

Importance of BYDV on barley and oat in Tunisia and evaluation of viral infection on their forage quality

Importance du BYDV sur orge et avoine en Tunisie et évaluation de l'infection virale sur leur qualité fourragère

A. NAJAR^{1*}, H. BEN GHANEM², S. KUMARI³, M. ZAYANI⁴, A. ABDELKEFT⁴, T. NAJAR⁴

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

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

³ Seed Health Unit, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), P.O.Box 114/5055, Beirut, Lebanon

⁴ National Institute of Agronomy of Tunisia. University of Carthage, 43, Street Charles Nicolle, 1080 Tunis, Tunisia

*Corresponding author: asmanajara@yahoo.fr

Abstract – Cereals are considered as strategic crops in Tunisia because of their economic and social relevance and the importance of the cultivated areas. Viral diseases and particularly barley yellow dwarf virus (BYDV) represent one of the major constraints that reduce the genetic potential of most cereal species and cultivars. In this context our study aims to assess the prevalence and the geographical distribution of BYDV and to evaluate the virus incidence on biomass and forage quality on oat and barley that provide important part of forage production for ruminants in Tunisia. In this regard, a field survey was conducted during 2015/2016 growing season in North-Eastern regions (Bizerte, CapBon, Mateur) and North-Western region (Kef, Fahs) and Central-Eastern region (Kairouan). For barley, Tissue blot immunoassays (TBIA) results showed that BYDV were most common in Fahs, Mateur and Bizerte with detectable incidence rate is nearly of 40% in randomly collected samples from these three locations. For oat, BYDV infection was more important in Mateur (35%), followed by Bizerte and Cap Bon regions who have a similar infection (23%). Among the different BYDVs identified, BYDV-PAV was the most common compare to CYDV-RPV with 18 % for barley and 57% for oat. Based on BYDV inoculation, significant biomass decreases were recorded for barley and reached 48% and 50% respectively for Manel and Rihane followed by the Meliane oat variety (42%). These results confirm the sensitivity of these varieties to the virus. The chemical composition of the different samples of barley and oat analyzed shows that only the lignin (ADL) levels show a significant difference between the two varieties into the two species. In fact, Rihane is more rich than Manel by 80%. The same trend was observed for Bizanta, which exceeds Meliane by 58%.

Keywords: BYDV, Barley, Oat, Viral incidence, forage quality

Résumé - Les céréales sont considérées comme des cultures stratégiques en Tunisie de par leur importance économique et les emblavures qu'elles occupent. Les maladies virales plus particulièrement le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV), présentent une contrainte majeure limitant l'expression des potentialités génétiques de la plupart des espèces et variétés cultivées. La présente étude a pour objectif d'évaluer d'une part l'incidence du BYDV et sa répartition géographique en fonction des régions céréalières et d'autre part d'identifier l'effet du virus sur la biomasse et la qualité fourragère des deux espèces orge et avoine utilisées pour l'alimentation du cheptel. Des prospections ont été réalisées durant la campagne 2015/2016 dans les régions du Nord-est (Bizerte, CapBon, Mateur) et Nord-west (Kef, Fahs) ainsi qu'au Centre (Kairouan). Les tests sérologiques Tissue blot immunoassays (TBIA) révèlent pour l'orge une contamination importante du virus (40%) dans les régions de Mateur, Fahs et Bizerte. Pour l'avoine, l'incidence du BYDV était plus importante à Mateur (35%) suivie des régions de Bizerte et Cap bon avec un taux d'infection similaire (23%). Des analyses sérologiques plus spécifiques ont mis en évidence la prépondérance du virus BYDV-PAV par comparaison au CYDV-RPV avec des



taux de 18% pour l'orge et 57% pour l'avoine. Sous l'effet d'une inoculation par le BYDV, des diminutions importantes de la biomasse a été enregistrée pour l'orge et a atteint 48% et 50% respectivement pour Manel et Rihane suivi de la variété d'avoine Meliane (42%) stipulant une sensibilité de ces variétés au virus. La composition chimique des différents échantillons d'orge et d'avoine analysés montre que seules les teneurs en lignine (ADL) présentent une différence significative entre les deux variétés au sein des deux espèces. En effet Rihane est plus riche en ADL que Manel de 80%. Il en est de même pour Bizanta qui dépasse Meliane de 58%.

Mots clés : Allium, Polyphénols, GCMS, activité antioxydante, DPPH, infusion, décoction.

1. Introduction

Les céréales constituent la principale ressource vivrière de l'humanité. Elles représentent une activité économique et sociale stratégique et de premier plan partout dans le monde. En effet, la céréaliculture joue un rôle multiple comme culture principale des terres agricoles, composante du Produit Intérieur Brut Agricole, source d'emploi dans le milieu rural et avec des capacités importantes de transformation industrielle (El Mekki, 2006).

En Tunisie, les agriculteurs cultivent fréquemment des blés durs pour leurs besoins en semoule, l'orge et l'avoine pour assurer, les besoins du cheptel. Bien que la céréaliculture occupe une place privilégiée dans l'agriculture tunisienne, la production nationale des céréales reste très variable d'une année à une autre (Deghaies et al., 2007).

La production céréalière est fortement dépendante de plusieurs facteurs abiotiques essentiellement climatiques en relation avec l'irrégularité des précipitations, et d'autres biotiques telles que les adventices, les maladies cryptogamiques et les maladies virales (Link et al., 1984).

Plusieurs virus peuvent attaquer les céréales, mais le plus répandu est le virus de la jaunisse nanisante de l'orge ou Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV) (Najar et al., 2017). Depuis sa découverte, ce virus a fait l'objet de plusieurs travaux. Il est reconnu depuis quelques temps comme ayant une large distribution mondiale et possède toutes les caractéristiques des virus des végétaux les plus graves (Plumb, 1983 ; Rochowet al., 1986).

Etant donné l'importance grandissante de ce virus et son impact sur les pertes de rendement occasionnées chez l'avoine et l'orge qui sont plus importantes que sur blé (Potter, 1982), nous nous sommes proposés d'étudier dans le présent travail :

- L'incidence virale du BYDV et sa répartition géographique sur les cultures d'orge et d'avoine.
- L'influence du virus sur le rendement biologique et la qualité fourragère de ces espèces.

2. Matériel et méthodes

2.1. Evaluation de l'incidence du BYDV

2.1.1. Prospections et méthodes d'échantillonnage

Les prospections ont été réalisées au printemps 2016. Elles ont concerné les zones céréalières suivantes situées au Nord Est, Nord-Ouest et Centre de la Tunisie : Bizerte, Mateur, Cap Bon, Kairouan, Fahs et Kef en considérant deux espèces de céréales (Orge et avoine). Ces prospections ont été conduites d'une manière tout à fait aléatoire qui consiste à choisir un champ tous les 5 à 10 km sur l'itinéraire emprunté dans la région prospectée. Dans chaque parcelle, deux types d'échantillonnage ont été réalisés (Tableau1) :

Premier type : il consiste à prélever au hasard et sur la diagonale de la parcelle plus ou moins 150 échantillons en fonction de la taille de l'exploitation prospectée. Cet échantillonnage qui ne tient pas compte de la présence des symptômes, permet d'estimer le taux de contamination qui se rapproche le plus de la réalité.

Deuxième type : il consiste à prélever une vingtaine d'échantillons qui présentent des symptômes de jaunissement, rougissement ou nanisme vraisemblablement associés à une infection virale. Cet échantillonnage qui a été réalisé en parcourant le champ dans toutes les directions, permet de confirmer l'importance d'un virus ou groupe de virus en complément aux informations de l'échantillonnage précédent.

Tableau1. Nombre de champs visités et d'échantillons d'orge(O) et d'avoine (A)collectés dans les régions prospectées

Région	Bizerte		Mateur		Cap bon		Kairouan		Fahs		Kef	
	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A
Nombre de champs	3	8	3	5	6	4	6	0	5	0	5	3
Echantillons aléatoires	480	1280	480	800	960	640	960	0	600	0	600	360
Echantillons symptomatiques	75	200	75	125	150	100	150	0	125	0	125	75
Total échantillons	555	1480	555	925	1110	740	1110	0	725	0	725	435

2.1.2. Tests sérologiques

Tous les échantillons collectés ont été testés au laboratoire, en utilisant la méthode sérologique Tissue Blot Immunoassay (TBIA) (Makkouk et Kumari, 1996). Un anticorps polyclonal anti-BYDV aimablement fourni par le laboratoire de virologie à l'ICARDA a été utilisé. Pour l'identification des deux virus BYDV -PAV (*Luteovirus*) et BYDV-RPV (CYDV-RPV) (*Polerovirus*), le test sérologique utilisé est l'Enzyme Linked Immuno-Sorbent Assay (ELISA) avec la variante Double Antibody Sandwich (ELISA -DAS) (Clark et Adams, 1977). L'antigène testé est fixé sur un anticorps spécifique, puis révélé par des IgG-E spécifiques, marquées à la phosphatase alcaline. Les deux anticorps spécifiques proviennent de BIOREBA (Suisse). Un nombre de 150 échantillons (80 orge +70 avoine) pour le virus PAV et 129 échantillons (80 orge + 49 avoine) pour le virus RPV ont été testés

2.2. Influence du BYDV sur le rendement en biomasse et la qualité fourragère

Pour évaluer l'effet de l'infection par le virus sur le rendement biologique et la qualité fourragère des variétés d'orge et d'avoine, un essai en plein champ a été installé moyennant la réalisation d'inoculations artificielles.

2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des deux cultivars d'orge les plus cultivés en Tunisie, Manel et Rihane et de deux variétés d'avoine Bizanta et Meliane.

2.2.2. Souche de BYDV utilisée

Il s'agit d'une souche BYDV-PAV caractérisée au préalable sur un plan moléculaire (Najar et al., 2017). Elle est maintenue sous serre sur la variété d'orge Manel.

2.2.3. Multiplication du puceron vecteur *Rhopalosiphum padii*

La multiplication du puceron vecteur a été réalisée d'après la méthode décrite par Comeau (1984). Une femelle aptère de *Rhopalosiphum padii* est mise en élevage dans une boîte à pétri sur milieu nutritif contenant 20% de sucrose et couvert de parafilm. Les larves obtenues sont transférées, pour leur multiplication sur des plantules d'orge de la variété Manel cultivées dans des pots de 25 cm de diamètre. Ces derniers sont mis sous cage en polyvinyle chlorure (PVC) et maintenus sous serre dans un compartiment isolé sous conditions contrôlées (Température 18 à 20 °C photopériode 16/8) et ce pour une période de deux semaines.

Pour l'acquisition du virus, les populations de *Rhopalosiphum padii* ainsi obtenues sont transférées dans un autre compartiment de la serre et maintenues entre 24 et 48 heures sur des plantules d'orge Manel infectées par la souche BYDV-PAV-T et ce après avoir subi 1 jour de jeun.

2.2.4. Transmission du virus

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 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 TBIA sont réalisés 15 jours après inoculation.

2.2.5. Installation de l'essai

2.2.5.1. Site et dispositif expérimental

L'essai a été conduit durant la campagne agricole 2015/2016 à l'Unité d'Expérimentations Agricoles de Mornag relevant de l'INRAT selon un dispositif en Split Plot avec les traitements inoculé et non inoculé représentant le facteur principal et les cultivars (Bizanta et meliane ; Manel et Rihane) le facteur secondaire. Ce dispositif comporte trois blocs dont chacun est subdivisé en 2 sous blocs. Chaque sous bloc est subdivisé en quatre unités expérimentales pour accommoder les cultivars qui sont semés en 4 lignes de 1,5 m de long espacées de 25 cm.

2.2.5.2. Préparation du sol

Le précédent cultural est une légumineuse à graines. Les travaux de préparation consistent en un passage avec cultivateur début septembre 2015. Un passage avec pulvérisateur à disque fin septembre et un deuxième passage a été effectué avec l'offset début octobre. Le semis a été réalisé manuellement avec une densité de 320 grains/ m² à la mi- novembre 2015. La fertilisation est constituée d'un premier apport de 120 Kg/ha (45g/3m²) d'ammonitrite 33% au stade début tallage.

2.2.6. Récolte

La récolte est réalisée à maturité à la fin du mois de mai pour évaluer le rendement en biomasse.

2.2.7. Evaluation de la qualité fourragère

2.2.7.1. Méthodologie d'analyse de la qualité fourragère

La matière sèche a été déterminée après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 H. Les teneurs en MAT et en fibres NDF, ADF et ADL des différents échantillons ont été déterminées selon les méthodes officielles de Kjeldahl (AOAC, 2000) et de Van Soest et al. (1991).

La teneur en Matière azotée totale (MAT) a été déterminée à l'aide d'un appareillage automatique où les échantillons ont subi une minéralisation à 400°C dans un milieu acide en présence d'acide sulfurique et d'un catalyseur. Cette étape est suivie d'une distillation permettant, en présence de soude à 50% de concentration, la transformation des ions ammonium NH₄⁺ en ammoniac NH₃ volatile qui sera par la suite piégé par la solution d'acide borique concentrée à 4% permettant de le doser l'azote par titration à l'acide chlorhydrique 0.1 N.

La détermination de la teneur en fibres a été réalisée à l'aide d'un Fiber Sac. Le principe de cette analyse consiste à éliminer les fractions solubles du contenu cellulaire pour n'en garder que les différentes fractions de fibres. A l'aide d'une solution NDF (Neutral Detergent Fiber) le contenu cellulaire soluble est éliminé, et le poids résiduel permet de déterminer la teneur en NDF. Par la suite, les échantillons subissent une seconde digestion avec une solution ADF (Acid Detergent Fiber) où la fraction hémi cellulosique est éliminée, le résidu restant contient alors les fractions cellulose et lignine. Cette dernière sera finalement éliminée à l'aide d'une solution d'acide sulfurique à 72% pour récupérer la fraction cellulosique.

2.2.8. Analyse statistique:

Les résultats relatifs à la composition chimique des lignées d'avoine et d'orge testées ont été analysés statistiquement selon le modèle suivant :

$$Y = \mu + T_i + V_j + T_i x V_j + e_{ijk}$$

Où :

Y : le paramètre de composition ; μ : la moyenne ; T_i : Effet du traitement ; V_j : Effet de la variété ;

$T_i x V_j$: Effet de l'interaction ;

e_{ijk} : Erreur résiduelle

L'analyse de la variance a été effectuée avec la procédure anova du GeneStat avec l'option L.S.D.

3. Resultats

3.1. Taux moyens de contamination par le BYDV sur orge et avoine toutes régions confondues

Pour avoir une idée générale sur l'incidence du BYDV, nous avons essayé d'identifier par test sérologique les taux moyens de contamination relatifs à chaque culture, dans les deux types d'échantillonnage (symptomatique et aléatoire), abstraction faite de la région (figure.1).

Cette récapitulation confirme au niveau de l'échantillonnage aléatoire l'importance du BYDV en Tunisie avec une légère supériorité de l'infection pour l'orge par rapport à l'avoine affichant des taux respectifs moyens de 30 et 25% (Fig.1).

La symptomatologie du BYDV est plus évidente sur avoine que sur orge puisque les taux moyens de contamination sur la base de l'échantillonnage symptomatique sont respectivement de 52 et 39%.

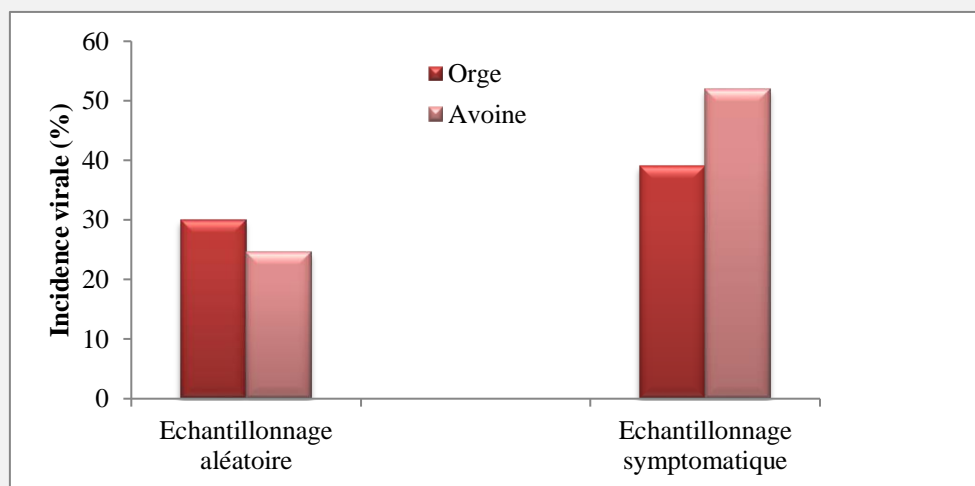


Figure 1. Taux de contamination moyen calculé sur base de l'échantillonnage symptomatique et aléatoire pour le BYDV identifié dans les champs d'orge et d'avoine

3.2. Importance relative du BYDV en fonction des régions de culture

3.2.1. Situation relative à l'orge

La figure 2 résume les résultats du test sérologique TBIA pour les deux types d'échantillonnage en tenant compte de l'effet "région".

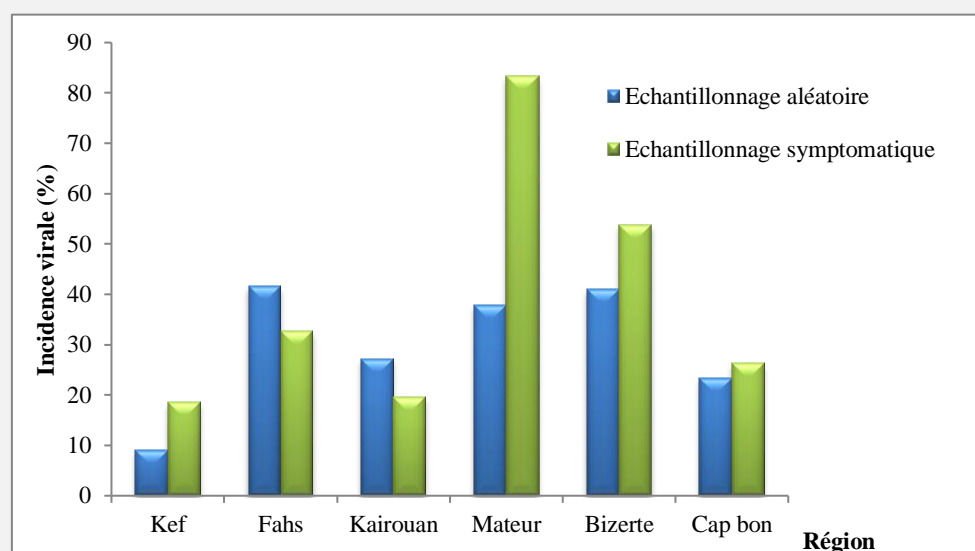


Figure 2. Taux d'infection virale (%) déterminés suite aux tests sérologiques (TBIA) effectués sur les échantillons d'orge collectés sur la base des symptômes et de manière aléatoire en fonction des régions

L'échantillonnage aléatoire reflétant la contamination réelle dans toutes les régions fait ressortir que Fahs, Bizerte et Mateur constituent les régions les plus contaminées avec des taux assez élevés (environ 40%). Les régions de Kairouan et du Cap Bon viennent en deuxième position et affichent respectivement 27 et 23% d'infection. Avec un taux de 9%, la région du Kef constitue une source non négligeable de contamination par le BYDV.

Les mêmes tendances sont relevées pour l'échantillonnage symptomatique. En effet, la région de Mateur accuse le taux le plus important (83,3%) suivi de Bizerte et Fahs avec des taux respectifs de 53,7 et 32,65%. Les régions du Kef, Kairouan et Cap Bon constituent la deuxième classe avec des taux de contamination variant de 19 à 26%.

3.2.2. Situation relative à l'avoine

Tenant compte des résultats de l'échantillonnage aléatoire, les taux de contamination montrent une prédominance du BYDV dans la région de Mateur (35%), suivie des régions de Bizerte et du Cap Bon qui affichent une infection similaire de 23%. Avec un taux supérieur à 10%, la région du Kef constitue une source non négligeable de contamination par le BYDV (figure.3).

Le taux d'infection calculé sur la base de l'échantillonnage symptomatique révèle une prépondérance du BYDV dans la région de Bizerte (73%) suivi des autres régions qui sont classées pratiquement dans la même catégorie de contamination.

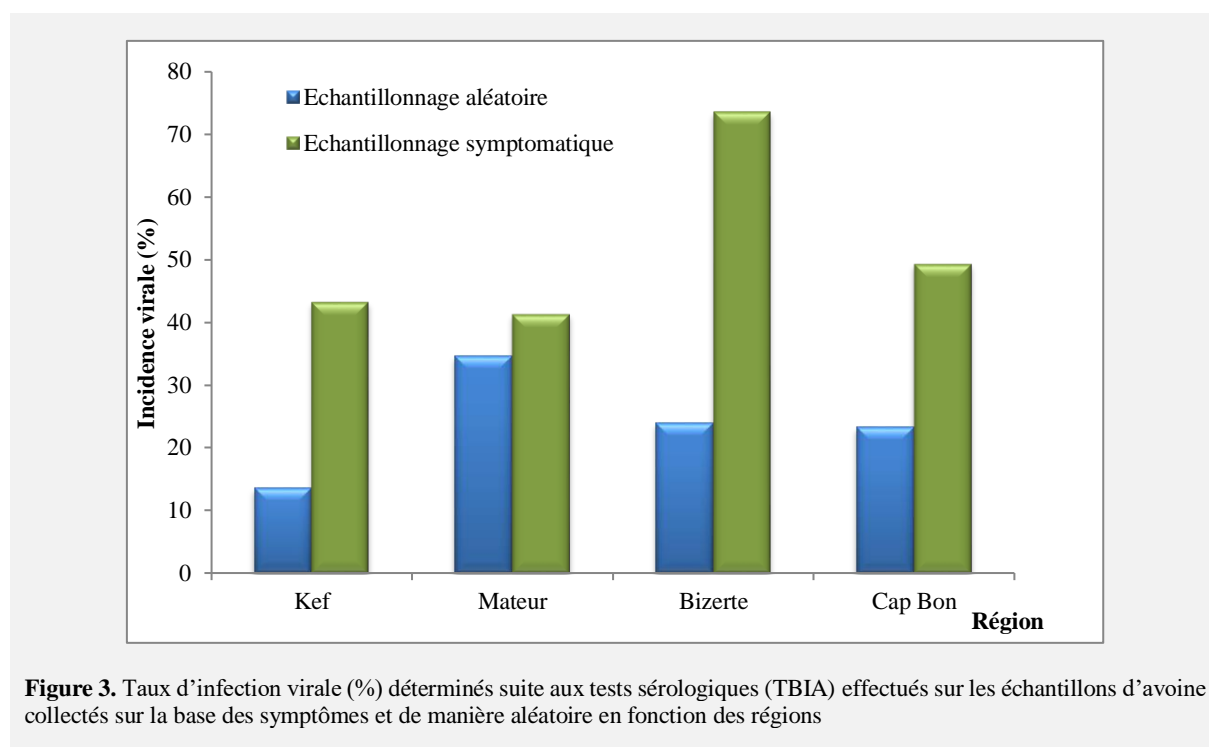


Figure 3. Taux d'infection virale (%) déterminés suite aux tests sérologiques (TBIA) effectués sur les échantillons d'avoine collectés sur la base des symptômes et de manière aléatoire en fonction des régions

3.3. Identification et importance relative des BYDV-Luteoviridae

L'application de deux anticorps polyclonaux spécifiques au *Luteovirus* BYDV- PAV et *Polerovirus* BYDV-RPV (CYDV-RPV), montre une prépondérance du virus PAV. En effet, les tests sérologiques d'ELISA réalisés sur 80 échantillons symptomatiques d'orge et 70 échantillons d'avoine révèlent la contamination de respectivement 15 et 40 d'entre eux par le BYDV-PAV soit des taux de 18% pour l'orge et 57% pour l'avoine (figure. 4). Pour le virus-RPV, un seul échantillon d'avoine sur 129 testés s'est révélé positif prouvant la rareté de ce sérotype.

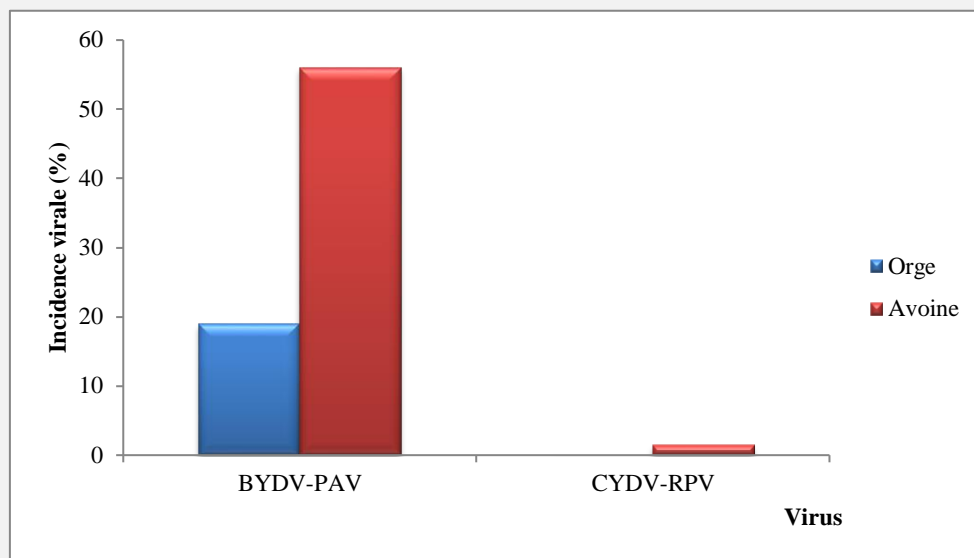


Figure 4. Fréquence du BYDV-PAV et CYDV-RPV basée sur les tests sérologiques réalisés sur des échantillons d'orge et d'avoine

4. Influence du virus sur le rendement en biomasse et la qualité fourragère

4.1. Rendement en biomasse

En absence de contamination, la variété d'orge Manel présente la biomasse la plus importante (4.8 t/ha) alors que la variété d'avoine Bizanta avec 1.9t/ha enregistre le rendement fourrager le plus faible (figure5).

Sous l'effet de la contamination par le BYDV, les biomasses des variétés d'avoine et d'orge testées diminuent d'une manière significative (seuil 5%). La diminution la plus importante a été enregistrée pour l'orge qui a atteint 48% et 50% pour Manel et Rihane respectivement suivi de la variété d'avoine Meliane (42%) stipulant une plus grande sensibilité de ces variétés au virus par comparaison à Bizanta qui a accusé une baisse de la biomasse proche de 30% (figure.5).

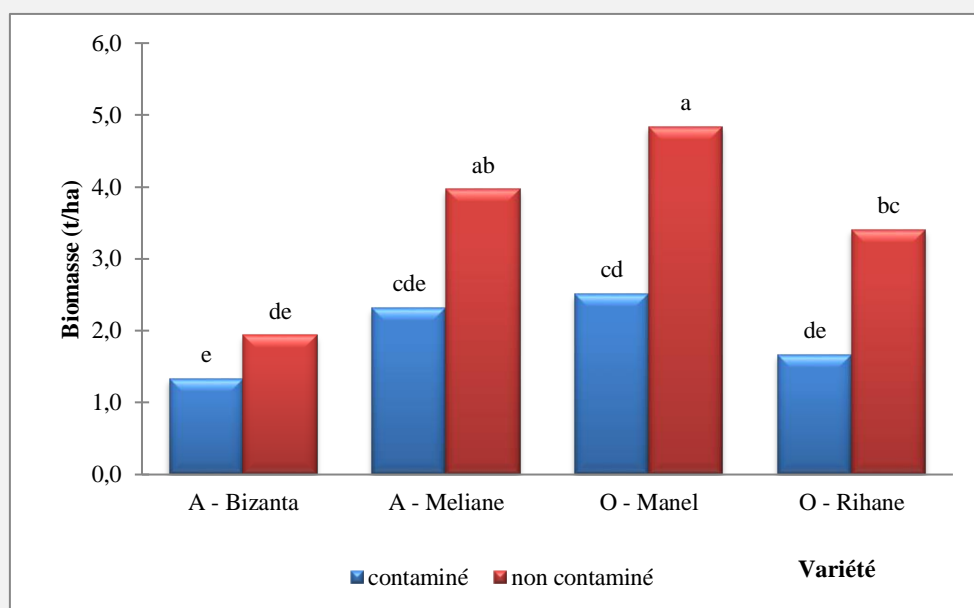


Figure 5. Rendements moyens en biomasse des variétés testées

Par ailleurs, il est à signaler que la diminution du rendement fourrager entre les variétés contaminées et non contaminées est d'autant plus importante que le rendement initial est plus élevé (figure 6).

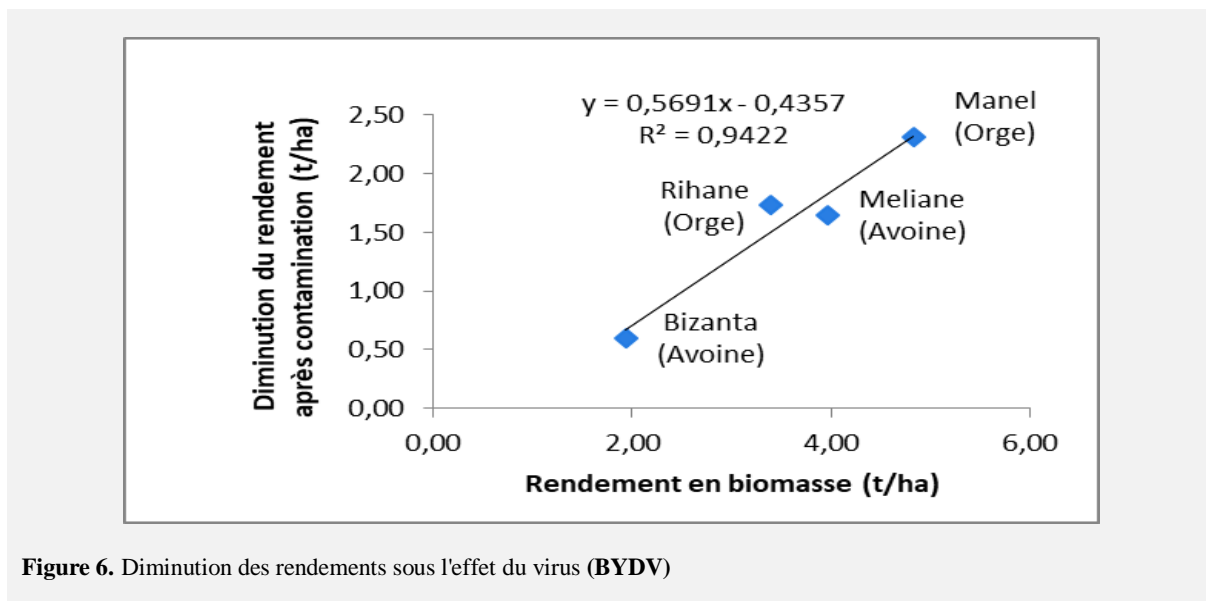


Figure 6. Diminution des rendements sous l'effet du virus (BYDV)

4.2. Influence du BYDV sur la qualité fourragère

La composition chimique des différents échantillons d'orge et d'avoine analysés, permet d'évaluer leur qualité fourragère et leur aptitude à être valorisées en alimentation animale. Les valeurs moyennes de composition en matières azotées et en paroi végétale des différents échantillons analysés sont conformes aux valeurs usuelles pour ces deux espèces (Alibes et Tisserand, 1981).

Les seuils de signification des différents modèles d'analyse de la variance pour les différents paramètres étudiés et considérant la variété, l'infection virale et leur interaction comme source de variation sont rapportés dans le tableau 2.

Tableau 2. Seuils de signification des effets des différentes sources de variation sur les teneurs en protéines (MAT) et en fibres (NDF, ADF et ADL) des différentes lignées d'orge et d'avoine testées

Source de variation	Avoine				Orge			
	MAT	NDF	ADF	ADL	MAT	NDF	ADF	ADL
Variété	0.268	0.540	0.226	<u>0.001</u>	0.155	0.020	<u>0.003</u>	<0.0001
Traitement	0.225	0.440	0.607	0.694	0.178	0.447	0.091	<0.0001
Interaction	0.536	0.853	0.810	0.227	0.221	0.569	0.996	<0.0001

Les valeurs soulignées correspondent à des seuils significatifs

4.2.1. Teneur en MAT

En absence de contamination, la teneur en MAT de la variété d'avoine Meliane dépasse légèrement celle de la variété Bizanta. Sous l'effet du virus, les teneurs des deux variétés d'avoine ont tendance à diminuer.

Pour l'orge, malgré la différence apparente, Manel n'est pas significativement plus riche en MAT que Rihane. Suite à l'inoculation par le BYDV, une différence modérée et non significative (1,16%) est observée pour la variété d'orge Manel (figure. 7).

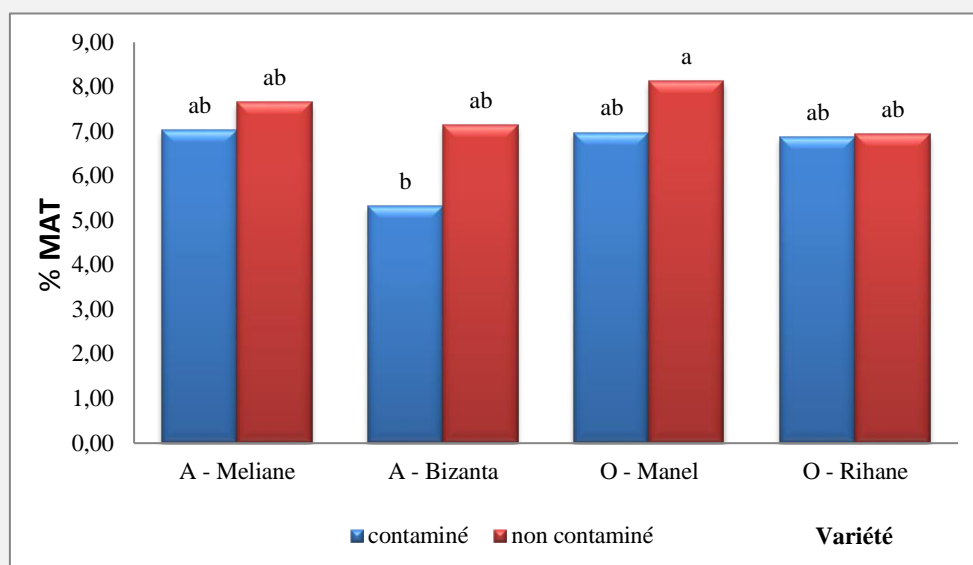


Figure 7. Teneurs moyennes en MAT des variétés testées (A:avoine et O: orge)

4.2.2. Teneur en NDF

La figure 8 rapporte les teneurs en paroi totale (NDF) des différentes variétés étudiées. Les différences observées pour ce paramètre entre les espèces et les variétés étudiées contaminées et non contaminées par le virus BYDV ne sont pas significatives.

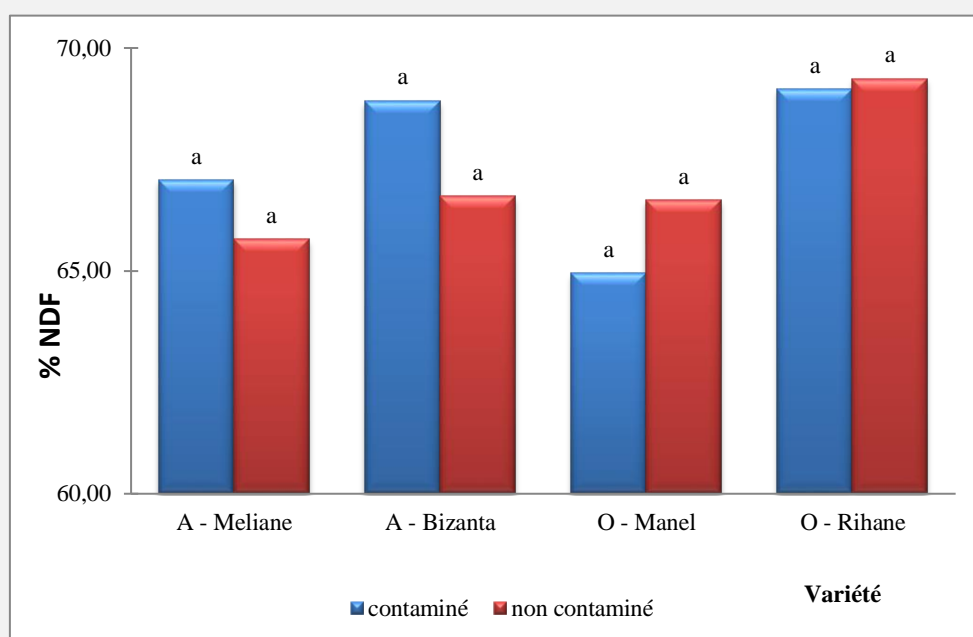


Figure 8. Teneurs moyennes en fibres NDF des variétés testées (A: avoine et O: orge)

4.2.3. Teneur en ADF

Pour les teneurs en fibres ADF, aucune différence significative n'a été décelée entre les différentes variétés et traitement bien qu'une légère diminution a été notée dans le cas de contamination par le BYDV. Par ailleurs, la variété Bizanta enregistre les teneurs les plus élevées en absence et présence de du virus (figure 9).

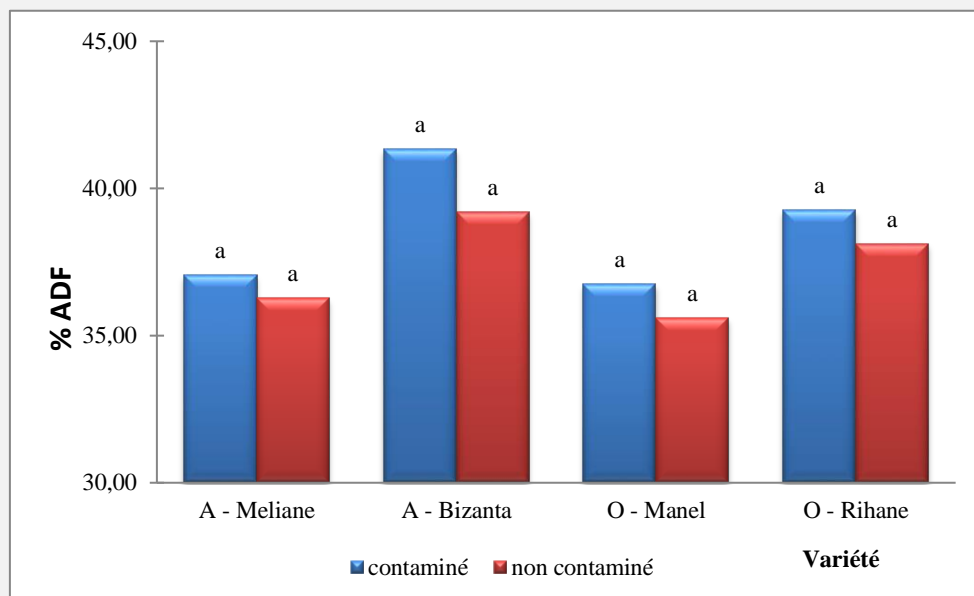


Figure 9. Teneurs moyennes en fibres ADF des variétés testées (A: avoine et O: orge)

4.2.4. Teneur en ADL

Seules, les teneurs en lignine (ADL) présentent une différence significative entre les deux variétés d'avoine étudiées. En effet, Bizanta présente les taux les plus élevés par comparaison à Meliane. Il est également important de signaler qu'aucun effet dû à l'infection virale n'a été noté.

Par ailleurs, pour l'orge les teneurs varient significativement en fonction de la variété. En effet Rihane est plus riche en ADL que Manel (figure.10). En effet Rihane est plus riche en ADL que Manel de 80%. Il en est de même pour Bizanta qui dépasse Meliane de 58%.

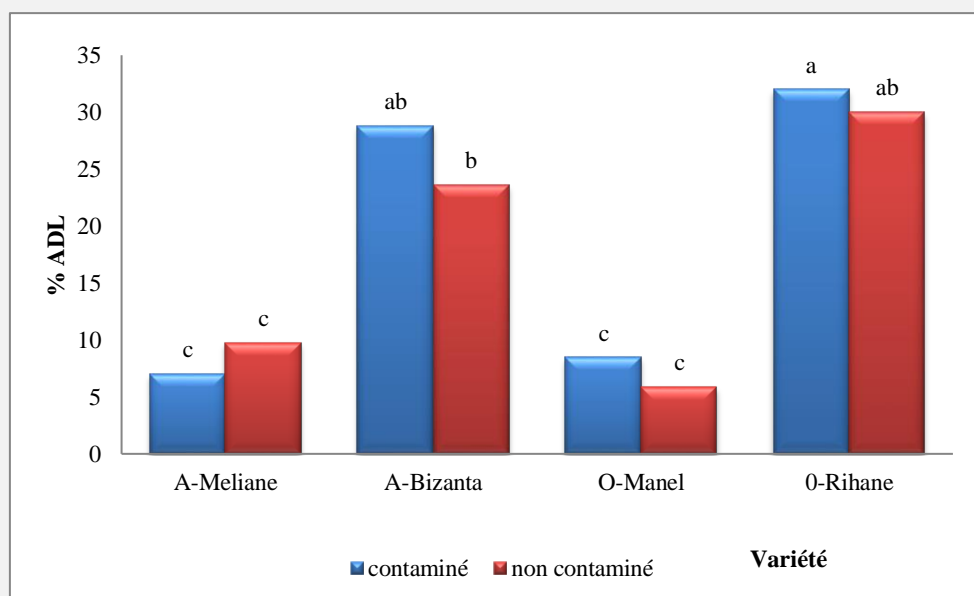


Figure 10. Teneurs moyennes en fibres ADL des variétés testées (A: avoine et O: orge)

5. Discussion

L'étude que nous avons menée à cet égard montre, à travers les tests sérologiques réalisés et sur un échantillonnage aléatoire exhaustif, que l'infection virale par le BYDV était assez marquée puisqu'elle atteint pour l'échantillonnage aléatoire 35% et 40% respectivement pour l'avoine et l'orge.

La campagne 2015/2016, étant en effet relativement pluvieuse avec un hiver doux, semble avoir favorisé la multiplication des insectes vecteurs et par conséquent la dissémination du virus. En effet, lors de nos prospections, l'activité aphidienne était assez remarquable dans la majorité des champs prospectés. Ces observations sont en accord avec les travaux de Robert and Lemaire (1999), Thackrayetal. (2001) and Hall (2007) qui ont rapporté l'influence des conditions climatiques sur la multiplication des insectes vecteurs et par conséquent, la dissémination des virus qu'ils transmettent.

Les résultats obtenus pour l'orge corroborent les travaux de Bouallegue et al. (2014) et Najar et al (2017) qui rapportent des taux de contamination par le BYDV variant entre 14% et 37% en fonction des régions prospectées.

Pour l'échantillonnage symptomatique, l'incidence du virus est inférieure à celle identifiée dans les échantillons aléatoires particulièrement dans les régions du Fahs et kairouan . Ceci est probablement dû au fait que l'orge pourrait être contaminée par d'autres virus dont la mosaïque striée de l'orge (BSMV), le virus de la jaunisse et de la mosaïque striée de l'orge (BYSMV) et enfin le virus du nanisme du blé (WDV) comme rapporté par Najar et al. (2000). Pour l'avoine, l'incidence du virus était proche de celle de l'orge et atteint des taux variant de 23% à 35% pour les régions du Cap Bon, Bizerte et Mateur. L'importance du BYDV sur avoine est rapportée à notre connaissance pour la première fois en Tunisie. Ces résultats rejoignent ceux de Potter (1987) qui a enregistré chez l'avoine des contaminations substantielles occasionnées par le BYDV.

L'application des anticorps monoclonaux spécifiques a permis de mettre en évidence la fréquence du BYDV-PAV par comparaison au BYDV-RPV pour les deux espèces orge et avoine. Cette situation est comparable à celle rapportée dans l'Ouest de la France (Leclercq-Le Quilic et al., 2000), en Grande-Bretagne (Baker, 1990; Plumb, 1990), en Espagne (Comas et al., 1996) ainsi qu'en Hongrie (Pocsai et al., 1995). Une telle supériorité du BYDV-PAV pourrait être attribuée à une multiplication plus importante de l'un de ses vecteurs *Rhopalosiphum padii* (Boukhris et al., 2007). Aussi, le fait que le BYDV-RPV soit transmis par une unique espèce aphidienne (*R.padii*), limiterait sa compétitivité par rapport au BYDV-PAV, ajouté à cela le nombre d'hôtes assez restreint de ce virus. En effet, le RPV est principalement identifié sur le ray-gras comme signalé par Henry et Dedryver (1991), Henry et al. (1993); Kendall et al. (1996) et Mastari (1998). Or, en Tunisie les emblavures du ray-gras sont assez réduites.

Le BYDV est responsable d'une perte des rendements qui varie en fonction du virus et de la variété. Chay et al. (1996) rapportent que la souche PAV engendre des symptômes plus sévères que la souche – MAV et le CYDV-RPV. L'essai d'inoculation artificielle par le BYDV-PAV montre une diminution significative du rendement fourrager pour les deux variétés d'orge Manel et Rihane et la variété d'avoine Melianequi atteint plus de 40% stipulant une sensibilité de ces variétés au virus. Ceci corrobore les travaux de Hoffman et Kolb (2001) qui rapportent une décroissance de la biomasse de la plante infectée par le BYDV se traduisant par un nanisme caractéristique.

Cette diminution sous l'effet du virus est d'autant plus importante que le rendement initial est plus élevé. Ce résultat confirme celui rapporté par d'autres auteurs enregistrant que les variétés les plus productives sont les plus sensibles à la contamination virale (Corbaz, 1990).

Par ailleurs, la différence quantitative du rendement en biomasse des variétés non contaminées relevée entre les espèces (orge et avoine) et variétés étudiées reflète des différences génomiques qui normalement se traduisent par des compositions morphologiques et biologiques différentes et par conséquent des teneurs en matières azotées et en fibres variables entre les différentes variétés (Huyghe et Tabel, 2009).

L'infection virale affecte le métabolisme général de la plante causant outre la diminution de la productivité quantitative une tendance à la dégradation de la composition chimique et de la valeur nutritionnelle des différentes variétés (Najar, 2009). Ceci se traduit généralement par une altération de l'activité photosynthétique favorisant un vieillissement précoce des différentes parties de la plante, un durcissement et une lignification plus rapide des organes végétatifs, d'où la diminution du niveau de matières azotées et l'accroissement du taux de composés pariétaux souvent observés avec l'avancement du stade physiologique chez les graminées. L'écart de composition entre les différentes espèces et variétés de graminées se rétrécit en fin de cycle de végétation (Demarquilly et Andrieu, 1992).

Pour notre étude, les différents effets de la contamination avec le virus BYDV sont variables selon les espèces et les variétés des graminées étudiées. Bien que non significative, la tendance générale est que les échantillons contaminés sont plus riches en fibres ADF (cellulose et lignine) du fait que le durcissement des parois est l'un des symptômes les plus remarquables du BYDV.

L'effet modéré du BYDV sur la composition chimique des variétés d'orge et d'avoine testées dans cette étude est différent de celui rapporté par d'autres auteurs. Ceci pourrait être lié au fait que l'effet du virus sur la composition chimique des fourrages a été réduit par leur stade de récolte relativement avancé.

En perspectives, des travaux futurs devraient être réalisés à des stades de récolte plus précoces afin de mieux évaluer la relation entre la sensibilité des différentes lignées aux contaminations virales et leur composition chimique. L'appréciation de la qualité fourragère des plantes devrait concerner d'autres paramètres de qualité telle que la nature des matières azotées, la teneur en sucres solubles et la digestibilité des fibres.

6. Conclusion

Pour notre étude, les différents effets de la contamination par BYDV sont variables selon les espèces et les variétés de graminées étudiées. Bien que non significative, la tendance générale révèle que les échantillons contaminés sont plus riches en fibres ADF (cellulose et lignine) du fait que le durcissement des parois est l'un des symptômes les plus remarquables suite à une infection virale.

L'effet modéré du BYDV sur la composition chimique des variétés d'orge et d'avoine testées dans cette étude est différent de celui rapporté par d'autres auteurs. Ceci pourrait être lié au fait que l'effet du virus sur la composition chimique des fourrages a été réduit par leur stade de récolte relativement avancé.

En perspectives, des travaux futurs devraient être réalisés à des stades de récolte plus précoces afin de mieux évaluer la relation entre la sensibilité des différentes lignées à la contamination virale et leur composition chimique. L'appréciation de la qualité fourragère des plantes devrait concerner d'autres paramètres de qualité telle que la nature des matières azotées, la teneur en sucres solubles et la digestibilité des fibres.

7. References

- Alibes X., Tisserand J. L., (1981).** Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne. Options Méditerranéennes: Série Etudes; n. 1981-II, 89p.
- Baker I. (1990).** Barley yellow dwarf in Britain. In Proceeding of an International Symposium on World perspectives on Barley yellow dwarf. Burnett P. A., Eds CIMMYT, Mexico. 39-41.
- Bouallegue M., Mezghani-Khemakhem M., Bouktiley D., Makni H., Makni M. (2014).** Molecular characterization of bar yellow dwarf virus in Tunisia. *Acta Virologica*, 58: 214-222.
- Boukhris S, Souissi R, Turpeau E, Rouzé-Jouan J, Fahem M, Ben Brahim N, HulléM (2007).** Aphid (Hemiptera: Aphidoidea) diversity in Tunisia in relation to seed potato production. *Annales de la Société Entomologique de France*, 43 (3): 311-318.
- Chay C A, Smith D M , Vaughan R, Gray S M.(1996).** Diversity among isolates within the PAV serotype of barley yellow dwarf virus. *Phytopathology*. 86: 370-377.
- Comas J, Pons X, Albajes R, Plumb R T (1996).** Barley yellow dwarf luteovirus BYDV, infectivity of Alate Aphid Vectors in Northeast Spain. *Journal of Phytopathology*, 144: 273-276..
- Corbaz R, (1990).** Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. Edit : Presses polytechniques et Universitaires Romandes, CH 1015 Lauzane, Suisse.
- Deghaï M, Kouki M, Gharbi M.S, El Felah M (2007).** Les variétés de céréales cultivées en Tunisie. Document technique *INRAT*. 445p.
- Demarquilly C, Andrieu J, (1992).** Composition chimique, digestibilité et ingestibilité des fourrages européens exploités en vert *INRA Prod. Anim*, 5: 213 – 221.
- El Mekki, A (2006).** Rapport annuel. In *Agri.Med : agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région méditerranéenne*. Eds: CIHEAM, Paris, France, 55-85.
- Huyghe A, Tabel H, 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Editions INRA, Paris. 765p.
- Hall G.S (2007).** The effect of within-host virus population growth and interspecific competition on aphid transmission and population structure of Barley yellow dwarf virus. PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, Newyork., 156p.

- Henry M, Dedryver C A (1991).** Occurrence of barley yellow dwarf virus in pastures of western France. *Plant Pathology*40: 93-99.
- Henry M, George S, Arnold G M, Dedryver C, Kendall D A, Robert Y, Smith B D (1993).** Occurrence of barley yellow dwarf virus BYDV isolates in different farmland habitats in western France and south-west England. *Annals Applied Biology*,123: 315-329.
- Hoffman T K, Kolb F L (2001).** Effects of barley yellow dwarf virus on yield and yield components of drilled winter wheat. *Plant*82: 6 Disease. 82: 620-624.
- Huyghe C, Tabel C, (2009).** Amélioration génétique de la valeur alimentaire des espèces fourragères pérennes et innovation variétale. *Fourrages* (2009) 198, 99-113.
- Kendall D A, George S, Smith B D (1996).** Occurrence of barley yellow dwarf viruses in some common grasses Gramineae in south west England. *Plant pathology*,45: 29-37.
- Leclercq-Le Quillec F, Plantegenest M, Riault G, Dedryver C A (2000).** Analyzing and modeling temporal disease progress of barley yellow dwarf virus serotypes in barley fields. *Phytopathology*.90: 860-866.
- Makkouk K.M, Kumari S (1996).** Detection of ten viruses by the 2472issue-blot immunoassays (TBIA). *Arab Journal of Plant Protection*, 14: 3-9.
- Mastari J (1998).** Populations naturelles de BYDV-PAV en jachère fixe de ray grass et engrande culture de céréales. PhD, Université de Paris, France.
- Najar A, Makkouk K, Boudhir H, Kumari K, Zarouk R, Bessai R, Ben Othman F(2000).** Viral diseases of cultivated legume and cereal crops in Tunisia. *Phytopathologia mediterranea*, 39: 423-432.
- Najar A, Hamdi I, Versani A (2017).** Barley yellow dwarf virus in barley crops in Tunisia: Prevalence and molecular characterization. *Phytopathologia mediterranea*, 56: 111-118.
- Plumb R T (1983).** Barley yellow dwarf virus-aglobal phloem. In *Plant virus epidemiology* Plum R.L., Tresh J.M. (Eds). Blackwell, London, UK. 222p.
- Plumb R T (1990).** The epidemiology of Barley yellow dwarf in Europe. In *Proceeding of an International Symposium on World Perspectives on Barley Yellow Dwarf*. Burnett P. A. (Eds). CIMMYT, Mexico. 215-227.
- Pocsai E, Kovács G, Orosz ., Papp M, Szunics L(1995).** Differentiation of barley yellow dwarf luteovirus serotypes infecting cereals and maize in Hungary. *Agronomy*, 15: 401-408.
- Robert Y, Lemaire O (1999).** Epidemiology and control strategies. In: Smith HJ, Barker H, (Ed.), *The Luteoviridae*. CABI publishing, UK, 211-219.
- Rochow W F, Muller I, Tufford L A, Smith D M (1986).** Identification of luteoviruses of small grains from 1981 through 1984 by two methods. *Plant Disease* 70: 461-464.
- Thackray DJ, Hawkes J, Jones R A (2001).** Further developments in forecasting aphid and virus risk in cereals. In: Jettner R, Jones J (Ed.), *Cereal Update, Agriculture Western Ausralia*, 69.
- Van Soest P J, Robertson J B, Lewis BA (1991).** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, 74 : 3585-3597