

Analyse de composantes de rendement chez le piment (*Capsicum annuum* L.)

Mohamed Bouslama, Mabrouk Mathlouthi, Mounir Denden, Kamel Ben Mbarek, Zahreddine Arfaoui

Le piment occupe une place importante dans les zones réservées aux cultures maraîchères en Tunisie. Face à une demande accrue, il est indispensable de développer des cultivars hautement productifs. Comme le rendement est un caractère complexe difficile à améliorer génétiquement, on doit identifier une de ses composantes qui soit facile à manipuler. La relation entre le rendement et les composantes peut être directe ou indirecte, les deux aspects pouvant être séparés par l'analyse du coefficient de piste (*pathway analysis*) qui apporte une information sur l'importance relative des effets de chacune des composantes de rendement, afin de décider des caractères à retenir pour la sélection des variétés.

Le diamètre du fruit semble être un caractère quantitatif intéressant pour la sélection [1, 2]. Les fruits de grande taille sont indésirables car ils sont associés à une productivité faible [3]. Sur le pois chiche, la compréhension des bases gé-

tiques des corrélations entre les composantes du rendement pourrait être utile pour la manipulation génétique des caractères morphologiques reliés directement ou indirectement au rendement [4]; pour une sélection indirecte, elle pourrait servir à l'identification des parents désirables pour le croisement. La présente étude a été menée en vue d'identifier les composantes du rendement du piment les plus expressives en utilisant le coefficient de piste.

Matériel et méthode

Six variétés de piment (Pical, Majister, Picador, Spitfire, PPI et P884) de différentes origines (*tableau 1*) ont été plantées à une densité de 2 plants par m² le 22 novembre 1990 selon un dispositif en blocs aléatoires complets à 3 répétitions à la station expérimentale de l'École supérieure d'horticulture de Chott Mariem, Sousse (Tunisie). L'essai a été conduit sur un sol argilo-sablonneux sous grand abri serre plastique en irrigué. À la récolte des fruits verts, on a déterminé la hauteur de la plante, le diamètre de la tige, le nombre d'étages de fruits, le nombre de feuilles ainsi que la surface foliaire par plante. Ont été également suivis la date de floraison, la date de nouaison, la longueur et le diamètre des fruits, le rendement en poids par plante et le nombre de fruits récoltés par plante. La hauteur de la plante correspond à la hauteur de la tige principale; le diamètre de la tige a été mesuré au niveau

de la première ramification de la tige principale. La surface foliaire correspond à la surface moyenne de l'ensemble du feuillage d'une plante mesurée à l'aide d'un planimètre. Un échantillon aléatoire de 10 plantes par variété et par parcelle élémentaire a servi pour la collecte des données. L'analyse de la variance a été appliquée à tous les caractères étudiés. L'analyse par la méthode du coefficient de piste a été utilisée afin de déterminer l'effet des caractères étudiés sur le rendement en fruits du piment. Cette méthode [5-7] permet de présenter sous une forme très accessible toutes les relations de cause à effet existant entre les caractères étudiés (variables dépendantes et indépendantes) qui se décomposent en deux types d'effets: les effets directs de chaque variable indépendante sur la variable dépendante et les effets indirects de chaque variable indépendante sur la variable dépendante à travers chacune des autres variables indépendantes. Ceci donne lieu à une représentation graphique simple dite diagramme du coefficient de piste (*figure*) selon un système fermé du type M₃' et M₄' [8].

Résultats et discussion

L'analyse de la variance (*tableau 1*) montre un effet « variété » hautement significatif pour tous les caractères étudiés, mis à part la surface foliaire et le rendement en fruits par plant. Ce der-

M. Bouslama, M. Mathlouthi : Laboratoire de biométrie et amélioration des plantes ; M. Denden, K. Ben Mbarek : Laboratoire d'agronomie ; École supérieure d'horticulture de Chott Mariem, Sousse, Tunisie.
Z. Arfaoui : Centre national des études agricoles, CNEA, 30, rue Alain-Savary, Tunis, Tunisie.

Tirés à part : M. Mathlouthi

Thèmes : Génétique et amélioration des plantes.

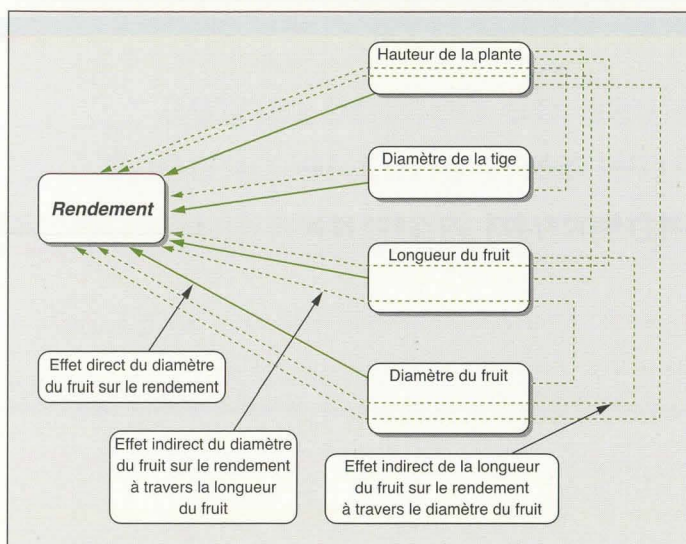


Figure. Diagramme schématisant le rendement en fonction de certaines composantes du rendement chez le piment (*Cap-sicum annuum L.*).

Figure. Pathway diagram for some components of the yield in pepper (*Cap-sicum annuum L.*).

exprimé en fonction de ces caractères selon le modèle suivant :

$$\text{Rendement} = b_0 + \sum b_i X_i$$

où b_0 = constante, b_i = coefficient de régression partielle de X_i , les X_i représentant les différents caractères étudiés. La fonction de régression multiple qui ajuste le mieux les résultats expérimentaux est la suivante :

$$\text{Rendement} = -1\,403,48 - 3,39X_1 + 620,9X_2 + 43,15X_3 - 0,238X_4 + 5,19X_5 + 5,14X_6 - 0,372X_7 + 0,133X_8 - 8,975X_9 + 44,94X_{10}$$

avec un coefficient de corrélation multiple de 0,956 pour 7 degrés de liberté et où X_1 est la hauteur de la plante, X_2 le diamètre de la tige, X_3 le nombre d'étages, X_4 le nombre de feuilles, X_5 le nombre de fruits, X_6 la date de floraison, X_7 la date de nouaison, X_8 la surface foliaire, X_9 la longueur du fruit et X_{10} le

nier pourrait être considéré comme résultant de causes indépendantes entre elles ou non, parmi lesquelles on retient les caractères objets de cette étude. Il

pourrait exister entre ces caractères et le rendement une relation de cause à effet. L'analyse de la régression multiple montre que le rendement pourrait être

Tableau 1

Caractéristiques des variétés de piment utilisées dans les essais

Caractère	Variété						
	MAJESTER	PICADOR	PICAL	PPI	P884	SPIT FIRE	
Végétation	Hauteur de la plante (cm)	42,4	67,92	55,72	63,34	43,4	41,04
	Diamètre de la tige (cm)	1,10	1,36	1,04	1,24	1,22	0,99
	Nombre d'étages	4,35	7,62	6,88	7,46	5,03	6,8
	Nombre de feuilles	123	178	154	189	82	158
	Surface foliaire (cm ²)	1 685	1 175	852	1 218	1 392	1 496
Floraison	Date de floraison (jours après semis)	158	155	170	157	168	156
	Date de nouaison (jours après semis)	174	184	189	183	174	161
Fruit	Forme	Fruit de gros calibre, conique avec 3 à 4 loges	Fruit de forme conique à la base et pointu au bout	Fruit long, effilé, pointu à la base	Fruit long de forme conique avec 2 loges	Fruit de gros calibre de forme quadrangulaire	Fruit de forme conique très étroit avec 3 loges
	Saveur	Doux	Légèrement piquant	Très piquant	Légèrement piquant	Doux	Piquant
	Nombre de fruits/plant	4,15	11,25	10,55	10,42	4,28	19,65
	Longueur du fruit (cm)	12,61	18,2	15,1	16,93	10,85	16,07
	Diamètre du fruit (cm)	5,70	3,20	2,19	3,25	6,13	1,65
	Poids du fruit (g)	102,5	33,75	23,18	41,14	130,78	14,64

NB : Ce tableau comporte la moyenne arithmétique des valeurs expérimentales obtenues dans nos essais.

Means of traits of tested pepper cultivars (*Cap-sicum annuum L.*)

Tableau 2

Analyse de la variance (carrés moyens et test F) relative aux différents caractères étudiés du piment (*Capsicum annuum* L.)

Source de variation	ddl	Hauteur de la plante	Diamètre de la tige	Nombre d'étages	Nombre de feuilles	Nombre de fruits	Date de floraison	Date de nouaison	Surface foliaire	Longueur du fruit	Diamètre du fruit	Rendement
Variation totale	17	141,75	2,315.10 ⁻²	1,789113	1 794,779	32,44	27,866	6 315,977	468 565,6	7,87	2,983	20 322,56
Blocs	2	114,758 *	0,014067 ns	0,279 ns	721,2969 ns	5,2637 ns	4,234 ns	1 963,722 ns	16 463 ns	0,611755 ns	0,0104 ns	16 365,25 ns
Variétés	5	405,18 **	0,05966 **	5,211389 **	4 563,888 **	96,65 **	87,125 **	16 660 **	597 214 ns	24,6 **	10,04 **	38 157 ns
Erreur	10	15,437	0,0067131	0,379998	624,922	5,764	2,953	201 439	494 661	0,95998	0,04833	12 196,78

ns : test F non significatif ; * : test F significatif au seuil de 5 % ; ** : test F significatif au seuil de 1 %.

Variance analysis (Mean squares and F test) for the studied pepper traits (*Capsicum annuum* L.)

diamètre du fruit. Cette équation est le meilleur prédicteur du rendement en fonction des performances observées du matériel biologique étudié au niveau de ces caractères.

Le test de corrélation simple (tableau 2) entre le rendement, d'une part, et les dix autres caractères étudiés, d'autre part, montre une corrélation positive et hautement significative entre le rendement et le diamètre de la tige, la surface foliaire et le diamètre du fruit, mais non entre le rendement et les autres caractères étudiés.

Dans beaucoup de cas on note l'existence de corrélation entre ces mêmes caractères. Le rendement est positivement corrélé ($\alpha = 1\%$) avec le diamètre de la tige, la surface foliaire et le diamètre du fruit. La hauteur de la plante est positivement corrélée ($\alpha = 1\%$) avec le diamètre de la tige, le nombre d'étages, le nombre de feuilles et la date de nouaison. Le nombre d'étages est hautement corrélé avec le nombre de feuilles ($r = 0,791$) et corrélé avec le nombre de fruits ($r = 0,569$). Le nombre de feuilles est corrélé avec le nombre de fruits ($r = 0,481$) et le diamètre des fruits ($r = -0,588$) et hautement corrélé avec la longueur du fruit ($r = 0,837$). Le nombre de fruits est corrélé ($\alpha = 5\%$) positivement avec la longueur du fruit, mais négativement avec le diamètre du fruit ($\alpha = 1\%$). Ces deux derniers caractères sont hautement corrélés entre eux ($r = -0,738$).

L'analyse par la méthode du coefficient de piste pourrait offrir des possibilités pour expliquer la contribution des différents caractères observés au rendement. Le tableau 3 présente les composantes du

rendement calculées par cette méthode et exprimées en effets directs et effets indirects des différents caractères étudiés sur le rendement. La figure représente d'une façon schématique le diagramme du coefficient de piste relatif à cette étude.

Les effets directs : les caractères étudiés ne contribuent pas avec la même intensité à la détermination du rendement. Certains ont des effets directs particulièrement importants sur le rendement : diamètre de la tige (0,6714), diamètre du fruit (0,5445), surface foliaire (0,4112), nombre d'étages (0,4046) et hauteur de la plante (-0,2835).

Les effets indirects : la plupart des caractères étudiés présentent des effets indirects sur le rendement (tableau 4) :

- effet de la hauteur de la plante-diamètre de la tige (0,4465), nombre d'étages (0,2997) et diamètre du fruit (-0,1564) ;
- effet du diamètre de la tige-diamètre du fruit (0,1630) ;
- effet du nombre d'étages-hauteur de la plante (-0,2100), diamètre de la tige (0,2169), longueur du fruit (-0,1528) et diamètre du fruit (-0,3931) ;
- effet du nombre de feuilles-hauteur de la plante (-0,1937), diamètre de la tige (0,1657), nombre d'étages (0,3202), la longueur du fruit (-0,1479) et diamètre du fruit (-0,3204) ;
- effet du nombre de fruits-diamètre de la tige (-0,2337), nombre d'étages (0,2302) et diamètre du fruit (-0,4517) ;
- effet de la date de floraison-diamètre de la tige (-0,2337) et surface foliaire (-0,1523) ;
- effet de la date de nouaison-hauteur de la plante (0,1965), diamètre de la tige (0,2799) et surface foliaire (-0,1853) ;

Summary

Analysis of yield components in pepper (*Capsicum annuum* L.)

M. Bouslama, M. Mathlouthi, M. Denden, K. Ben Mbarek, Z. Arfaoui

The relationship between yield and growth traits was studied by simple correlation and pathway analysis for six pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.), a major crop in Tunisia (Table 1). Information concerning the yield components of pepper could help plant breeders to select for yield performance. A varietal experiment was conducted at The High Institute of Horticulture at Chott Mariem (Sousse, Tunisia) under a plastic non-heated green house using a randomized complete block design (RCB). Growth traits and yield were recorded for ten random plants per plot. Variance analysis (Table 2) showed a highly significant effect of the variety for all traits studied except those of leaf area and fruit yield per plant. Stem diameter, leaf area and fruit diameter were found to be significantly and positively correlated with yield (Table 3). Pathway analysis (Table 4) showed that these characteristics have a direct positive effect on yield. Stem diameter and leaf area have indirect positive effects on yield via fruit diameter. The measurement of stem diameter and plant height is rapid, non destructive and could be performed at an early growth stage. Their use as a selection criteria for yield is suggested.

Cahiers Agricultures 2001 ; 10 : 199-203.

– effet de la surface foliaire-diamètre du fruit (0,2057) ;
 – effet de la longueur du fruit-diamètre de la tige (0,1925), nombre d'étages (0,3499), nombre de fruits (0,1222) ;
 – effet du diamètre du fruit-diamètre de la tige (0,2010), nombre d'étages (- 0,2921), nombre de fruits (- 0,1722) et surface foliaire (0,1554).

Parmi les caractères étudiés il y a lieu d'en sélectionner un nombre réduit permettant de prédire le rendement et utilisables comme critères de sélection pour l'amélioration du rendement.

Ces caractères devraient répondre aux impératifs suivants :

- être fortement corrélés avec le caractère pour lequel on sélectionne ;
- être faciles à observer et de mesure aisée ;
- être susceptibles d'être mesurés à un stade précoce ;
- être non destructifs.

Le *tableau 3* présente les coefficients de corrélation simple entre les différents

caractères. Le rendement est positivement corrélé avec le diamètre de la tige, la surface foliaire et le diamètre du fruit. La hauteur de la plante est positivement corrélée avec le diamètre du fruit. La corrélation entre le nombre de feuilles et la longueur du fruit est hautement significative et positive ($r = + 0,837$) mais significative et négative avec le diamètre du fruit ($r = - 0,586$). Le nombre de fruits et le diamètre du fruit sont négativement corrélés.

La surface foliaire ne peut être retenue comme critère de sélection dans les variétés objets de cette étude car elle n'est pas un caractère lié à la variété, bien qu'elle favorise l'augmentation du rendement comme il a été montré par l'étude de corrélation ($r = 0,662$) (*tableau 3*). Si une variété présente une supériorité pour la surface foliaire, elle devrait être retenue, car elle donnerait un rendement meilleur. Le diamètre de la tige et celui du fruit pourraient être retenus comme critères de sélection car

ils varient fortement d'une variété à une autre (*tableau 2*). L'analyse du coefficient de piste a établi que leurs effets respectifs sur le rendement sont très élevés (0,6714 pour le premier et 0,5445 pour le second). La plupart des caractères étudiés présentent des effets indirects relativement importants (*tableau 4*) à travers le diamètre de la tige et celui du fruit, ce qui encourage à les utiliser comme critères de sélection. Le diamètre du fruit présente des effets indirects importants sur le rendement, à travers notamment le diamètre de la tige, le nombre d'étages, le nombre de fruits et la surface foliaire.

Le *tableau 2* ne révèle pas de corrélation entre le rendement et la hauteur de la plante, mais la méthode du coefficient de piste (*tableau 4*) montre que l'effet direct de la hauteur de la plante sur le rendement est relativement marqué (- 0,2835), les effets indirects étant *via* le diamètre de la tige (0,4465), le nombre d'étages (0,2998) et le diamètre

Tableau 3

Coefficients de corrélations simples entre les différents caractères étudiés du piment (*Capsicum annum L.*)

Caractère	Hauteur de la plante	Diamètre de la tige	Nombre d'étages	Nombre de feuilles	Nombre de fruits	Date de floraison	Date de nouaison	Longueur foliaire	Longueur du fruit	Diamètre du fruit	Rendement
Hauteur de la plante	1	0,665 **	0,741**	0,683 **	0,062 ns	- 0,035 ns	0,693**	- 0,191 ns	0,670**	- 0,287 ns	0,053 ns
Diamètre de la tige		1	0,323 ns	0,246 ns	- 0,274 ns	- 0,348 ns	0,416 ns	0,160 ns	0,286 ns	0,299 ns	0,642**
Nombre d'étages			1	0,791**	0,569**	- 0,064 ns	0,348 ns	- 0,239 ns	0,864**	- 0,722**	- 0,188 ns
Nombre de feuilles				1	0,481*	- 0,198 ns	0,342 ns	- 0,061 ns	0,837**	- 0,588**	- 0,213 ns
Nombre de fruits					1	- 0,189 ns	- 0,354 ns	- 0,048 ns	0,589 ns	- 0,829**	- 0,398 ns
Date de floraison						1	0,432 ns	- 0,37 ns	- 0,292 ns	- 0,124 ns	- 0,265 ns
Date de nouaison							1	- 0,45 ns	0,289 ns	- 0,047 ns	- 0,077 ns
Surface foliaire								1	- 0,262 ns	0,377 ns	0,662*
Longueur du fruit									1	- 0,737**	- 0,329 ns
Diamètre du fruit										1	0,664**

ns : test r non significatif ; * : test r significatif au seuil de 5 % ; ** : test r significatif au seuil de 1 %.

Simple correlation coefficients between the studied pepper traits (*Capsicum annum L.*)

Tableau 4

Effets directs et indirects des caractères étudiés sur le rendement du piment (*Capsicum annum L.*)

Caractère	Effet indirect à travers										Effet direct
	Hauteur de la plante	Diamètre de la tige	Nombre d'étages	Nombre de feuilles	Nombre de fruits	Date de floraison	Date de nouaison	Surface foliaire	Longueur du fruit	Diamètre du fruit	
Hauteur de la plante		-0,4465	0,2997	-0,0448	0,0129	-0,0067	-0,0172	-0,0784	-0,1184	-0,1564	-0,2835
Diamètre de la tige	-0,1885	-	0,1307	-0,0162	-0,0570	-0,0663	-0,0104	0,0658	-0,0507	0,1630	0,6714
Nombre d'étages	-0,2100	0,2169	-	-0,0519	0,1181	-0,0124	-0,0086	-0,0986	-0,1528	-0,3931	0,4046
Nombre de feuilles	-0,1937	0,1657	0,3202	-	0,0998	-0,0378	-0,0085	-0,0253	-0,1479	-0,3204	-0,0655
Nombre de fruits	-0,0176	-0,1845	0,2302	-0,0315	-	-0,036	0,0088	-0,0197	-0,1040	-0,4517	0,2075
Date de floraison	0,0097	-0,2337	-0,0262	0,0130	-0,0392	-	-0,0108	-0,1523	0,0516	-0,068	0,1905
Date de nouaison	-0,1965	0,2799	0,1407	-0,0224	-0,0736	0,0824	-	-0,1853	-0,0511	-0,058	-0,0249
Surface foliaire	0,0540	0,1074	-0,0970	0,0040	-0,0100	0,0705	0,0112	-	0,0464	0,2057	0,4112
Longueur du fruit	-0,1899	0,1925	0,3499	-0,0549	0,1222	0,0557	-0,0072	-0,1081	-	-0,4017	-0,1767
Diamètre du fruit	0,0814	0,2010	-0,2921	0,0386	-0,1722	-0,0238	0,0011	0,1554	0,1303	-	0,5445

Direct and indirect character effects on yield in pepper (*Capsicum annum L.*)

du fruit (-0,1564). La hauteur de la plante pourrait, par conséquent, être retenue comme critère de sélection.

Outre son effet direct important sur le rendement (0,4046), le nombre d'étages présente des effets indirects non négligeables à travers la hauteur de la plante, le diamètre de la tige, la longueur et le diamètre du fruit. Presque tous les caractères étudiés présentent donc un effet certain sur le rendement de sorte que le nombre d'étages pourrait être retenu comme critère de sélection. La hauteur de la plante, le nombre d'étages, le diamètre de la tige et celui du fruit ainsi que la surface foliaire du plant pourraient jouer un rôle important dans la détermination de variétés hautement productives. Parmi les effets indirects à travers le diamètre du fruit, seuls ceux du diamètre de la tige (0,163) et de la surface foliaire (0,2057) ont été positifs, les autres étant négatifs. Ceci confirme l'effet important de ces deux caractères morphologiques sur le

rendement à travers le diamètre du fruit qui est fortement corrélé avec celui-ci ($r = +0,664$).

Conclusion

L'analyse du coefficient de piste a confirmé que la hauteur de la plante, le nombre d'étages de fruits, le diamètre de la tige, le diamètre du fruit et la surface foliaire peuvent servir de critères de sélection pour un rendement élevé du piment. Parmi les paramètres de sélection retenus, nous suggérons le choix du diamètre de la tige et de la hauteur de la plante, qui sont les plus rapides à déterminer et les plus faciles à mesurer, tout en étant non destructifs. Une sélection pour un rendement plus élevé effectuée aux premiers stades de développement végétatif pourrait être envisagée sur une large population en milieu naturel ou contrôlé ■

Références

1. Rylski I. Effects of night temperature on shape and size of sweet pepper (*Capsicum annum L.*). *J Am Soc Hort Sci* 1973 ; 98 : 149-52.
2. Harzallah H. *Recherche d'une méthodologie de la sélection par utilisation de la valeur en lignées (prédicteurs) et production d'haploïdes doubles chez une plante autogame. Cas du piment (Capsicum annum L.)* Thèse de doctorat de la Faculté des Sciences de Tunis, 1991 : 1-20.
3. Greenleaf WH. *Breeding vegetable crops*. Connecticut USA : Ed. Bassett MIAVI, 1986 : 67-134.
4. Bouslama M, Garoui A, Harrabi M. Path analysis in chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Revue de l'INAT* 1990 ; 5 : 93-9.
5. Wright S. Correlation and causation. *J Agric Res* 1921 ; 20 : 557-85.
6. Wright S. The methods of path coefficients. *Ann Math Stat* 1934 ; 5 : 161-215.
7. Li CC. The concept of path coefficient and its impact on population genetics. *Biometrics* 1956 ; 12 : 190-210.
8. Le Roy HL. *Mathématiques et génétique. Éléments de l'amélioration des populations animales*. Edition française. Paris : ITEB, 1971 : 360.