

Méthode d'analyse en santé des végétaux

RÉFÉRENCE : ANSES/LSV/MA062- Version 2

Janvier 2021

Détection du virus de la rhizomanie Beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) de la Betterave.

RT-PCR en temps réel sur plantes hôtes

Laboratoire de la santé des végétaux

Laboratoire national de référence « Autres virus »



Historique de la méthode

Une méthode est mise à jour afin de prendre en compte des modifications.

Une modification est qualifiée de majeure lorsqu'elle concerne le processus analytique, le domaine d'application ou des points critiques de la méthode, dont la prise en compte peut modifier les performances de la méthode d'analyse et/ou les résultats. Une modification majeure induit des adaptations. La méthode ainsi modifiée a fait l'objet d'une nouvelle validation, totale ou partielle.

Une modification est qualifiée de mineure si elle apporte des précisions utiles ou pratiques, reformule les propos pour les rendre plus clairs ou plus précis, rectifie des erreurs bénignes. Une modification mineure est sans influence sur les performances de la méthode et ne requiert pas une nouvelle validation.

Le tableau ci-dessous récapitule l'historique des versions de la présente méthode, incluant la qualification des modifications.

Version	Nature des modifications (majeure/mineure)	Date	Principales modifications
v1*	/	Octobre 2020	Version initiale
v2	mineure	Janvier 2021	Restriction concernant les kits d'extraction validés (suppression d'une remarque page 17 de la version 1)

*Cette méthode a fait l'objet d'une consultation du 10 juillet au 10 septembre 2020 sur le site internet de l'agence, notamment auprès des laboratoires agréés français.



Avant-propos

La présente méthode a été validée par :

Anses - Laboratoire de la santé des végétaux– Unité bactériologie, virologie et OGM

Laboratoire National de Référence : **Mandat « Autres virus »**

Adresse : 7 rue Jean Dixméras

49044 Angers CEDEX 01

Contact : angers.lsv@anses.fr

La présente méthode a été initialement optimisée et évaluée et validée par l'équipe de virologie de l'unité de bactériologie, virologie, OGM au sein du Laboratoire de la Santé des Végétaux (rapports de caractérisation et de validation de la méthode interne version 01 en date du mois de décembre 2015 et du mois d'août 2016 et rapport d'essai inter-laboratoires de validation 16-RT-BNYVV version 01 en date du 17/02/2017).

Le travail de relecture a été effectué par l'Unité de Coordination de la Référence du Laboratoire de la Santé des Végétaux.



Sommaire

Avant-propos	3
Introduction	5
Avertissements et précautions de sécurité	6
1. Objet et domaine d'application	7
2. Documents de référence	7
3. Termes, sigles et définitions	7
4. Principe de la méthode	8
5. Réactifs	9
5.1 Eau	9
5.2 Kit d'extraction d'ARN.....	9
5.3 Oligonucléotides	9
5.4 Kit d'amplification de RT-PCR en temps réel	10
5.5 Autres consommables à usage unique	10
5.6 Contrôles et témoins.....	10
6. Appareillage et matériels	11
7. Échantillons	12
7.1 Conditions d'acceptation des échantillons.....	12
7.2 Conservation des échantillons avant analyse	13
7.3 Conservation des échantillons ou reliquats après analyse	13
8. Mode opératoire	14
8.1 Préparation des échantillons pour analyse.....	14
8.2 Broyage des échantillons.....	16
8.3 Extraction de l'ARN total.....	16
8.4 Test de détection par RT-PCR en temps réel	17
9 Résultats	18
9.1 Cut off.....	18
9.2 Contrôle de la validité des résultats	18
9.3 Calculs et expression des résultats.....	19
10 Caractéristiques de performance de la méthode	20
Bibliographie	21



Introduction

Le Beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) a été identifié comme le virus responsable de la maladie nommée « Rhizomanie » en référence à l'un des symptômes racinaires de la maladie, qui consiste en une prolifération du chevelu racinaire.

Les plantes hôtes de ce virus appartiennent principalement à la famille des *Chenopodiaceae* et à l'espèce *Beta vulgaris* (betteraves fourragère, potagère et sucrière ainsi que la poirée) mais aussi à l'espèce *Spinacia oleracea* (épinard).

Ce virus est transmis à la betterave par les zoospores d'un Plasmodiophoride du sol : *Polymyxa betae* (Protiste, parasite obligatoire des racines).

Le BNYVV appartient au genre *Benyvirus* dont il est l'espèce type. C'est un virus constitué de 4 à 5 ARN simple brin positif de différentes tailles (6,7 ; 4,6 ; 1,8 ; 1,4 et 1,3 kb). Ces ARN sont encapsidés dans des particules non enveloppées en forme de bâtonnets de 60 nm à 390 nm de long et de 20 nm de diamètre.

Il existe actuellement 4 souches majoritaires non distinctes sérologiquement. Deux souches majeures dénommées types A et B qui possèdent 4 ARNss et deux souches mineures dénommées type P (Pithiviers - Européen) et type J (Japon - Asiatique) qui sont les seules à contenir l'ARN 5 (Hleibieh *et al.*, 2007). Ces deux dernières ont été identifiées au Japon, en France (secteur de Pithiviers), au Kazakhstan et en Angleterre (Ratti *et al.*, 2004). Elles provoquent des symptômes plus sévères et une baisse de rendement importante (Harju *et al.* 2005).



Avertissements et précautions de sécurité

Il convient que l'utilisateur de la présente méthode connaisse bien les pratiques courantes de laboratoire. Il incombe à l'utilisateur d'établir des pratiques appropriées en matière d'hygiène et de sécurité et de s'assurer de la conformité à la réglementation en vigueur.

Il est essentiel que les manipulations conduites conformément à la présente méthode soient exécutées par du personnel ayant reçu une formation appropriée.

Certains réactifs utilisés dans cette méthode peuvent présenter un risque pour l'utilisateur et/ou l'environnement. Il convient de suivre les recommandations du fournisseur pour l'utilisation de ces produits et l'élimination des déchets et de se référer aux fiches de données de sécurité en vigueur.

La détention et/ou la manipulation de ce virus est soumise à l'obtention d'un arrêté préfectoral d'agrément en accord avec le nouveau règlement de santé végétale 2016/2031. Il est nécessaire que les installations de laboratoire permettent le contrôle des déchets solides, liquides afin de manipuler les échantillons végétaux dans le cadre de la détection du BNYVV.

Par ailleurs, l'utilisateur de la présente méthode doit mettre en œuvre toutes les mesures nécessaires pour garantir la non-dissémination de l'organisme nuisible dans l'environnement.

Tout fragment de matériel végétal (quel que soit son statut) doit être détruit par autoclavage ou autre moyen inactivant les virus, ainsi que tous les consommables avec lesquels ils ont été en contact.

Tout matériel utilisé lors du processus doit être désinfecté.



1. Objet et domaine d'application

L'objet de cette méthode est de détecter par RT-PCR en temps réel le BNYVV dans les racines ou feuilles de betteraves, d'épinards ou autres plantes hôtes.

Cette méthode est qualitative, elle permet de détecter la présence du BNYVV dans la limite du seuil de détection mais ne permet pas de quantifier la cible dans l'échantillon analysé, ni d'identifier la souche présente.

L'utilisation d'un couple d'amorces et d'une sonde marquée, dont la combinaison est spécifique du BNYVV, et ce quelle que soit la souche considérée, permet de détecter et d'amplifier des portions discriminantes de l'ARN 2 codant pour la protéine de capsid de ce virus.

2. Documents de référence

MOA 022 : Techniques qualitatives d'amplification enzymatique des acides nucléiques : PCR (Polymerase Chain Reaction), RT-PCR (Reverse Transcription-PCR) et PCR temps réel. Détection et identification des organismes phytopathogènes.

3. Termes, sigles et définitions

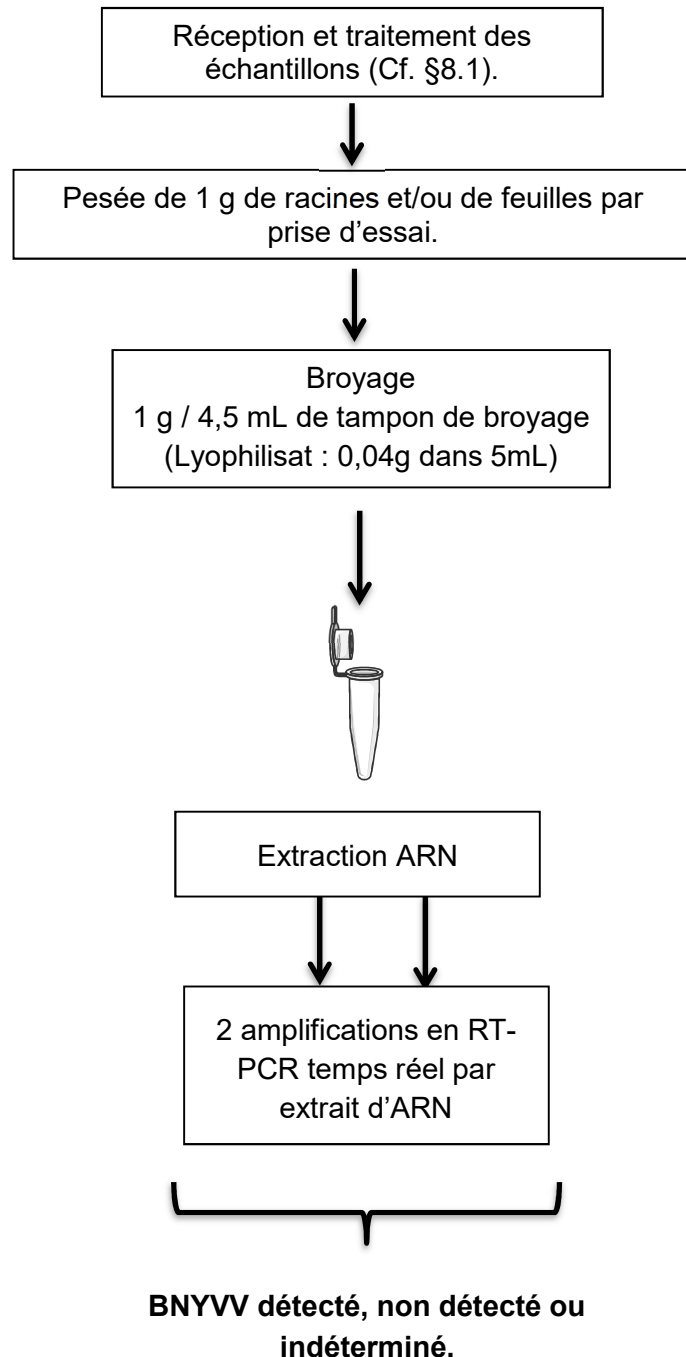
Afin de limiter les problèmes d'interprétation des termes employés, le vocabulaire utilisé dans les méthodes officielles du ministère chargé de l'agriculture est issu des normes, guides ou glossaires nationaux ou internationaux appropriés (AFNOR, ISO, CIPV, OEPP...).

Le glossaire GLO-001 reprend les principales définitions des termes employés dans cette méthode. L'attention des lecteurs est attirée sur le fait que les termes du glossaire ne sont pas repérés dans le texte de la méthode d'analyse.



4. Principe de la méthode

Le principe de la méthode est présenté dans le schéma ci-dessous :





5. Réactifs

Avertissement : Des appellations commerciales ou fournisseurs peuvent être mentionnées dans le descriptif des produits nécessaires à la mise en œuvre de la présente méthode. Ces informations sont données à l'intention des utilisateurs de la méthode et ne signifient nullement que l'Anses recommande l'emploi exclusif de ces produits. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

En règle générale, le manipulateur doit veiller (par l'utilisation de produits et consommables certifiés, par le nettoyage, par la stérilisation ou tout autre traitement approprié) à l'absence dans l'eau, produits et consommables utilisés, de contaminant (ARN), de nucléase, d'inhibiteur ou de tout autre élément pouvant influencer sur le résultat.

Les recommandations des fournisseurs concernant les conditions de stockage avant utilisation, seront suivies, ainsi que la conservation en cours d'utilisation. A défaut, le laboratoire définira les conditions qu'il jugera optimales.

5.1 Eau

L'eau ultra pure (EUP) doit présenter une qualité suffisante pour une utilisation en biologie moléculaire.

5.2 Kit d'extraction d'ARN

L'ARN total des prises d'essai analysées est extrait et purifié à l'aide d'un kit d'extraction d'ARN de plante disponible dans le commerce. Le kit d'extraction validé par le LNR pour cette méthode est le kit RNeasy® Plant Mini Kit (Qiagen©) selon le mode opératoire décrit par le fournisseur (rapports de caractérisation et de validation « méthode interne » en date du mois de décembre 2015 et d'août 2016 et rapport d'essai interlaboratoires de validation 16-RT-BNYVV en date du 17/02/2017).

5.3 Oligonucléotides

Les séquences (5'- 3') des amorces et de la sonde sont les suivantes :

- BNYVV-CP 26F * : 5' – CATGGAAGGATATGTCTCATAATAGGTT – 3'
- BNYVV-CP 96R * : 5' - AACACTCACGACGTCCGAAAC – 3'
- BNYVV-CP 56T * : [6-FAM] - 5' - TGACCGATCGATGGGCCCG – 3' -[BHQ1]

* Cible des amorces BNYVV-CP 26F, BNYVV-CP 96R et de la sonde BNYVV-CP 56T : fragment sur le gène P21 de la protéine de capsid de l'ARN 2 (Harju *et al*, 2005).

Les amorces doivent être au minimum de qualité RP cartridge et la sonde de qualité HPLC (exemples des critères de qualité du fournisseur Eurogentec). Dans le cas où d'autres fournisseurs proposent des critères de qualité différents, le laboratoire doit s'assurer de l'équivalence du niveau de performance.

Le fluorophore rapporteur utilisé pour la sonde peut être modifié, sous réserve que le fluorophore extincteur associé soit adapté, et sous réserve de compatibilité avec l'appareil de PCR en temps réel employé.



5.4 Kit d'amplification de RT-PCR en temps réel

Le kit validé par le Laboratoire National de Référence (LNR) pour cette méthode est le Kit AgPath-ID™ One-Step RT-PCR Kit de chez Applied Biosystems (référence catalogue ThermoFisher Scientific mai 2020 n°4387424).

5.5 Autres consommables à usage unique

- Coupelles de pesée ou autre système de pesée adapté ;
- Sacs de broyage avec gaze de filtration à mailles en nylon à usage unique (type Bioreba) ;
- Cônes à filtre pour pipettes de volumes adaptés (plage 0,5 µL à 5 mL) ;
- Microtubes stériles de 1,5 mL ou 2 mL ;
- Microtubes ou capillaires (qualité biologie moléculaire) de volume adapté au thermocycleur temps réel utilisé, à paroi fine, en barrette de 4 ou 8 puits ou en plaque de 96 puits.

5.6 Contrôles et témoins

La technique de détection de régions cibles d'ARN d'un organisme par la technique de RT-PCR en temps réel requiert l'utilisation d'une série de contrôles et témoins permettant de valider la bonne qualité de la manipulation. Ces contrôles et témoins ont différentes fonctions et leur utilisation permet de garantir que :

- L'opérateur a correctement suivi le protocole,
- Les consommables et réactifs utilisés étaient de qualité suffisante,
- Les volumes prélevés à l'aide des micropipettes, les températures et durées de réaction, la concentration et le pH des solutions utilisées étaient corrects,
- L'extrait d'ARN était suffisant en quantité et amplifiable (pas d'interférence avec des composés inhibiteurs),
- Il n'y a pas eu de contamination accidentelle des échantillons testés.

Les contrôles et témoins à produire permettant de garantir la fiabilité des résultats au cours de l'analyse sont *a minima* les suivants :

- Un contrôle positif de processus : il devra contenir l'organisme cible. Il subira toutes les phases de l'analyse à partir de la phase d'extraction. Il est composé d'un échantillon défini comme positif BNYVV. Il permet de contrôler la qualité et le bon fonctionnement de l'extraction et de mettre en évidence d'éventuelles inhibitions. Il sera testé lors de chaque série d'extraction pour vérifier que la cible a bien été extraite lors de la phase d'extraction d'ARN.
- Un contrôle négatif de processus : il sera préparé pour chaque série d'extractions. Il est composé d'un échantillon négatif, si possible de la même espèce végétale que les échantillons testés. Ce contrôle subira toutes les phases de l'analyse dès l'étape de préparation de l'échantillon, pour permettre de vérifier l'absence de contamination lors de la phase d'extraction d'ARN. Il sera testé lors de chaque série d'extraction pour vérifier l'absence de contamination croisée entre échantillons ou de contamination externe lors de la phase d'extraction d'ARN.
- Un contrôle positif de RT-PCR (ou témoin positif d'amplification) sera systématiquement introduit lors de chaque réaction de RT-PCR en temps réel. Il est



composé d'un extrait d'ARN positif au BNYVV afin de vérifier la qualité de l'amplification ainsi que la qualité de la manipulation et le bon fonctionnement du matériel.

- Un contrôle négatif de RT-PCR (ou témoin négatif d'amplification) sera systématiquement introduit lors de chaque réaction de RT-PCR en temps réel. Il est composé d'une prise d'échantillon du mélange réactionnel préparé ou d'eau ultra-pure ayant servie à la composition du mélange réactionnel. Il subira toutes les phases de l'analyse à partir de la préparation du mélange réactionnel de PCR pour vérifier l'absence de contamination lors de cette phase.

Ces témoins sont ensuite amplifiés comme les autres échantillons cependant la duplication des dépôts d'ARN n'est pas requise pour les contrôles.

Ces contrôles ainsi que des contrôles supplémentaires que le laboratoire peut ajouter si nécessaire sont définis par la MOA022.

En cas d'anomalie constatée sur un contrôle, les dispositions de la MOA022 doivent être respectées.

6. Appareillage et matériels

Avertissement : Des appellations commerciales ou fournisseurs peuvent être mentionnés dans le descriptif des appareils et matériels nécessaires à la mise en œuvre de la présente méthode. Ces informations sont données à l'intention des utilisateurs de la méthode et ne signifient nullement que l'Anses recommande l'emploi exclusif de ces matériels. Des matériels équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

L'agencement et l'équipement des zones de travail sont définis dans la MOA 022 version en vigueur.

Les matériels utilisés dans la méthode doivent satisfaire aux exigences de la MOA 022 version en vigueur.

Afin d'alléger la lecture de la méthode, seules les valeurs cibles des grandeurs mesurées sont indiquées dans le corps du texte, en unités du système international ou unités dérivées. Les erreurs maximales tolérées (EMT) à prendre en considération sont données dans le tableau 1 ci-après (dans le cas contraire, des spécifications sont précisées dans le texte de la méthode).

Grandeur	EMT
Volume	EMT définies par la MOA 022 version en vigueur
Masse	EMT = $\pm 10\%$
Température	Thermobloc, bain à sec : EMT = $\pm 5^{\circ}\text{C}$ Réfrigérateur : 5°C et EMT = $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (ou plus strict en fonction des recommandations fournisseur) Congélateur : $\leq -18^{\circ}\text{C}$ en fonction de l'usage

Tableau 1 : Erreur maximales tolérées



Thermocycleur : le constat de qualification (aptitude à l'usage attendu) se fera sur la base des résultats obtenus par le biais d'un test biologique ou d'une vérification métrologique.

En plus de l'appareillage courant, le matériel suivant est jugé nécessaire pour certaines phases de l'analyse :

Préparation des échantillons

- Balance de portée et d'exactitude adaptées à la pesée des échantillons (ex : balance de classe II) ;
- Pipette automatique (plage de mesure de 1 à 5 mL) et/ou dispenseur ;
- Broyeur à billes (ou autre système de broyage pourvu qu'il permette d'obtenir une qualité de broyage équivalente et limite les risques de contaminations) ;
- Petits équipements de laboratoire : ciseaux, pinces, scalpel, sécateur.

Extraction des ARN

- Agitateur de tubes de type Vortex ;
- Centrifugeuse permettant d'atteindre une force centrifuge relative d'environ 250 g à 20 000 g et rotor adapté pouvant recevoir des tubes plastiques de 1,5 et 2 mL ;
- Centrifugeuse de paillasse type « microspin » ;
- Pipettes automatiques (plage de mesure de 0,5 µL à 5 mL) ;
- Eprouvette graduée de 50 mL ;
- Thermobloc ou bain-à-sec (température = 56°C) (pour la lyse cellulaire) ou enceinte thermostatique (température 56°C).

Amplification des ARN

- Pipettes automatiques (plage de mesure de 0,5 µL à 1 mL) ;
- Appareil de PCR en temps réel et ordinateur de pilotage capables de mesurer la fluorescence des reporteurs de type « FAM » ou des fluorophores de spectre équivalent (méthode validée avec l'appareil Stratagène Mx3005P).

Stockage des échantillons et des ARN

- Congélateur (température $\leq -18^{\circ}\text{C}$) ;
- Réfrigérateur (température = 5°C).

7. Échantillons

7.1 Conditions d'acceptation des échantillons

Pour que les échantillons soient acceptés sans réserve, les éléments suivants doivent être respectés :

- Les échantillons reçus pour analyse doivent être dans un bon état de conservation, c'est-à-dire, ni desséchés, ni nécrosés ni en cours de décomposition. Le temps entre le prélèvement et l'arrivée au laboratoire doit être le plus réduit possible. Si les échantillons ne sont pas envoyés le jour même, ils doivent être conservés au froid avant l'envoi.



- Chaque échantillon est conditionné individuellement dans un emballage hermétique et parfaitement identifié (référence figurant sur la fiche de demande d'analyse). Toutes les mesures doivent être prises pour conserver l'intégrité de l'échantillon et éviter les contaminations par d'autres échantillons. Pour les échantillons lyophilisés ou déshydratés, ils doivent être complètement déshydratés, c'est-à-dire sans développement de moisissures.
- Taille de l'échantillon suffisante pour réaliser les prélèvements nécessaires.
- Présence d'une fiche de demande d'analyse unique par échantillon : formulation claire de la demande, identification du végétal, de l'expéditeur, référence des échantillons, demande de confirmation auprès du LNR. Cette fiche est fixée à l'extérieur du colis.

Dans le cas contraire, le laboratoire contacte le client dans les plus brefs délais et se réserve le droit de refuser la demande d'analyse en explicitant les raisons de ce refus.

7.2 Conservation des échantillons avant analyse

Le délai entre la réception de l'échantillon et le début effectif de l'analyse doit être le plus court possible.

Pour les échantillons prélevés dans de bonnes conditions, le délai entre la réception des échantillons et le début effectif de l'analyse doit être de préférence inférieur à 3 jours sans dépasser 5 jours. En attente de l'analyse, les échantillons sont conservés à +5°C.

Si les échantillons ne peuvent être traités dans ce laps de temps, ils seront congelés à une température inférieure ou égale à -18°C, en attente de traitement (maximum 1 mois). Dans ce cas, la prise d'essai doit être effectuée, si possible, avant la congélation.

7.3 Conservation des échantillons ou reliquats après analyse

Sauf mention contraire explicite ou impossibilité technique avérée, les laboratoires doivent conserver les reliquats pertinents (nature, quantité et qualité) de matériel soumis à analyse, dans des conditions appropriées garantissant leur intégrité.

Cas d'un échantillon négatif : au minimum jusqu'au quinzième jour ouvrable suivant l'envoi au demandeur d'un rapport d'analyse pour éventuellement permettre la demande d'une analyse contradictoire par le client.

Cas d'un échantillon positif ou indéterminé : pour une durée minimale de 12 mois, sauf pour les parties éventuellement transmises à un laboratoire agréé ou de référence, à qui est alors transférée la charge de conservation des reliquats.

Les conditions de conservation des différents types de reliquats d'échantillon à conserver en vue d'éventuelles analyses complémentaires sont présentées dans le tableau 2 ci-après :



Étapes	Type de reliquat	Conservation		Modalités d'envoi à un autre laboratoire le cas échéant
		Durée	Conditions	
Reliquat de prélèvement	Feuilles, racines/ Plants racinés	Résultat négatif : 15 jours après envoi du rapport	+5°C	Sachets individuels fermés et clairement identifiés Température ambiante Transporteur rapide
		Résultat autre que négatif: 12 mois	+5°C jusqu'à obtention du résultat (ou jusqu'à envoi au LNR) puis ≤-18°C	
Broyage	Broyat végétal	Résultat négatif : 15 jours après envoi du rapport	≤-18°C	Sachets / Tubes / pots fermés hermétiquement et clairement identifiés Bloc froid Transporteur rapide
		Résultat autre que négatif: 12 mois		
Extraction d'ARN	Extraits d'ARN	Résultat négatif : 15 jours après envoi du rapport	≤-18°C	Tubes hermétiques clairement identifiés Bloc froid Transporteur rapide
		Résultat autre que négatif: 12 mois		

Tableau 2 : conditions de conservation des échantillons après analyse.

8. Mode opératoire

Le laboratoire doit mettre en place une procédure adaptée à son environnement (locaux, infrastructures, ...) visant à éviter tout risque de confusion entre échantillons et tout risque de contamination d'un échantillon par un autre.

8.1 Préparation des échantillons pour analyse

Les échantillons sont à manipuler avec des gants (désinfecter les gants avec une solution d'hypochlorite de sodium ou produit équivalent, ou les remplacer, entre chaque échantillon).

Pour la pesée des échantillons, les intervalles de pesée présentés dans le tableau 3 ci-après doivent être appliqués (règle des 5%) :

Exemple :

Masse minimale	Masse cible	Masse maximale
0,95 g ≤	1,0 g	< 1,05 g

Tableau 3 : intervalles de pesée



Analyse à partir d'échantillons obtenus par piégeage sur terre, eau terreuse ou décantée :

Le prélèvement peut être composée d'un mélange de tige et/ou de racinelles. 1 g de matériel végétal est prélevé par prise d'essai. Ces tiges et racinelles proviennent de plantules ayant servi au piégeage (cf. MA061) et dont l'appareil racinaire a été lavé.

Dans ce cas, chaque échantillon est constitué de 5 prises d'essai (correspondant à 5 pots de culture parmi les 6). Le reliquat éventuel d'échantillon restant est à conserver (cf. §7.3), pour permettre, si nécessaire, d'effectuer une analyse de contrôle ou de confirmation des résultats par le laboratoire de référence.

Analyse à partir d'échantillons prélevés en zones protégées :

- Un échantillon est constitué d'un prélèvement de 15 ou 30 plantes entières disposant d'un appareil racinaire le plus préservé possible.
- Après avoir lavé, nettoyé puis séché le système racinaire des plantes à l'eau et avec du papier absorbant, les répartir en 5 ou 10 lots de 3 plantes. Prélever sur chacune des plantes les racinelles, ou à défaut de l'épiderme de la racine, afin de préparer 2 fractions de 1 g par lot constituant pour l'une la prise d'essai qui doit être traitée le jour même et pour l'autre, la fraction qui sera conservée (cf. §7.3). Cette fraction permettra, si nécessaire, d'effectuer une analyse de contrôle ou de confirmation des résultats par le laboratoire de référence. Une attention particulière sera portée pour obtenir la meilleure homogénéité possible entre les fractions.

Analyse pour autres échantillons :

- 1 g en matériel frais est prélevé. Si le matériel est déshydraté ou lyophilisé, la pesée correspondante à un gramme de matériel frais est de 0,04 g.
- Une deuxième fraction équivalente à la première doit également être préparée et gardée au congélateur (matériel frais) ou au réfrigérateur (matériel déshydraté) afin d'effectuer si nécessaire une deuxième analyse de contrôle ou de confirmation des résultats par le laboratoire de référence.

Remarque : Si la prise d'essai n'atteint pas 1 g, le ratio poids/tampon de broyage sera adapté. Si ce poids est inférieur à 0,5 g et le résultat négatif, une réserve sur le résultat sera émise sur le rapport d'analyse.

Entre chaque échantillon, les coupelles de pesée sont changées, et la paillasse est nettoyée avec de l'hypochlorite de sodium ou un produit similaire afin d'éviter les contaminations croisées (destruction des traces d'ARN) et désinfecter les petits matériels de prélèvement, scalpels, ciseaux, etc., avec une solution d'hypochlorite de sodium d'une concentration d'au moins 2,6 % de chlore actif puis rincés abondamment à l'eau déminéralisée (élimination des traces d'ARN).

Le prélèvement est déposé dans un sac de broyage en plastique (avec gaze pour la filtration des particules grossières).



8.2 Broyage des échantillons

Broyer 1 g de matériel végétal frais ou 0,04 g de matériel déshydraté dans respectivement 4,5 ou 5 mL de tampon RLT (Qiagen référence mai 2020 n°79216) dans un sachet de broyage adapté et référencé (type Bioreba) à l'aide d'un broyeur à billes ou de toute autre méthode de broyage permettant d'obtenir des résultats équivalents.

Les broyats obtenus doivent être conservés au réfrigérateur et utilisés le plus rapidement possible (au plus tard dans la journée).

Après utilisation, les broyats peuvent être conservés au congélateur pour des besoins ultérieurs. Pour éviter toute contamination croisée potentielle, toutes les mesures de destruction des ARN doivent être prises entre chaque manipulation d'échantillons.

8.3 Extraction de l'ARN total

Ce protocole est adapté du protocole du fournisseur (Qiagen©) pour le kit RNeasy® Plant Mini Kit (Qiagen référence mai 2020 n°74904).

- Allumer et programmer la centrifugeuse à température ambiante et selon les recommandations ci-dessous,
- Mettre en chauffe le thermobloc ou le bain-à-sec à 56°C.
- Référencer tous les microtubes et colonnes nécessaires à la série d'extraction.
- Après avoir homogénéisé par massage avec les doigts les sachets contenant le broyat végétal, transférer 450 µL du broyat de chaque prise d'essai dans un microtube préalablement référencé de 1,5 mL.
- Introduire à ce stade un contrôle de processus positif et un contrôle de processus négatif par série d'extraction tel que décrit au point 5.6.
- Incuber ces microtubes 3 minutes à 56°C dans le bain à sec.
- Transférer le contenu de chaque microtube dans une colonne QIAshredder (violet) précédemment référencée et posée sur microtube de 2mL.
- Centrifuger 2 minutes à vitesse maximum.
- Transférer l'éluât sans le culot dans un microtube de 2mL contenant 200µL d'éthanol à 96° (ou 0,5 vol).
- Homogénéiser immédiatement par pipetage.
- Transférer le tout (min 600 µL) sur une colonne Rneasy (rose) placée sur un microtube sans bouchon de 2mL.
- Centrifuger 1 minute à une vitesse \geq à 8000 g.
- Jeter l'éluât, ajouter 700 µL de tampon « RW1 » dans chaque colonne et centrifuger 1 minute à une vitesse \geq à 8000 g.
- Jeter l'éluât, ajouter 500 µL de tampon « RPE » dans chaque colonne et centrifuger 1 minute à une vitesse \geq à 8000 g.



- Jeter l'éluât, ajouter 500 µL de tampon « RPE » dans chaque colonne et centrifuger 2 minutes à une vitesse \geq à 8000 g.
- Jeter l'éluât et le tube sans bouchon puis placer chaque colonne Rneasy (rose) sur une nouvelle série codée de microtubes de 1,5 mL
- Ajouter 50 µL d'eau RNase free au centre de chaque colonne et attendre 5 minutes.
- Centrifuger 1 minute à une vitesse \geq à 8000 g pour éluer l'ARN.
- Jeter la colonne Rneasy (rose).

Les extraits d'ARN peuvent être utilisés directement pour réaliser la RT-PCR ou ils peuvent être stockés à $\leq -18^{\circ}\text{C}$ pour une conservation de quelques mois.

Remarque : au cours des étapes de lavages avec les tampons RW1 et RPE, il est possible de changer les séries de microtubes de 2 mL sans bouchon afin de limiter toutes contaminations éventuelles.

8.4 Test de détection par RT-PCR en temps réel

Pour chaque extrait d'ARN, deux amplifications doivent être réalisées. **Ne pas vortexer les extraits d'ARN car ils sont fragiles et éviter les cycles successifs de congélation/décongélation.**

Pour chaque série d'amplification, insérer un témoin négatif d'amplification et un témoin positif d'amplification tel que décrit au point 5.6.

La composition du mélange réactionnel pour une réaction est présentée dans le tableau 4 ci-après:

Réactifs	Concentration finale
Eau ultra pure	qsp 24 µL
RT-PCR Buffer : AgPath-ID™ One-Step RT-PCR Kit	1 X
RT-PCR Enzyme mix AgPath-ID™ One-Step RT-PCR Kit	1X
Amorce sens BNYVV-CP 26F	0,3 µM
Amorce antisens BNYVV-CP 96R	0,3 µM
Sonde BNYVV-CP 56T	0,1 µM
Mélange réactionnel	24 µL
Extrait d'ARN	1 µL
Volume final	25 µL

Tableau 4 : composition du mélange réactionnel

Les différents paramètres de l'amplification par RT-PCR en temps réel pour la détection du *BNYVV* sont présentés dans le tableau 5 ci-après:



Etape	Température	Durée programmée	Nombre de cycle
Transcription inverse de l'ARN en ADN	45°C	30 min	1
Activation de l'ADN polymérase	95°C	10 min	
Dénaturation	95°C	15 s	40
Hybridation / Elongation (mesure de la fluorescence à la fin de chaque cycle)	60°C	1min	

Tableau 5 : paramètres d'amplification

9 Résultats

9.1 Cut off

Lors de l'évaluation des critères de performance de la méthode menée par le LNR, il est apparu que des signaux tardifs pouvaient apparaître et être interprétés comme faux positifs. Il a donc été intégré un « cut-off » ou « Cycle threshold limit » au-delà duquel la garantie de déclarer un échantillon positif n'était plus assurée de façon répétable.

Les tests réalisés au LNR sur plusieurs types de thermocycleurs avec bloc Peltier* ont permis d'établir qu'à partir de 32 cycles, la méthode n'était plus suffisamment répétable. Le « cut off » de cette méthode est donc fixé à 32 cycles.

*cette méthode peut être utilisée sur tout type d'appareil PCR Temps réel.

9.2 Contrôle de la validité des résultats

Une valeur de Ct doit être accompagnée d'une courbe de type exponentiel (en échelle linéaire et exponentielle) pour être prise en compte.

Pour la détermination de la ligne de seuil (threshold), il est recommandé d'utiliser la détermination automatique réalisée avec le logiciel du thermocycleur.

La validation de l'analyse s'effectue en observant les courbes de fluorescence mesurées par l'appareil de PCR en temps réel et générées à partir des différents témoins.

L'analyse est considérée validée si et seulement si l'ensemble des conditions suivantes est réuni en fin de réaction :



- Le contrôle négatif de processus et le témoin négatif d'amplification n'ont pas généré de courbe de fluorescence caractéristique, ni de valeur de Ct, ou bien une valeur de Ct > à 32. Ils permettent de vérifier l'absence de contamination croisée accidentelle.
- Le contrôle positif de processus et le témoin positif d'amplification ont généré une courbe de fluorescence de type exponentielle et une valeur de Ct ≤ à 32. Le contrôle positif de processus permet de vérifier le bon déroulement de l'extraction. Le témoin positif d'amplification permet de vérifier la qualité des réactifs PCR et les paramètres d'amplification.

Dans le cas où une ou plusieurs conditions ne seraient pas respectées, l'analyse n'est pas validée et selon le type d'anomalie observée, tout ou partie de l'analyse est à refaire (MOA 022).

9.3 Calculs et expression des résultats

Si la série d'analyse est validée, les résultats peuvent être considérés comme interprétables.

Les règles de « cut-off » applicables sont présentées dans le tableau 6 ci-après :

Valeur de Ct obtenue	Statut
Ct ≤ 32	Positif
32 < Ct < 40	Indéterminé
No Ct	Négatif

Tableau 6 : règles de « cut-off » applicables

Le statut d'une prise d'essai est déterminé sur la base des critères suivants :

- Pour qu'une prise d'essai soit déclarée positive, il suffit qu'au moins un des deux puits soit positif (Ct ≤ 32).
- Pour qu'une prise d'essai soit déclarée négative, il faut que les deux puits soient négatifs (absence de Ct)
- Une prise d'essai sera déclarée indéterminée si au moins un des deux puits est de statut indéterminé et l'autre non positif.

Pour les échantillons divisés en plusieurs prises d'essai :

- Si une seule prise d'essai est positive, l'échantillon est déclaré positif.
- Si toutes les prises d'essai sont négatives, l'échantillon est déclaré négatif.
- Si au moins une prise d'essai est déclarée indéterminée et les autres négatives, l'échantillon est déclaré indéterminé.

Remarque : l'extraction et/ou l'amplification d'ARN pourra être renouvelée sur décision du laboratoire.



Expression des résultats sur le rapport d'analyse :

- Le résultat final du test est exprimé sous forme qualitative : « négatif/positif/indéterminé », « détecté/non détecté/indéterminé » ou mention équivalente.
- La référence de la méthode d'analyse utilisée sera mentionnée, par exemple: « Détection de BNYVV par RT PCR en temps réel sur plante hôte - méthode MA062 ».

10 Caractéristiques de performance de la méthode

La synthèse des caractéristiques de performances de la méthode présentée dans le tableau n°6 ci-après est extraite du rapport de l'essai inter laboratoire de validation réalisé en 2016 et établi par le LNR le 17/02/2017.

Critères de performance	Moy sans valeurs LSV de "cut off"	Moy avec valeurs LSV de "cut off"	Min sans valeurs LSV de "cut off"	Min avec valeurs LSV de "cut off"	Max sans valeurs LSV de "cut off"	Max avec valeurs LSV de "cut off"
Sensibilité	96%	98%	80%	90%	100%	100%
Spécificité	64%	98%	10%	90%	100%	100%
Répétabilité	83%	95%	60%	80%	100%	100%
Exactitude	80%	98%	55%	90%	100%	100%
Reproductibilité	77%	95%	NC	NC	NC	NC

NC : non calculée

Tableau 7 : valeurs des critères de performance obtenues lors de l'EILV réalisé en 2016 sur la méthode Harju *et al*, 2005.

Ces critères montrent bien l'intérêt de la mise en place d'un « cut off » afin d'augmenter les différents critères de performance de la méthode décrite ci-dessus.



Bibliographie

- Harju V.A., Skelton A., Clover G.R.G, Ratti C., Boonham N., Henry C.M., Mumford R.A. (2005) The use of real-time RT-PCR (TaqMan®) and post-ELISA virus release for the detection of Beet necrotic yellow vein virus types containing RNA 5 and its comparison with conventional RT-PCR. *Journal of Virological Methods* 123 (1):73-80.
- Rapport de caractérisation et de validation « méthode interne » en date du mois de décembre 2015.
- Rapport de caractérisation et de validation « méthode interne » en date du mois d'août 2016.
- Rapport d'essai interlaboratoires de validation 16-RT-BNYVV en date 17/02/2017.
- Rapport d'essai d'extractions sur broyats ELISA de racines de betteraves pour la détection du BNYVV en date du 31 juillet 2020.
- MA061 : Détection du virus de la rhizomanie Beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) de la Betterave : Test biologique.