

Improved gross margin generated by the use of the new barley variety "Imen" selected for its resistance to Barley yellow dwarf virus (BYDV)

Amélioration de la marge brute suite à l'utilisation de la nouvelle variété d'orge "Imen" sélectionnée pour sa résistance au virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV)

A. NAJAR¹, H. BEN GHANEM^{2*}, S. MLAOUHI³, S. BELCHERIF², R. NASRAOUI⁴

¹ Laboratory of Plant Protection, National Institute of Agriculture Research of Tunisia. University of Carthage, Street Hedi Karray, 1004 El Menzah, Tunisia

² Laboratory of Field Crops, National Institute of Agriculture Research of Tunisia. University of Carthage, Street Hedi Karray, 1004 El Menzah, Tunisia

³ Laboratory of Rural economics, National Institute of Agriculture Research of Tunisia. University of Carthage, Street Hedi Karray, 1004 El Menzah, Tunisia

⁴ National Institute of Field Crops, Bou Salem, Jandouba, Tunisia

*Corresponding author: hajeur_bg@yahoo.com

Abstract – Barley is the second widely cultivated cereal crop in Tunisia. It covers around 500 000 ha/year. The national mean yield is estimated to 14qx/ha. However, recent studies in Tunisia have shown that Barley yellow dwarf virus (BYDV) is the most important virus on barley. In fact, the contamination can exceed, in some areas 35% in barley crops. The selection of resistant genotypes is the most effective method against BYDV. A screening program for resistance to BYDV was initiated during these last few years. Selected barley resistant advanced lines were assessed for agronomic related traits under semi-arid climatic conditions from 2007 to 2013 growing seasons using Manel and Rihane the most commonly grown barley varieties in Tunisia (checks). Within these lines, a new resistant variety "Imen" carrying Yd2 gene was released because of its high yield and biomass. Imen is well adapted to semi-arid areas. The superiority of Imen was significantly estimated (Fpr <.001) at 44-56% and 28- 56% in terms of grain yield and biomass compared to controls, respectively. To determine the economic impact of the new resistant variety "Imen", we calculate the related annual gross margin (GM) compared to Manel and Rihane using General Algebraic Modeling System (GAMS) based on mathematical programming (Gohin and Chantreuil, 1999). GM generated by these three varieties fluctuates according to climatic conditions. Based on 6 growing seasons (2008-2013), the highest GM was obtained by Imen (1100TD / ha), followed by Manel and Rihane (around 900TD/ha). BYDV decreased GM of 39%, 82% and 97% respectively for Imen, Manel and Rihane compared to uninoculated treatment.

Keywords: BYDV, Barley, Grain yield, Biomass, Economic impact

Résumé – L'orge est la deuxième culture céréalière largement cultivée en Tunisie couvrant environ 500000 ha / an. Le rendement moyen national est estimé à 14qx /ha. Cependant, des études récentes en Tunisie ont montré que le virus de la jaunisse nanisante de l'orge ou *Barley yellow dwarf virus* (BYDV) est le virus le plus important sur l'orge. En fait, la contamination peut dépasser les 35% dans certaines régions, La sélection des génotypes résistants est la méthode la plus efficace contre le BYDV. Un programme de sélection pour la résistance au BYDV a été lancé durant ces dernières années. Des lignées avancées sélectionnées résistantes au BYDV ont été évaluées pour leurs caractéristiques agronomiques dans les conditions climatiques du semi-aride en comparaison aux variétés d'orge les plus répandues en Tunisie, Manel et Rihane. Parmi ces lignées, une nouvelle variété résistante "Imen" portant le gène de résistance Yd2 a été inscrite au catalogue officiel des nouvelles obtentions végétales.



Sous conditions d'inoculation artificielle, la variété Imen a dépassé les variétés témoins Manel et Rihane de respectivement 44 et 56% pour le rendement en grains et 28 et 56% pour la biomasse. L'impact économique de cette nouvelle variété a été évalué à partir de la marge brute générée (MB) par comparaison aux témoins en utilisant le modèle économique (*General Algebraic Modeling System*) "GAMS" basé sur la programmation mathématique (Gohin et Chantreuil, 1999). Sur la base de 6 campagnes agricoles (2008-2013), la MB moyenne la plus élevée a été produite par Imen (1100TD / ha), suivi de Manel et Rihane (environ 900TD / ha). L'infection par le virus a entraîné une diminution de ce paramètre de 39%, 82% et 97% respectivement pour Imen, Manel et Rihane.

Mots clés : BYDV, Orge, Rendement en grains, Biomass, Impact économique

1. Introduction

En Tunisie, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) occupe la deuxième place en superficie emblavée après le blé dur. La superficie moyenne annuelle durant la dernière décennie a atteint environ 550.000 ha avec une production moyenne de l'ordre de 14 qx/ha (El Felah et al., 2015). Il constitue l'une des principales ressources alimentaires pour le cheptel notamment dans le nord et le centre du pays. Néanmoins, les niveaux de production restent toujours tributaires des aléas climatiques et de la prolifération des maladies qui sévissent dans la plupart des régions. Parmi les stress biotiques, les maladies virales, présentent une contrainte majeure limitant l'expression des potentialités génétiques de la plupart des espèces et variétés cultivées. Dans ce contexte, les prospections réalisées au cours de cette dernière décennie ont montré que le virus de la jaunisse nanisante de l'orge ou Barley yellow dwarf virus (BYDV) transmis par pucerons est considéré comme étant le virus le plus important avec des taux de contaminations qui peuvent atteindre plus de 40% dans certaines régions (Najar et al., 2017). L'usage de cultivars résistants constitue le moyen le plus pratique et le plus rentable pour la lutte contre ce virus. C'est pour cela qu'un programme de screening vis-à-vis du BYDV a été lancé durant ces dernières années pour la sélection de génotypes porteurs du gène de résistance Yd2 qui a fait ses preuves dans les programmes internationales d'amélioration de l'orge (Ford et al., 1998). Ce programme a abouti à la sélection de plusieurs lignées résistantes parmi lesquelles une variété baptisée « Imen » a été inscrite au catalogue tunisien officiel des nouvelles obtentions végétales.

Nous projetons par la présente analyse de ressortir la différence entre Imen et les deux variétés témoin, en termes de rendement en grains et biomasse qui représentent la résultante des différents paramètres agronomiques et de la marge brute générée par la résistance de la variété Imen au virus de la jaunisse nanisante de l'orge.

2. Matériel et méthodes

2.1. Evaluation des performances agronomiques

L'étude réalisée porte sur la synthèse d'une expérience de 6 campagnes consécutives (2008-2013) au cours desquelles nous avons suivi le rendement en grains et biomasse de la variété résistante au BYDV « Imen » en présence des deux principales variétés d'orge Manel et Rihane. L'essai au champ a été conduit à l'unité d'expérimentation agricole de l'INRAT au Kef appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride selon un dispositif en bloc aléatoire à 3 répétitions. L'analyse de la variance a été réalisée moyennant la procédure Anova avec l'option de la comparaison des moyennes LSD du GenStat Edition 15.

Il est à signaler que la pluviométrie annuelle durant les campagnes 2008-2013 enregistrée au Kef est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 1. Pluviométrie annuelle (mm) durant les campagnes 2008-2013 enregistrée au Kef

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Pluie (mm)	246,20	577,60	421,10	539,00	621,00	271,20

2.2. Effet du BYDV sur les performances agronomiques Paramètres agronomiques

Par ailleurs, une évaluation de l'effet du BYDV pour les paramètres pré-cités a été réalisée en 2013 suite à une inoculation artificielle à l'aide d'une souche tunisienne BYDV-PAV caractérisée sur un plan sérologique et moléculaire (Najar et al., 2017). La multiplication du puceron vecteur (*Rhopalosiphum*

padii) est réalisée d'après la méthode décrite par Comeau (1984). Pour l'acquisition du virus, les populations de *R. padii* obtenues sont maintenues sous conditions contrôlées (18-23°C) entre 24 et 48 heures sur des plantules d'orge infectées et ce après avoir subi 1 jour de jeun. Les pucerons vecteurs sont collectés et transférés pour l'inoculation de l'essai. La transmission se fait au stade 2 à 3 feuilles après avoir mis une moyenne de 5 pucerons/plante. Immédiatement après, l'essai est couvert de film plastique qui sera enlevé au bout de 48 heures et sera instantanément suivi d'un traitement insecticide. Pour le contrôle de la réussite de l'inoculation, des tests sérologiques tissu blot immunoassays (TBIA) sont réalisés 15 jours après inoculation (Makkouk et Kumari, 1996). Le dispositif expérimental est de type split-plot avec 3 répétitions. L'analyse de la variance a été réalisée moyennant la procédure Anova avec l'option de la comparaison des moyennes LSD du GenStat Edition 15.

2.3. Impact économique

L'impact économique de la variété Imen et de l'effet du BYDV a été évalué à partir de la marge brute générée (MB) par comparaison aux témoins.

2.3.1. Calcul de la marge brute

La marge brute a été déterminée à partir de l'année du démarrage de l'essai 2008. Pour le calcul de cette marge, deux paramètres ont été pris en considération à savoir :

- La recette annuelle de l'orge par variété (RV) obtenue en multipliant les rendements en grain et en biomasse par les prix de vente collectés des bulletins de l'ONAGRI (2014) pour la période allant de 2008 à 2013 (tableau 2)

Tableau 2. Prix de vente annuel (DT) d'une tonne de grains et de paille d'orge

Année	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13
Prix/gain	308.2	300	300	300	300	300
Prix/Paille	67	67	67	67	67	67

Source : ONAGRI 2017

- Le coût annuel de production (C) déterminé à partir des pièces comptables des dépenses faites par l'INRAT au profit de l'essai en question. Le coût annuel de production pour la même période a été calculé en tenant compte des charges relatives à un hectare d'orge conduit dans les conditions pédoclimatiques de l'unité expérimentales agricoles au Kef relevant de l'INRAT (tableau 2).

Tableau 3. Coût réel (DT) de production d'un hectare d'orge par an

Désignations	Unité	Qté	Prix/unité	2007/08	2008/09	2009/10	Prix/unité	2010/11	2011/12	2012/13
			2007-2010				2010-2013			
Labour profond (un labour)	H/ha	1	50	50	50	50	70	70	70	70
Recroisement (3 labour)	H/ha	3	15	45	45	45	25	75	75	75
DAP	qx	1	48	48	48	48	53	53	53	53
Ammonitre	qx	1	36	36	36	36	60	60	60	60
Epannage mécanique	H/ha	3	10	30	30	30	15	45	45	45
Semis mécanique	H/ha	1	20	20	20	20	25	25	25	25
Déserbage chimique	H/ha	forfait	110	110	110	110	115	115	115	115
Récolte mécanique	H/ha	1	70	70	70	70	70	70	70	70
Presse paille mécanique	H/ha	1	60	60	60	60	70	70	70	70
Semence certifiée	Kg/ha	1,2	50	60	60	60	60	72	72	72
Main d'oeuvre	J/ha	forfait	50	50	50	50	100	100	100	100

Source: Pièces comptables de l'INRAT 2008-2013

Le tableau 3 fait donc ressortir un coût annuel qui a été affecté aux trois variétés, étant donné qu'elles sont toutes conduites sur la même unité expérimentale (parcelle), sous les mêmes conditions pédoclimatiques et recevant les mêmes quantités d'intrants.

La marge brute annuelle réalisée par variété et par traitement ($MB_{v/t}$) a été calculée en utilisant le modèle économique (*General Algebraic Modeling System*) "GAMS" basé sur la programmation mathématique (Gohin et Chantreuil, 1999):

$$MB_{v/t} = R_{v/t} - C.$$

$R_{v/t}$ = Recette de la production par variété et par traitement

C = Coût de production

3. Résultats

3.1. Evolution du rendement en grains et de la biomasse

L'analyse de la figure 1 illustre l'évolution des rendements de Imen, Manel et Rihane sur les 6 campagnes agricoles (2008-2013). Les rendements des trois variétés sont fluctuants selon les années et ce en fonction des conditions climatiques y afférentes (tableau 1). Pour les années sèches (2008 et 2013), Imen affichent les meilleurs rendements dépassant les témoins de 6.25% à 53%. Pour les années où la pluviométrie est supérieure à 400mm (2009 à 2012), la moyenne des rendements de la variété Imen est de 49,75 qx/ha montrant une supériorité respective de 7,5% et 9,5% par comparaison à Rihane et Manel.

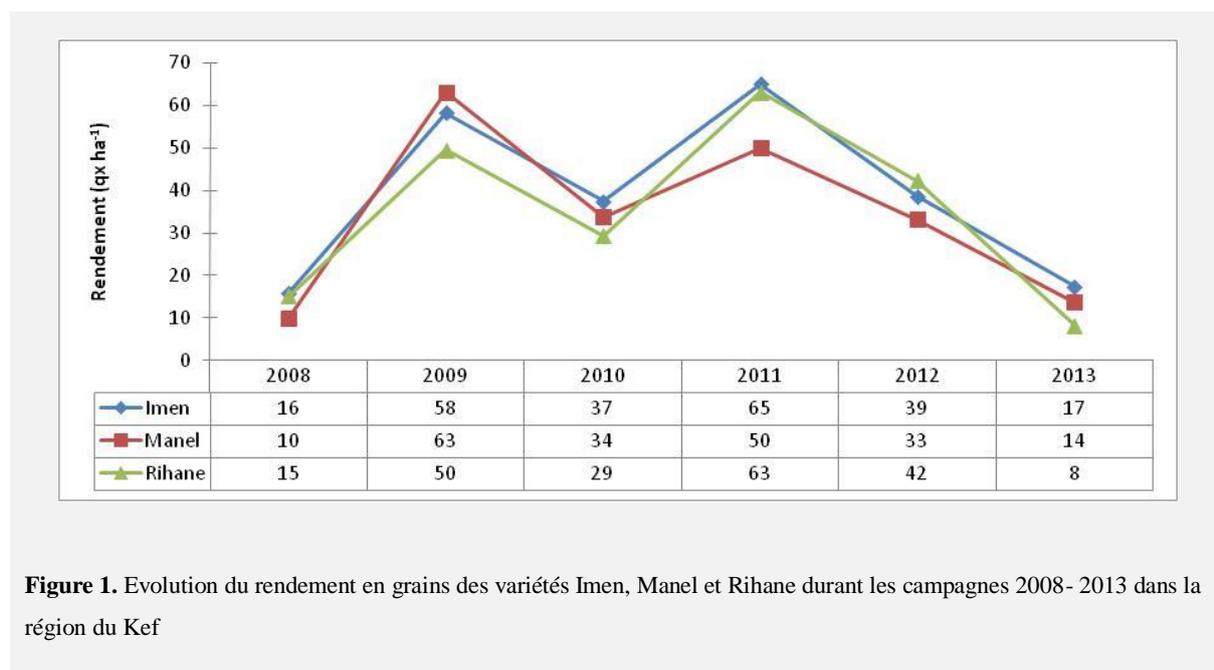


Figure 1. Evolution du rendement en grains des variétés Imen, Manel et Rihane durant les campagnes 2008- 2013 dans la région du Kef

La figure 2 représente l'évolution de la biomasse et fait ressortir les mêmes tendances enregistrées au niveau du rendement en grains. En effet, pour les quatre années relativement pluvieuses entre 2009 et 2012 (tableau 1), la variété Imen produit une moyenne de 11,23t/ha dépassant ainsi les témoins Manel et Rihane de 7.5% et 12%

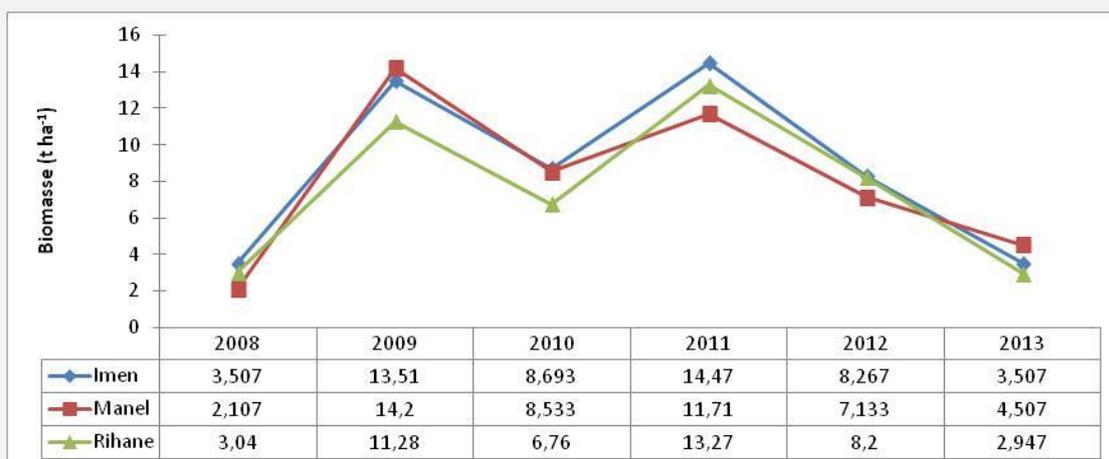


Figure 2. Evolution de la biomasse des variétés Imen, Manel et Rihane durant les campagnes 2008- 2013 dans la région du Kef

3.2. Effet du BYDV sur le rendement en grains et en biomasse

Sous l'effet du BYDV-PAV, Imen, Manel et Rihane ont donné respectivement des rendements de 43 qx/ha ; 24 qx/ha et 19 qx/ha, accusant des diminutions de 27% ; 57% et 58% par rapport à leurs témoins non inoculés (fig.3). Par ailleurs, à l'état inoculé, la nouvelle obtention Imen a dépassé les variétés de grandes cultures Manel et Rihane de respectivement 44 et 56%.

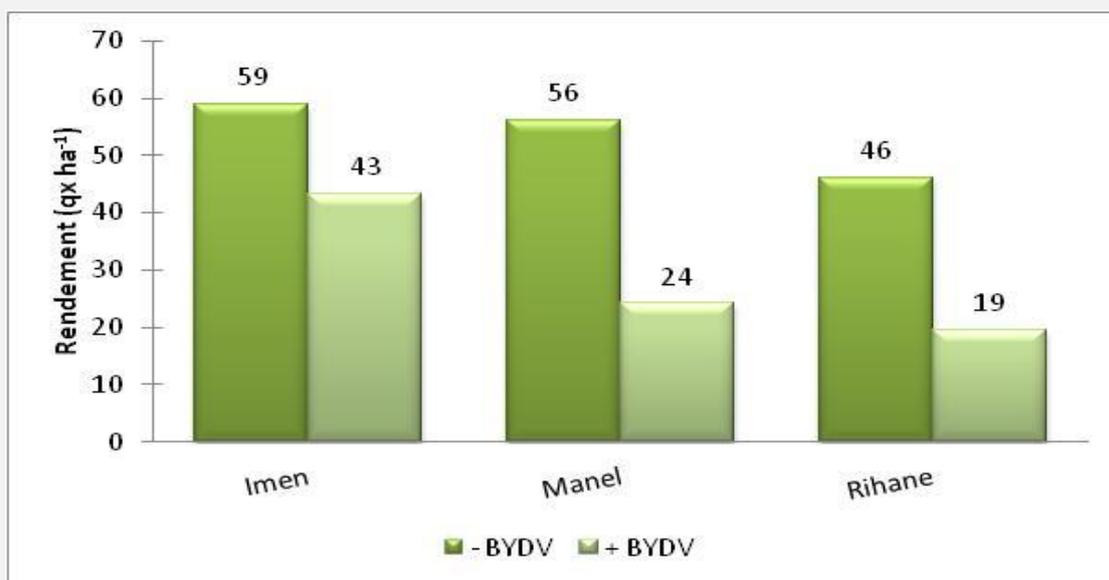


Figure3. Rendement des variétés Imen, Manel et Rihane inoculées et non inoculées

La figure 4 représente la biomasse des trois variétés étudiées et fait ressortir les mêmes tendances enregistrées au niveau du rendement en grains sous l'effet d'une infection par le BYDV-PAV. La variété Imen a dépassé les variétés témoins Manel et Rihane de respectivement 28% et 56% prouvant la sensibilité des ces dernières.

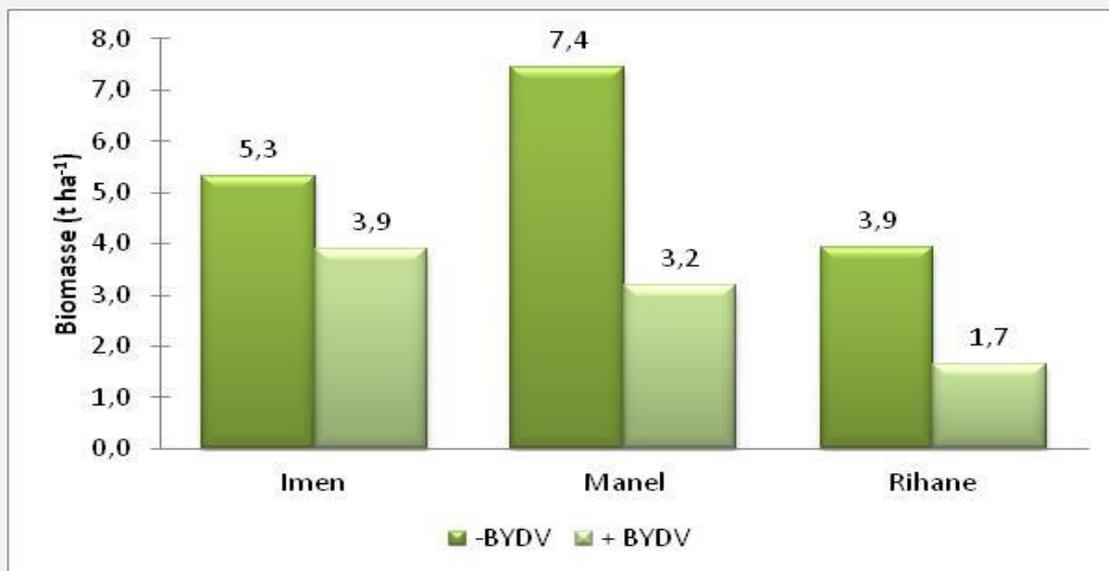


Figure 4. Biomasse des variétés Imen, Manel et Rihane inoculées et non inoculées

3.3. Analyse des marges brutes

3.3.1. Marge brute générée par la variété IMEN

La figure 5 montre que les marges brutes MB générées par les 3 variétés sont fluctuantes selon les années et ce en fonction des conditions climatiques y afférentes qui ont affecté les rendements et par conséquent les MB.

En considérant la campagne 2013 qui était particulièrement sèche (Tableau 1), la MB de la variété Imen s'annule tout en couvrant les charges d'un hectare. Par contre, la variété Manel a été affectée durant les deux campagnes 2008 et 2013 accusant une baisse respective de la MB ne couvrant pas les charges d'un hectare. Il en est de même pour la variété Rihane pendant la campagne 2013 engendrant ainsi une perte de 0,3 MDT.

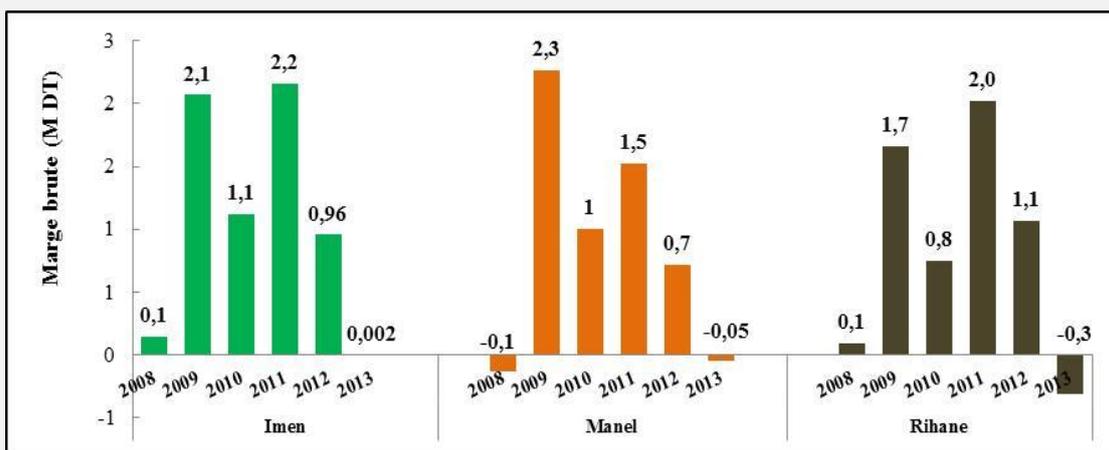


Figure 5. Marge brute générée par les trois variétés cultivées dans la région du Kef durant 6 campagnes agricoles (2008 – 2013)

Les moyennes des MB générées par les 3 variétés d'orge durant les 6 campagnes sont comprises entre 0,88 et 1,1 MDT/ha (figure 6). La MB moyenne la plus élevée est générée par la variété Imen (1,1 MDT/ha), suivie de Manel et Rihane avec respectivement 0,88 et 0,89 MDT/ha, soient 17,6 et 18,2% de moins par rapport à la variété Imen.

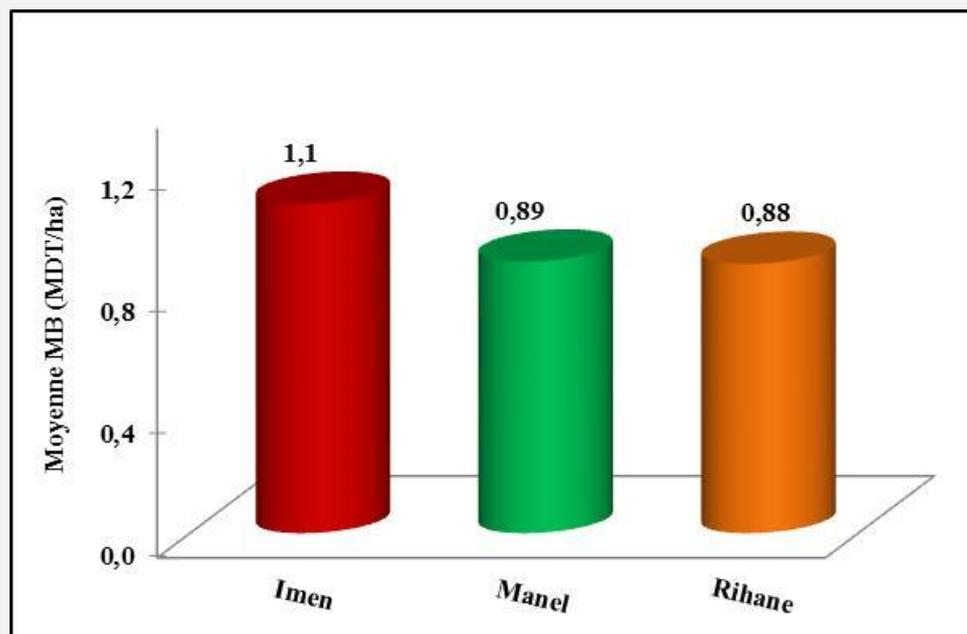


Figure 6. Moyenne des marges brutes générées par les variétés cultivées dans la région du Kef relative à 6 campagnes agricoles (2008 -2013)

3.3.2. Effet du BYDV sur la marge brute

Le BYDV a influencé négativement la MB particulièrement pour les variétés Manel et Rihane qui affichent des diminutions importantes de 82% et 97% respectivement (figure 7). Pour la variété Imen, une perte de la MB ne dépassant pas les 39% est notée.

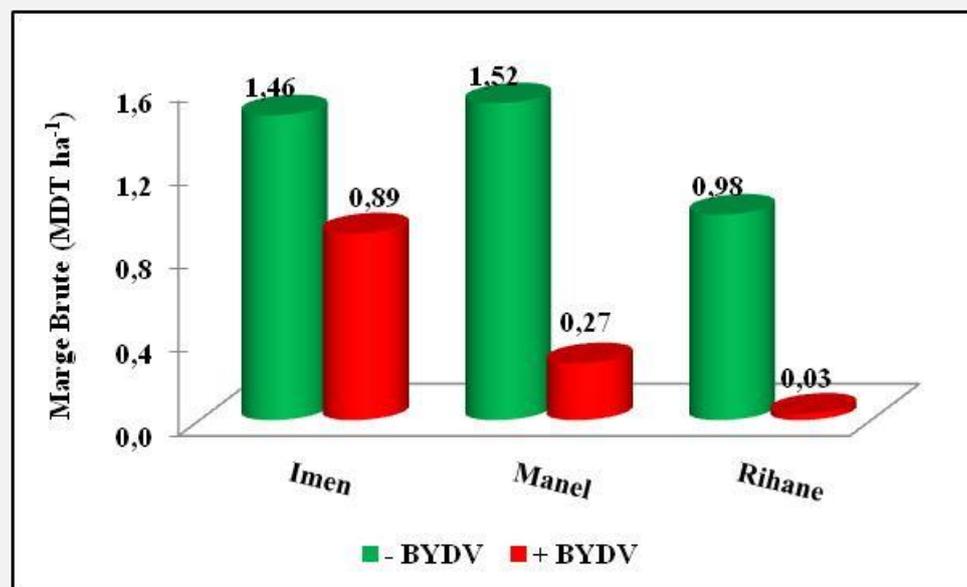


Figure 7. Moyenne des marges brutes générées par les variétés inoculées et non inoculées

4. Discussion

Les pertes de rendement occasionnées par le BYDV chez l'orge sont généralement plus importantes que chez le blé (Potter, 1982). L'intensité des symptômes observés varie selon la souche du virus responsable de l'infection et le génotype de la plante infectée.

Ainsi, Chay et al. (1996) rapportent que le BYDV-PAV engendre des symptômes plus sévères que le BYDV –MAV et le BYDV-RPV. C'est pour cela qu'une souche BYDV -PAV tunisienne caractérisée sur le plan biologique et moléculaire (Najar et al., 2017) a été utilisée dans nos essais de sélection de génotypes résistants.

L'action du virus au niveau de la plante infectée peut être résumée à partir de ses effets sur les trois composantes du rendement. Elle occasionne une réduction du nombre d'épis par unité de surface, du nombre de grains par épi et de la grosseur des grains (Yount et al., 1985). Par ailleurs, une diminution peut toucher également le volume de la biomasse de la plante contaminée, qui se traduit par un nanisme caractéristique (Hoffman et Kolb, 2001). Dans ce même ordre d'idée notre étude a fait ressortir que les variétés d'orge testées vis à vis du BYDV, ont montré une sensibilité différentielle, en ce sens que Manel et Rihane accusent les plus fortes diminutions en rendement en grains et biomasse (plus de 55%) alors que la variété Imen contenant le gène de résistance Yd2 n'affiche que 27% de diminution par rapport à leurs témoins non inoculés. Ceci confirme les résultats antérieurs rapportés par Najar (2009) sur le comportement de cette nouvelle variété par rapport aux deux variétés commerciales Manel et Rihane. Il s'en va donc que la lutte contre le virus en général et le BYDV en particulier doit recourir aux variétés résistantes comme le moyen le plus approprié. Peu importe les particularités épidémiologiques de la région de culture, cette lutte d'ordre génétique présente la meilleure garantie de succès aussi longtemps que les gènes de résistance auront la capacité de s'exprimer dans l'environnement cible (Kosova et al., 2008).

Pour comparer la rentabilité des différentes variétés, la marge brute (MB) de la production par hectare, c'est-à-dire la différence entre la valeur de la production et les charges opérationnelles doit être prise en considération. Dans le cas de cette étude, la marge brute prend en considération la production en grains ainsi que la production en paille.

Une corrélation positive entre la MB et le niveau de rendement est relevée pour les trois variétés, durant les 6 campagnes agricoles (2008-2013) et en présence du virus. Ceci est dû au fait que le coût annuel (Coût de mécanisation, charges fixes, ...) qui a été affecté aux trois variétés est le même, étant donné qu'elles sont toutes conduites sur la même unité expérimentale (parcelle), sous les mêmes conditions pédoclimatiques et recevant les mêmes quantités d'intrants.

Or l'optimum de rendement n'est pas forcément un optimum économique puisque les meilleurs rendements ne correspondent pas toujours aux meilleures MB et les meilleures MB ne sont pas forcément obtenues avec des dépenses plus élevées en charges opérationnelles. L'application de techniques culturales moins coûteuses et une conduite plus raisonnée permettraient une amélioration de la MB. Il est à noter à cet égard que dans notre étude, nous avons noté une augmentation du rendement en grains entre 2009 et 2011 pour Imen (4,5%) et Rihane (15%) qui n'était pas proportionnelle à l'augmentation de la MB générée vu la hausse générale des prix enregistrée depuis 2011 (tableau 3), soit 236 DT de plus qu'en 2008-2010, essentiellement lié à l'augmentation des engrais et de la main d'œuvre. Ce qu'on peut retenir de la présente étude est que la nouvelle obtention Imen confère une réelle rentabilité économique par rapport aux variétés commerciales notamment en conditions d'infection virale (BYDV). Il reste cependant à confirmer cette supériorité à plus grande échelle dans différents environnements de culture avec la participation des agriculteurs.

5. Conclusion

Ce qu'on peut retenir de la présente étude est que la nouvelle obtention Imen confère une réelle rentabilité économique par rapport aux variétés commerciales notamment en conditions d'infection virale (BYDV). Il reste cependant à confirmer cette supériorité à plus grande échelle dans différents environnements de culture dans une approche participative avec la participation des agriculteurs.

6. References

- Comeau A (1984)** Aphid rearing and screening methods for resistance to barley yellow dwarf Virus in cereals. In: Proceeding of the International Workshop on Barley Yellow Dwarf Virus. Burnett P. A., Eds CIMMYT, Mexico, P 60-71.
- Chay CA, Smith DM, Vaughan R, Gray SM (1996)** Diversity among isolates within the PAV serotype of barley yellow dwarf virus. *Phytopath.* 86: 370-377.
- El Felah M, Gharbi MS, Ben Ghanem H, Elloumi M (2015)** Les céréales en Tunisie entre mythe et réalité. *Annal. INRAT* 88:1-17.

- Ford CM, Paltridge NG, Rathjen JP, Moritz RL, Simpson RJ, Symons RH (1998)** Rapid and information assays for Yd2, the Barley yellow dwarf resistance gene, based on the nucleotide sequence of a closely linked gene. *Mol. Breeding*, 4: 23-31.
- Gohin A, Chantreuil F (1999)** La programmation mathématique positive dans les modèles d'exploitation agricole. *Cahiers Eco. Soc.ru.* 52: 59-79.
- Hoffman TK, Kolb FL (2001)** Effects of barley yellow dwarf virus on yield and yield components of drilled winter wheat. *Plant Dis.* 82: 620-624.
- Makkouk KM, Kumari SG (1996)** Detection of ten viruses by the tissu-blot. immunoassays (TBIA). *Arab. J. Plant. Prot.* 14:3-9.
- Najar A (2009)** Le virus de la jaunisse nanisante de l'orge. Importance, Caractérisation moléculaire et intégration dans la sélection de lignées d'orge résistantes. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. INAT, Univ Tunis, 240p.
- Najar A, Hamdi I, Varsani A (2017)** Barley yellow dwarf virus in barley crops in Tunisia: Prevalence and molecular characterization . *Phyt. Med.* 56: 111-118.
- Potter LR (1982)** Interaction between barley yellow dwarf virus and rust in wheat, barley and oats, and the effects on grain yield and quality. *Ann. Appl. Biol.* 100: 321-329.
- Kosova K, Chrpova J, Sip V (2008)** Recent advances in breeding of cereals for resistance to Barley yellow dwarf virus. *Czech J.Genet. Plant Breed.* 44: 1-10.
- Yount DJ, Martin M, Caroll TW, Zaske SK (1985)** Effect of Barley yellow Dwarf virus on growth and yield of small grains in Montana. *Plant. Dis.* 69: 487-491.