<i>Interception des pelouses et des landes</i>	81
	<i>Interception des plantes cultivées</i>	81
	<i>Interception des zones urbanisées</i>	82
	<i>Interception de la neige</i>	82
	L'interception « horizontale » : brouillards et rosée	84
	<i>Les brouillards</i>	84
	<i>La rosée</i>	86
	Le rôle de l'interception dans le fonctionnement hydrologique des bassins versants	87
	<i>Modification de la répartition spatiale des précipitations et de l'impact des gouttes de pluie</i>	87
	<i>Conséquences de l'interception sur les bilans hydrologiques</i>	88
	<i>D'où vient l'énergie ?</i>	91
	<i>Interception et modification du bilan hydrologique</i>	92
	Conclusion	93
	Bibliographie	94

Chapitre 3	Évaporation et évapotranspiration	99
	Introduction et définitions	99
	Les processus physiques de l'évaporation	100
	<i>L'évaporation a besoin d'énergie</i>	100
	<i>Pression partielle et pression de vapeur saturante</i>	101
	<i>Déficit de saturation et humidité relative</i>	103
	L'évaporation à partir d'une nappe d'eau libre	104
	<i>Facteurs météorologiques</i>	105
	<i>Facteurs liés aux caractéristiques physiques</i>	
	<i>de la masse d'eau considérée</i>	107
	<i>Le cas de la neige (sublimation)</i>	109
	L'évaporation à partir d'un sol nu	110
	<i>Importance de la teneur en eau du sol</i>	110
	<i>Capillarité</i>	111
	<i>Couleur du sol et albédo</i>	112
	L'évaporation à partir d'un sol couvert de végétation	112
	<i>Processus physiques de la transpiration végétale</i>	113
	<i>Évapotranspiration, évapotranspiration potentielle,</i>	
	<i>évapotranspiration réelle et évapotranspiration maximum</i>	116
	<i>Facteurs intervenant dans l'évapotranspiration</i>	
	<i>d'un sol couvert par la végétation</i>	119
	Mesures et modélisation de l'évapotranspiration	125
	<i>Mesures de l'Etp</i>	125
	<i>Modélisation et calcul de l'Etp</i>	126
	<i>Mesures de l'Etr</i>	133
	<i>Du calcul de l'Etp à l'estimation de l'Etr</i>	137
	Différentes valeurs de l'évaporation et de l'évapotranspiration	140
	<i>Différentes valeurs de l'évaporation d'une nappe d'eau libre ; Etp</i>	140
	<i>Différentes valeurs de l'évaporation d'un sol nu</i>	141
	<i>Différentes valeurs de l'évapotranspiration d'un sol végétalisé ; Etr</i>	142
	Conclusion	145
	Bibliographie	146

DEUXIÈME PARTIE

LA PHASE SOUTERRAINE DU CYCLE DE L'EAU 149

Chapitre 4	L'eau du sol	153
	Introduction	153
	L'eau et le sol	154
	<i>Les différents types de liaisons entre l'eau et le sol</i>	156
	<i>Les forces de rétention de l'eau dans le sol</i>	158
	« Courbes caractéristiques » et hystérésis	160
	<i>Valeurs caractéristiques et réserve hydrique</i>	162

Bases théoriques de la circulation de l'eau dans le sol	167
<i>Potentiel hydrique total et état énergétique de l'eau dans le sol</i>	167
<i>Principes généraux de la circulation de l'eau dans les sols non saturés</i>	169
<i>Perméabilité et conductivité hydraulique</i>	171
Circulation de l'eau dans les sols et reconstitution des réserves en milieu « naturel »	173
<i>Capacité d'infiltration ou « infiltrabilité »</i>	173
<i>Circulation de l'eau en milieu naturel pendant la phase d'infiltration</i>	174
<i>Rythme annuel de la réserve hydrique</i>	178
Mesures de la teneur en eau d'un sol	183
<i>Mesures stationnelles</i>	183
<i>Mesures globales à distance : radar et images satellitales</i>	191
<i>Conclusion</i>	193
Conclusion	193
Bibliographie	195
Chapitre 5	
L'eau des nappes	197
Introduction	197
Les différents types de nappes	199
<i>Aquifères, aquitards et aquicludes</i>	199
<i>Nappes libres et nappes captives</i>	200
L'emmagasinement de l'eau dans les nappes	205
<i>Porosité, porosité de drainage et coefficient d'emmagasinement</i>	205
<i>Différences de comportement des nappes libres et captives</i>	209
<i>Bilan de nappe</i>	212
Écoulement des nappes	224
<i>La loi de Darcy, expression des conditions d'écoulement dans la nappe</i>	225
<i>La conductivité hydraulique à saturation</i>	227
<i>Les écoulements des nappes vers les cours d'eau. Loi de Maillet</i>	229
Conclusion	231
Bibliographie	232

TROISIÈME PARTIE

TRANSFERTS À L'ÉCHELLE DES VERSANTS ET DU BASSIN VERSANT

235

Chapitre 6	
De l'eau qui tombe à l'eau qui s'écoule	237
Introduction et définitions	237
Historique des idées concernant la genèse des crues	240
Principaux facteurs responsables du ruissellement	244
<i>Ruissellement à partir de sols non saturés : ruissellement « hortontien » et états de surface</i>	245

	<i>Ruissellement à partir de sols saturés : le concept d'« aires contributives saturées »</i>	253
	Du ruissellement sur les versants aux écoulements de crue : complexité du fonctionnement à l'échelle du bassin versant	259
	<i>Relations entre ruissellements et écoulements rapides</i>	259
	<i>Complexité du fonctionnement à l'échelle du bassin versant</i>	266
	Importance de l'identification des processus	271
	<i>Pour la prévision et la prévention des crues</i>	271
	<i>Pour l'étude des conséquences des activités humaines</i>	273
	Conclusion	273
	Bibliographie	274
Chapitre 7	Mesures et modélisation des écoulements	279
	Introduction	279
	La mesure des écoulements dans les cours d'eau	279
	<i>La station de jaugeage</i>	279
	<i>La mesure des débits instantanés : les jaugeages</i>	285
	<i>Relation hauteur / débit : la courbe de tarage</i>	289
	<i>Le suivi des hauteurs d'eau</i>	291
	<i>Transfert, dépouillement et contrôle des données</i>	294
	<i>Estimation des débits en l'absence de mesures</i>	296
	Conclusion	297
	Modélisation des relations pluies-débits	297
	<i>Introduction : Intérêt et limites de la modélisation en hydrologie</i>	297
	<i>Différents types de modèles en hydrologie</i>	299
	<i>Les modèles GR</i>	301
	<i>« TopModel »</i>	306
	<i>Modèle « conceptuellement réaliste »</i>	309
	<i>Un exemple d'utilisation des modèles : simulation des conséquences hydrologiques des actions anthropiques</i>	313
	Conclusion	316
	Bibliographie	317

QUATRIÈME PARTIE

CONSÉQUENCES DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR LE CYCLE DE L'EAU

323

Chapitre 8	Barrages réservoirs et grands aménagements hydrauliques	325
	Barrages réservoirs	325
	<i>Modifications des rythmes de débits</i>	328
	<i>Modifications des bilans d'écoulement annuel</i>	335

	<i>Transferts à l'échelle continentale ; le projet Sibaral</i>	337
	<i>Conflits d'intérêts et problèmes frontaliers</i>	339
	<i>Transfert des eaux du Rhône pour alimenter Barcelone</i>	342
	Les transferts d'eau virtuelle, une solution au moins partielle ?	342
	Conclusion	343
	Bibliographie	344
Chapitre 9	Conséquences sur le cycle de l'eau des changements d'usages dans l'espace du bassin versant	
	Introduction	346
	Urbanisation et endiguement des berges	347
	<i>Urbanisation</i>	347
	<i>Endiguements</i>	349
	<i>Conclusion</i>	351
	Modifications des pratiques agricoles	351
	<i>Intensification des systèmes de production</i>	351
	<i>Déprise agricole</i>	354
	<i>Pratiques et aménagements anti-érosifs</i>	354
	Irrigation	356
	<i>Importance des prélèvements</i>	356
	<i>Les différents systèmes d'irrigation</i>	359
	<i>Conséquences sur les écoulements</i>	361
	<i>Salinisation des sols</i>	366
	Drainage agricole	366
	<i>Introduction</i>	366
	<i>Considérations théoriques</i>	367
	<i>Conséquences à l'échelle de la parcelle</i>	368
	<i>À l'échelle du bassin : importance des travaux d'assainissement agricole</i>	372
	<i>Le cas particulier des sols tourbeux</i>	372
	<i>Conclusion</i>	375
	Conclusion	376
	Bibliographie	376
Chapitre 10	Rôle hydrologique de la végétation : boisement, déboisement	
	Introduction	382
	Conséquences de la forêt sur l'abondance des écoulements	384
	<i>État des connaissances</i>	385
	<i>La difficile démarche expérimentale</i>	386
	<i>Comment la forêt intervient sur le cycle de l'eau ?</i>	390
	<i>La forêt réduit l'écoulement annuel : valeurs proposées par la littérature</i>	399

Conséquences de la forêt sur les rythmes d'écoulement	402
<i>Sur les crues</i>	402
<i>La forêt, soutien d'étiage ?</i>	410
Conclusion	412
Bibliographie	413

Conclusion de la quatrième partie	422
-----------------------------------	-----

Conclusion générale	423
---------------------	-----

Table des figures	425
-------------------	-----

Table des tableaux	430
--------------------	-----

Index	431
-------	-----