

Caractérisation de certaines variétés de blé, d'orge et du triticale sous différentes situations hydriques en conditions de champs et simulées

R. El Hafid¹, M. EL Mourid¹, K. Samir² et B. Bakoulou¹

¹ Chercheurs au centre aridoculture Inra ; B.P. 589. Settat

² Faculté des Sciences de Casablanca

Contribution de l'Inra/Miac-Usaid Projet N° 608-0136 et de la Fis. Bourse C/1237-1

Résumé

La date de réalisation des stades critiques du développement d'une culture ainsi que ses réponses aux conditions de l'environnement sont des informations utiles pour la prise de décisions concernant le management et aussi les modèles de production de cette culture. Cette étude concerne des variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*), de blé tendre (*Triticum aestivum L.*), d'orge (*Hordum vulgare L.*), et de triticale (X-triticosécale). Les données proviennent des essais conduits au champ sur cinq ans sous deux situations hydriques contrastées et des simulations par le modèle Simtag. La caractérisation phénologique a été effectuée sur la base du nombre de jours, et du cumul des températures (degrés x jours). La caractérisation phénologique a montré que l'irrigation a permis un allongement du cycle de développement de l'ensemble des espèces céréalières étudiées, particulièrement pour la phase reproductive. Des différences entre espèces et aussi entre variétés d'une même espèce ont été notées. Les phases semis-levée et montaison-épiaison connaissent les plus fortes fluctuations interannuelles. Cependant, les fluctuations interannuelles de la durée de la phase végétative et de la durée totale du cycle de développement sont faibles. La confrontation des valeurs observées aux valeurs simulées par Simtag a montré que l'irrigation tend à réduire l'écart entre les deux types de valeurs. D'autre part, la prédiction par le modèle est meilleure pour les stades épiaison, floraison et maturité physiologique. Le taux de production de matière sèche entre la levée et la floraison a été nettement supérieur pour le triticale comparé à celui des autres espèces ; ainsi que pour les nouvelles variétés que les anciennes. Le taux de remplissage du grain est plus élevé sous régime "sec" qu'en régime "irrigué". Les nouvelles variétés présentent des taux plus élevés par comparaison aux anciennes. L'efficacité de la conversion de la matière sèche en nombre de grains remplis a été améliorée par l'irrigation ; et une variabilité génétique importante existe. L'indice de la surface foliaire (capacité de la source) a été élevé pour les nouvelles variétés et a été nettement amélioré par l'irrigation. La recherche d'un équilibre dans la production de la matière sèche entre les deux périodes, pré et post-anthèse, est une voie importante pour l'amélioration de la production céréalière dans ces régions.

Mots-clés : Phénologie, croissance, triticale, blés, orge, simulation, simtag

Abstract : Characterization of cultivars of wheat, barley, triticale under different moisture regions in the field and with a crop model

Knowledge of critical crop development stages occurrence and how the environment affects them should provide useful information for crop management decisions and crop production models. Two sources of data were used to predict the occurrence date of several stages of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), durum wheat (*Triticum durum* Desf.), barely (*Hordeum vulgare* L.) and triticale (*X. triticosecale*). The first set of data came from trials carried at Inra's experiment station at Sidi El Aydi (33° N. Lat) during 85-86, 86-87, 87-88, 88-89 and 90-91 growing seasons. In these trials, two water regimes were studied : "Dry", receiving the annual rainfall only, and "Irrigated" receiving supplemental irrigations.

The second set of data was generated by Simtag model. The phenology characterization of all varieties was done using both calendar day and growing degree day (GDD). Phenology characterization showed that irrigation increases life cycle duration for all the studied species, especially the grain filling period. Differences were noticed among species, and varieties within each species.

The highest interannual fluctuation was observed for sowing-emergence and stem elongation-heading phases. However, small interannual fluctuation was observed concerning vegetative phase and the whole development cycle duration. Comparison of observed and simulated data (Simtag) revealed that irrigation reduced the gap between the two types of values. Indeed, Simtag model was more accurate in predicting heading, anthesis and physiological maturity stages.

Dry matter production rate from emergence to anthesis is higher for triticale varieties ; and for recent varieties than the old ones. Grain filling rate was higher under dry conditions ; and for recent varieties when compared to the old ones.

The number of grain produced by the dry matter accumulated at anthesis was improved by irrigation. Variations of this trail accross genotypes have been identified. Leaf area index (source capacity) is higher for recent cultivars and was improved by irrigation. An appropriate pattern of the leaf area development should be investigated. The search for a balance between pre and post anthesis dry matter production is important to improve cereal production, especially under arid and semi-arid conditions.

Key words : Phenology, growth, drought, triticale, wheat, simulation, Simtag

ملخص : تشخيص بعض أنواع القمح ، الشعير و التريتكال في الحقل و بنموذج رياضي

الحافظ ر1، المریدم1، سميرك1، وباكولوب2

1 المركز الجهوي للبحث الزراعي، سطات، المغرب

2 كلية العلوم، الدار البيضاء، المغرب

إن معرفة تاريخ حصول المراحل الحساسة و الهامة في تطور زراعة ما، و مدى تأثر هذه المراحل بالتغيرات البيئية يعد ذا أهمية قصوى في اتخاذ تدابير تخص العناية بهذه الزراعة، كما أن هذه المعلومات تعد ضرورية لبعض النماذج الرياضية الممثلة لتطور و إنتاجية هذه الزراعة. شملت هذه الدراسة عدة أصناف من القمح الطري، القمح الصلب، الشعير و التريتكال. المعطيات التي تم تحليلها تم الحصول عليها من خلال تجارب ميدانية قارنت نوعين من الأنظمة المائية " جاف" و "مسقي" على مدى خمس سنوات فلاحية، و كذلك اعتمادا على النتائج التي أفرزها النموذج (سيمطاك) الممثل لتطور و إنتاجية هذه الزراعات. أظهرت النتائج أن السقي يؤدي إلى تمديد مرحلة النمو عموما، و مرحلة امتلاء الحبة بالخصوص عند جميع الأصناف و الأنواع، مع وجود اختلافات واضحة بين أصناف كل نوع على حدی و بين الأنواع فيما بينها. إن مدتي مرحلة البذر النهوض و مرحلة تمدد الساق-التسنبل عرفتا أكبر التغيرات بين سنة و أخرى، على العكس من ذلك عرفت مدة المرحلة النباتية و المدة الكاملة للنمو تغيرات جد طفيفة من سنة لأخرى. أدت عملية الري إلى تقليص الفارق بين النتائج الميدانية مع تلك الممثلة بالمودج (سيمطاك). من جهة أخرى، تعتبر تخمينات و تنبؤات (سيمطاك) فيما يخص حصول مراحل التسنبل، الإزهار، و النضج الفيزيولوجي أكثر دقة مقارنة مع باقي المراحل الأخرى للنمو. بمقارنتنا لمعدل إنتاج المادة الجافة خلال المدة الفاصلة بين النهوض (الإنبات) و الإزهار اتضح أن التريتكال له أعلى معدل كما أن الأصناف الجديدة داخل كل نوع تتميز بمعدل أعلى إذا ما قورنت بالأصناف القديمة. كما أن معدل امتلاء الحبة يعد أكبر نظام تحت مائي، و أكبر كذلك بالنسبة للأصناف الجديدة. عملية الري حسنت مردودية و نجاعة تحويل المادة الجافة إلى حبات ممثلة بصفة متفاوتة بين الأصناف القديمة. إيجاد توازن فيما يخص تكوين المادة الجافة بين مرحلتي ما قبل و ما بعد الإزهار، يعد من بين المناهج التي قد تحسن من إنتاجية الحبوب في هذه المناطق الشبه الجافة.

كلمات مفتاحية : مراحل النمو، النمو، الجفاف، التريتكال، القمح، الشعير، المرءة، برنامج سيمطاك.

Introduction

Pour des modèles de simulation de la croissance et du développement des céréales, des données génétiques relatives à la sensibilité à la photopériode, à la vernalisation et les taux moyens de croissance et du développement des feuilles et des grains ainsi que la capacité de stockage du grain sont des "inputs" obligatoires (Perry *et al.* 1987 ; Stapper et Harris 1989). La précision des modèles de simulation de rendement et de développement des cultures pourrait être améliorée par la connaissance de ces paramètres génétiques (Armand *et al.* 1987). Ces paramètres génétiques couplés à des conditions de l'environnement vont déterminer en large partie la réalisation de stades phénologiques particuliers tels que l'initiation florale, l'anthèse et la maturité physiologique. En conséquence, une bonne estimation de la phénologie par les modèles de simulation de la croissance et du rendement d'une culture revêt un grand intérêt dans le choix de zone(s) d'adaptation d'une variété donnée. En plus, l'abilité de prédire avec précision des événements phénologiques spécifiques est important pour des modèles de simulation de la croissance où la répartition des assimilats et l'utilisation de l'eau changent avec le stade de développement.

Au Maroc, très rares sont les recherches qui se sont intéressées à l'étude détaillée de la phénologie, de la croissance et du développement des variétés de blé, de l'orge et du triticale. Aussi des coefficients génétiques propres aux variétés marocaines, susceptibles d'être utilisés par des modèles de croissance tels que Simtag et Ceres, sont quasiment inexistantes.

L'objectif de la présente étude, est de caractériser certaines variétés de céréales d'automne blé tendre (*Triticum aestivum L.*), blé dur (*Triticum durum Desf.*), orge (*Hordeum vulgare L.*) et de triticale (*X-triticosecale*). Cette caractérisation est faite pour deux situations hydriques contrastées ; et est aussi simulée par le modèle Simtag (El Mourid 1988). Une confrontation des résultats au champ à ceux simulés est réalisée.

Matériel et méthodes

Les essais ont été conduits dans le domaine expérimental de l'Inra à Sidi El Aydi (33° N. Lat) durant les campagnes agricoles 1985-86 ; 86-87 ; 87-88 ; 88-89 et 90- 91 (El Mourid 1986 ; 1987 ; 1988a ; El Mourid et Bakoulou 1989 ; El Mourid *et al.*, 1990 ; El Mourid et Samir, 1991). Cette région est caractérisée par des précipitations moyennes annuelles de 386 mm avec un coefficient de variation de 32.9 %. La pluviométrie médiane annuelle est de 375 mm. Une année sur 10 la pluviométrie dépasse 563 mm (El Mourid et Watts, 1993). Le régime thermique de la région est caractérisé par des amplitudes élevées. Janvier est le mois le plus froid, avec une température moyenne de 5.4 °C ; alors que Août est le mois le plus chaud, avec une température moyenne de 36.1 °C. La topographie est plane. Le ruissellement y est pratiquement nul. Le sol est calcimagnésique vertique, riche en argile de type montmorillonite, et profond de 120 cm. Les caractéristiques hydriques du sol sont de l'ordre de 33 % et 17 % (v/v) respectivement pour la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement. .

Chaque année, un groupe de variétés a été testé (tableau 1). Durant les cinq années, l'effet de deux régimes hydriques contrastés : "sec" ou pluvial et "irrigué" a été testé. Pour ce qui est du traitement irrigué, les dates ainsi que les doses des irrigations n'étaient pas nécessairement les mêmes pour les cinq années. Le tableau 2 résume ces aspects ainsi que les dates de semis. Une densité de semis de 250 graines/m² a été fixée pour toutes les variétés. Néanmoins, dans cette étude, on se limitera aux variétés qui ont été testées au moins deux années. Tous les essais ont été conduits selon un dispositif expérimental en strip-plot modifié avec 4 répétitions. Les régimes hydriques ont été affectés aux parcelles principales alors que les variétés ont été associées aux petites parcelles. Le calcul des durées des phases phénologiques sur la base du degré jours a été effectué selon la procédure établie par Stapper (1984). La température de base est de 3°C entre l'émergence et l'épiaison ; de 5 °C entre l'épiaison et la floraison et de 8°C entre la floraison et la maturité physiologique. La simulation de la croissance et du développement a été exécutée en utilisant le modèle Simtag (Simulation of *Triticum aestivum* genotypes). Il a été élaboré et testé, en zones méditerranéennes, par l' Icarda et l'université de New England en Australie (Stapper 1984 ; Stapper et Harris 1989). Au Maroc, ce modèle a été adapté au micro-ordinateur par EL Mourid et Rafsnider (1990). Il a été également testé et évalué par El Mourid (1988b) pour des zones arides et semi-arides du Maroc. Pour la comparaison des valeurs observées et des valeurs simulées par le Simtag, on s'est basé sur l'erreur moyenne (e) et l'erreur absolue moyenne /e/ en nombre de jours de différence entre la valeur simulée et celle observée pour chaque stade de développement. L'erreur moyenne (e) est une mesure du biais dans la prédiction du modèle alors que /e/ mesure son exactitude. L'écart type de /e/ (STD /e/) donne une idée sur la mesure de la précision ou la variabilité de l'erreur du modèle dans la prédiction des stades phénologiques. Une faible variabilité signifie une précision élevée. Ces paramètres fournissent une évaluation plus réaliste du modèle, que l'utilisation du simple coefficient de variation (Daughtry *et al.* 1984). Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel SAS (SAS Institute Inc. 1987). Le niveau de probabilité choisi est de 5 % . Une analyse par contrast a été performée pour différencier les espèces entre elles, et les variétés nouvelles et anciennes au sein d'une même espèce.

Tableau 1. Les variétés de céréales d'automne étudiées lors de cinq années en l'expérimentation

Espèce	Variété	1985/86	1986/87	1987/88	1988/89	1990/91
Blé tendre	Potam	+	+	+	+	+
	Nesma	+	+	+	+	+
	Saada			+	+	
Blé dur	Cocorit	+	+	+		
	Kyperounda	+	+	+	+	
	Marzak			+	+	+
Orge	Arig 8	+	+	+		
	Acsad 60	+	+	+		
Triticale	Alamos			+	+	
	Eronga			+	+	

Tableau 2. Dates de semis, doses et dates d'irrigation des cinq essais

Année	Date de semis	Doses d'irrigation (mm)	Date d'apport
1985/86	13 nov. 85	100	21 jan. 1986
		85	25 mars. 1986
	Total	185	
1986/87	22 nov. 86	50	15 fev. 1987
		50	28 fev. 1987
		50	7 avr. 1987
	Total	150	
1987/88	15 nov. 87	50	12 fev. 1988
		50	18 mars 1988
		50	26 mars 1988
		15	13 avr. 1988
	Total	165	
1988/89	09 dec. 88	30	3 Janv. 1989
		45	2 fev. 1989
		45	13 mars 1989
Total	120		
1990/91	22 nov. 90	50	16 janv 1991
		50	02 avr. 1991
	Total	100	

Résultats et discussion

Caractérisation phénologique des variétés au champ

Durée des stades phénologiques en jours

Se référant au tableau 3, il ressort d'une part que l'irrigation permet un allongement du cycle de développement de toutes les espèces céréalières étudiées ; principalement la phase reproductive. Ceci pourrait être associé à un allongement de la durée d'action de la surface foliaire combiné à une réduction relative de la température du couvert qui font que le remplissage du grain se déroule à un taux relativement plus faible par comparaison au régime sec où les hautes températures de fin de cycle accélèrent le rythme de remplissage du grain et réduisent par conséquent la durée effective du remplissage du grain. Des résultats similaires ont été trouvés par Brooks *et al.* (1982) et Caley *et al.* (1990). D'autre part, l'analyse statistique a révélé l'existence d'effets significatifs de la variété et du régime hydrique. Aussi bien pour le régime sec que pour le régime irrigué, l'analyse par contraste a montré l'existence de différences significatives entre espèces et aussi entre variétés au sein d'une même espèce, et ce, pour toutes les phases sauf la phase semis-levée. Abstraction faite des espèces, l'intervalle de variation de la durée moyenne du cycle (semis-maturité) oscille entre 151 et 166 jours sous le régime pluvial respectivement pour la variété Potam et Kyperounda. Aussi, des fluctuations interannuelles sont observées dépendant, entre autres, de la variation de la date de semis et de l'arrivée des premières pluies. Abstraction faite des espèces, les phases qui connaissent le plus de fluctuations sont la phase semis-levée et la phase montaison-épiaison. Cependant, la durée de la phase végétative (semis-floraison) et la durée totale du cycle de développement (semis-maturité) sont relativement stables au cours des années. Les coefficients de variation sont en moyenne de 4.5 et 7.5 % respectivement pour les deux phases pré-citées.

Tableau 3. Durées moyennes des phases phénologiques (jours) et leurs variations interannuelles (cv %) sous deux régimes hydriques : irrigué et sec

	Sem-Lev		Lev-Tal		Tal-Mon		Mon-Epi	
	irr	sec	irr	sec	irr	sec	irr	sec
Potam moy.	13	13	24	24	30	30	31	31
cv %	37	37	29	29	42	41	44	47
Nesma moy.	13	13	24	24	35	35	31	31
cv %	41	41	22	22	22	21	54	56
Saada moy.	10	10	22	22	37	37	33	32
cv %	16	16	40	41	22	20	70	75
Keyper moy.	13	13	22	22	38	37	40	42
cv %	41	41	32	32	15	14	65	65

Suite tableau 3.

Cocorit moy.	4	14	19	19	30	30	41	41
cv %	44	44	13	12	31	31	35	35
Marzak moy.	11	11	27	27	33	32	30	25
cv %	19	19	28	27	31	30	52	64
Arig moy.	14	14	21	21	35	35	42	43
cv %	44	44	15	15	22	22	38	37
Acsad moy.	14	14	21	21	33	33	41	42
cv %	44	44	15	15	22	22	36	36
Alamos moy.	10	10	24	24	35	34	35	33
cv %	16	16	29	29	29	29	73	78
Eronga moy.	10	10	24	24	35	34	34	33
cv %	16	16	29	29	28	26	76	78
moy.gen.	13	13	23	23	33	33	37	36
cv.moy.	39	39	22	22	27	26	46	49
VAR	NS	NS	*	*	**	**	*	*
REG	NS	NS	**	**	**	**	**	**
	Epi-Flo		Flc-Mat		Sem-Flo		Sem-Mat	
	irr	sec	irr	sec	irr	sec	Irr	sec
Potam moy	11	9	48	44	109	107	157	151
cv %	23	14	25	28	5	4	8	9
Nesma moy	11	10	52	47	114	113	166	160
cv %	14	11	23	31	4	4	10	12
Saada moy	11	10	46	42	113	111	159	153
cv %	5	10	13	17	4	6	7	9
Keyper moy	8	7	50	45	121	121	171	166
cv%	29	35	18	23	9	10	8	9
Cocorit moy	9	8	58	54	113	112	171	166
cv %	39	46	10	14	4	4	5	6
Marzak moy	12	15	48	45	113	110	161	155
cv %	7	28	7	18	6	5	10	6
Arig moy	7	6	48	43	119	119	167	162
cv %	30	23	12	22	2	1	5	5

Suite tableau 3.

Arig moy	7	6	48	43	119	119	167	162
cv %	30	23	12	22	2	1	5	5
Acsad moy	8	7	46	41	117	117	163	158
cv %	32	23	2	35	2	1	7	8
Alamos moy		109	53	50	114	110	167	160
cv %	20	18	11	14	4	5	6	8
Eronga moy	10	10	52	47	113	111	165	158
cv %	30	26	12	15	4	5	7	8
moy.gen.	9	9	50	46	115	114	165	159
cv.moy.	25	26	18	24	5	5	8	8
VAR	**	**	**	**	***	***	***	***
REG	***	***	***	***	***	***	***	***

*, **, *** : Significatif à $P < 0.05$, 0.01 et 0.001 respectivement

Durée des phases en somme degré-jours

Globalement, les mêmes tendances sont à noter par comparaison au calcul effectué sur la base de jours. Avec notamment, une réduction de la phase reproductive sous le régime sec ; une variation entre espèces et entre variétés au sein d'une même espèce ; et enfin des fluctuations interannuelles de ces durées (tableau 4). Cependant, ces fluctuations restent relativement faibles par comparaison à celles observées en effectuant le calcul sur la base de jours.

Tableau 4 : Durées moyennes des phases phénologiques (somme degré-jours) et leurs variations interannuelles (cv %) pour deux régimes hydriques : irrigué (Irr) et (Sec)

	Sem- Lev		Lev-Tal		Tal-Mon		Mon-Epi	
	irr	sec	irr	sec	irr	sec	irr	sec
Potam moy	159	159	248	243	284	281	303	308
cv %	35	35	34	54	39	39	37	42
Nesma moy	160	160	225	225	342	338	335	342
cv %	39	39	19	18	12	11	43	48
Saada moy	117	117	212	212	363	356	326	313
cv %	12	12	33	34	9	7	56	63
Keyper moy	159	160	205	205	370	370	438	452
cv %	39	39	30	30	5	5	60	61

Suite tableau 4.

Cocorit moy	169	169	188	188	314	314	419	418
cv %	41	41	18	18	19	19	27	28
Marzak moy	132	132	279	279	308	304	284	226
cv %	18	18	30	30	24	22	39	52
Arig moy	169	169	209	205	362	363	463	486
cv %	41	41	14	14	14	14	31	33
Acsad moy	169	169	206	205	339	339	438	460
cv %	41	41	14	14	14	14	32	35
Alamos moy	117	117	220	221	326	313	367	339
cv %	12	12	29	28	21	22	60	70
Eronga moy	117	117	220	221	314	309	352	334
cv %	12	12	29	28	22	19	66	72
VAR	NS	NS	**	*	***	*	***	***
REG	NS	NS	*	*	**	**	***	**
	Epi-Flo		Flo-Mat		Sem-Flo		Sem-Mat	
	irr	sec	irr	sec	irr	sec	irr	sec
Potam mc y	108	103	341	300	1100	1097	1442	1398
cv %	28	27	30	33	7	8	10	10
Nesma moy	98	97	384	337	1159	1163	1542	1501
cv %	21	24	34	38	7	10	13	14
Saada moy	76	76	304	270	1093	1074	1397	1344
cv %	5	5	28	36	6	8	11	14
Keyper moy	76	68	383	332	1249	1255	1631	1588
cv %	41	36	17	25	14	16	13	16
Cocorit moy	86	73	457	4201	177	1163	634	1583
cv %	40	47	6	9	3	2	1	1
Marzak moy	108	136	325	298	1112	1077	1437	1375
cv %	17	34	26	28	9	7	10	10
Arig moy	61	57	383	334	1267	1280	649	1 1614
cv %	20	14	7	15	6	8	4	4
Acsad moy	69	63	350	298	1221	1236	1571	1534
cv %	33	27	18	35	5	7	3	2

Suite tableau 4.

Alamos moy	87	78	381	365	1116	1067	1497	1433
cv %	10	11	21	20	6	8	9	11
Eronga moy	85	89	371	328	1088	1071	1459	1398
cv %	23	21	21	28	6	8	10	13
VAR	***	***	**	*	***	***	***	***
REG	**	**	*	**	***	***	***	***

*, **, *** : Significatif à $P < 0.05$, 0.01 et 0.001 respectivement.

Comparaison des valeurs observées et des valeurs simulées par le Simtag

L'examen des résultats (figures 1 et 2) et tableau 5 fait ressortir que l'irrigation tend à réduire l'écart entre les valeurs simulées et celles observées. D'autre part, cet écart dépend en partie du génotype mais surtout du stade phénologique. A ce propos, le biais (e) dans la prédiction tend à diminuer tout en allant vers les derniers stades de développement. De ce fait, l'exactitude du modèle /e/ est plus performante pour les stades épiaison, floraison, et maturité physiologique. Ainsi pour la floraison et la maturité, l'erreur absolue moyenne ne dépasse pas dans la majorité des cas deux semaines. Les STD/e/ pour ces deux stades sont les plus faibles ; le modèle est de ce fait plus précis dans la prédiction des stades floraison et maturité.

Taux de production de la matière sèche entre la levée et la floraison

Ce taux a été calculé sur la base du nombre de jours et du nombre de degrés-jour (tableaux 6 et 7). L'analyse statistique a montré l'existence d'effets significatifs de la variété et du régime hydrique. L'analyse par contraste a révélé des différences entre l'orge vs le blé tendre, l'orge vs le triticale, le triticale vs le blé tendre et le triticale vs le blé dur. Au sein d'une même espèce, des différences significatives existent entre Potam vs Nesma ; et entre Keyperounda vs Cocorit. Sous régime "irrigué", ce taux varie de 0.81 à 16.68 Kg/ha/d^j soit 81.5 et 158.5 Kg/ha/j respectivement pour cocorit et Eronga. En conditions pluviales, des variations similaires ont été trouvées par Siddique *et al.* (1989) sous un climat de type méditerranéen et aussi par Whan *et al.* (1991) en Australie sous des conditions pluviales avec un total de 269 mm durant la saison de croissance. Bien que l'analyse par contraste entre variétés d'une même espèce n'a été significative que pour Cocorit vs Keyperounda, on note que globalement les variétés nouvelles croissent rapidement par comparaison aux anciennes variétés. C'est le cas par exemple d'Acsad 60 vs Arig 8 ; Marzak vs Keyperounda ; Saada vs Nesma.

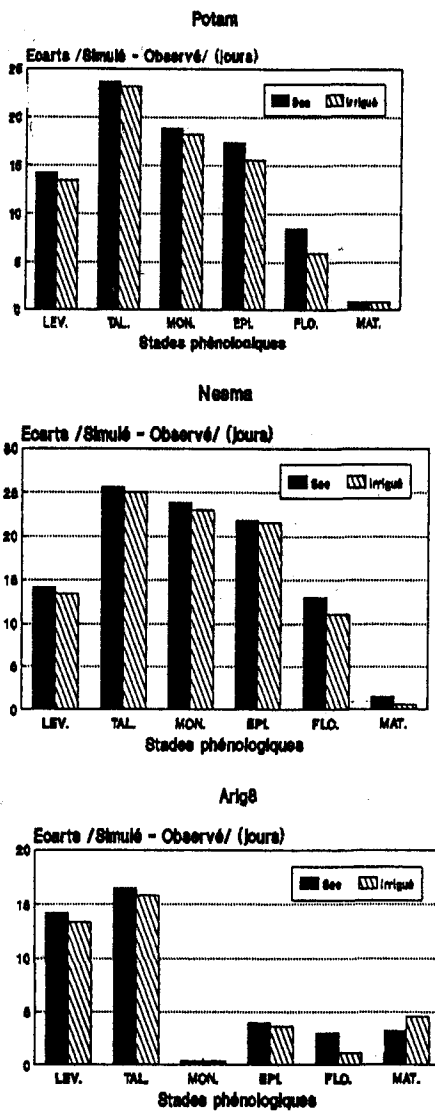


Figure 1. Ecart entre les dates de réalisation des stades phonologiques observées et simulées

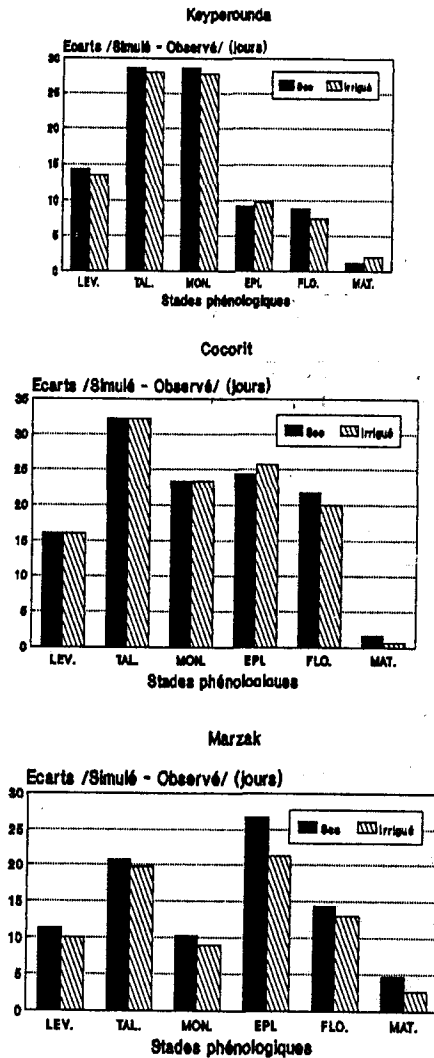


Figure 2. Ecart entre les dates de réalisation des stades phénologiques observées et simulées

Taux de remplissage du grain

La même tendance a été observée par Whan *et al.* (1991) et Siddique *et al.* (1989). La comparaison des variétés reste cependant compliquée à cause des différences existantes concernant la date de réalisation de la floraison. Néanmoins, les variétés de triticale se distinguent nettement des autres variétés avec un taux de croissance nettement supérieur. L'irrigation a amélioré le taux de production de la matière sèche chez toutes les variétés étudiées. En outre, une variabilité interannuelle de ce paramètre existe mais elle est relativement faible sous régime

"irrigué" et lorsqu'on effectue le calcul sur la base du nombre de degrés-jour. Mis à part l'effet génotype, cette variation est due en partie à l'irrégularité interannuelle des pluies en quantité et en distribution et aussi à la variation des dates de semis. Cette caractéristique de croissance rapide est désirable sous nos conditions arides et semi-arides et la variabilité génétique existante devrait être exploitée. D'ailleurs, en Australie, on a déjà commencé à incorporer ce caractère dans des variétés adaptées aux zones semi-arides (Whan *et al.* 1991).

Tableau 5. Ecart types (STD /e/) des écarts entre les dates de réalisation des stades phénologiques observées et simulées pour les régimes "sec" et "irrigué"

	Potam	Nesma	Arig 8	Keype- ronda	Marzak	Cocorit
Levée	16.4 (16.0)	16.4 (16.0)	16.4 (16.0)	16.4 (16.0)	9.1 (7.3)	18.5 (18.5)
Tallage	15.5 (15.3)	16.2 (16.0)	12.5 (12.3)	17.5 (17.4)	13.8 (12.8)	11.8 (11.8)
Montaison	13.8 (14.5)	12.6 (13.5)	7.8 (6.9)	12.7 (13.6)	2.9 (3.6)	13.3 (13.3)
Epiaison	8.3 (8.3)	9.2 (9.1)	7.0 (5.3)	9.2 (7.6)	4.5 (8.0)	3.3 (4.9)
Floraison	4.1 (4.3)	6.8 (6.0)	7.6 (8.2)	12.5 (10.5)	10.0 (7.1)	10.8 (9.9)
Maturité	6.0 (6.2)	7.7 (7.4)	6.6 (8.6)	5.1 (3.3)	8.4 (6.2)	2.9 (3.1)

() régime irrigué

Ce taux a été calculé sur la base du nombre de jours et du nombre de degrés-jour. Les effets séparés de la variété et du régime hydrique n'ont pas été significatifs concernant ce paramètre bien que pratiquement pour toutes les variétés, ce taux est plus élevé sous régime "sec" qu'en régime "irrigué" (tableaux 6 et 7). Sous régime "irrigué", ce taux a varié de 0.09 à 0.15 mg/grain/d°j pour Keyperounda et (Nesma et Marzak) respectivement ; et entre 0.10 et 0.18 sous conditions pluviales pour les mêmes variétés pré-citées. Ces résultats s'approchent de ceux trouvés par Hammadi (1987), Saidate (1988) et El Hafid (1992) sur le même site de l'essai et aussi de ceux trouvés par Tribori (1990). La variabilité concernant ce paramètre existe et devrait être exploitée. A priori, les nouvelles variétés présentent des taux plus élevés par comparaison aux anciennes (exemple Marzak vs Keyperounda pour le blé dur, Acsad 60 vs Arig8 pour l'orge). Ceci rejoint les résultats trouvés par Whan *et al.* (1991) en Australie où l'on a déjà commencé à incorporer ce critère de croissance rapide du grain dans du matériel génétique adapté à des zones caractérisées principalement par une sécheresse de fin de cycle avec des températures élevées durant la phase de remplissage du grain. L'analyse par contraste entre espèces n'a montré l'existence de différences significatives qu'entre l'orge vs le triticales ; l'orge vs le blé dur ; et l'orge vs le blé tendre.

Nombre de grains/gramme de matière sèche à l'anthèse

L'analyse statistique a montré l'existence de différences significatives entre variétés et entre régimes hydriques. Le nombre de grains/gramme de matière sèche a varié de 7.24 à 17.8 sous régime "sec" et de 17 à 20.7 sous régime "irrigué"

(tableaux 6 et 7). Ce paramètre exprime à la fois les conditions de croissance de pré-anthèse et l'efficacité par laquelle les variétés convertissent la matière sèche accumulée à l'anthesis en nombre de grains remplis. Selon El Mourid (1988b), ce paramètre explique 67 % de la variabilité du nombre de grains/m².

Tableau 6. Taux d'accumulation de la matière sèche entre la levée et la floraison (MS/d°jE ; MS/jE) ; taux de remplissage du grain (TRG) ; nombre de grains par gramme de matière sèche à l'anthesis (#G/gMSE) et indice foliaire à la floraison. Régime "irrigué"

	MS/d°jE	MS/jE	TRG	TRG	#G/gMSE	LAI
	kg/Ha/d°j	kg/Ha/j	mg/grain/d°j	mg/grain/j		Floraison
Arig 8	9.81	103.5	0.12	0.97	16.4	3.5
cv %	8.8	7.6	9.5	10.3	17.9	38.8
Acsad 60	8.94	92.3	0.14	1.06	15.5	3.1
cv %	12.4	19.9	21.0	25.8	30.0	28.7
Alamos	15.53	150.0	0.11	0.73	14.2	-
cv %	9.3	11.1	17.1	7.5	19.5	
Eronga	16.68	158.5	0.14	0.93	14.0	-
cv %	2.9	5.5	19.0	9.6	4.9	
Potan	8.75	84.8	0.14	0.89	18.8	3.2
cv %	31.8	28.8	40.0	15.9	23.0	4.6
Nesma	9.90	96.7	0.15	0.94	18.6	2.0
cv %	34.0	29.0	47.8	21.0	17.4	34.3
Saada	11.48	109.1	0.12	0.77	20.7	-
cv %	3.3	1.2	25.3	9.6	4.5	
Marzak	12.3	116.0	0.15	0.97	10.9	-
cv %	9.8	11.4	28.0	15.0	13.2	
Cocorit	8.1	81.5	0.10	0.8	16.2	2.2
cv %	12.3	15.4	9.2	6.3	11.0	32.0
Key-perounda	10.2	101.6	0.09	0.71	13.2	3.3
cv %	23.0	15.2	21.0	17.1	14.0	40.7
VAR	***	***	NS	NS	***	*
REG	***	NS	NS	NS	***	*

*, **, *** : Significatif à P < 0.05 , 0.01 et 0.001 respectivement

- : Données manquantes

Tableau 7. Taux d'accumulation de la matière sèche entre la levée et la floraison (MS/d°jE ; MS/jE) ; taux de remplissage du grain (TRG) ; nombre de grains par gramme de matière sèche à l'anthèse (# G/gMSE) et indice foliaire à la floraison. Regime "SEC"

	MS/d°jE	MS/jE	TRG	TRG	#G/gMSE	LAI
	kg/Ha/d°j	kg/Ha/j	mg/grain/d°j	mg/grain/j		Floraison
Arig 8	4.53	46.6	0.13	1.00	17.8	2.7
cv %	20.0	12.5	13.4	19.3	33.0	41.0
Acsad 60	5.76	58.6	0.16	1.20	13.4	2.3
cv %	15.7	9.2	53.0	52.0	52.0	40.3
A lamos	12.35	118.4	0.11	0.78	12.3	
cv %	19.7	22.3	17.4	11.5	30.0	
Eronga	14.43	136.6	0.13	0.83	9.2	-
cv %	7.4	4.6	25.0	11.5	6.9	
Potan	7.06	68.5	0.17	0.98	14.9	0.9
cv %	42.5	38.0	51.0	34.2	20.8	8.2
Ncsma	6.64	64.9	0.18	1.14	12.4	1.2
cv %	42.3	36.0	59.7	36.9	25.0	31.0
Saada	9.00	85.5	0.16	0.97	14.1	-
cv %	3.0	5.3	38.0	11.3	1.0	
Marzak	9.5	90.9	0.16	0.95	10.2	-
cv %	17.0	14.1	38.0	19.0	11.2	
Cocorit	4.53	43.2	0.13	1.0	17.8	0.9
cv %	20.4	14.7	13.4	19.3	33.3	19.7
key- percunda	7.9	76.8	0.10	0.71	7.24	1.1
cv %	57.0	15.6	29.0	16.1	34.0	20.2
VAR	***	***	NS	NS	***	*
REG	***	NS	NS	NS	***	*

*, **, *** : Significatif à P < 0.05 , 0.01 et 0.001 respectivement

- : Données manquantes.

Indice foliaire à la floraison (LAI)

Siddique *et al.* (1989) rapportent des valeurs similaires aux nôtres avec notamment des moyennes de 10 et de 16 grains/gramme de matière sèche à l'anthèse pour les anciennes et nouvelles variétés respectivement. L'analyse par contraste entre espèces n'a révélé l'existence de différences significatives qu'entre l'orge vs le triticale, et l'orge vs le blé dur. Au sein d'une même espèce, on note

cependant une variation entre les nouvelles et les anciennes variétés pour l'orge et aussi pour le blé dur.

Les résultats concernant ce paramètre sont relatifs aux deux campagnes agricoles 85-85 et 86-87. Le LAI a varié entre les variétés et les régimes hydriques étudiés. Sous régime "irrigué" le LAI a varié entre 2 et 35 respectivement pour Nesma et Arig 8 ; alors que sous régime "sec" il a varié entre 0.9 et 2.7 pour (Potam et Cocorit) et Arig 8 respectivement. Les nouvelles variétés présentent des LAI relativement supérieurs aux anciennes variétés spécialement sous régime "irrigué". C'est le cas d'Acsad 60 vs Arig 8 ; et Nesma vs Potam. Plusieurs travaux ont montré l'existence de différences variétales concernant le LAI (capacité de la source) et sa relation avec l'interception de la lumière, l'utilisation de l'eau, le rendement grain et l'indice de récolte (Borojovic *et al.* 1980 ; Richards et Townley Smith 1987). Ces variations sont attribuées aux différences génotypiques quant aux maladies, la longévité des parties photosynthétisantes, et l'interaction avec les facteurs de l'environnement. Selon Richards (1983), une surface foliaire excessive est l'une des raisons qui expliquent la faiblesse de l'indice de récolte dans des environnements secs ; et préconise une croissance ralentie de la surface foliaire. Un modèle approprié de développement de la surface foliaire pour les régions arides et semi-arides est à investir et la recherche d'un équilibre dans la production de la matière sèche entre les deux périodes, pré et post-anthèse, est une voie importante. Néanmoins, l'établissement de principes généraux sur l'effet du LAI sur le rendement grain sont difficiles à déterminer à cause des phénomènes de compensation qui diffèrent entre les génotypes, et aussi à cause des différences entre les interactions variété/année. Nos résultats montrent une variabilité interannuelle de ce paramètre. Des résultats similaires ont été trouvés par Borojovic et Williams (1982) qui préconisent plutôt l'utilisation du LAD (durée d'action de la surface foliaire) dont la variabilité interannuelle est relativement faible et son association avec le rendement grain est élevée.

Conclusion

Les coefficients génétiques propres à certaines variétés de céréales d'automne cultivées au Maroc ont été déterminés. Ces coefficients peuvent être utilisés ultérieurement pour développer et/ou tester et valider des modèles de simulation de la croissance et du développement des espèces céréalières étudiées.

La prédiction des dates de réalisation des stades phénologiques par le modèle Simtag est assez bonne pour les stades épiaison, floraison et maturité physiologique. Cette prédiction serait améliorée par l'incorporation des coefficients génétiques déterminés dans cette étude.

Sous les conditions pluviales des zones semi-arides marocaines, caractérisées par une sécheresse quasi systémique de fin de cycle, la productivité relativement plus élevée des variétés récentes par comparaison aux anciennes serait le résultat d'un taux de remplissage du grain plus élevé et une meilleure efficacité de la conversion de la matière sèche en nombre de grains remplis.

Références bibliographiques

- Armand B., Frank A.B. and Black A.L. (1987). Aerial parts of hard red spring wheat. I. Dry matter distribution by plant development stage. *Agronomy journal*, vol. **79** : 845-852.
- Borojovic S., Cupina T. and Krsmanovic M. (1980). Green area parameters in relation to grain yield of different wheat genotypes. *Z. Pflanzenzuchrg*, **84** : 265-283.
- Borojovic S. and Williams W.A. (1982). Genotype x environment interactions for leaf area parameters and yield components and their effects on wheat yields. *Crop science*, vol. **22** : 1020-1025.
- Brooks A., Jenner C.F. and Aspinall D. (1982). Effect of water deficit on endosperm starch granules and grain physiology of wheat and barley. *Aust. J. plant. Physiol.*, **9** : 423-436.
- Caley C.Y., Diffus C.M. and Jeffcoal P. (1990). Effect of elevated temperature and reduced water uptake on enzymes of starch synthesis in developing wheat grain. *Aust. J. plant. Physiol.*, **17** : 431-439.
- Daughtry C.S.T., Cochran J. C. and Hollinger S.E. (1984). Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. *Agronomy journal*, vol. **76** : 415-420.
- El Hafid R. (1992). Evaluation de certains paramètres morphophysologiques sur blé en zone semi-aride et réflexion sur la contribution de la physiologie aux programmes d'amélioration génétique des céréales. Mémoire de titularisation. Centre aridoculture. Settat.
- EL Mourid M. (1986). Cereals (wheat and barely) behavior under water deficits. In Annual research report 1985-86, Inra-Miac, Usaid Project N° 608-0136. Settat-Morocco.
- EL Mourid M. (1987). Cereals (wheat and barely) behavior under water deficits. In Annual research report 1986-87, Inra-Miac, Usaid Project N° 608-0136. Settat-Morocco.
- EL Mourid M. (1988a). Winter cereals behavior under water stress. In Annual research report 1987-88, Inra-Miac, Usaid project N° 608-0136. Morocco.
- EL Mourid M. (1988b). Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi-arid region. Ph.D. dissertation. Iowa State university. Ames, Iowa, Usa.
- EL Mourid M. et Bakoulou B. (1989). Détermination des paramètres de résistance à la sécheresse chez les blés et les triticales sous différents régimes hydriques. In Annual research report 1988-89, Inra-Miac, Usaid project N° 608-0136. Morocco.
- EL Mourid M., Bakoulou B. et Samir K. (1990). Détermination des paramètres physiologiques chez les blés et les triticales sous différents régimes hydriques. In Annual research report 1989-90, Inra-Miac, Usaid Project N° 608-0136. Morocco.
- El Mourid M. et Rafsnider. (1990). A wheat crop modele for crop management in a semi-arid region of Morocco. In R.C. Muchow and J.A. Bellany (eds).

Climatic risk in crop production. Poster papers. Csiro, division of tropical crops and pastures. St Lucia Brisbane ; University of Queensland, Australia.

EL Mourid M. et Samir K. (1991). Etude des mécanismes physiologiques impliqués dans la résistance à la sécheresse chez quelques variétés de céréales sous différents régimes hydriques. In Annual research report 1990-91, Inra-Miac, Usaid project N° 608-0136. Settat-Morocco.

EL Mourid M. and Watts D.G. (1993). Rainfall patterns and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco. pp. 59-80. In M. Jones, G. Mathys and D. Rijks (eds) : The Agrometeorology of Rainfed barley-base farming systems. Proceedings of international symposium Tunis. 6-10 March 1989. Icarda, Aleppo, Syria.

Hammadi B. (1987). Contribution à l'étude du grossissement du grain de blé et de l'orge en zone semi-aride. Mémoire de troisième cycle. Agronomie. Iav. Hassan II. Rabat.

Perry M.W., Siddique K.H.M. and Wallace J.F. (1987). Predicting phenology development for australian wheat. *Aust. J. Agr. Res.*, **38** : 809- 819.

Richards R.A. (1983). Manipulation of leaf area and its effect on grain yield in droughted wheat. *Aust. J. Agr. Res.*, **34** : 23-31.

Richards R.A. and Townley-Smith T.F. (1987). Variation in leaf area development and its effect on water use, yield and harvest index of droughted wheat. *Aust. J. Agr. Res.*, **38** : 983-92.

Saidate B. (1988). Effets du génotype et de la date de semis sur le remplissage du grain du blé, de l'orge et du triticale en zone semi-aride. Mémoire de fin d'études. Ena. Meknes.

Siddique K.H.M., Belford R.K., Perry M.W., and Tennant D. (1989). Growth, Development and light interception of old and modern wheat cultivars in a mediteranean-type environment. *Aust. J. Agr. Res.* **40** : 473-87.

Stapper M. (1984). Simtag : A simulation modele of wheat genotypes. Model documentation : University of new england, Australia, Icarda.

Stapper M., and Harris H.G. (1989). Assessing the productivity of wheat genotypes in a mediteranean climat, using a crop simulation modèle. *Field crop research*, **20** : 129-152.

Tribori E. (1990). Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* en thell). *Agronomie*, **10** : 191-200.

Whan B.R., Anderson W.K., Gilmour R.F., Regan K.L. and Turner N.C. (1991). A role for physiology in breeding for improved wheat yield under drought stress. In Physiology-breeding of winter cereals for stressed mediteranean environments. Montpellier, France, 3-6 july 1989. Ed. Inra, Paris 1991 (Les colloques n° 55).