

ÉCOPHYSIOLOGIE DU BLÉ



DE LA PLANTE À LA CULTURE

Philippe Gate

Préface de Tony Fischer

lavoisier
TEC
&
DOC



ITCF
CÉRÉALIERES DE FRANCE

Table des matières

1^{re} Partie

LES STADES DE DÉVELOPPEMENT

RÉSUMÉ	3
<i>Encadré</i> : Technique de dissection pour la détermination des stades phénologiques.....	4
LA LEVÉE	6
1. Description agronomique et caractéristiques.....	6
2. Comment observer ?.....	7
3. Stade phénologique correspondant	9
4. Modélisation (voir deuxième partie, "la modélisation de la phase semis-levée")	10
5. Dates de réalisation et échelles de notation.....	10
STADE 2 - 3 FEUILLES	11
1. Description agronomique et caractéristiques.....	11
2. Comment observer ?.....	11
3. Stade phénologique correspondant	12
4. Modélisation (voir deuxième partie, "l'émission des feuilles")	13
5. Dates de réalisation et échelles de stade.....	13
STADE DÉBUT TALLAGE	14
1. Description agronomique et caractéristiques.....	14
2. Comment observer ?.....	14
3. Stade phénologique correspondant	15
4. Modélisation.....	16
5. Dates de réalisation et échelles de notation.....	16
STADE PLEIN TALLAGE	17
1. Description agronomique et caractéristiques.....	17
2. Comment observer ?.....	18

3. Stade phénologique correspondant	19
4. Modélisation (voir deuxième partie, "l'émission des talles")	20
5. Dates de réalisation et échelles de notation.....	21
STADE ÉPI À 1 CM	22
1. Description agronomique et caractéristiques.....	23
2. Comment observer ?.....	25
3. Stades phénologiques correspondant à la 1 ^{re} phase de la montaison	25
4. Modélisation (deuxième partie, "la modélisation du stade épi à 1 cm")	29
5. Dates moyennes de réalisation du stade et échelles de notation	29
STADE 1 - 2 NŒUDS	30
1. Description agronomique et caractéristiques.....	30
2. Comment observer ?.....	30
3. Modélisation	32
4. Stade phénologique correspondant (voir "stade épi à 1 cm")	32
5. Dates de réalisation du stade et échelle de notation.....	32
STADE MÉIOSE POLLINIQUE	33
1. Description agronomique et caractéristiques.....	33
2. Comment observer ?.....	34
3. Stades phénologiques correspondant	34
4. Modélisation (voir deuxième partie, "la modélisation du stade méiose")	37
5. Dates de réalisation du stade et échelles de notation	37
<i>Encadré</i> : La méiose : un événement capital.....	38
STADE ÉPIAISON	40
1. Description agronomique et caractéristiques.....	40
2. Comment observer ?.....	41
3. Stade phénologique correspondant	41
4. Modélisation (voir deuxième partie, "la modélisation du stade épiaison")	42
5. Dates moyennes de réalisation et échelle de notation	42
STADE FLORAISON	43
1. Description agronomique et caractéristiques.....	43
2. Comment observer ?.....	43
3. Stades phénologiques correspondant	44
4. Modélisation.....	45
5. Dates de réalisation et échelles de notation.....	45
<i>Encadré</i> : La fécondation au niveau cellulaire	45
LA FORMATION DU GRAIN	46
1. Description agronomique et caractéristiques.....	46
2. Comment observer ?.....	48
3. Modélisation (voir deuxième partie, "la modélisation des étapes du remplissage du grain")	50
4. Dates de réalisation du stade et échelles de notation	50

2^e Partie

LA MODÉLISATION DU DÉVELOPPEMENT

LES MODÈLES DE DÉVELOPPEMENT	55
NOTIONS DE BASE SUR LA MODÉLISATION	56
1. Qu'est-ce-qu'un modèle ?.....	56
2. Les différents types de modèles	57
2.1. Les modèles strictement statistiques	57
2.2. Les modèles mécanistes.....	57
3. Les différentes étapes dans la construction d'un modèle.....	58
4. Quelques précautions au moment de la construction.....	59
5. Faire de la prévision en écophysiologie.....	60
LA MODÉLISATION DES PHASES DE DÉVELOPPEMENT	63
1. Notions de base	63
1.1. Les stades faisant appel à la morphogénèse de l'épi	63
1.2. Les stades faisant appel à la différenciation de la zone située sous l'épi.....	64
1.3. Les stades résultant essentiellement de phénomènes de croissance	65
2. Le mode d'action des facteurs sur les phases de développement.....	65
2.1. Les étapes seulement déterminées par la température	65
2.2. Les étapes déterminées par des facteurs supplémentaires.....	67
LA MODÉLISATION DE LA PHASE SEMIS-LEVÉE	72
L'ÉMISSION DES FEUILLES	76
1. Notions de plastochrone et de phyllochrone.....	76
2. Les rythmes d'émission des feuilles	77
2.1. Expression et constance des rythmes.....	77
2.2. Origine de la constance et de la variation des rythmes.....	80
2.3. Les facteurs capables de modifier le rythme initial	82
2.4. Le phyllochrone dépend-il de la variété ?	87
2.5. Comment estimer le phyllotherme sans le mesurer ?	87
<i>Encadré</i> : Ce qu'il faut retenir.....	88
L'ÉMISSION DES TALLES	89
L'ÉMISSION DES RACINES	91
1. L'apparition des racines	91
<i>Encadré</i> : Rappel sur la morphologie et la morphogénèse des racines chez les graminées	94
2. La variation de l'émission des racines	95
3. Le nombre de racines nodales primaires comme indicateur du tallage-épis	95
<i>Encadré</i> : Le profil ou cartographie in situ du système racinaire	96
4. La cinétique de progression du front racinaire.....	96
<i>Encadré</i> : L'utilisation de l'endoscopie pour suivre l'évolution de la profondeur d'enracinement.....	98
5. Vers une modélisation de la cinétique d'enracinement.....	98

COMMENT VARIE LA DURÉE DE VERNALISATION EN FONCTION DES RÉGIONS CLIMATIQUES	101
RÉPERCUSSION DE LA DURÉE DE VERNALISATION ET DU PHYLLOTHERME SUR LA DURÉE DE CERTAINES ÉTAPES.....	104
COMMENT APPRÉCIER LES BESOINS EN VERNALISATION ET EN DURÉE DU JOUR EN CONDITIONS NATURELLES	108
LA MODÉLISATION DU STADE ÉPI À 1 CM.....	112
1. Intérêts	112
2. Les relations entre l'élongation de la tige et la différenciation florale de l'épi	113
3. Le domaine de variation de la date du stade épi à 1 cm	115
3.1. La variété	115
3.2. Le milieu	116
3.3. Les techniques culturales	116
3.4. Remarques	118
4. Les modèles existants	119
4.1. Les modèles basés sur les besoins en températures	119
4.2. Modèle mécaniste.....	124
<i>Encadré</i> : Ce qu'il faut retenir.....	130
LA MODÉLISATION DU STADE MÉIOSE.....	131
1. Intérêts	131
2. Le domaine de variation du stade méiose	131
3. L'action de la température	132
<i>Encadré</i> : Ce qu'il faut retenir.....	135
LA MODÉLISATION DU STADE ÉPIAISON	136
1. Intérêts	136
2. La variation de la date d'épiaison.....	136
3. Les modèles existants	138
3.1. Les modèles basés sur les besoins en température.....	138
3.2. Modèles faisant intervenir la température et la durée du jour..	140
<i>Encadré</i> : Ce qu'il faut retenir.....	146
LA MODÉLISATION DE LA PHASE ÉPIAISON FLORAISON.....	147
1. Recherche des facteurs déterminant la floraison	147
2. Recherche de facteurs prédictifs de la floraison.....	151
LA MODÉLISATION DES ÉTAPES DU REMPLISSAGE DU GRAIN.....	152
1. Intérêts	152
2. La température est le facteur déterminant.....	152
2.1. La fécondation.....	152
2.2. Le stade laiteux	152
2.3. Le stade pâteux	153
2.4. La maturité physiologique	153
<i>Encadré</i> : Ce qu'il faut retenir.....	154

3^e Partie

LES FACTEURS CLIMATIQUES AFFECTANT LA PRODUCTION

INTRODUCTION	157
LES CÉRÉALES ET LE GEL.....	163
1. Le gel pendant la phase semis-levée.....	163
1.1. Les dégâts en culture.....	163
1.2. Quelle décision prendre ?	164
1.3. Eviter le risque	165
2. Le gel pendant la phase de tallage.....	166
2.1. Les dégâts en culture.....	166
2.2. Estimer rapidement les dégâts pour prendre une décision.....	168
2.3. Eviter le risque	168
2.4. Les effets sur la physiologie.....	172
2.5. Agents cryoprotecteurs.....	176
<i>Encadré</i> : L'évaluation de la résistance variétale	177
2.6. Synthèse de protéines spécifiques ?	178
3. Le gel pendant la phase de montaison.....	178
3.1. Les dégâts en culture.....	178
3.2. Le stade épi à 1 cm : limite critique dans le cycle de la plante.....	186
3.3. Eviter le risque	187
LES CÉRÉALES ET LES TEMPÉRATURES BASSES NON GÉLANTES ...	197
1. Le froid à la méiose.....	197
1.1. Les dégâts en culture.....	197
1.2. Le froid : facteur principal inducteur ?	198
1.3. Le froid est-il fréquent à la méiose ?	200
1.4. La variété a un rôle dominant.....	202
2. Les autres effets du froid.....	207
LES CÉRÉALES ET LES EXCÈS THERMIQUES.....	210
1. Excès thermiques et stades sensibles.....	210
1.1. Les excès thermiques à la méiose	210
1.2. Les excès thermiques à la floraison.....	211
2. Températures élevées au cours du cycle.....	211
2.1. Températures élevées et nombre d'épis	212
2.2. Températures élevées et nombre de grains par épi	214
2.3. Températures élevées et poids de 1 000 grains.....	215
LES CÉRÉALES ET LE MANQUE D'EAU	223
1. L'eau dans la plante.....	223
2. Les mécanismes de l'absorption et de la circulation de l'eau dans la plante	223
3. Qu'est ce que la sécheresse pour une plante ?	224
4. Comment mesurer le déficit hydrique ?.....	225
4.1. Par le bilan hydrique.....	225
4.2. Par le statut hydrique de la plante	230
5. Le risque de sécheresse	232
6. Les symptômes sur la plante.....	233
7. Les effets du manque d'eau sur la plante	235
8. Les effets sur la durée des phases du développement.....	236

9. Les effets sur la production de matière sèche.....	237
10. Les effets sur les composantes du rendement	237
10.1. Sur le nombre de plantes/m ² levées.....	237
10.2. Sur le nombre d'épis/m ²	238
10.3. Sur le nombre de grains par épi.....	239
10.4. Sur le poids de 1 000 grains	239
11. Les possibilités de défense de la plante contre la sécheresse	240
11.1. Eviter la sécheresse	240
11.2. Tolérer la sécheresse	240
12. La tolérance à la sécheresse des variétés cultivées en France	241
12.1. Cas du blé tendre.....	241
12.2. Cas du blé dur	252
LES CÉRÉALES ET LES EXCÈS D'EAU	256
1. Les effets sur la plante	256
2. Sensibilité des espèces et des variétés	258
3. Comment comparer les variétés ?.....	259
3.1. Les indicateurs globaux.....	259
3.2. Les indicateurs physiologiques	259
LES CÉRÉALES ET LE DÉFAUT DE RAYONNEMENT	260
1. Effets dépressifs avec limitation de la croissance.....	260
2. Effets dépressifs sur la fertilité pollinique sans affectation de la croissance	263
LES RÉPONSES DES CÉRÉALES AUX PRINCIPALES INTERACTIONS DE FACTEURS CLIMATIQUES	264
1. Le nombre de grains et l'interaction rayonnement x température.....	264
2. Le nombre d'épillets et l'interaction température x durée en jour.....	265
3. Le poids de 1 000 grains et l'interaction température x déficit en eau.....	266
LES CÉRÉALES ET LA VERSE PHYSIOLOGIQUE	269
1. Les facteurs qui prédisposent à la verse.....	269
1.1. Le facteur génétique.....	269
1.2. Les techniques culturales	270
1.3. Les facteurs climatiques	272
2. Les effets de la verse sur le rendement	273
LA GERMINATION SUR PIED	276
1. La dormance facteur principal de la résistance à la germination sur pied.....	277
1.1. Qu'est-ce-que la dormance ?	277
1.2. Relation entre dormance et germination sur pied.....	278
2. Germination sur pied et facteurs génétiques	279
3. Germination sur pied et facteurs climatiques	282
3.1. Le rôle du climat pendant la phase d'induction	283
3.2. Le rôle du climat pendant la phase d'expression	284
4. Germination sur pied et autres facteurs.....	284
5. Prévoir le risque de germination sur pied	284

4^e Partie :LE PRINCIPAL FACTEUR NUTRITIF DONT DÉPENDENT
LA PRODUCTION ET LA QUALITÉ : L'AZOTE

NOTIONS DE BASE	289
L'ABSORPTION ET LA RÉDUCTION DE L'AZOTE CHEZ LES CÉRÉALES	290
NOTIONS DE DOSES UTILES	293
1. Doses optimales pour le rendement des céréales	293
1.1. Des besoins différents entre les espèces	295
1.2. Des besoins différents entre les variétés ?	295
2. Doses optimales pour la croissance des céréales	296
ELABORATION DU RENDEMENT ET INFLUENCE DE LA NUTRITION AZOTÉE	298
ELABORATION DE LA TENEUR EN PROTÉINES DU GRAIN ET INFLUENCE DE LA NUTRITION AZOTÉE	301
1. Les organes sources	301
2. D'où vient la demande ?	304
3. Les formes de stockage et de transport	304
4. La cinétique d'accumulation	304
5. Le rôle de la variété	305
6. La variation de la composition des protéines	308
NÉCESSITÉ DE FRACTIONNER LES DOSES	309
LA FERTILISATION CHEZ LE RIZ	315
FUMURE AZOTÉE ET QUALITÉ DU PRODUIT	317
1. Fertilisation azotée et qualité du blé tendre	320
2. Fertilisation azotée et qualité du blé dur	321
3. Fertilisation azotée et qualité de l'orge de brasserie	322
4. Fertilisation azotée et qualité chez les autres espèces	324
COMMENT AJUSTER L'AZOTE AUX BESOINS DE LA CULTURE	325
APPROCHE COMPLÉMENTAIRE A LA MÉTHODE DU BILAN PRÉVISIONNEL	332
1. Utilisation d'outils en complément de la méthode du bilan prévi- sionnel	335
1.1. Utilisation du test de la teneur en nitrate chez le blé tendre	335
1.2. Utilisation de la courbe critique chez le blé dur	337
LA DÉTERMINATION DE L'OBJECTIF DE RENDEMENT	339
1. Connaître les potentialités de la parcelle	339
2. Exemple régional de l'estimation de l'objectif de rendement	341
3. La remise en cause de l'objectif en cours de culture	342
4. Récapitulation des outils permettant de raisonner l'alimentation azotée	342

5^e PartieL'UTILISATION DES CONNAISSANCES
EN ÉCOPHYSIOLOGIE

LA STRATÉGIE : LES DÉCISIONS AVANT LE SEMIS	349
1. La stratégie d'évitement	349
2. La stratégie d'adaptation	350
3. Le choix de la densité de semis	350
4. Les facteurs qui déterminent la densité de semis	352
5. Les facteurs liés au milieu	356
6. Cas du riz	360
L'ESTIMATION DE L'ÉTAT DE LA CULTURE AU COURS DU CYCLE	361
1. Démarche générale	361
2. Estimation <i>a posteriori</i> des facteurs limitants	361
2.1. L'interprétation des relations entre les principales composantes du rendement	362
2.2. L'identification des facteurs limitants	371
LA PRÉVISION DU RENDEMENT ET DE SES COMPOSANTES	387
1. La prévision agroclimatique de la biomasse au stade épi à 1 cm	389
2. La prévision agroclimatique du nombre d'épis/m ²	391
3. La prévision agroclimatique des autres composantes du rendement	398
4. L'utilisation des modèles agroclimatiques	398
4.1. Le pronostic du rendement	398
4.2. La détermination de l'objectif de rendement	399
5. La prévision du nombre de grains par épi à la floraison	403
LES MODÈLES MÉCANISTES DE SIMULATION DE CULTURE	407
1. Principe général des modèles de fonctionnement des cultures	407
2. Définition des frontières et des composantes des modèles	408
3. Les principales fonctions des modèles	410
4. Présentation des principaux modèles mécanistes	413
BIBLIOGRAPHIE	419