

Liste des figures

1	Pancho Villa sur son fameux "Siete Leguas"	3
2	Maïs cultivé et maïs sauvage téosinte	5
3	Carte de la zone d'étude	11
4	Analyse fréquentielle des pluies	13
5	Température mensuelle régionale	14
6	Demande évaporative mensuelle sur bac	15
7	Évapotranspiration potentielle journalière de Penman à la Tinaja en 1997	15
8	Le semis direct avec traction animale	17
1.1	Le paillis de résidus	26
1.2	Les éléments fins provenant de la dégradation d'un paillis ancien sur PE 1.5 t/ha	27
1.3	Courbes de rétention de résidus végétaux obtenues par divers auteurs	31
1.4	Lame d'eau de pluie interceptée par un paillis en fonction de sa biomasse	33
1.5	Taux de couverture et taux d'interception du PAR pour différents paillis	39
1.6	Relation entre vitesse du vent dans l'atmosphère et dans le paillis	50
1.7	Flux de chaleur sensible dans le paillis au cours d'une journée	52
1.8	Flux de chaleur latente dans le paillis au cours d'une journée	53
1.9	Formation d'une croûte sur sol travaillé non paillé et protection du sol non travaillé paillé	57
1.10	Relation générale entre coefficient de frottement et nombre de Reynolds pour un sol couvert	64
1.11	Transformations de l'azote dans le système sol-paillis-atmosphère	71
2.1	Principaux phénomènes physiques traduisant les effets du paillis de résidus	83
2.2	Dispositif expérimental de la Tinaja	85
3.1	Description schématique du modèle mécaniste TEC	93
3.2	Relation entre coefficient d'échange convectif et vitesse du vent dans l'atmosphère	97

3.3	Photo des parcelles d'évaporation	102
3.4	Schéma des parcelles d'évaporation	102
3.5	Courbes de rétention des horizons des parcelles d'évaporation	104
3.6	Courbes de conductivité hydraulique des horizons des parcelles d'évaporation	105
3.7	Courbe d'albédo du sol des parcelles d'évaporation	108
3.8	Photo des paillis reconstitués, biomasses 1,5, 4,5 et 15 tonnes par hectare	110
3.9	Estimation de la courbe de rétention du paillis	112
3.10	Réflectance des éléments du paillis	114
3.11	Schéma d'instrumentation des parcelles d'évaporation	118
3.12	Schéma de l'instrumentation des pailles de PEv15	120
3.13	Mesure capacitive de l'humidité dans le sol des parcelles d'évaporation	122
3.14	Mesure des températures dans le sol des parcelles d'évaporation	124
3.15	Mesure des températures dans les éléments du paillis et le sol, PEv15	125
3.16	Mesure des flux de chaleur dans le sol des parcelles d'évaporation à 2 cm	126
3.17	Mesure des écarts de flux de chaleur dans le sol des parcelles d'évaporation à 2 cm	127
3.18	Efficience de TEC avant le calage de la conductivité thermique	131
3.19	Efficience de TEC après le calage de la conductivité thermique	133
3.20	Résultats du calage de TEC sur les humidités de deux épisodes	134
3.21	Résultats du calage de TEC sur les températures de deux épisodes	135
3.22	Résultats du calage de TEC sur le flux de chaleur dans le sol à 2 cm, pour deux épisodes	136
3.23	Résultats du calage de TEC sur la conductivité hydraulique de surface	136
3.24	Comparaison des observations et simulations après calage de TEC-paillis (étape 1)	141
3.25	Comparaison des observations et simulations après calage de TEC-paillis (étape 2)	142
3.26	Comparaison des observations et simulations après calage de TEC-paillis (étape 3)	144
3.27	Validation du modèle TEC-paillis (humidité)	146
3.28	Validation du modèle TEC-paillis (température et flux de chaleur)	148
3.29	Optimisation de β_p sur PEv1.5 et PEv4.5	151
3.30	Relation entre taux de couverture du paillis et coefficient β_p	151
3.31	Résultats du <i>modèle composite</i> sur PEv1.5	153
3.32	Résultats du <i>modèle composite</i> sur PEv4.5	155
3.33	Relation entre taux de couverture du paillis et réduction de l'évaporation	157

4.1	Protocole de la méthode <i>Beer-Kan</i>	162
4.2	Procédure de détermination des paramètres α_I et α_t par ajustement non linéaire	166
4.3	Représentation schématique de l'infiltration dans un sol croûté	168
4.4	Photos des quatre parcelles d'essais	169
4.5	Schéma du dispositif en croix adopté pour les essais d'infiltration à 0 et 2 cm	171
4.6	Courbes granulométriques des sols des quatre parcelles d'essais	175
4.7	Courbes d'infiltration cumulée dans les sols des quatre parcelles d'essais	179
4.8	Paramètre de texture mn des sols des quatre parcelles d'essais	182
4.9	Conductivité hydraulique K_s des sols des quatre parcelles d'essais	185
4.10	Humidité volumique à saturation θ_s des sols des quatre parcelles d'essais	185
4.11	Potentiel de référence de Van Genuchten ψ_g des sols des quatre parcelles d'essais	186
4.12	Sorptivité intrinsèque $S_1(\theta_s, 0)$ des sols des quatre parcelles d'essais	186
5.1	Schéma conceptuel du modèle DPFT	194
5.2	Observation de la tortuosité des trajectoires d'écoulement sur PR 0 et PR 4.5P	198
5.3	Notion de tortuosité et de pente effective de l'écoulement	199
5.4	Observation de la canalisation de l'écoulement et du frottement sur les pailles	200
5.5	Schématisation du processus de canalisation du ruissellement	200
5.6	Photos des parcelles de ruissellement	203
5.7	Évolution de la capacité maximale de rétention des paillis des PR	205
5.8	Schéma d'instrumentation des parcelles de ruissellement	210
5.9	Tortuosité et pente effective des trajectoires d'écoulement sur les PR	211
5.10	Vitesse d'écoulement et coefficient de frottement sur les PR	212
5.11	Relation entre pluie et ruissellement des 4 PR pour 21 épisodes	216
5.12	Coefficients de ruissellement des quatre parcelles de ruissellement pour 21 épisodes	216
5.13	Hydrogrammes de ruissellement des quatre PR pour deux épisodes pluvieux	217
5.14	Comparaison entre ruissellement DPFT et ruissellement mesuré	220
5.15	Hydrogrammes unitaires des quatre parcelles de ruissellement	220
5.16	Efficience en débit du modèle mixte pour chaque parcelle de ruissellement	223
5.17	Comparaison entre ruissellements du modèle mixte et mesuré (calage)	224
5.18	Efficience en débit du modèle physique pour chaque parcelle de ruissellement	226
5.19	Comparaison entre ruissellements du modèle physique et mesuré (calage)	227

5.20	Estimation des cumuls ruisselés par la mesure et la modélisation (calage)	227
5.21	Intensités de ruissellement mesurés et simulés par DPFT et par modèle physique (calage)	229
5.22	Volumes de ruissellement mesurés et simulés par DPFT et par modèle physique (calage)	230
5.23	Simulation des variables connexes au ruissellement par le modèle physique (épisode 5c)	232
5.24	Comparaison entre ruissellements du modèle physique et mesuré (validation)	233
5.25	Estimation des cumuls ruisselés par la mesure et la modélisation (validation)	234
5.26	Intensités de ruissellement mesurés et simulés par DPFT et modèle physique (validation)	236
5.27	Volumes de ruissellement mesurés et simulés par DPFT et modèle physique (validation) .	237
6.1	Description du modèle PASTIS et des interactions entre modules	246
6.2	Profils de densités radiculaires des cultures des quatre parcelles d'essais	260
6.3	Courbes de rétention des différents horizons des parcelles d'essais	263
6.4	Courbes de conductivité hydraulique des différents horizons des parcelles d'essais	264
6.5	Profils de matière organique et rapport C/N des sols des quatre parcelles d'essais	266
6.6	Estimation des teneurs en azote minéral des quatre parcelles d'essais en début de cycle .	267
6.7	Constantes de minéralisation mesurées en laboratoire pour les sols des quatre PE	268
6.8	Indices foliaires des cultures des quatre parcelles d'essais	269
6.9	Estimation de l'évapotranspiration potentielle de Penman à la Tinaja	272
6.10	Mesure d'humidité par gravimétrie dans les quatre parcelles d'essais	274
6.11	Mesures de température dans les parcelles d'essais	275
6.12	Conductivité hydraulique des horizons de surface des parcelles d'essais après calage . .	280
6.13	Comparaison des humidités simulées et mesurées pour le cycle de culture (PE 0)	285
6.14	Comparaison des humidités simulées et mesurées pour le cycle de culture (PE Trad) . . .	286
6.15	Comparaison des humidités simulées et mesurées pour le cycle de culture (PE 1.5) . . .	287
6.16	Comparaison des humidités simulées et mesurées pour le cycle de culture (PE 4.5) . . .	288
6.17	Simulation de l'interception de la pluie et du ruissellement sur les quatre PE	290
6.18	Évolution du réservoir d'eau culture des quatre parcelles d'essais	291
6.19	Évolution du réservoir d'eau paillis de PE 1.5 et PE 4.5	292
6.20	Simulation des lames d'évaporation, de transpiration et de drainage des quatre PE	293
6.21	Simulation des flux d'évaporation de transpiration et de drainage des quatre PE	295
6.22	Comparaison des températures du sol simulées et mesurées (PE 0 et PE Trad)	297
6.23	Comparaison des températures du sol simulées et mesurées (PE 1.5 et PE 4.5)	298

6.24	Comparaison des températures du paillis simulées et mesurées (PE 1.5 et PE 4.5)	299
6.25	Flux cumulés d'azote minéral dans le sol des parcelles d'essais	301
6.26	Stress hydriques et azoté simulés pour les quatre parcelles d'essais	303
6.27	Simulation et mesure de l'alimentation de la culture des quatre PE en azote	304
6.28	Simulation et mesure de l'indice foliaire de la culture des quatre parcelles d'essais	305
6.29	Simulation et mesure de la densité racinaire de la culture des quatre parcelles d'essais	306
6.30	Simulation et mesure de la matière sèche de la culture des quatre parcelles d'essais	307
6.31	Comparaison des interceptions simulées de la pluie pour les quatre parcelles d'essais	308
6.32	Comparaison des infiltrations simulées pour les quatre parcelles d'essais	309
6.33	Comparaison des ruissellements des quatre PE simulés de trois façons différentes	310
6.34	Estimation de l'effet du paillis sur l'évaporation du sol (PE 1.5 et PE 4.5)	311
6.35	Effet du traitement des parcelles d'essais sur les composantes du bilan hydrique	313
6.36	Effet du traitement des parcelles d'essais sur les composantes du bilan azoté	316
A.1	Mesures climatiques au pas de temps 20 minutes (heure initiale 1/6/98 à 0h00) (1/5)	ii
A.2	Mesures climatiques au pas de temps 20 minutes (heure initiale 1/6/98 à 0h00) (2/5)	iii
A.3	Mesures climatiques au pas de temps 20 minutes (heure initiale 1/6/98 à 0h00) (3/5)	iv
A.4	Mesures climatiques au pas de temps 20 minutes (heure initiale 1/6/98 à 0h00) (4/5)	v
A.5	Mesures climatiques au pas de temps 20 minutes (heure initiale 1/6/98 à 0h00) (5/5)	vi
A.6	Mesures de la pluie au pas de temps 20 secondes (heure initiale 1/6/98 à 0h00)	vii
C.1	Comparaison des observations et simulations avant et après calage du modèle TEC	xii
C.2	Qualité de restitution modèle TEC-paillis sur sept épisodes de validation	xiii
C.3	Qualité de restitution <i>modèle composite</i> sur cinq épisodes de simulation de PEv1.5	xiv
C.4	Qualité de restitution <i>modèle composite</i> sur quatre épisodes de simulation de PEv4.5	xv
D.1	Schéma de l'infiltration dans un sol selon Green et Ampt (1911)	xx
D.2	Courbe d'infiltration adimensionnelle et invariante de Green & Ampt	xxiii
F.1	Algorithme du modèle DPFT	xxxiv

