NEMADEX AB :
BILAN DES RÉSEAUX D'EXPÉRIMENTATION EN FRANCE

NEMADEX AB ROOTSTOCK :
CURRENT REPORT FROM THE FRENCH EXPERIMENTAL NETWORKS

Marion CLAVERIE (marion.claverie@vignevin.com)
Groupe de travail : M. CLAVERIE[1], L. AUDEGUIN[1], G. BARBEAU[2], I. BECCAVIN[1], JM. DESPERRIER[3], J. DUREUIL[4], D. ESMENJAUD[2], M. GOUTTESOULARD[1], O. JACQUET[4], P. KUNTZMANN[1], C. LAVEAU[6], L. LEY[2], F. LEYDET[7], A. LUSSON[4], I. MEJEAN[4], D. VIGUIER[4], G. URIEL[5], M. VAN HELDEN[8], D. VERGNES[4], V. VIGUES[1], O. YOBREGAT[1] et N. OLLAT[2]
[1] Institut Français de la Vigne et du Vin, [2]INRA, [3]SICAREX du Beaujolais, [4]Chambres d'Agriculture (Aude, Drôme, Gironde, Pyrénées-Atlantiques, Saône et Loire, Vaucluse), [5]CIVC, [6]VITINNOV, [7]La Tapy, [8]Bordeaux Sciences Agro

Résumé
Le porte-greffe NemadexAB, obtenu par Alain Bouquet à l'INRA de Montpellier est inscrit au catalogue depuis 2011, présente des aptitudes à retarder les contaminations par la virose du court-noué du fait de son parent *Muscadinia rotundifolia*. Mais c'est un porte-greffe exigent, présentant une faible vigueur conférée et une sensibilité à la chlorose et à la sécheresse. Pour ces raisons, le Nemadex AB est un porte-greffe qualitatif que l'on peut qualifier « de niche », s'utilisant dans les mêmes conditions que le Riparia ou le 101-14. Cet article fait la synthèse des expérimentations en cours concernant le retard à la contamination et de comportement agronomique, et dresse les conditions à respecter pour son utilisation ainsi que les perspectives de recherche qui se dessinent en vue d'obtenir un itinéraire intégré de lutte contre le court-noué.

Mots-clés : Porte-greffe, Court-noué, Vigne, Bilan viticole

Abstract
The NemadexAB rootstock, created by Alain Bouquet at INRA Montpellier and registered in 2011, is able to delay the contaminations of the vines by GFLV thanks to the presence of Muscadinia rotundifolia in his parenthood. But it remains difficult to grow, with a poor conferred vigor to scion and a susceptibility to both chlorosis and drought. For those reasons, NemadexAB is considered as a qualitative and 'niche' rootstock, to be used as Riparia or 101-14. This article reviews its characteristics on both ability to delay GFLV contaminations and agronomical requirements from the current experimental trials. It also issues prospective work for an integrated way of reducing fanleaf decline.

Keywords : *Rootstock, Grapevine fanleaf virus, Grapevine, Vineyard report*

Introduction

Le court noué est une virose grave de la vigne qui affecte la production et la longévité des ceps (Demangeat et al. 2005). La maladie est incurable pour les ceps atteints ; aussi l'objectif de la lutte contre le court noué est-il d'éviter les contaminations. Les symptômes se manifestent généralement de façon nette, notamment lorsque la « panachure » décolore le feuillage en jaune canari, ou dans le cas de rabougrissements de la végétation donnant un aspect buissonnant aux ceps. Pour certains cépages, les jaunissements sont moins marqués et les symptômes sont associés à des anomalies du développement des rameaux ou des feuilles : doubles nœuds, fasciations ou aplatissements des rameaux, feuilles déformées, plus dentées, avec parfois des décolorations atypiques (figure 1 a à d). La coulure est également un symptôme fréquent à l'origine, avec la mort des ceps, des pertes de production pouvant être totales.

Au champ, la maladie est transmise de cep en cep par des nématodes du genre *Xiphinema*. Ces derniers sont de petits vers du sol, mesurant quelques millimètres, qui vont ingérer le virus en s'alimentant sur un cep infecté et le propager en piquant un cep sain à proximité (Esmenjaud, 2013). Ces nématodes se déplacent peu quoique leur propagation puisse être accrue passivement, lors du travail du sol par exemple. Toutefois les nématodes survivent longtemps dans le sol après arrachage de la vigne (Demangeat et al. 2005), se nourrissant des restes de racines ou même à l'état quiescent. De ce fait, le court-noué est une maladie à foyers, d'extension lente, difficile à éradiquer et touchant d'autant plus les vignobles qu'ils sont anciens et ont hébergé de nombreuses générations de vigne.

Jusqu'à récemment, la lutte contre le court-noué reposait principalement sur l'utilisation de matériel végétal sain et l'application de nématicides entre deux générations de vigne pour contrôler les populations de nématodes. Cette stratégie de lutte chimique, coûteuse et peu respectueuse de l'environnement n'est plus utilisable car les nématicides ont été progressivement interdits du fait de leur fort impact environnemental. A défaut de traitement chimique, les préconisations de lutte reposent sur le repos du sol avant plantation, complété par une dévitalisation des ceps avant arrachage (utilisation d'un désherbant systémique sur le feuillage de la vigne, généralement appliqué après récolte, et avant arrachage au printemps suivant).

a) Jeune plant de remplacement montrant déjà de la panachure

b) Plant rabougri (à gauche) et d'aspect sain (à droite)

c) Très vieille parcelle de grenache court-nouée

d) Zone de panachure très marquée

Figures 1 a) à d). Symptômes de court-noué à la parcelle ou au cep.

Figure 1. *GFLV variety of symptoms on vines and plots: a) very young plant already showing chrome-yellow discoloration; b) stunted and leaf distorted looking vine on the left and normal looking one on the right; c) old Vase plot showing many missing positions; d) chrome-yellow discoloration on an entire plot.*

Malgré le manque de référence sur la durée de repos du sol nécessaire et suffisante, cette dernière doit être au minimum de 7 ans (Vuittenez et al. 1969, Demangeat et al. 2005, Esmenjaud et al. 2013), ce qui peut être difficile à envisager du point de vue économique. Aussi d'autres techniques sont-elles recherchées pour compléter l'effet du repos du sol. Les recherches actuelles visent à aboutir à la mise au point d'un itinéraire technique intégré, c'est à dire combinant plusieurs techniques et non basé sur une seule. Parmi celles-là, l'utilisation de porte-greffes retardant les contaminations est un axe de recherche en cours depuis longtemps à l'INRA. Ces recherches ont abouti à l'inscription d'un premier porte-greffe, le Nemadex AB, en 2011 (Ollat et al. 2011) et se poursuivent pour améliorer les performances de ce type de matériel végétal.

Le NemadexAB, fruit de plus de 30 ans de travail du chercheur Alain Bouquet à l'INRA de Montpellier (Bouquet et al. 2003), est issu d'un croisement de *Vitis vinifera* avec *Muscadinia rotundifolia,* (espèce voisine de la vigne cultivée totalement résistante aux nématodes vecteurs mais ne pouvant être utilisée directement en porte-greffe) recroisé ensuite avec le porte-greffe 140Ru. Sa parenté avec *Muscadinia* lui confère une aptitude à retarder les contaminations par le court-noué, liée au fait que les nématodes se multiplient moins sur ses racines (Bouquet et al. 2003, Esmenjaud et al. 2010) mais il faut bien noter qu'il ne s'agit pas de résistance au virus.

Des essais au champ ont été mis en place dans le courant des années 2000 afin d'étudier comment les propriétés du NemadexAB se traduisent sur les contaminations par le virus dans les conditions de différents vignobles français (Ollat et al. 2011, Claverie et al., 2013) ainsi que pour mieux caractériser ses aptitudes agronomiques. Cet article se propose de dresser un bilan de ces expérimentations et d'en déduire les recommandations d'usage pour ce porte-greffe.

Matériel et méthodes

1. Essais en sol contaminé :

Les objectifs d'une première série d'essais étaient de tester l'aptitude du NemadexAB à retarder la contamination par le court-noué. Pour cela, trois séries d'essais ont été mises en place, toutes en situations fortement contaminées par le court-noué :

- En 1999 et 2003, 2 essais ont été mis en place selon un dispositif « arrachage-replantation » sans repos du sol ;
- Entre 2008 et 2011, des essais en conditions maximales d'infestation ont été installés, mimant des conditions de type « complantation » ;
- En 2013 et 2014, 4 essais complémentaires ont été implantés selon un dispositif « arrachage-replantation » avec repos du sol combiné ou pas à l'utilisation d'une jachère (visant à réduire les effectifs du vecteur et donc dite nématicide), afin de tester un itinéraire intégré.

La localisation des essais et leurs caractéristiques sont présentés sur la figure 2.

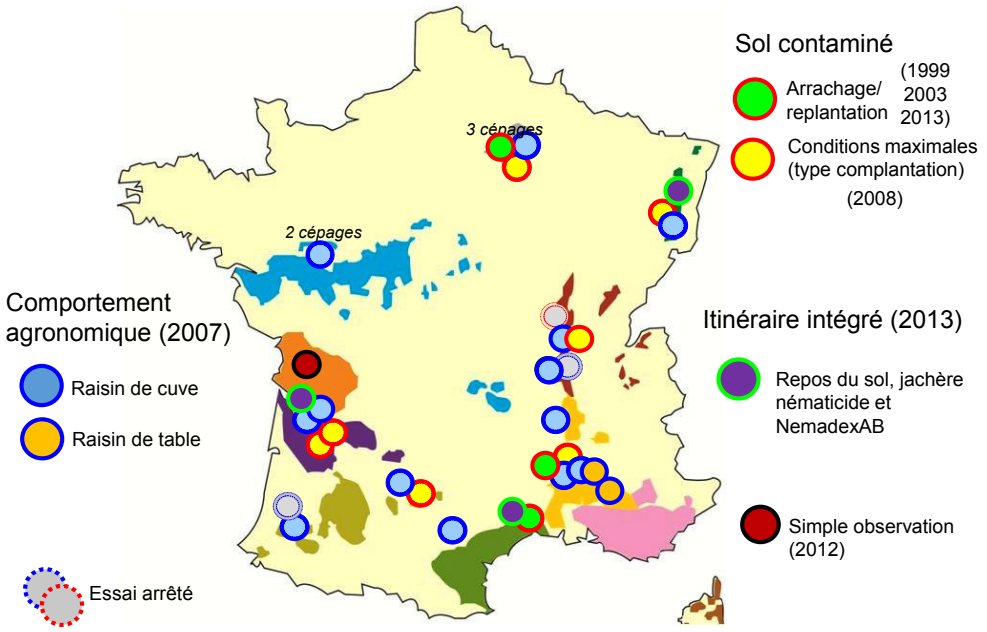

Figure 2. Localisation des essais NemadexAB en France selon le type de suivi réalisé. Entre parenthèse, année d'implantation majoritaire des essais.

Figure 2. *Trials location depending on the type of trial: contaminated soil with green (uprooting and replant of the entire plot) and yellow buttons (replanting of dead vines without uprooting the entire plot maximal inoculum conditions), uncontaminated trial (for agronomic performance test) with blue (wine cultivars) and orange (grape cultivars) buttons. Purple buttons show particular contaminated soil type trial including fallow and green manure culture. Dark red button is a simple observation (no real trial).*

Le détail des assemblages cépages/porte-greffe par région est donné au tableau 1.

Tableau 1. Assemblages cépages/porte-greffe et année de plantation des essais NemadexAB en sol contaminé par région.

Table 1. *Main characteristics of the trials set on contaminated soil: wine growing region and place, cultivar/rootstock reference combination and year of planting.*

Région	Cépage/pg témoin	Plantation
Alsace (*Hattstatt*)	Gewurztraminer / 161-49C	2008
Bourgogne (*Puligny*)	Chardonnay/161-49C	
Midi-Pyrénées (*Vindrac*)	Fer servadou /Fercal	
PACA (*Cairanne*)	Syrah/140Ru	
Champagne (*Cramant*)	Chardonnay/41B	
Bordelais (*St Emilion, Pauillac*)	Merlot/Fercal ou Riparia	2007
	CS/Riparia et SO4	2011
Saône et Loire (*StGengoux de Scissé*)	Chardonnay/ 161-49C	2008
Languedoc (Chapitre, *Montpellier*)	Caladoc/140 Ru GBH	1999
	Cabernet sauv./SO4 GL /SO4 GBH	
PACA (*Châteauneuf du Pape*)	Grenache/110R GL	2003

Ces essais comportent environ 30 ceps par modalité, sauf dans l'essai du Chapitre qui en comporte une centaine. Ils sont disposés par répétition en alternance avec le porte-greffe témoin. Le suivi des contaminations se fait par test Elisa sur feuilles aux mois de mai-juin, ou plus rarement sur bois durant l'hiver. Afin de compléter le suivi par test Elisa, des pesées de récolte cep à cep ont été réalisées sur 5 de ces essais.

1a Essais « arrachage/replantation » :

Les essais les plus anciens sont situés au Domaine du Chapitre, près de Montpellier et à Châteauneuf du Pape. Ils avaient respectivement 17 et 12 ans en 2014. Dans les 2 cas le court-noué était très présent dans la vigne précédente. Lors de l'itinéraire de préparation à la plantation, la parcelle de Châteauneuf du Pape a été dévitalisée (pas celle du Chapitre) et les deux ont été replantées au printemps suivant sans repos du sol. L'essai du Chapitre comporte 2 zones juxtaposées : 3 rangs fortement contaminés implantés avec Cabernet-Sauvignon greffé sur SO4 (en comparaison avec Cabernet-Sauvignon sur NemadexAB) et 2 rangs plus faiblement contaminés implantés avec du Caladoc greffé sur 140Ru (en comparaison avec Caladoc sur Nemadex AB). Les porte-greffes sensibles attestent des vitesses élevées de contaminations.

1b Essais en conditions maximales d'infestation :

Ces petites parcelles d'essai de 30 ceps par modalité, choisies pour leur état fortement court-noué, ont été mises en place à la manière de remplacements, c'est-à-dire en conditions maximales de pression du court-noué : des ceps vivants et symptomatiques ont été arrachés sans dévitalisation et remplacés par un jeune plant dans les jours suivants sans ôter les racines et sans travail du sol. Les ceps étaient soit groupés par petits îlots de 4 ou 5, soit groupés dans une zone d'une seul tenant.

1c Essais avec un itinéraire intégrant repos du sol avec jachère semée et Nemadex AB:

En 2013 et 2014, 3 vignes ont été implantés en Alsace, Bordelais et Montpellier sur des dispositifs d'essais issus du réseau d'expérimentation « plantes nématicides » (voir en fin d'article : perspectives). Ces 3 parcelles, sur lesquelles sont expérimentées différentes variétés de plantes utilisées en jachère pour leur éventuel effet sur les nématodes vecteurs et donc sur les contaminations par le court-noué, ont été replantées en partie avec des plants greffés sur NemadexAB afin d'analyser ce que ce porte-greffe peut apporter en complément d'une jachère de 2 à 4 ans semée ou non. Les résultats sont attendus dans les prochaines années.

2. Essais en sol non contaminé (étude du comportement agronomique) :

En parallèle des essais implantés en sol contaminé, des parcelles ont aussi été mises en place en sol sain fin de déterminer les conditions agronomiques adaptées à ce porte-greffe. Entre 2007 et 2009, une quinzaine de parcelles ont ainsi été installées dans la plupart des régions viticoles françaises, dont 2 parcelles avec des variétés de raisin de table situées dans le Vaucluse (figure 2). Le détail des assemblages cépages/porte-greffe par région est donné au tableau 2.

Pour chaque parcelle, 60 ceps greffés sur NemadexAB ont été comparés à autant de ceps greffés sur un porte-greffe témoin représentatif de la région et adapté à la parcelle. Les observations ont porté sur la résistance au calcaire et les carences minérales, l'adaptation à la sécheresse ainsi que la vigueur et la production.

Tableau 2. Assemblages cépages/porte-greffe des essais NemadexAB agronomiques par région.

Table 2. *Main characteristics of the trials set on uncontaminated soil in order to set agronomic performance of the rootstocks: wine growing region, place, cultivar/rootstock reference combination and year of planting.*

Région	Commune	Cépage/pg témoin	Plantation
Sud-Ouest	Montans	Fer serv. / gravesac	2007
	Aydie	Tannat/Riparia	2007
	Lasseube	Petit Manseng/Riparia	2007
Champagne	Plumecoq	Chardonnay/41B	2007
		Meunier /41B	
		Pinot N /41B	
Val de Loire	Montreuil-Bellay	Chenin/Riparia	2009
		Cab.sauv./Riparia	
Alsace	Bergheim	Gewurtz./161-49C	2009
Bordelais	Couhins	Cab.sauv./ Fercal	2009
	Pauillac	CS/Riparia et SO4	2011
Beaujolais	Liergues	Gamay/SO4	2007
	Blacé	Gamay/420A	
Vallée du Rhône	Chanos-Curson	Syrah/140Ru	2009
	Plan de Dieu	Syrah/140Ru	2007-2008
	Mazan	Grenache/110R	2007
	Carpentras	Muscat de Hambourg/110R	2007
	La Motte d'A.		
Languedoc	Alaigne (Cazes)	Merlot/110R	2008

RESULTATS

1. Essais en sol contaminé :

Le NemadexAB peut effectivement être contaminé par le court noué (figure 3), comme le montrent les observations faites sur Cabernet-Sauvignon dans la parcelle du Chapitre. Après 12 ans, plus de 60% des ceps sont contaminés. Toutefois ces contaminations sont beaucoup plus lentes que sur le porte-greffe témoin, ce qui est particulièrement marquant sur la parcelle de Châteauneuf du Pape. Aussi s'accorde-t-on à dire que le **NemadexAB retarde les contaminations virales**, mais pas qu'il est résistant.

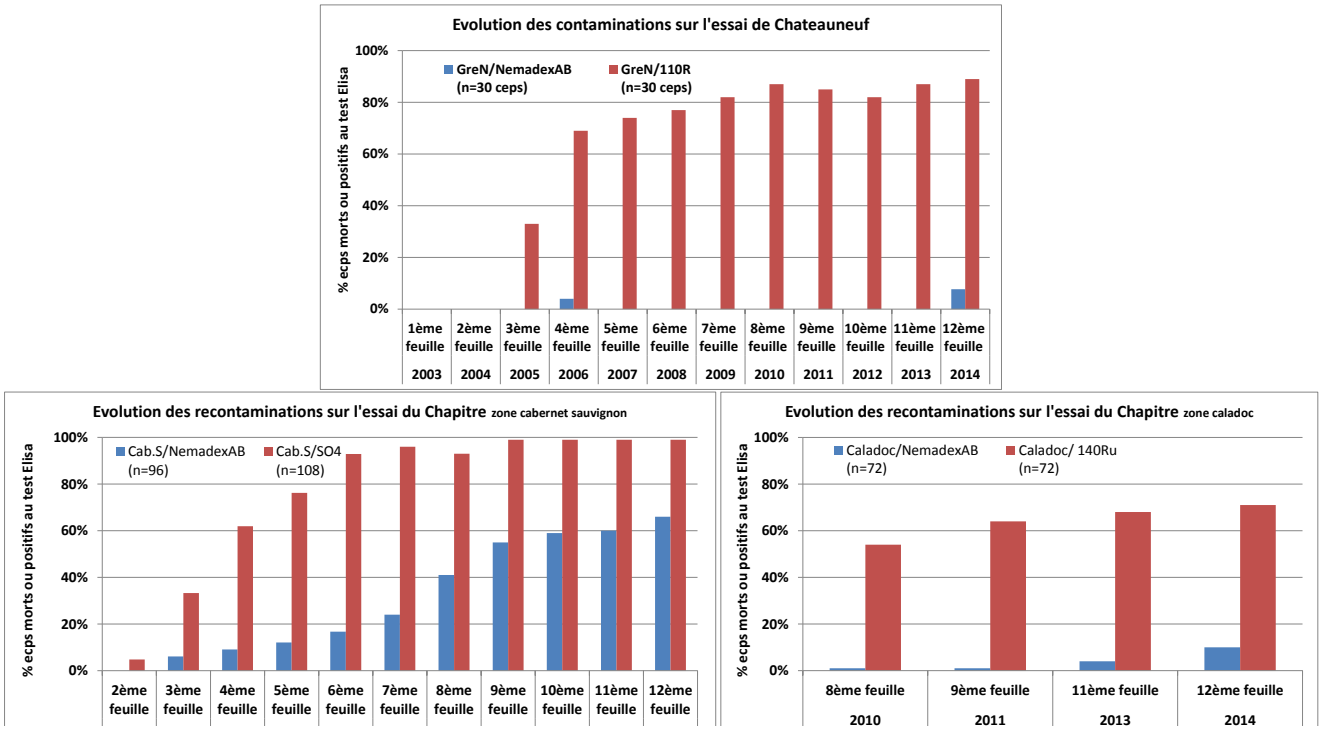

Figure 3. Evolution des contaminations par le court noué sur les 2 essais les plus anciens (Châteauneuf du Pape et Chapitre) replantés selon un dispositif arrachage/replantation- Chapitre : zone Caladoc faiblement infestée ; zone Cabernet-Sauvignon fortement infestée. Entre parenthèse n=nombre de ceps suivis dans la modalité

Figure 3. *Evolution of GFLV contaminations on the 2 oldest trials of Châteauneuf du Pape et Chapitre, set after standard process of uprooting and replant of the entire plot. For Chapitre trial: Caladoc zone is less severely infested by GFLV and Cabernet zone is highly infested. Brackets (n=) gives total number of vines in each treatment.*

Sur les parcelles en conditions maximales d'infestation, les contaminations ont été suivies depuis l'année de la plantation (2008). Le bilan en 5ème/8ème feuilles (figure 4) montre que, contrairement aux essais précédents sur les deux parcelles « historiques », les plants greffés sur NemadexAB sont contaminés de manière significative, et parfois assez proches du témoin, à l'exception du site de Cairanne. Les conditions volontairement difficiles créées dans ce type d'essai, sans aucun travail du sol ni extraction de racines pour diminuer les populations de nématodes, ont probablement mis les jeunes plants dans des situations extrêmes, amenant alors une réponse aléatoire du porte greffe.

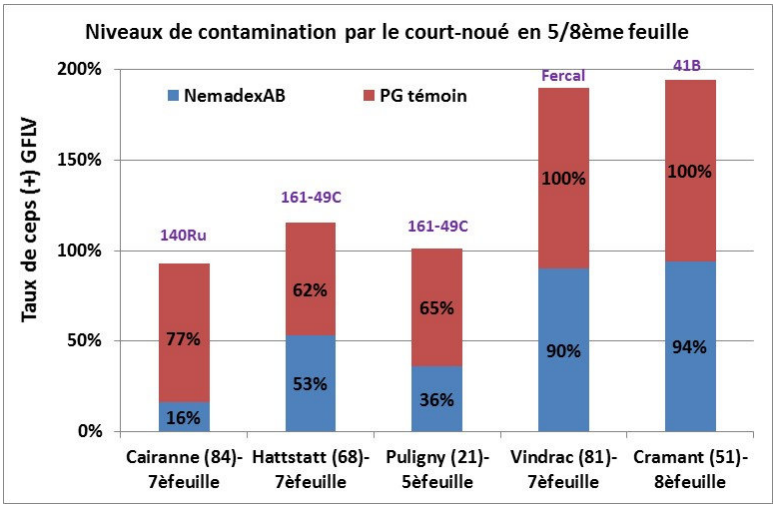

Figure 4. Contaminations par le court noué cumulées sur NemadexAB (en bleu) et le témoin (en rouge) pour 5 essais plantés en 2008 dans des conditions maximales d'infestation (type « complantation ») en 5ème-8ème feuilles. 100% = total modalité1 ; 200% total modalité 2.

Figure 4. *Cumulated GFLV contaminations of vines (% Elisa positive vines) on NemadexAB (blue) and reference (red) assessed after 5 to 8 years on 5 different trials set in conditions of maximal inoculum.*

Les essais de Vindrac et de Cramant, notamment, ont montré des cinétiques de contamination des témoins particulièrement rapides (85% des ceps témoins positifs en 2ème feuille sur Cramant !) ; dans ce contexte, le NemadexAB montre certes un léger retard par rapport au témoin, mais en aucun cas suffisant pour motiver son utilisation. Suite à cette observation sur la parcelle de Cramant, un essai a été récemment planté en 2013 sur la même parcelle que l'essai de 2008 mais après dévitalisation des ceps et repos du sol de 18 mois. L'objectif est d'étudier comment se comportent les plants greffés sur NemadexAB lorsqu'en présence d'un potentiel 'virulifère' très élevé, on met en œuvre des conditions de replantation plus proches des préconisations.

2. Essais en sol non contaminé (étude du comportement agronomique) :

D'une manière générale, le NemadexAB induit une faible **vigueur conférée** au greffon, visible dès les premières années, ce qui peut aller dans certains cas jusqu'à retarder l'établissement du plantier par rapport au porte-greffe témoin. C'est ce qui a été observé sur toutes les parcelles du pourtour méditerranéen taillées en double cordon de Royat (figure 5 photo a), ainsi que dans la parcelle en raisins de table la plus limitante en eau (La Motte d'Aigues) et dans la parcelle alsacienne (figure 5 photo e).

Cette différence de vigueur avec le témoin se traduit par la suite par de moindres poids de bois de taille dans 6 cas sur 12, comme le montrent les pesées de bois de taille réalisées entre la 5ème et la 7ème feuille (figure 6 et (figure 5 photo f).

a) Parcelle de Plan de Dieu en 2013 (7ème feuille) :
NemadexAB très faible à droite et 140Ru à gauche.

b) Parcelle de Montans (Gaillacois) en 2010 (4ème feuille) :
au fond, NemadexAB moins développé et extériorisant des symptômes de secheresse et Gravesac au 1er plan.

c) Parcelle de Pinot noir en Champagne en 2012 (6ème feuille) :
NemadexAB chlorosé au premier plan avec du 41B en arrière

d) Parcelle de Meunier en Champagne en 2012 (6ème feuille) :
NemadexAB au centre moribond encadré par du 41B

e) Parcelle de Gewurztraminer de Bergheim (Alsace) en août 2015 : *au premier plan greffé sur 161-49C et au fond sur NemadexAB.*

f) Parcelle de Grenache de Mazan (Vaucluse) lors de la taille 2013 : *au premier plan, bois de Grenache sur 110R et au fond, sur NemadeAB (même nb de ceps dans chaque tas).*

Figure 5. photos de quelques parcelles d'études des conditions agronomiques du NemadexAB montrant les inconvénients majeurs du porte-greffe : faible vigueur et sensibilité à la chlorose et à la sécheresse.

Figure 5. *Overlooks of different trials set on uncontaminated soil in order to set agronomic performance of the rootstocks displaying main drawbacks of the rootstock: poor vigour and sensitivity to chlorosis and drought.*

a) "Plan de Dieu" trial (S-E Rhone valley region) shot in 2013 (aged 7) : poorly developed NemadexAB (right) and 140Ru (left).
b) « Montans »trial (S-O Gaillac region) in 2010 (aged 4) : in the background, NemadexAB with less vigour and water stress symptoms compared to Gravesac in the foreground.
c) Pinot noir trial plot (N-E Champagne region) in 2012 (aged 6) : NemadexAB displaying chlorosis in the foreground with 41B in the back.
d) Pinot meunier trial plot (N-E Champagne region) in 2012 (aged 6) : nearly-dying NemadexAB in the middle surrounded by 41B.
e) Gewürztraminer trial plot of Bergheim (N-E Alsace region) in august 2015 (aged 7): in the foreground, grafted on 161-49C; on NmadexAB in the bock.
f) Grenache trial plot of Mazan (S-E Rhone Valley region) after 2013 pruning (aged 6):in the foreground pruning canes of 110R and NemadexAB in the back (same number of vines pruned in both cases).

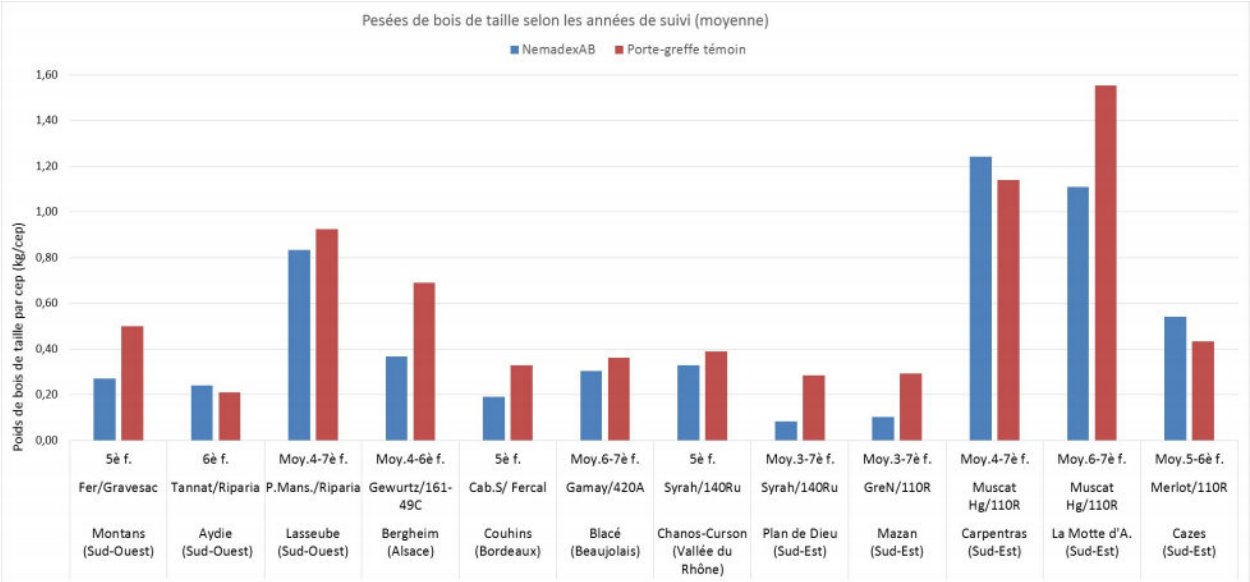

Figure 6. Pesées de bois de taille (en kg/cep) sur quelques essais de comportement agronomique pour le NemadexAB : *l'assemblage témoin est indiqué au-dessous ainsi que l'âge des parcelles lors des pesées (ex : moy.4-7è f. = moyenne des poids de récolte de la 4ème à la 7ème feuille de la parcelle).*

Figure 6. *Pruning canes yield (kg per vine) on different trials set on uncontaminated soil in order to set agronomic performance of the rootstocks: reference cultivar/rootstock combination is indicated below sticks as well as vine age (for instance : moy.4-7è f. = average yields per vine from age 4 to age 7 of the vine).*

Les pesées de **récolte** (figure 7) suivent plus ou moins directement les pesées de bois de taille. Ainsi selon les objectifs de production visés, le NemadexAB donne satisfaction ou pas :

- La production des plants greffés sur NemadexAB est voisine de celle du témoin, en comparaison des plants greffés sur Riparia dans les deux essais du Sud-Ouest ou dans celui du Val de Loire (non montré sur le graphique). Il en est de même en comparaison avec des plants greffés sur 420A et 110R dans les essais du Beaujolais et de l'Ouest audois (climat méditerranéen de transition, sol profond) et dans le cas des deux essais en raisins de table dans le Vaucluse (en comparaison du 110R), dont l'un est fertirrigué. NemadexAB donne également satisfaction dans le Bordelais, à Couhins, en comparaison avec du Fercal, et dans un essai plus récent (3ème feuille seulement) dans le Médoc.

- La production des vignes greffées sur NemadexAB est à la limite des objectifs sur l'essai de Bergheim, où les vignes sont plutôt peu 'poussantes' ; dans cette situation, le NemadexAB convient uniquement parce que les rendements attendus sont faibles dans cette parcelle de vins moelleux. Dans un objectif de vin tranquille, ce porte-greffe serait insuffisant.

- La production des vignes greffées sur NemadexAB est inférieure au témoin à Montans dans le Gaillacois, comparé à celles de vignes greffées sur Gravesac, probablement en lien avec sa sensibilité à la sécheresse sur cette parcelle (voir plus loin). Il ne donne pas satisfaction non plus dans les 2 essais de la Vallée du Rhône sur 140Ru et 110R, auquel on peut ajouter l'essai en sol contaminé de Cairanne pour lequel la production des vignes greffées sur NemadexAB, pourtant peu contaminées, est inférieure au témoin 140Ru.

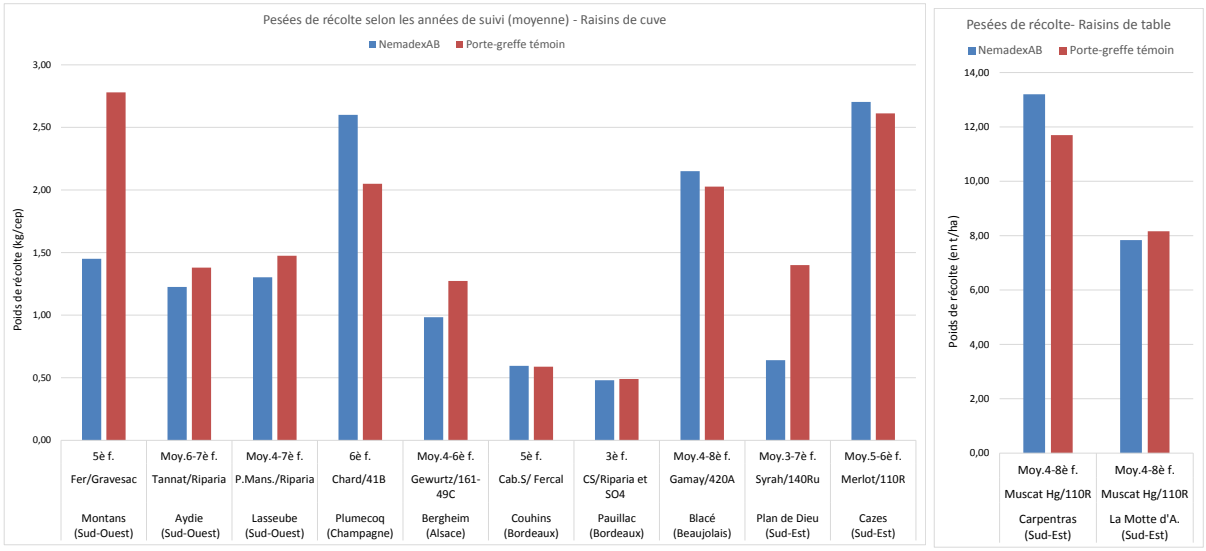

Figure 7. Pesées de récolte sur quelques essais de comportement agronomique pour le NemadexAB : *l'assemblage témoin est indiqué au-dessous ainsi que l'âge des parcelles lors des récoltes (ex : moy.4-7è f. = moyenne des poids de récolte de la 4ème à la 7ème feuille de la parcelle). A part à droite : récolte en raisin de table exprimée en t/ha.*

Figure 7. *Yield per vine (kg per vine) on different trials set on uncontaminated soil in order to set agronomic performance of the rootstocks: reference cultivar/rootstock combination is indicated below sticks as well as vine age (for instance : moy.4-7è f. = average yields per vine from age 4 to age 7 of the vine). 2 plots apart on the right: table grape yields in tons per ha.*

Le Nemadex AB montre également une **faible résistance à la chlorose**. L'essai champenois, sur un terrain très calcaire (entre 17 et 28% de calcaire actif à 60 cm) est à ce titre le plus démonstratif. Il compare NemadexAB et 41B greffés avec les 3 cépages champenois. Pour tous les cépages, les symptômes foliaires de chlorose sont accentués lorsque les plants sont greffés sur NemadexAB. Mais avec Pinot noir et surtout Pinot Meunier (figure 5 photos c et d) situé dans la zone calcaire la plus marquée, le niveau de chlorose avec le NemadexAB est rédhibitoire et s'accentue dès la 3ème feuille. Les plants de Meunier sont chétifs et meurent progressivement. Sur Chardonnay, la chlorose est plus modérée mais nécessite tout de même deux apports de chélates de fer, ce qui n'est pas neutre économiquement.

La même conclusion peut être tirée pour les sols calcaires de Charente, où ont été implantées en 2012 à titre d'observation (hors expérimentation) 4 parcelles en Ugni blanc greffé sur NemadexAB et Fercal. Sur les deux parcelles les plus calcaires (14 et 13% de calcaire actif entre 20-40 cm), les plants greffés sur NemadexAB expriment des symptômes de chlorose dès la 2ème feuille ; symptômes ayant tendance à se réduire par la suite, mais pour laisser place à une faible vigueur généralisée, incompatible avec les objectifs de production charentais (Dumot, comm. pers.).

Par ailleurs les vignes greffées sur NemadexAB ont aussi montré certaines années des symptômes de chlorose plus marqués que le témoin sur les parcelles provençales de Mazan et de Cairanne en sol contaminé (13% de calcaire actif dans les deux cas).

Enfin, le Nemadex AB n'est pas adapté non plus aux **situations sèches**. Cette sensibilité est particulièrement manifeste dans l'essai de Plan de Dieu dans le Vaucluse, où le terrain fortement pierreux induit une contrainte hydrique forte certaines années. Dès la 3ème feuille, les effets de la contrainte hydrique sont visiblement accentués pour ce porte-greffe (figure 5 photo a). Cela se traduit par des poids de bois de taille sont régulièrement inférieurs à 100 g par plant, là où les vignes greffées sur 140Ru sont entre 200 et 400g selon les années. Des symptômes de sécheresse accentuée sur le NemadexAB sont aussi régulièrement constatés sur la parcelle de Montans dans le Sud-Ouest ((figure 5 photo b).

Si l'on veut tirer un premier bilan de ces essais, âgés généralement de 8 ans en 2014, on peut considérer que le NemadexAB est :

- adapté sur les parcelles de Cazes, Couhins, Lasseube, Montreuil-Bellay, Blacé et Carpentras (en raisin de table, parcelle fertirriguée) ;
- plutôt adapté mais en attente de résultats complémentaires dans les parcelles jeunes de l'essai de Pauillac et Chanos-Curson ;
- non adapté sur les autres parcelles, avec quelques cas franchement rédhibitoires pour des raisons de chlorose ou de sécheresse (Champagne, Plan de Dieu).

Il faut toutefois garder à l'esprit que ces parcelles ne sont pas forcément représentatives de la région entière dans laquelle elles sont situées.

3. Bilan moindre production / moindre contamination : le Nemadex AB est-il intéressant ?

Sur 5 essais implantés en sol contaminé, des pesées de récolte ont été réalisées cep à cep afin de vérifier l'impact des contaminations dans les 2 modalités sur la quantité de récolte.

Un premier type de résultats (figure 8) permet de différencier les poids de récolte selon le cépage et le statut sanitaire des ceps : témoin et NemadexAB contaminés ou non c'est à dire respectivement positif ou négatif par test ELISA. Cela permet de se rendre compte de la perte de récolte due au virus, et ce pour chaque porte greffe, ainsi que du niveau respectif des deux porte-greffes lorsqu'ils sont sains (ce qui revient, aux limites d'effectifs près, à vérifier son adaptation agronomique). Mais il faut tenir compte du fait que les effectifs de certaines modalités sont parfois faibles. On peut remarquer que, sur 2 sites du Chapitre et Cramant, le NemadexAB contaminé présente des poids de récolte plus élevés que le témoin contaminé, ce qui était déjà une observation mentionnée assez tôt (Bouquet et al., 2003). A l'opposé à Cairanne, il semblerait que les effets du court-noué sur la productivité du témoin contaminé ne soient pas encore observables.

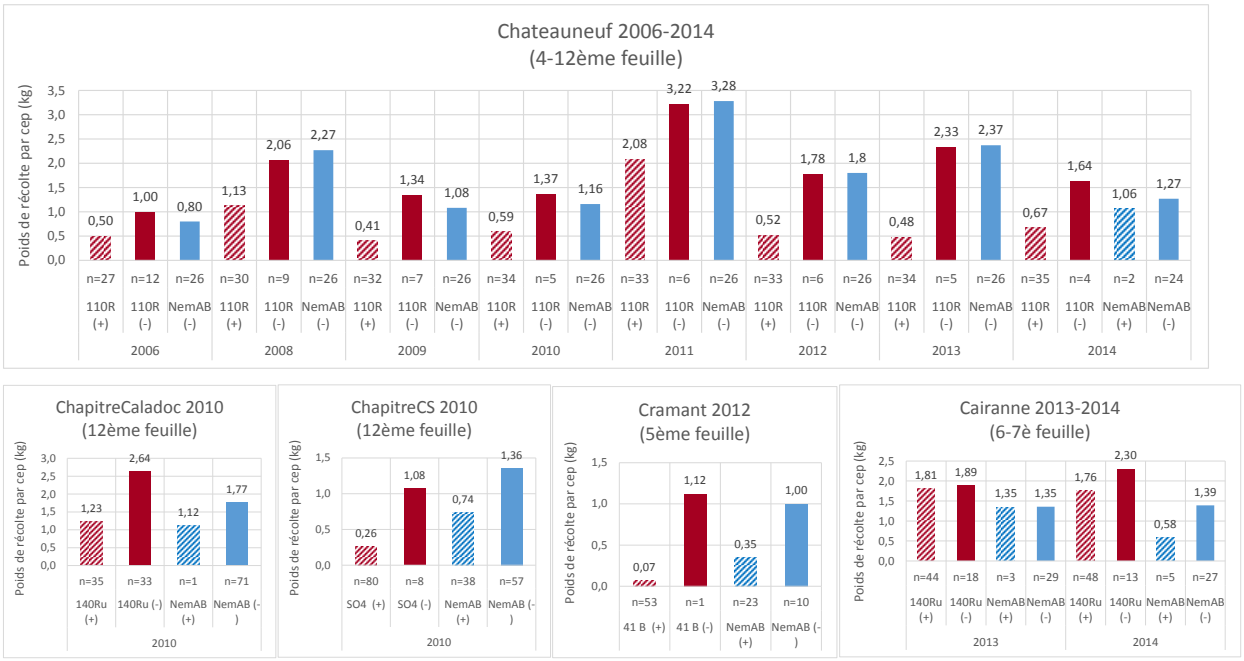

Figure 8. Comparaison des pesées de récolte par porte-greffe (NemadexAB –bleu- vs. témoin –rouge-) et selon le statut sanitaire au test Elisa (rayé=positif ; uni=négatif)

Figure 8. *Yield per vine depending on rootstock (NemadexAB: blue sticks;. Standard: red sticks) and Elisa test sanitary status of the vine (positive: striped sticks; negative: plain sticks)*

Un second niveau de résultats revient à intégrer les deux informations précédentes : les taux de contamination et les niveaux de production « a priori » des deux modalités. C'est ce que montre le tableau 3.

Tableau 3. Bilan des pesées de récolte sur quelques essais en sol contaminé : le taux de ceps positifs au test Elisa est rappelé, et le rapport Nemadex AB/témoin permet de visualiser l'avantage de l'un sur l'autre.

Cramant, Chapitre CS et Châteauneuf : situation très contaminée. ChapitreCaladoc, Cairanne : situation plus faiblement contaminée. En vert : situation favorable au Nemadex AB, en rouge, favorable au témoin .

Table 3. *Overlook of the yield per vine on different trials set in contaminated soil with regard to percent positive vines; right column gives ratio of the yield on NemadexAB / yield on reference rootstock indicating rootstock advantage on productivity.*

			Récolte (kg/cep) Nemadex AB	*% ceps positifs NemAB*	Récolte (kg/cep) Témoin	*% ceps positifs témoin*	**Rapport récolte NemAB/Tém**
Cramant	2012	5è f.	1,12	*70%*	0,07	*98%*	**15,3**
ChapitreCS	2010	12è f.	1,11	*40%*	0,33	*91%*	**3,4**
ChapitreCal	2010	12è f.	1,76	*1%*	1,91	*51%*	**0,9**
Cairanne	2013	6è f.	1,35	*9%*	1,83	*71%*	**0,7**
	2014	7è f.	1,26	*16%*	1,88	*77%*	**0,7**
Châteauneuf	2006	4è f.	0,80	*0%*	0,65	*69%*	**1,2**
	2008	6è f.	2,27	*0%*	1,34	*77%*	**1,7**
	2009	7è f.	1,08	*0%*	0,58	*82%*	**1,9**
	2010	8è f.	1,16	*0%*	0,69	*87%*	**1,7**
	2011	9è f.	3,28	*0%*	2,26	*85%*	**1,5**
	2012	10è f.	1,80	*0%*	0,71	*85%*	**2,5**
	2013	11è f.	2,37	*0%*	0,72	*87%*	**3,3**
	2014	12è f.	1,25	*8%*	0,77	*90%*	**1,6**

Sur le seul critère de poids de récolte, le bilan est nettement favorable au NemadexAB dans les 3 situations très contaminées du Chapitre (Cabernet-Sauvignon), de Cramant et de Châteauneuf du Pape pour lesquelles d'une part, les plants témoin sont presque contaminés à 100% et d'autre part, le NemadexAB est manifestement adapté au terrain.

Dans les deux situations moins fortement contaminées, les plantes témoin, sont en général plus productives car le comportement « petit producteur » du NemadexAB ressort encore et prend le dessus.

DISCUSSION, CONCLUSION ET PERSECTIVES

Préconisations d'utilisation du NemadexAB ?

➔ **Dans quel objectif : plantation ou complantation ?**

- Lors d'une replantation sur une parcelle précédemment court-nouée pour retarder les contaminations par le virus

En comparaison d'un porte-greffe classique, le NemadexAB retarde les contaminations par le court-noué, même s'il ne les empêche pas (il n'est pas « résistant »). Ce retard est variable et dépend probablement des caractéristiques de chaque parcelle, notamment de la nature du sol, du potentiel infectieux initial (nombre et répartition des nématodes) et de l'itinéraire de préparation à la plantation mis en œuvre (dévitalisation, proportion de racines enlevées, labours, durée du repos du sol).

- Du fait de ses performances trop aléatoires, le NemadexAB ne doit pas être utilisé en complantation.

➔ **Dans quelles conditions** ? Dans des conditions agronomiques conformes aux exigences du porte-greffe et moyennant une préparation à la plantation adaptée :

- Les conditions de préparation de la plantation doivent être raisonnées en fonction de l'importance de la présence du court-noué sur la parcelle précédente ; dans tous les cas, une dévitalisation des ceps et 18 mois de repos du sol sont indispensables dans les situations fortement contaminées, en complément des pratiques classiques d'extraction des racines et de labour profond.

- Si et seulement si les objectifs de production sont faibles à modérés. En effet, le NemadexAB confère une faible vigueur au greffon et donc une faible production. Ceci est également accentué en fonction du terrain sur lequel il est implanté (point suivant).
- Sur un terrain adapté au porte-greffe. Le NemadexAB ne résiste pas bien à la sécheresse, il est également sensible à la chlorose ferrique ; aussi doit-il être réservé à des sols/sous-sols ne dépassant pas 10% de calcaire actif, fertiles et non limités en eau.

Le NemadexAB est un porte-greffe qualitatif que l'on peut qualifier « de niche », s'utilisant dans les mêmes conditions que le Riparia ou le 101-14 Attention, ses conditions d'utilisation sont contraignantes, il faut être vigilant et ne pas négliger l'étape d'expertise préalable en faisant si besoin appel à un conseiller.

Perspectives d'expérimentation

Les expérimentations sur le NemadexAB continuent pour répondre aux questions encore en suspens : en sol contaminé, l'objectif principal des essais poursuivis actuellement est de mieux évaluer l'effet de la contamination sur le potentiel de production des souches. Pour l'instant, sur 5 sites, les vignes greffées sur NemadexAB et contaminées conservent un meilleur potentiel de production dans les trois situations fortement contaminées et où le porte greffe est agronomiquement adapté. C'est moins vrai dans les deux autres cas. Et qu'en sera-t-il sur la durée et sur les autres parcelles d'essai ?

Les essais agronomiques en situation non contaminée ayant démontré une mauvaise adaptation du NemadexAB ont été arrêtés. Seules les régions où ce porte-greffe semble pouvoir être conseillé poursuivent, voire ponctuellement développent, les essais en fonction de la demande professionnelle. En particulier, les techniciens rapportent que dans certaines régions de production à haute valeur ajoutée, la gravité du court-noué peut à elle seule motiver le recours au NemadexAB, même lorsque ce dernier est agronomiquement en situation « limite ». En pareil cas, un suivi technico-économique est indispensable pour vérifier s'il existe un intérêt ou pas à un tel compromis. A titre d'exemple, le cas du remplacement du 3309C par du NemadexAB dans certains secteurs du Bordelais présentant du court-noué est à l'étude dans ce but.

Enfin, les plantations en cours réalisées avec du Nemadex AB seront, autant que faire se peut, suivies afin d'observer le comportement du porte-greffe dans plus de situations.

Perspectives de recherche

Le NemadexAB ne peut être implanté que dans certaines situations limitées. Les zones très calcaires, à objectif de production élevé, soumises à un risque de sécheresse, sont exclues. De plus c'est un porte-greffe difficile à produire en pépinière.

Aussi les recherches se sont-elles orientées depuis quelques années vers l'obtention d'une gamme plus large de porte-greffes toujours issus de la muscadine, mais qui présenteraient un éventail large de caractéristiques agronomiques. L'objectif est de couvrir la diversité de situations pédo-climatiques et ainsi de répondre à la demande dans les régions.

Pour ce faire, une étape préalable essentielle est la caractérisation des gènes de résistance impliqués. En effet, en ayant accès à cette information, la sélection des génotypes d'intérêt pourra être « assistée par marqueurs », méthode qui accélère considérablement le processus de création variétale si en ciblant assez tôt les descendants de croisements porteurs des gènes d'intérêt cela permet d'éviter une caractérisation au champ, plus tardive et fastidieuse. Ce gain de temps considérable parait possible grâce aux outils moléculaires actuels alors que ce n'était pas le cas à l'époque de l'obtention du NemadexAB. Un projet a démarré dans ce but fin 2014.

En parallèle, un autre programme s'attache quant à lui à recroiser le parent résistant du NemadexAB avec une gamme de porte-greffes aux caractéristiques variées. Quelques descendants de ces croisements constitueront peut-être, dans une quinzaine d'années, les futurs éléments de la gamme de porte-greffe utilisables en situations contaminées par le court-noué.

Enfin, afin d'éviter au maximum le contournement de la résistance au nématode *X. index* apportée par les Muscadines, il pourrait être intéressant d'introduire dans cette gamme de porte-greffes d'autres sources de résistance, notamment chez *Vitis arizonica* étudiée à l'université de Davis en Californie.

Une combinaison avec des jachères « nématicides » ?

La lutte contre le court-noué sera d'autant plus efficace qu'elle combinera plusieurs méthodes, permettant dans une parcelle de maintenir la nuisibilité en deçà d'un certain seuil et de rentabiliser au mieux sa production.

L'utilisation d'un porte-greffe adapté au terrain et plus résistant que la gamme actuelle est l'une des voies d'avenir. La dévitalisation ainsi que l'ensemble des techniques de préparation à la plantation, repos du sol inclus, sont également des points essentiels. En combinaison avec ces derniers, l'utilisation de ***plantes à action « suppressive » sur les nématodes vecteurs*** et qui accentuent ainsi l'effet du repos du sol, est également à l'étude (avoine, luzerne, vesce velue, sainfoin, tagètes,…).

Pour ce faire, le travail a suivi plusieurs étapes : une dizaine d'espèces candidates potentielles ont été sélectionnées à la suite du criblage initial en pots d'un grand nombre d'espèces végétales. Ces plantes sont alors expérimentées dans des essais de terrain particuliers, dits en « damier », du fait de l'aspect de la parcelle après semis (figure 9).

Figure 9. Essai damier de Bergheim (Alsace)

Figure 9. *Chesserboard-like design of Bergheim (Alsace) trial*

Sur des sols viticoles fortement contaminés par les nématodes, ces plantes sont comparées entre elles et à un témoin 'sol nu' sur un cycle de culture (quelques mois), afin de vérifier leur effet sur les effectifs de nématodes dans les conditions naturelles du vignoble. Un échantillonnage soigneux en fin d'essai dans chaque carré du damier et un traitement statistique adapté, permettent de faire ressortir l'éventuel effet significatif de certaines d'entre elles. Un bilan de cette étape à travers une fiche de synthèse par le groupe de travail va paraître sous peu. Enfin, les meilleures plantes candidates ont également été utilisées en comparaison avec un sol nu dans des essais au vignoble, sur deux cycles de jachère entre deux générations de vigne. Cette étude vise à comparer cette fois, non pas l'effet des plantes de jachère sur les effectifs de vecteurs mais leur effet sur les contaminations de la vigne par le virus, but ultime de la technique. Mais du fait que les premiers essais n'ont démarré qu'en 2009, les expérimentations de ce réseau ne donneront pas de résultats avant quelques années, le temps que les re-contaminations par le court-noué au vignoble soient effectives.

Remerciements

Les auteurs remercient les vignerons ayant mis à disposition une parcelle ainsi que les financeurs (FranceAgriMer, …) pour leur soutien sur ces essais longue durée.

Références bibliographiques

BOUQUET, A., TORREGROSA, L., & CHATELET, P. (2003). Combinaison des méthodes conventionnelles et biotechnologiques dans la sélection de porte-greffes présentant une résistance durable a la transmission de la maladie du court-noué:(suite et fin). Le Progrès agricole et viticole, 120(23), 528-532.

CLAVERIE, M., AUDEGUIN, L., BLOY, P., ESMENJAUD, D., & OLLAT, N. (2013). Nemadex Alain Bouquet, a rootstock that delays Grapevine fanleaf virus (GFLV) infections. In 6. International Phylloxera Symposium. 2013-08-282013-08-30, Bordeaux, FRA.

DEMANGEAT, G., ESMENJAUD, D., VOISIN, R., BIDAULT, J. M., GRENAN, S., & CLAVERIE, M. (2005). Le court-noué de la vigne: Vigne. Phytoma-La Défense des végétaux, (587), 38-42.

DEMANGEAT, G., VOISIN, R., MINOT, J. C., BOSSELUT, N., FUCHS M. AND ESMENJAUD, D. 2005. Survival of Xiphinema index in vineyard soil and retention of Grapevine fanleaf virus over extended time in the absence of host plants. Phytopathol 95:1151-1156.

ESMENJAUD, D., VAN GHELDER, C., VOISIN, R., BORDENAVE, L., DECROOCQ, S., BOUQUET, A., & OLLAT, N. (2010). Host suitability of Vitis and Vitis-Muscadinia material to the nematode Xiphinema index over one to four years. *American journal of enology and viticulture*, *61*(1), 96-101.

ESMENJAUD, D., (2013). Le risque majeur : le court-noué. In *Gestion des sols viticoles*. C. Gaviglio (Ed.). Institut français de la vigne et du vin. Ed. France agricole.

OLLAT, N., CLAVERIE, M., ESMENJAUD, D., DEMANGEAT, G., JACQUET, O., LEMAIRE, O., & AUDEGUIN, L. (2011). Un porte-greffe pour lutter contre le court-noué. Phytoma-La Défense des végétaux, (649), 29-33.

VUITTENEZ A, LEGIN R, KUSZALA J 1969. Les viroses de la vigne. Les maladies des plantes. Paris, France: ACTA-FNGPC, 557-577.