

Évaluation expérimentale de la sensibilité aux attaques du charançon du riz de variétés d'espèces céréalières cultivées en Algérie

Rebiha Fourar-Belaifa¹
Francis Fleurat-Lessard²

¹ Université-Blida 1
Faculté SNV
Département agro-alimentaire
6, chemin Javal
09000 Blida
Algérie
<rebhfourar@yahoo.fr>

² Inra UR 1264 mycologie et sécurité
des aliments
71, avenue Édouard-Bourlaux
CS 20032
33882 Villenave-d'Ornon cedex
France
<francis.fleurat-lessard@bordeaux.inra.fr>

Résumé

La préservation de la qualité sanitaire et nutritionnelle des céréales après récolte nécessite une bonne connaissance de leur sensibilité aux insectes granivores. L'analyse de sensibilité au charançon *Sitophilus oryzae* des espèces et variétés de céréales produites en Algérie pour l'alimentation humaine (blé dur, blé tendre) et animale (triticale) a fait l'objet d'une étude comparative. Il a été montré que l'état physico-chimique du grain joue un rôle prépondérant sur le niveau de dommage causé par l'insecte granivore. Il a été confirmé que cet insecte ne pouvait se développer dans les grains de blé dur à une teneur en eau inférieure ou égale à 12 %. Au-dessus de cette limite, le développement de l'insecte est possible avec une dynamique moindre sur blé dur que sur blé tendre et triticale, espèces qui se sont avérées plus vulnérables aux attaques du charançon que le blé dur, mais avec des différences significatives de sensibilité variétale. Au cours de la conservation de différentes variétés de blé dur en condition de teneur en eau non limitante, il a été montré que la sensibilité à l'infestation par *S. oryzae* était variété-dépendante. Par l'analyse multifactorielle de la cinétique d'évolution des critères qualitatifs, il a été observé qu'elle dépend principalement des variables durée de conservation, teneur en eau du grain et densité de population d'insectes. L'ensemble des éléments de connaissance obtenus devrait contribuer à orienter les stratégies de protection intégrée de la qualité sanitaire des grains au cours du stockage des productions de céréales locales.

Mots clés : céréales en grains ; insecte granivore ; *Sitophilus oryzae* ; sensibilité variétale ; évolution qualitative.

Thèmes : productions végétales ; pathologie ; méthodes et outils.

Abstract

Susceptibility of some cereal species and cultivars grown in Algeria to post-harvest damage by the rice weevil

An experimental study was performed to assess the susceptibility to grain weevils of some cultivars of the major cereals produced in Algeria: durum, soft wheat and triticale. Two sets of grain samples of each variety were packaged and stored in comparable conditions for three months at 25 °C. One set was infested by *Sitophilus oryzae* and the second kept as a control. During storage, the insect population dynamics and major biochemical, nutritional and physical and chemical attributes were checked. Another experiment was performed only on varieties of durum in favorable conditions for rice weevil development. In the first study, durum was shown to be the least susceptible cereal species: weevils did not develop at moisture content below 12%. Triticale varieties were more susceptible to weevil damage than soft wheat varieties. After three months storage, the loss of weight for the most susceptible variety of triticale was ten times higher than for the least susceptible variety of soft wheat. The second experiment showed that not all durum varieties are equally susceptible to insect attack. A multivariate analysis, which related the main qualitative criteria changes to insect population density evolution with storage time, highlighted three

Tirés à part : R. Fourar-Belaifa

doi: 10.1684/agr.2015.0767

Pour citer cet article : Fourar-Belaifa R, Fleurat-Lessard F, 2015. Évaluation expérimentale de la sensibilité aux attaques du charançon du riz de variétés d'espèces céréalières cultivées en Algérie. *Cah Agric* 24 : 283-291. doi : 10.1684/agr.2015.0767

variables influencing the major inter-varietal differences: storage time, moisture content and weevil population density. These results provide new data that can be exploited either in new cereal cultivar breeding or in elaborating Integrated Pest Management (IPM) strategies for cereal grain storage.

Key words: cereal grain; *Sitophilus oryzae*, varietal susceptibility; qualitative changes; multivariate analysis.

Subjects: vegetal productions; pathology; tools and methods.

En Algérie, la céréaliculture a une importance stratégique puisqu'elle est à la base de la sécurité alimentaire du pays. Le blé dur et le blé tendre sont les céréales les plus cultivées pour l'alimentation humaine, devant le triticale en tant que matière première de la fabrication des aliments du bétail. Les céréales de production locale en Algérie peuvent être plus ou moins sensibles aux attaques d'insectes de stockage qui provoquent, selon les années, des pertes pouvant atteindre des niveaux supérieurs à 20 % en Afrique (FAO, 2012). En conséquence, tous les leviers possibles pouvant contribuer à protéger les stocks de céréales contre les attaques d'insectes nécessitent d'être activés dans une approche moderne de la protection intégrée appliquée à la préservation des stocks de céréales après récolte (Vincent *et al.*, 2009). Parmi ces leviers, la diminution de la sensibilité variétale aux attaques d'insectes granivores peut être une des composantes des systèmes de protection intégrée des stocks de céréales contre les ravageurs. Pourtant, les avantages que pourraient procurer l'utilisation de variétés plus tolérantes aux risques de détérioration en cours de stockage et, en particulier, aux attaques d'insectes ravageurs primaires, font partie des principes et dispositions nouvelles sur la protection antiparasitaire intégrée, préconisés par la FAO (2012) et de la réglementation européenne visant la réduction des usages de produits phytosanitaires (Anonyme, 2009). D'après Gallo (2007), les variétés sélectionnées en priorité pour leur productivité et qui sont actuellement cultivées ont une sensibilité accrue aux bio-agresseurs qui serait due à la perte de caractères d'aptitude à la résistance aux ravageurs.

À ce jour, la sensibilité aux attaques d'insectes des stocks des espèces céréalières et des variétés cultivées en Algérie reste pratiquement inconnue. Pour apporter des connaissances objectives dans le contexte géographique et agronomique de la production de céréales algérienne, un projet de recherche a été engagé en choisissant comme insecte ravageur primaire des céréales stockées *Sitophilus oryzae* (L.), espèce classée la plus nuisible pour les céréales en Algérie (INPV, 1976). Le comportement et les dommages causés à des variétés de céréales produites en Algérie par le charançon au cours d'un stockage prolongé ont été étudiés. Un premier essai a visé à discriminer les espèces céréalières pour leur niveau de sensibilité spécifique et variétale à l'attaque de *S. oryzae* et un second a porté sur la relation entre la sensibilité du blé dur aux attaques du charançon du riz et les changements induits sur les caractéristiques des grains infestés et des produits de première transformation.

Matériel et méthode

Matériel végétal

L'ensemble du matériel végétal utilisé a été produit à la station expérimentale de l'Institut technique des grandes cultures (ITGC) d'El Harrach, Alger. Le premier essai a porté sur trois espèces céréalières, deux variétés par espèce, l'une en fin de sélection, la seconde couramment cultivée en Algérie : *Hedba3/AWLP/Bit* et *Vitron* pour le blé dur, *Kau* et *Mabon demias* pour le blé tendre et *Lad 183/Porsas2* et *Juanillio* pour le triticale. Dans le second essai, trois variétés de blé

dur ont été étudiées : *S 1306*, *Pro-tobello* et *Vitron*, les deux dernières étant homologuées.

Insectes

L'infestation artificielle a été réalisée à partir d'insectes d'un même élevage de masse en chambre climatisée à 25 °C et 70 % HR (humidité relative). L'infestation artificielle des lots de grain a été réalisée avec de jeunes adultes émergés au cours de la semaine précédant l'infestation et prélevés en cours d'accouplement (pour être sûr d'avoir un couple).

Dispositif expérimental

Dans le premier essai, trois échantillons élémentaires de 100 g pour chaque variété ont été placés dans des récipients aérés et disposés dans un incubateur à 25 °C et 70 % HR, 48 heures avant l'infestation. Passé ce délai, cinq couples de charançons ont été déposés dans chaque échantillon où ils ont séjourné pendant 21 jours. Les contrôles d'émergence des charançons adultes ont débuté après 30 jours d'incubation. Les insectes ont été séparés des grains quotidiennement pendant toute la période d'émergence de la descendance de première génération (F1). Dans un deuxième essai, les lots de blé dur de chaque variété ont été divisés en huit sous-échantillons de 1,4 kg, placés en bocaux de verre à couvercle aéré. Quatre répétitions par variété ont été infestées par deux couples de charançons, les autres servant de témoin sain. Les bocaux ont été disposés en randomisation totale dans une étuve réglée à 25 °C et 75 % HR cinq jours avant l'infestation. La suite du mode opératoire a été identique au

premier essai, sauf pour les conditions suivantes :

- les insectes adultes ont été laissés 15 jours sur le grain avant élimination ;
- la durée de l'essai a été de 90 jours ;
- le dénombrement de la descendance a été effectué après 30, 60 et 90 jours d'incubation.

Critères mesurés ou évalués

Pour la première étude, quatre variables ont été mesurées :

- le nombre de descendants de la première génération (F1) ;
- l'indice de sensibilité à l'attaque par *S. oryzae* ;
- la teneur en eau et la dureté des grains.

Les paramètres de dynamique des populations de *S. oryzae* dans les différentes modalités ont également été calculés. Ces variables ont été déterminées comme suit :

- effectif des descendants (EFF) : progéniture des cinq jeunes couples de *S. oryzae* ;
- durée de développement (DD) : durée (j) écoulée entre mi-période de ponte des couples parents et le moment où 50 % des descendants ont émergé ;
- indice de sensibilité (IS) : indice de Dobie (1974) combinant DD et EFF donné par la formule : $IS = (EFF) / (DD \times 100)$;
- teneur en eau : déterminée selon norme NF-V-752 (AFNOR, 1982) ;
- dureté du grain : mesurée au duromètre Shore à aiguille (Fourar-Belaifa, 2013) ;

– perte en matière sèche : mesurée par méthode directe de la différence de masse avant et après le développement des insectes (Fourar-Belaifa et al., 2011) ;

– paramètres de dynamique des populations :

- taux de multiplication par femelle = effectif/nombre de femelles ;
- capacité nette de multiplication = effectif/nombre de parents = a ;
- taux d'accroissement par semaine = $a \times 7/DD = b$;
- capacité intrinsèque d'accroissement par semaine : $Rms = \log(b)$;
- taux fini d'accroissement par semaine = e^{Rms} .

Dans le deuxième essai, les variables relatives à l'état sanitaire et aux pertes pondérales dues aux dégâts d'insectes, ainsi qu'une série de paramètres biologiques, physico-chimiques et technologiques ont été mesurés en début et en fin d'essai pour caractériser l'impact de l'infestation par les insectes. En début et en fin d'essai, la masse à l'hectolitre (PS), la masse de 1 000 grains (PMG), le taux de grains mitadinés, la teneur en matières minérales (cendres), la teneur en azote total et la teneur en cellulose brute ont été déterminés selon des méthodes normalisées ou en usage courant en industrie des céréales (AFNOR, 1982 ; Godon et Loisel, 1997). Après conservation, la trituration de chaque lot de blé dur a été effectuée au moulin de laboratoire spécifique pour le blé dur (Chopin-Dubois 2) pour déterminer le taux d'extraction des semoules et certaines autres caractéristiques

technologiques susceptibles d'être modifiées par l'infestation, comme l'activité amylolytique traduite par l'indice de chute de Hagberg (méthode AFNOR NF V 03-703).

Analyses statistiques

Les données recueillies ont été soumises à une analyse de variance. L'analyse des groupes homogènes, effectuée par le test de Newman-Keuls, a permis d'établir les différences significatives entre les moyennes. Des analyses de corrélations simples ou multiples ont été effectuées pour déterminer la relation entre les caractéristiques physico-chimiques des grains et les paramètres mesurés (logiciel Statistica[®], Statsoft France, Maisons-Alfort). La représentation graphique des interactions entre les variables de l'essai sur blé dur a été réalisée par une analyse en composantes principales (ACP).

Résultats et discussion

Essai n° 1 : étude comparative de la sensibilité interespèces et intervariétale

Les variétés des trois céréales avaient une composition biochimique et des caractéristiques physico-chimiques favorables au développement des insectes granivores (tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques analytiques des variétés céréalières soumises à l'essai de sensibilité aux attaques par le charançon du riz, *S. oryzae*.

Table 1. Biochemical composition and physical and chemical condition of grain samples from different cereal species and varieties used in comparative bioassay of susceptibility to insect damage.

Espèce	Variété	Teneur eau (%)	Protéines (%/MS)	Cendres (%/MS)	Cellulose (%/MS)	Dureté (N)
Blé dur	V ₁ Hedba3/Awl/Bit	11,5	13,26	2,26	2,74	24,33 a
	V ₂ Vitron	11,1	12,76	1,29	1,79	24,89 b
Blé tendre	V ₁ Kau	12,5	14,11	1,14	3,09	16,11 f
	V ₂ Mahon demias	11,5	15,12	1,6	3,4	21,97 c
Triticale	V ₁ Lad183/Porsas2	12,95	11,72	1,85	-	21,32 d
	V ₂ Juanillo	13,25	12,27	1,83	-	20,81 e

Dans la même colonne, les valeurs portant des lettres différentes sont significativement différentes (test de Newman-Keuls à $p \leq 0,05$).

L'analyse de variance des effectifs d'insectes émergés a montré que les deux facteurs, espèce et variété, ont eu un effet hautement significatif sur l'effectif de la descendance en F1. L'effectif le plus élevé a été enregistré dans les deux variétés de triticale et de blé tendre. À l'opposé, aucune descendance n'a été enregistrée dans les variétés de blé dur, ce qui dénote une sensibilité très faible du blé dur à l'attaque de *S. oryzae* dans les conditions expérimentales décrites. La durée moyenne de développement juvénile de *S. oryzae* estimée

sur les variétés de blé tendre et de triticale a varié de façon hautement significative sous l'effet des facteurs « espèce » et « variété » (*tableau 2*). La durée de développement la plus courte a été observée avec les variétés de triticale. L'effet « variété » sur l'indice de sensibilité des variétés de blé tendre et de triticale a été très hautement significatif. Les variétés de triticale se sont avérées significativement plus sensibles à l'infestation et aux dégâts commis par le charançon *S. oryzae*, que celles de blé tendre et *a fortiori* de blé dur.

L'analyse des corrélations a permis de montrer que l'effectif des descendants de première génération était lié à la teneur en eau des grains et que la corrélation avec la dureté n'était pas significative (*tableau 3*). Cette relation étroite entre le niveau de teneur en eau du grain et le taux d'accroissement des populations de charançons est en accord avec les résultats d'études antérieures concernant la sensibilité du blé tendre, du maïs ou du riz aux insectes ravageurs des stocks (Dobie, 1974 ; Philogène *et al.*, 1988 ; Fourar, 1994).

Tableau 2. Paramètres biologiques relatifs à la sensibilité de différentes espèces et variétés céréalières à une infestation par *S. oryzae*.

Table 2. Biological parameters related to the susceptibility of different species and varieties of cereal to *S. oryzae* infestation and damage.

Espèce céréalière	Variété	Répétitions	EFF moyen (± ET)	DD moyen (± ET)	IS moyen (± ET)
Blé dur	V ₁ Hedba 3/Awl/Bit	3	0 e	-	0 e
	V ₂ Vitron	3	0 e	-	0 e
Blé tendre	V ₁ Kau	3	31,67 d	35,27 a	10,13 d
	V ₂ Mahon demias	3	51,67 c	31,83 b	12,26 c
Triticale	V ₁ Lad183/Porsa2	3	61,67 b	28,61 c	15,77 b
	V ₂ Juanillo	3	83,33 a	24,64 c	16,66 a
Probabilité interfacteur			< 0,0001	0,0027	< 0,0001

Dans la même colonne, les valeurs portant des lettres différentes sont significativement différentes (test de Newman-Keuls à $p \leq 0,05$). EFF : nombre de descendants ; DD : durée de développement ; IS : indice de sensibilité.

Tableau 3. Matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres caractéristiques de la condition des grains de blé tendre, blé dur et triticale (2 variétés/espèce), en présence d'insectes (*S. oryzae*).

Table 3. Pairwise correlations between variables relating biochemical composition and physical and chemical condition of soft wheat, durum and triticale varieties infested with the rice weevil (*S. oryzae*).

Variables	Teneur eau	Protéines	Cendres	Dureté	Effectif	IS
Teneur eau	1					
Protéines	-0,492	1				
Cendres	0,108	-0,325	1			
Dureté	-0,611	-0,226	0,478	1		
Effectif	0,816	-0,200	0,086	-0,436	1	
IS	0,831	-0,139	-0,017	-0,573	0,973	1

Les valeurs en caractères gras correspondent à des corrélations significatives au seuil $p \leq 0,05$. IS : indice de sensibilité.

Bien que la corrélation entre teneur en eau et dureté des grains des trois céréales soit significative, la dureté n'a pas eu d'effet significatif sur la durée de développement des insectes. Le seuil d'humidité du grain limite pour que le charançon puisse terminer son développement complet s'est avéré plus élevé pour le blé dur, que pour les deux autres céréales. Le principal facteur qui a été avancé pour expliquer cet effet de seuil de teneur en eau est, d'une part, la difficulté pour les femelles de forer les grains à vitrosité très élevée et à basse teneur en eau pour y pondre et, d'autre part, la difficulté pour les larves de trouver suffisamment d'eau dans leur alimentation à partir d'un albumen du grain très peu hydraté, plus difficile à creuser que l'albumen du blé tendre et facteur limitant l'hydratation corporelle de l'insecte au moment des mues. Cela vient compléter les résultats de Steffan (1978) qui montre que les teneurs en eau inférieures ou égales à

11 % sont impropres au développement de *S. oryzae* sur blé tendre. La variété de blé tendre *Kau* s'est montrée la moins sensible à l'attaque du charançon par comparaison aux autres variétés de blé ou de triticales (*tableau 4*). La descendance de *S. oryzae* sur la variété *Kau* a été réduite de plus de moitié par comparaison avec la variété de triticales *Juanillio*. La perte de masse occasionnée par les charançons sur la variété *Juanillio* a été dix fois plus importante que pour la variété *Kau*, la moins sensible. La durée de développement de *S. oryzae* enregistrée sur les deux variétés de triticales a été significativement plus courte que sur les variétés de blé tendre, ce qui dénote une valeur nutritionnelle, pour l'insecte, supérieure du triticales (*tableau 2*). Les indices de sensibilité se sont révélés assez proches pour les deux variétés de triticales, les plus sensibles aux dégâts causés par *S. oryzae*, alors que les pertes pondérales et les

effectifs de F1 ont été significativement différents.

Essai n° 2 : évolution qualitative des variétés de blé dur suite aux attaques de *S. oryzae*

Les trois variétés de blé dur soumises à l'expérimentation ont été choisies pour avoir des différences importantes, en particulier au niveau de la teneur en protéines. L'état qualitatif, nutritionnel et sanitaire des lots de blé dur était très satisfaisant pour les trois variétés :

- capacité germinative > 97 % ;
- teneur en eau < 12,7 % ;
- indice Hagberg élevé ;
- taux de cendres entre 2,1 et 2,2 % ;
- masse à l'hectolitre élevée ;
- taux de matadine faible ;
- valeur pastière élevée selon l'interprétation des valeurs du mixographe[®] ;
- dureté des grains élevée.

Tableau 4. Analyse comparative des paramètres du taux intrinsèque d'accroissement naturel et des pertes pondérales occasionnées par l'accroissement des populations de *S. oryzae* élevées sur différentes variétés de blé tendre et de triticales.

Table 4. Comparative analysis of growth rate indicators and weight loss induced by *S. oryzae* populations reared on grain samples from different varieties of soft wheat and triticales.

	Variétés			
	Blés tendres		Triticales	
	V ₁ <i>Kau</i>	V ₂ <i>Mahon demias</i>	V ₁ <i>Lad 183/Porsas 2</i>	V ₂ <i>Juanillio</i>
Effectif total (/5 couples)	31,7 d	51,7 c	61,7 b	83,3 a
Taux multiplication/♀	6,3	10,3	12,3	16,7
Durée développement (jours) (DDj)	35,3 a	32,0 b	29,0 c	24,7 d
Durée développement (semaines) (DDs)	5,1	4,6	4,1	3,5
Moyenne IS	10,1 d	12,3 c	15,8 b	16,7 a
Cap. intrinsèque d'accroissement/sem. Rms	0,16	0,22	0,26	0,35
Population théorique atteinte en 12 sem.	67	143	236	642
PMG (g)	43	30	45	46
Perte de masse théorique pour 1 000 grains (g)	1,9	2,9	7	20
Taux de perte de grain en 12 sem. (%)	4,5	9,6	15,7	42,8

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil d'erreur $p \leq 0,05$.

DD : nombre de descendants ; IS : indice de sensibilité ; Rms : capacité intrinsèque d'accroissement par semaine ; PMG : masse de 1 000 grains.

Le choix variétal basé sur la différence de teneur en protéine correspondait également à des différences de dureté significatives. La dureté la plus élevée a été mesurée sur la variété V₃ (155,6 N), comparée à V₁ et V₂ (121 N et 99 N, respectivement).

Développement des insectes

Les facteurs « infestation » et « durée de stockage » ont influencé de manière très hautement significative l'effectif de charançons et les pertes pondérales infligées aux grains (*tableaux 5 et 6*). Ces deux paramètres dépendent également du facteur « variété ». Ainsi, la

variété V₂ a été la plus sensible à l'infestation avec le nombre de descendants le plus élevé après 90 jours de stockage. Les pertes pondérales dues aux insectes ont été plus importantes pour les variétés V₂ et V₃ que pour V₁. L'indice de sensibilité variétale à l'attaque du charançon a permis de discriminer la variété *Vitron* (V₁) comme plus tolérante à l'infestation que V₂ et V₃.

Évolution des paramètres technologiques

Parallèlement à la progression de la densité d'infestation du charançon

avec la durée de conservation, certains paramètres de la qualité technologique des blés durs ont évolué négativement comme la masse à l'hectolitre et le paramètre du taux d'extraction associé à la valeur semoulière (*tableaux 5 et 6*). Contrairement à ce qui se passe avec le blé tendre, les valeurs finales de l'indice de chute après 90 jours de conservation sous infestation n'ont pas évolué (*tableau 5*).

Analyse de l'origine biochimique des différences de qualité pour l'insecte

À partir de la matrice de corrélation de Pearson (*tableau 7*), des corrélations

Tableau 5. Évolution des caractéristiques analytiques des variétés de blé dur en cours d'expérimentation.

Table 5. Changes in major quality attributes of durum wheat grain samples at different storage times with and without infestation by *S. oryzae*.

Variétés	Observations	Durée (j)	Masse hL (kg/hL)	Teneur eau (%)	Effectif insectes	Dureté (N)	Pertes PG (%)	Cendres (%/MS)	Indice Hagberg (s)
V ₁ <i>Vitron</i>	V ₁ témoin	30	85,0	12,1	0		0	2,2	509
	V ₁ infesté	30	85,0	12,3	0		0	2,1	484
	V ₁ témoin	60	84,9	12,8	0	121	0	2,1	494
	V ₁ infesté	60	84,2	12,7	25		0,032	2,0	485
	V ₁ témoin	90	83,8	13,0	0		0	2,1	460
	V ₁ infesté	90	83,6	13,0	46		0,07	2,0	477
V ₂ <i>S1306</i>	V ₂ témoin	30	81,6	12,8	0		0	2,1	517
	V ₂ infesté	30	81,3	12,6	0		0	2,0	491
	V ₂ témoin	60	80,8	12,8	0	100	0	2,0	477
	V ₂ infesté	60	80,4	12,9	79		0,04	1,8	490
	V ₂ témoin	90	80,3	13,2	0		0	2,0	492
	V ₂ infesté	90	80,1	13,1	379		0,39	1,7	477
V ₃ <i>Protobello</i>	V ₃ témoin	30	79,8	12,5	0		0	2,2	522
	V ₃ infesté	30	79,9	12,7	0		0	1,9	498
	V ₃ témoin	60	79,9	12,9	0	156	0	2,0	485
	V ₃ infesté	60	78,9	13,0	71		0,22	1,9	480
	V ₃ témoin	90	78,8	13,2	0		0	1,9	454
	V ₃ infesté	90	78,5	13,1	224		0,47	1,8	438
Probabilité interfacteur			< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	-	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Pertes PG : pertes de poids des grains.

Tableau 6. Évolution du taux d'extraction des lots de blé dur, sains et infestés après conservation pendant 60 et 90 jours sous infestation de *S. oryzae*.

Table 6. Changes in semolina extraction rate from durum wheat samples of three different varieties stored for 60 to 90 days, with and without infestation by *S. oryzae*.

Durée de conservation		60 jours	90 jours	
Variété	Niveau infestation	Taux extraction (%)	Taux extraction (%)	
V ₁ Vitron	Sain	65,0 (0,14)	63,2 (0,42)	
	Infesté	64,9 (0,28)	63,0 (0,42)	
V ₂ S1306	Sain	58,5 (0,14)	57,2 (0,28)	
	Infesté	57,4 (0,71)	54,1 (0,57)	
V ₃ Protobello	Sain	59,2 (0,42)	58,7 (0,57)	
	Infesté	59,0 (0,28)	57,0 (0,28)	
Probabilité, moyennes et groupes homogènes		Variable	Probabilité	Moyenne
Variétés	Vitron			64,03 a
	S1306		< 0,00001	56,8 c
	Protobello			58,5 b
Infestation	Blé sain			60,3 a
	Blé infesté		0,000037	59,2 b
Durée stockage	60 j			60,7 a
	90 j		< 0,00001	58,9 b

Les chiffres entre parenthèses sont les écarts-types des moyennes.

Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil d'erreur $p \leq 0,05$.

binaires significatives ont été mises en évidence entre les caractéristiques des grains de blé dur et leur évolution en cours de conservation en présence de *S. oryzae*. L'effectif d'insectes de F1 a été corrélé positivement avec la durée de stockage et la perte pondérale infligée aux grains et négativement, avec le taux de cendres. Les autres corrélations significatives sont sans relation avec l'infestation par les insectes et confirment les relations mises en évidence antérieurement entre les variations des paramètres qualitatifs, au cours d'un stockage en conditions critiques de température et de teneur en eau (Fourar-Belaïfa *et al.*, 2011). Au plan technologique, deux autres corrélations ont été révélées à l'analyse :

- le taux de grains mitadinés avec le PMG et la masse à l'hectolitre ;

- l'indice de chute de Hagberg, avec la teneur en eau du grain qui progresse au cours du stockage.

La représentation graphique du niveau de corrélation entre les variables, par le diagramme circulaire de l'analyse en composantes principales, a permis de visualiser les groupes de variables en interaction (*figure 1*). Un groupe de paramètres fortement et positivement corrélés a été mis en évidence. Il s'agit de la durée de conservation, de l'effectif d'insectes, de la perte pondérale et de la teneur en eau des grains. À l'opposé, sur la première composante, en corrélations négatives avec les variables du groupe précédent, le taux de cendres et l'indice de chute de Hagberg ont des positions très proches, mais éloignées du troisième groupe des variables

technologiques : teneur en protéines, PMG, masse à l'hectolitre et taux de grains mitadinés, ces quatre variables étant fortement corrélées entre elles. La variable dureté se situe à proximité de l'intersection des axes, ce qui lui donne peu de poids ; elle n'est significativement corrélée (négativement) qu'à la teneur en protéines. Dans le premier essai, il a été mis en évidence la faible sensibilité des espèces et variétés céréalières à l'attaque de *S. oryzae*, lorsque l'humidité du grain récolté se situait, et était maintenue, à un niveau relativement bas, inférieur à 12 %. Parmi les trois céréales étudiées et dans des conditions de siccité prononcée, le blé dur s'est révélé réfractaire à l'infestation en ne permettant aucune descendance de l'insecte, par opposition au blé tendre

Tableau 7. Matrice des corrélations (Pearson), entre variables dépendantes et explicatives de l'évolution des caractéristiques qualitatives de trois variétés de blé dur, en présence ou en absence d'insectes (*S. oryzae*), au cours de 90 jours de stockage.

Table 7. Pairwise correlations between dependent and explanatory variables of grain characteristics and condition changes during 90 days of storage, for three varieties of durum, with or without infestation by *S. oryzae*.

Variables	Dureté	PMG	Mitadin	Protéines	Niveau infestation	Durée	Masse HL	Teneur eau	Insectes adultes	PPG	Cendres	Indice Hagberg
Dureté	1											
PMG	-0,243	1										
Mitadin	0,462	0,748	1									
PROT	-0,713	0,853	0,293	1								
Niveau infestation	0,000	0,000	0,000	0,000	1							
Durée	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1						
Masse hL	-0,410	0,953	0,591	0,909	-0,053	-0,225	1					
Teneur eau	0,037	-0,413	-0,352	-0,318	0,017	0,845	-0,561	1				
Indice AD	-0,079	-0,234	-0,268	-0,127	0,470	0,454	-0,319	0,406	1			
PPG	0,159	-0,270	-0,139	-0,281	0,489	0,459	-0,400	0,429	0,910	1		
Cendres	-0,008	0,554	0,501	0,405	-0,568	-0,534	0,655	-0,695	-0,689	-0,656	1	
Indice Hagb	-0,226	0,020	-0,136	0,136	-0,250	-0,750	0,239	-0,604	-0,394	-0,530	0,544	1

Les valeurs en caractères gras correspondent à des corrélations significatives au seuil $p \leq 0,05$.

PROT : teneur en protéines ; AD : adultes (I. AD : effectif d'insectes adultes) ; PPG : pertes de poids des grains.

et au triticale. Cette dernière espèce céréalière s'est montrée la plus sensible, sensibilité qui pourrait être mise en relation avec une composition biochimique et une valeur nutritionnelle mieux exploitée par l'insecte étudié. Nous avons pu montrer qu'avec la variété de blé tendre *Kau*, la réduction des dégâts causés par le charançon a été de 90 % par rapport à la variété de triticale *Juanillio*, la plus sensible aux attaques de l'insecte.

Variabilité de sensibilité inter-espèces et inter-variétale et risques d'infestation

Cette étude a permis de mettre en lumière que la teneur en eau est un facteur essentiel dans la protection des grains stockés : la siccité du grain constitue le premier facteur limitant de la multiplication des insectes. Pour les céréales produites en Algérie, le seuil

de sauvegarde de 12 % pour le blé dur et de 11 % pour les deux autres céréales étudiées, confirmé dans notre étude, peut s'appliquer. En conditions de teneur en eau favorable au développement de l'insecte granivore, le blé dur s'est avéré beaucoup moins sensible aux dégâts causés par une infestation de *S. oryzae* que le blé tendre et le triticale. Si l'on compare le taux de pertes finales infligées par le charançon, relevé après trois mois de conservation sous infestation, il est très faible pour le blé dur (*tableau 5*), alors qu'il peut atteindre des niveaux élevés à très élevés pour le blé tendre et le triticale, respectivement, en conditions de conservation et d'infestation comparables (*tableau 4*). Le deuxième essai a montré que les indicateurs d'aptitude à la transformation n'ont pas varié significativement excepté au terme de la période de trois mois de stockage en cas de densités d'insectes extrêmes, non représentatives

de situations réelles. Ces résultats sont venus confirmer ceux observés dans des études antérieures sur des échantillons de blé tendre fortement infestés (Fourar, 1994). La tolérance relative aux attaques du charançon du riz est une caractéristique favorable pour les variétés de blé dur produites en Algérie. L'identification des caractères de composition biochimique liés à l'espèce et à la variété à l'origine de cette variabilité de « réponse » à l'attaque par le charançon *S. oryzae* pourrait être un des leviers à actionner pour introduire la « tolérance variétale » dans la combinaison des facteurs de prévention des risques de dommages causés par les insectes granivores dans une démarche de protection intégrée des stocks de grains et graines (Vincent *et al.*, 2009). Pour aller plus loin, la détermination des caractères spécifiques à l'origine de cette tolérance pourrait déboucher sur l'identification de marqueurs de sélection

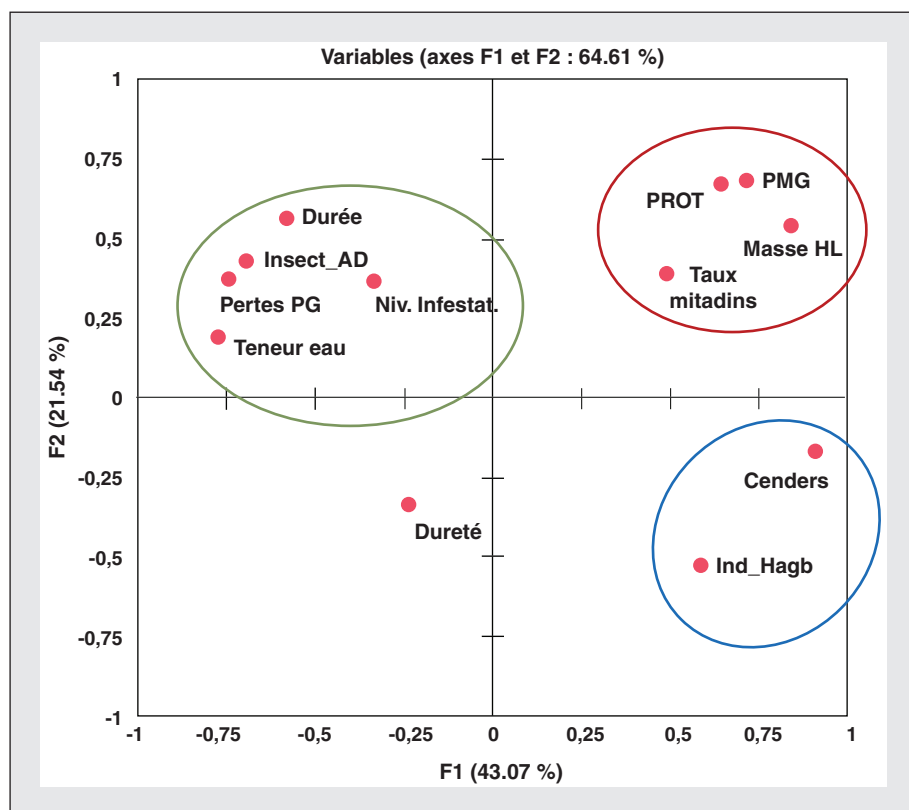


Figure 1. Diagramme orthonormé représentant la distribution des variables mesurées pendant le stockage du blé dur soumis à une infestation par *S. oryzae*, ainsi que leurs interactions (analyse en composantes principales – ACP).

Figure 1. Orthonormed diagram of correlations between all changes in variables occurring during storage for three durum wheat varieties, with or without infestation by *S. oryzae* (Principal Component Analysis).

pour améliorer la tolérance aux insectes granivores de nouvelles variétés.

Conclusion

La mise en place, dans le contexte des productions locales de céréales en Algérie, d'une protection des stocks de céréales sans usage de pesticides de protection des grains stockés, pour harmoniser les pratiques avec les exigences de la réglementation internationale (*Food Safety Modernization Act* [FDA, 2010] ou européenne du « Paquet pesticide » [Anonyme, 2009]), est à poursuivre pour limiter les risques de pertes après-récolte causées par les attaques d'insectes

granivores. Seule l'application systématique de la démarche de gestion intégrée des risques combinant mesures réglementaires (diminution importante des molécules insecticides en usage pour la protection des stocks de céréales), mesures préventives de réduction des dommages causés par les insectes (variétés plus tolérantes, réduction de la température du grain à l'entreposage), surveillance continue des risques (avec des modèles démographiques et des outils prédictifs) et mesures curatives (directes) économes en pesticides classiques (huiles essentielles, huiles et extraits végétaux) permettra de limiter le risque d'infestation par les charançons des grains et le niveau des dommages

qualitatifs pendant la conservation des stocks. ■

Références

AFNOR, 1982. *Recueil de normes françaises – céréales et produits céréaliers*. Paris: AFNOR.

Anonyme, 2009. *Directive 2009/128/CE instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatibles avec le développement durable*. Bruxelles: Commission européenne.

Dobie P, 1974. The laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize varieties to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 10:183-97.

FAO, 2012. *Pertes et gaspillages alimentaires dans le monde – ampleur, causes et prévention*. Rome.

Fourar-Belaïfa R, 2013. *Interactions dynamiques insectes/mycoflore et leur influence sur la qualité du blé en cours de stockage*. Thèse des Sciences Agronomiques. Algérie (Alger) : ENSA El-Harrach.

Fourar R, 1994. *Variabilité de la sensibilité variétale du blé tendre à Sitophilus oryzae L. (Col. : Curculionidae) dans le grain et de Tribolium confusum J. Duval (Col. : Tenebrionidae) dans la farine. Analyse des relations éco-physiologiques insecte-grain*. Thèse Magister Sciences agronomiques. El Harrach, Alger : INA.

Fourar-Belaïfa R, Fleurat-Lessard F, Bouznad Z, 2011. A systemic approach to qualitative changes in the stored wheat ecosystem: prediction of deterioration risks in unsafe storage conditions in relation to relative humidity level, infestation by *Sitophilus oryzae* (L.), and wheat variety. *Journal of Stored Products Research* 47:48-61.

Gallo J, 2007. Crop losses to pests. In: Pimentel D, ed. *Encyclopedia of pest management*. CRC Press : 60-2.

Godon B, Loisel W, 1997. *Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales*. Paris: Lavoisier Tec & Doc.

INPV, 1976. *Enquête grains stockés*. Alger: Publication Institut national de la protection des végétaux.

Philogène B, Arnason JT, Lambert JDH, 1988. *Facteurs contribuant à la protection du maïs contre les attaques de Sitophilus et Prosthepanus*. Actes Colloque international de technologie « Céréales en régions chaudes : conservation et transformation ». Ngaoundéré (Cameroun): 141-50.

Steffan JR, 1978. Description et biologie des insectes. In: Scotti G, ed. *Les insectes et les acariens des céréales stockées*. Paris: AFNOR - ITCF:1-65.

Vincent C, Weintraub P, Hallman GJ, Fleurat-Lessard F, 2009. Insect management with physical methods in pre- and post-harvest situations. In: Radcliffe EB, Hutchison WD, Cancelado RE, eds. *Integrated Pest Management*. Cambridge (UK): Cambridge University Press:309-23.