

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 11 octobre 2023

AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

**relatif à « l'actualisation du rapport d'appui scientifique et technique (AST)
relatif aux mesures de prophylaxie et de gestion de l'unité de production en
cas de foyer de ToBRFV (saisine 2020-SA-0038) »**

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.
L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail
et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.
Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé
des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.
Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui
scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en
œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).
Ses avis sont publiés sur son site internet.*

L'Anses a été saisie le 06 juillet 2023 par la Direction générale de l'alimentation pour la réalisation de l'expertise suivante : Actualisation du rapport d'appui scientifique et technique (AST) relatif aux mesures de prophylaxie et de gestion de l'unité de production en cas de foyer de ToBRFV (saisine 2020-SA-0038).

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

1.1. Contexte de la saisine

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a été sollicitée lors des premières détections sur le territoire national en 2020 du *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) au sein d'exploitations produisant des tomates, pour apporter un appui scientifique et technique. Les recommandations de l'Agence ont permis de mettre en œuvre des mesures de gestion permettant de gérer ces foyers.

Au cours de ce printemps 2023, plusieurs foyers du ToBRFV ont été détectés dans différentes serres de production de tomates et sont en cours de gestion en région Bretagne par la DRAAF-SRAL en lien étroit avec la Direction générale de l'alimentation (DGAL). La gestion de ces

foyers s'effectue en particulier en application de l'article 6 3)b du règlement européen UE/2023/1032 du 25 mai 2023 établissant des « mesures destinées à éviter l'introduction et la dissémination du virus du fruit rugueux brun de la tomate sur le territoire de l'Union et modifiant le règlement d'exécution (UE) 2020/1191 ».

La découverte récente de ces nouveaux foyers de ToBRFV soulève toutefois des questions sur l'efficacité ou la pertinence de certaines de ces mesures. En effet, la mise en œuvre des mesures de destruction des végétaux et en particulier des produits végétaux non commercialisables posent des difficultés pratiques au SRAL. Il s'agit en particulier de difficultés liées à :

- la destruction des produits contaminés, notamment des fruits. En effet, l'AST de l'Anses de 2020 (page 27) recommande leur incinération et émet des réserves sur l'enfouissement en présence de chaux vive car l'efficacité de cette mesure n'est pas avérée contre le ToBRFV. Néanmoins, la mise en œuvre de l'enfouissement a été expérimentée en région suite au refus des centres d'incinération de prendre en charge des produits à trop forte teneur en eau. Pour autant, l'enfouissement à la chaux, utilisé en lieu et place de l'incinération pose des difficultés et ce, pour les raisons suivantes :
 - il nécessite de disposer de surfaces appropriées ;
 - il impose l'intervention d'un hydrogéologue pour qualifier l'aptitude de ces surfaces à cet enfouissement. Il faudrait donc disposer d'une procédure pré établie avec l'ARS ;
 - l'enfouissement des fruits impose en outre des précautions spécifiques du fait même de l'utilisation de chaux vive ;
 - ces méthodes ne permettent pas de valoriser à minima les produits contaminés ;
 - enfin, la gestion des supports de culture (pains de substrats notamment) pose également des difficultés (volume important à détruire dès le premier site de production contaminé).
- La désinfection des locaux et des sols abritant les foyers. Les méthodes préconisées dans le rapport AST rendu par l'Agence en 2020 peuvent s'avérer difficiles à mettre en œuvre en particulier pour les unités de production de grande taille (séquençage de production lié à la rotation de plusieurs cultures sur un même site). En outre, de nouveaux produits ou procédés dont l'efficacité est rapportée sont utilisés dans d'autres Etats membres (Virkon, protéines de lait ou osmose par nébulisation). Enfin, le port de certains équipements individuels de sécurité (EPI, gants en particulier) peut s'avérer complexe (changements très fréquents, caractère corrosif des moyens de désinfection...).

1.2. Objet de la saisine

De nouvelles connaissances scientifiques ont été produites depuis 2020 sur le virus et les méthodes de lutte/prophylaxie associées. Sur cette base, il est demandé à l'Agence, afin d'améliorer les mesures de gestion des prochains foyers et, de manière plus générale, la prophylaxie au sein des sites de production de fruits de tomate, d'évaluer si :

1. Des moyens de destruction efficaces des végétaux et des produits végétaux ainsi que des moyens de destruction ou de stérilisation des substrats (y compris le sol en conditions de production « pleine terre ») autres que ceux déjà recensés dans le

rapport AST 2020 permettent d'éviter la propagation du virus (compostage, méthanisation, etc.),

2. Des méthodes ou substances utilisables pour la désinfection des locaux, des outils et des équipements autres que celles déjà recensées dans le rapport AST 2020 sont envisageables. Les méthodes de désinfection proposées doivent être efficaces et les plus opérationnelles possibles (notamment du point de vue de la facilité de mise en œuvre par les opérateurs).

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

2.1. Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise collective a été réalisée par le groupe d'expertise collective d'urgence (GECU) « Tomato brown » entre le 12 juillet et le 29 septembre 2023. Ce GECU a été mis en place sans appel à candidatures et réunit les compétences nécessaires en virologie (tobamovirus en particulier) et en mesures de gestion.

Deux auditions ont été menées dans le cadre de cette saisine : une de la Coopérative maraîchère de l'Ouest et une du SRAL de Bretagne. Elles ont eu lieu par visioconférence le 11 septembre 2023. L'objectif de ces auditions était de recueillir des informations du terrain sur la gestion des foyers de ToBRFV en France (mesures mises en place, efficacités et difficultés).

Par ailleurs, et afin de récolter l'information sur les pratiques dans les autres pays où le ToBRFV est présent, le GECU a adressé deux questions concernant la destruction du matériel végétal contaminé et les moyens de désinfections à des virologues basés dans différents pays, à savoir l'Allemagne, l'Espagne, la Grèce, l'Italie, Israël et le Royaume-Uni.

Enfin, la recherche bibliographique concernant la littérature scientifique a eu lieu entre le 22 août 2023 et le 31 août 2023 à partir de 3 sources : Scopus, Web of Science et Google Scholar. Les requêtes utilisées sont listées plus bas, avec pour cible les champs titre, résumé, et mots clés : "tobamovirus" AND "composting", "tobamovirus" AND "compost", "tomato brown" AND "composting", "tomato brown" AND "compost", "ToBRFV" AND "composting", "ToBRFV" AND "compost", "tobamovirus" AND "methanization", "tobamovirus" AND "methanisation", "tobamovirus" AND "methanation", "tobamovirus" AND "anaerobic digestion", "tomato brown" AND "methanization", "tomato brown" AND "methanisation", "tomato brown" AND "methanation", "tomato brown" AND "anaerobic digestion", "ToBRFV" AND "methanization", "ToBRFV" AND "methanisation", "ToBRFV" AND "methanation", "ToBRFV" AND "anaerobic digestion", "tobamovirus" AND "chemical" AND "disinfection", "tomato brown" AND "chemical" AND "disinfection", "ToBRFV" AND "chemical" AND "disinfection", "tobamovirus" AND "disinfection", "tomato brown" AND "disinfection", "ToBRFV" AND "disinfection", "tobamovirus" AND "disinfectant", "tomato brown" AND "disinfectant", "ToBRFV" AND "disinfectant". Sur la base de lecture du titre et du résumé, trente-sept publications ont été sélectionnées et quinze ont été retenues après lecture du texte intégral pour exploitation dans le cadre de l'expertise.

2.2. Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU GECU

3.1. Point réglementation et contextualisation des questions de la saisine

Selon le RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2023/1032 DE LA COMMISSION du 25 mai 2023 établissant des mesures destinées à éviter l'introduction et la dissémination du virus du fruit rugueux brun de la tomate sur le territoire de l'Union et modifiant le règlement d'exécution (UE) 2020/1191, les mesures en cas de présence confirmée du ToBRFV sur un site de production destiné à la production de fruits de *Solanum lycopersicum* L. et ses hybrides et de *Capsicum* spp. dans la zone délimitée sont les suivantes :

- i) enlever et détruire tous les végétaux spécifiés (c'est-à-dire les végétaux hôtes mentionnés plus haut autres que les semences et les fruits) infectés du site de production, au plus tard à la fin de la période de récolte. L'enlèvement est effectué de manière à éviter tout risque identifiable de dissémination du ToBRFV;
- ii) appliquer des mesures prophylactiques spécifiques au personnel, aux structures, aux outils et aux machines du site de production, aux matériaux et aux moyens d'emballage et de transport des fruits, afin de prévenir la dissémination du ToBRFV dans des cultures successives des végétaux spécifiés ou dans d'autres sites de production;
- iii) détruire ou traiter le milieu de culture au moins à la fin de la période de récolte de manière à ce qu'il n'existe aucun risque identifiable de dissémination du ToBRFV par cette matrice.

A la lecture de ce règlement, le GECU a considéré que ces mesures devant être appliquées au plus tard à la fin de la période de récolte, la mise en place de mesures de gestion du risque de dissémination (cf. point « ii » ci-dessus) permet à l'opérateur de maintenir son outil de production et de commercialiser les fruits provenant de zones reconnues comme infectées par le ToBRFV. Par conséquent, la saisine ne s'inscrit pas dans un contexte de mise en œuvre de mesures de destruction et de désinfection visant à limiter absolument toute circulation du virus, celui-ci circulant largement par le biais de la commercialisation des fruits contaminés, comme le démontre clairement une étude anglaise récente (Skelton *et al.*, 2023).

Compte tenu du rôle des fruits dans la dissémination du ToBRFV (Anses, 2020a ; EPPO, 2020 ; Skelton *et al.*, 2023), le GECU a intégré dans sa réflexion le fait que la mise en œuvre de mesures de gestion particulièrement drastiques pourrait apparaître comme disproportionnée par rapport à la large circulation du virus permise via la commercialisation des fruits infectés. En particulier, le volume des fruits invendables et détruits, en cours ou en fin de cycle de production, devrait sans doute être considéré au regard du volume potentiellement très supérieur de fruits qui auront été commercialisés sans être soumis à restriction de mouvement.

3.2. Question 1 : moyens de destruction ou de traitement des végétaux et des produits végétaux y compris le sol et le substrat

Dans les parties suivantes, les données disponibles issues de la littérature scientifique, les recommandations officielles d'autorités régionales ou nationales et les informations recueillies au préalable au cours des auditions seront exposées. Les recommandations en réponse aux questions de la saisine sont ensuite formulées.

3.2.1. Incinération

Dans ce rapport, l'incinération des produits végétaux fait référence à une opération d'élimination sans valorisation énergétique.

- Etat des lieux dans les pays voisins et en France

L'incinération des plantes issues d'unités de productions contaminées par le ToBRFV est la recommandation officielle et de prédilection de plusieurs autorités sanitaires de pays étrangers, à savoir : le Royaume-Uni (DEFRA, 2022), l'Allemagne¹, l'Espagne (Ministro de Agricultura, Pesca y alimentación, 2019), la Grèce (Varveri, comm. pers., 2023), la Belgique (AFSCA, 2021), et les Pays-Bas (NVWA, 2023). Il est également précisé qu'en fin de culture, l'irrigation doit être stoppée quelques temps afin de réduire la teneur en eau, sans toutefois laisser les plantes se dessécher complètement pour éviter la formation de poussières contaminantes avant l'incinération (NVWA, 2023 ; AFSCA, 2021). Lors du transport, certaines autorités recommandent que le matériel soit contenu dans des sacs ou conteneurs scellés (AFSCA, 2021 ; DEFRA, 2022).

En ce qui concerne les fruits, au Royaume-Uni, ils peuvent circuler pour la vente au détail ou en gros, avec ou sans passage par un site de conditionnement ; dans ce cas, des mesures d'hygiène appropriées doivent être mises en place pour prévenir l'infection des cultures en croissance. Les fruits restants (tombés au sol par exemple) doivent être incinérés ou enfouis. Leur destruction par d'autres moyens non précisés est également envisageable à la condition que l'efficacité et l'innocuité de ces autres approches aient été validées en amont par l'autorité compétente (DEFRA, 2022).

En Belgique, où la commercialisation des fruits est autorisée, des mesures doivent être prises afin d'empêcher la propagation du virus via les caisses, bacs, cageots et véhicules de transport vers d'autres sites de production (AFSCA, 2021).

Aux Pays-Bas, la vente de fruits est également autorisée à condition de prendre des mesures pour empêcher la dissémination du virus vers d'autres sites de culture via les emballages. Les déchets générés en station de conditionnement doivent être évacués et détruits dans les mêmes conditions que le matériel végétal provenant d'exploitations fruitières infectées (NVWA, 2023).

En France, une tentative de destruction des fruits contaminés par incinération a été entreprise en 2020 lors de la gestion du premier foyer de ToBRFV dans la région Bretagne. Du fait de leur forte teneur en eau, l'incinération des fruits a entraîné l'extinction de l'incinérateur et un refus de la société en charge de son fonctionnement de poursuivre la prise en charge des fruits (audition SRAL Bretagne et Coopérative maraîchère de l'Ouest). Par contre, l'incinération des plantes et autres matériaux (bâches plastiques et substrats de culture sauf laine de roche) n'a pas posé de problème et a été réalisée. Les plantes de tomate sèchent rapidement dès

¹ <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/pflanzenschutz/gemuesebau/tobrfv.htm>

l'arrêt de l'irrigation, il n'est donc pas nécessaire de les laisser longtemps dans la serre avant de les incinérer (audition Coopérative maraichère de l'Ouest).

- Synthèse sur l'utilisation possible de l'incinération

En conclusion, l'incinération est une solution efficace et utilisable pour la destruction des plantes et des matériaux de culture contaminés par le ToBRFV mais, au vu des problèmes rencontrés, elle doit autant que possible être écartée concernant les fruits infectés.

3.2.2. Enfouissement ou mise en décharge

- Etat des lieux dans les pays voisins et en France

Au Royaume-Uni, l'enfouissement profond des plantes contaminées et des fruits peut être effectué dans une décharge, ou sur le site de production même ou à proximité du site, si cela est possible et en accord avec les autorités locales. Si le matériel doit être transporté, il doit être isolé par un double emballage scellé (ex. deux sacs en plastique) (DEFRA, 2022).

En Belgique et aux Pays-Bas, il est possible d'ensevelir le matériel végétal contaminé sous une couche² d'au moins 1 m d'épaisseur après approbation des autorités compétentes (AFSCA, 2021 ; NVWA, 2023).

En France, le recours à l'enfouissement a eu lieu surtout pour les fruits contaminés « âgés » donc trop riches en eau dans la gestion des foyers de 2020 et 2023 ainsi que pour les pains de substrat en laine de roche (audition Coopérative maraichère de l'Ouest). Cela a été possible grâce à la disponibilité d'un terrain sur l'exploitation concernée ainsi qu'à la validation de l'utilisation de ce terrain par un hydrogéologue (audition Coopérative maraichère de l'Ouest ; audition SRAL Bretagne). Cette validation est généralement conduite pour l'enfouissement de carcasses animales lors de la gestion de crises zoonotiques. L'enfouissement présente cependant des difficultés pour la gestion de certains foyers, lorsqu'il est difficile d'identifier un terrain approprié (audition SRAL Bretagne). D'un point de vue technique, l'enfouissement a été réalisé dans un trou de 2 m de profondeur et un recouvrement minimum de 50 cm à 1 m de terre (audition Coopérative maraichère de l'Ouest) avec un apport de chaux vive (à raison de 10% du poids du matériel végétal enfoui) (audition SRAL Bretagne).

- Synthèse sur l'utilisation possible de l'enfouissement

Bien que l'expérience consistant à traiter un broyat de plante ne modélise qu'imparfaitement une situation d'enfouissement, l'étude de Vargas-Mejía *et al.* (2023) indique qu'un traitement par la chaux vive serait peu efficace pour réduire l'infectivité du ToBRFV. Ces données suggèrent qu'il serait possible de se dispenser de l'apport de chaux vive lors de l'enfouissement de fruits contaminés. L'enfouissement des fruits contaminés non commercialisables reste donc une option à envisager en cas de disponibilité d'un terrain sur l'exploitation ou à proximité mais à condition qu'il soit précédé de l'avis d'un hydrogéologue permettant de garantir la sécurité du site en particulier l'écoulement des lixiviats vers la nappe phréatique ou les cours d'eau situés à proximité.

Par ailleurs, il faut considérer que la libre circulation des fruits contaminés (Skelton *et al.*, 2023) va inévitablement conduire à la circulation du virus sur tout le territoire français via notamment les déchets ménagers et les effluents des stations d'épuration, les tobamovirus étant bien connus pour rester infectieux après avoir traversé le tractus digestif humain (Rosario *et al.*, 2009). Dans un tel contexte, il est possible de s'interroger si la mise en décharge

² La nature du matériau n'est pas précisée.

contrôlée (installation de stockage de déchets de type 2 qui reçoit les déchets ménagers) ne pourrait pas être envisagée lorsque des difficultés sont rencontrées pour identifier un terrain d'enfouissement. En effet, le risque associé à la mise en décharge est à considérer par rapport à celui associé à la commercialisation et la circulation de fruits contaminés, le premier de ces scénarios ne représentant qu'un nombre très limité de sites pourrait en effet présenter une probabilité moindre de dissémination du ToBRFV que le second. Cependant, le GECU souligne que cette recommandation est associée à un niveau d'incertitude élevée car il est difficile aujourd'hui de quantifier les risques additionnels posés par la mise en décharge d'une quantité importante de matériel contaminé.

3.2.3. Compostage

Le compostage est un procédé de transformation aérobie de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées. Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost. Il s'accompagne d'un dégagement de chaleur et de gaz carbonique³.

- Volet réglementaire

Selon le Règlement (UE) 2019/1009 du Parlement Européen et du Conseil du 5 juin 2019 établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE, modifiant les règlements (CE) n°1069/2009 et (CE) n°1107/2009, une variation de la température en fonction du temps est attendue selon une des modalités suivantes : 70°C ou plus pendant au moins 3 jours, 65°C ou plus pendant au moins 5 jours, 60°C ou plus pendant au moins 7 jours, ou 55°C ou plus pendant au moins 14 jours.

- Etat des lieux dans les pays voisins et en France

En Allemagne, le compostage n'est pas recommandé pour la destruction des plantes et des fruits contaminés par le ToBRFV¹.

Au Royaume-Uni, le compostage est cité comme un moyen de destruction du matériel contaminé, sans aucune autre précision sur les conditions à respecter (DEFRA, 2022). Il est seulement indiqué que des autorisations doivent être demandées avant la mise en place de cette technique.

Aux Pays-Bas, le compostage est autorisé pour les grandes quantités de matières à détruire en fin de culture. Le compostage est autorisé à condition que sa durée totale (y compris le temps d'entreposage du compost après la phase de maturation) soit d'au moins 60 jours, que le compost ne soit pas utilisé chez les professionnels du secteur de l'horticulture sous serre, ni par les autres producteurs de légumes amateurs et professionnels, et qu'il soit uniquement commercialisé aux Pays-Bas. Pour le compostage en plein air, il est également exigé que le compost soit retourné au moins trois fois et qu'après chaque retournement, la température du compost atteigne au moins 60°C pendant 24 h minimum (NVWA, 2023).

En Belgique, les mêmes recommandations sont émises qu'aux Pays-Bas (AFSCA, 2021).

En Espagne, dans les centres de conditionnement ou de transformation des fruits, les déchets ne peuvent pas être utilisés pour le compostage, ils doivent être incinérés ou transférés⁴ (Ministro de Agricultura, Pesca y alimentación, 2019).

³<https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/passer-a-l'action/valorisation-organique/compostage>

⁴ Aucune information sur le lieu de transfert n'est donnée.

En France, aucun recours au compostage n'a eu lieu lors de la gestion des précédents foyers (audition SRAL Bretagne).

- Littérature scientifique

Les auteurs du standard EPPO PM 3/66 relatif à la gestion des risques phytosanitaires des biodéchets d'origine végétale (EPPO, 2022) indiquent que les exigences minimales pour le compostage sont de 60°C ou plus, pendant 3 jours ou 55°C minimum pendant 2 semaines en continu. Cependant, ils indiquent que certains agents phytopathogènes tolérants à la chaleur comme certains tobamovirus (ex : tobacco mosaic virus, TMV) ou viroïdes (ex : potato spindle tuber viroid) peuvent survivre à ces combinaisons temps-température. Plusieurs expériences ont montré une inactivation des tobamovirus lors du compostage qui peut résulter de la décomposition microbienne des particules virales (Aguilar *et al.*, 2010 ; Avgelis & Manios, 1989 ; Noble & Roberts, 2004 ; Ryckeboer *et al.*, 2002a ; Suárez Estrella *et al.*, 2002). Cependant, le temps nécessaire à l'inactivation de ces organismes peut varier fortement en fonction des conditions de compostage.

Le genre *Tobamovirus* (auquel appartient le ToBRFV) comprend plusieurs virus dont le point d'inactivation thermique⁵ est supérieur à 85-90°C, ce qui confirme que ces virus sont particulièrement tolérants à la chaleur⁶.

Les données scientifiques disponibles sont reprises dans le tableau 1 (complété à partir de la référence EPPO, 2022). La mesure des températures constatées se fait soit sur une base constante soit sur un maximum (pic) mesuré à un moment déterminé. En général, du matériel végétal infecté est soumis au processus de compostage ; ces échantillons sont ensuite prélevés et utilisés pour inoculer des plantes-tests, permettant ainsi d'évaluer l'inactivation du virus (Wichuk *et al.*, 2011).

Des résultats contradictoires sont observés jusqu'à des températures inférieures ou égales à 72°C. Seules des températures maximales égales ou supérieures à 74°C permettent l'inactivation complète des particules virales (Hermann *et al.*, 1994 ; Ryckeboer, 2001 ; Noble *et al.*, 2004 ; Coventry *et al.* 2004). Il est à noter que ces températures de l'ordre de 74-78°C correspondent uniquement à des pics de mesure et doivent être couplées à des durées de traitement relativement longues pour être efficaces.

En conclusion, seules des températures de l'ordre de 80°C pendant une semaine semblent permettre d'inactiver complètement le TMV, ce qui est proche de la température d'inactivation rapportée pour des tobamovirus indiquée plus haut⁶.

- Synthèse sur l'utilisation possible du compostage

Au vu des positions contradictoires prises par des pays voisins, l'incertitude est importante quant à la préconisation de l'utilisation du compostage dans la gestion des foyers contaminés par le ToBRFV. S'il est décidé d'opter pour ce processus de destruction de déchets végétaux infectés, celui-ci devra se faire dans des installations agréées, reconnues pour leur compétence dans la technique du compostage (mesures effectives et contrôlées des températures, retournements des tas à des périodes précises selon l'avancement de la décomposition des matières organiques, ...). De plus, compte tenu des incertitudes sur l'efficacité du compostage, le GECU recommande que le compost obtenu ne soit pas utilisé à des fins horticoles (producteurs professionnels).

⁵ TIP thermal inactivation point : température permettant d'inactiver un virus (traitement de 10 minutes)

⁶ <https://ictv.global/report/chapter/virgaviridae/virgaviridae/tobamovirus>

Le GECU fait également remarquer que les déchets verts des particuliers (qui peuvent contenir des déchets provenant de fruits contaminés achetés en magasin), s'ils sont déposés dans les centres de recyclage ou récupérés via un système de ramassage public, peuvent contaminer les dispositifs de compostage mis en place par les communes.

Tableau 1. Synthèse des efficacités enregistrées pour plusieurs modalités de traitement par compostage vis-à-vis de différents tobamovirus adapté de EPPO (2022)

Virus	T°C	± °C	type T°	Durée (jours)	Détails	Éliminé?	Évalué par	Publication
TMV	31	-	maximum	184	réipients	oui	bioessai	Ryckeboer <i>et al.</i> , 2002a
TMV	43	-	moyen	15	usine en grandeur réelle	non	bioessai/ELISA	Christensen <i>et al.</i> , 2002
TMV	45	-	moyen	21	usine en grandeur réelle	oui	bioessai/ELISA	Christensen <i>et al.</i> , 2002
TMV	47	-	constant	10	tas	oui	bioessai	Avgelis & Manios, 1989
TMV	50	-	constant	35	incubateur	oui	bioessai	Idelmann, 2005
TMV	54	-	maximum	53	réipients	non	bioessai	Ryckeboer, 2001
Pepper mild mottle virus (PMMoV)	55	-	constant	14	tas, survie 3 jours à 60°C et 14 jours à 55°C	non	bioessai ^a /ELISA	Suárez-Estrella <i>et al.</i> , 2002
TMV	56	-	moyen	21	usine en grandeur réelle	non	bioessai/ELISA	Christensen <i>et al.</i> , 2002
TMV	56	7	constant	-	tas	oui	bioessai	Grushevoi & Levykh, 1940
PMMoV	60	-	constant	3	tas, survie 3 jours à 60°C et 14 jours à 55°C	non	bioessai	Suárez-Estrella <i>et al.</i> , 2002
TMV	60	-	constant	35	flacon	non	bioessai	Noble <i>et al.</i> , 2004
TMV	62	-	moyen	28	usine en grandeur réelle	oui	bioessai/ELISA	Christensen <i>et al.</i> , 2002
TMV	64	-	maximum	87	tas	non	bioessai	Hermann <i>et al.</i> , 1994
PMMoV	65	-	maximum	56	tas	non	bioessai/ELISA	Suárez-Estrella <i>et al.</i> , 2002
PMMoV	65	-	maximum	70	tas	oui	bioessai/ELISA	Suárez-Estrella <i>et al.</i> , 2002
TMV	70	-	constant	21	bain-marie ^b	non	bioessai	Idelmann, 2005
TMV	70	-	constant	7	incubateur	non	bioessai	Coventry <i>et al.</i> , 2004
TMV	70	-	maximum	42	tas, survie 3 jours à 60°C et 14 jours à 55°C	non	bioessai	Hoitink & Fahy, 1986
TMV	70	-	constant	7	déchets d'oignon	oui	bioessai	Noble <i>et al.</i> , 2004
TMV	70	-	constant	7	déchets verts	oui	bioessai	Noble <i>et al.</i> , 2004

Virus	T°C	± °C	type T°	Durée (jours)	Détails	Éliminé?	Évalué par	Publication
Cucumber green mottle mosaic virus (CGMMV)	72	-	maximum	3	tas	non	bioessai	Avgelis & Manios, 1992
CGMMV	72	-	maximum	4	tas	oui	bioessai	Avgelis & Manios, 1992
TMV	74	-	maximum	48	tas	oui	bioessai	Hermann <i>et al.</i> , 1994
TMV	78	-	maximum	57	tunnels aérés	oui	bioessai	Ryckeboer, 2001
TMV	80	-	constant	7	déchets d'oignon	oui	bioessai	Noble <i>et al.</i> , 2004
TMV	80	-	constant	7	déchets verts	oui	bioessai	Noble <i>et al.</i> , 2004
TMV	80	-	constant	7	incubateur	oui	bioessai	Coventry <i>et al.</i> , 2004

^a : inoculation sur plantes-hôtes ; ^b : échantillon sec, réhydraté à 70% humidité, placé en bocal en verre hermétique, immergé dans un bain à 50°C

Tableau 2. Synthèse des efficacités vis-à-vis du Tomato mosaic virus enregistrées pour plusieurs modalités de traitement en digestion anaérobique adapté de EPPO (2022)

Virus	T°C	± °C	type T°	Durée (jours)	Détails	Éliminé?	Évalué par	Publication
TMV	36	-	constant	74	digesteur anaérobique	non	Bioessai ^a	Termorshuizen, 2006
TMV	48,5	3,5	constant	13	système sec	non	bioessai	Marcinisyn <i>et al.</i> , 2004
TMV	54,5	0,5	constant	28	système humide	non	bioessai	Lorenz, 2004
TMV	55	-	constant	20	bouteilles de sérum de 35 ml	non	bioessai	Liu <i>et al.</i> , 2015
TMV	55	-	constant	21	système humide	non	bioessai	Marcinisyn <i>et al.</i> , 2004
TMV	55	-	constant	1	fermenteur anaérobique à échelle semi-technique	non	bioessai	Böhm, 2004
TMV	68	-	constant	12	digesteur anaérobique	non	bioessai	Ryckeboer <i>et al.</i> , 2002b

^a : inoculation sur plantes-hôtes

3.2.4. Méthanisation

La méthanisation est un processus de dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène, donc en milieu anaérobie. Ce processus permet de produire du biogaz, composé principalement de méthane, et du digestat, matière organique résiduaire de la digestion. Classiquement, la méthanisation se déroule à une température de 35 à 40°C, il s'agit d'un procédé dit mésophile. Il existe également un procédé dit thermophile qui s'opère à 55°C et dans lequel la flore microbiologique possède une vitesse de croissance supérieure et les chaînes carbonées sont mieux dégradées, ce qui permet de réduire les temps de séjour en digesteur.

- Volet réglementaire

Selon le Règlement (UE) 2019/1009 du Parlement Européen et du Conseil du 5 juin 2019 établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE, les variations de température en fonction du temps attendues doivent correspondre à l'une des situations suivantes :

a) digestion anaérobie thermophile à 55°C durant au moins 24 h, suivie d'un temps de rétention hydraulique d'au moins 20 jours;

b) digestion anaérobie thermophile à 55°C avec traitement incluant une pasteurisation;

c) digestion anaérobie thermophile à 55°C, suivie d'un compostage à:

- 70°C ou plus pendant au moins 3 jours,
- 65°C ou plus pendant au moins 5 jours,
- 60°C ou plus pendant au moins 7 jours, ou
- 55°C ou plus pendant au moins 14 jours;

d) digestion anaérobie mésophile à 37-40°C avec traitement incluant une pasteurisation ;

e) digestion anaérobie mésophile à 37-40°C, suivie d'un compostage à:

- 70°C ou plus pendant au moins 3 jours,
- 65°C ou plus pendant au moins 5 jours,
- 60°C ou plus pendant au moins 7 jours, ou
- 55°C ou plus pendant au moins 14 jours.

- Etat des lieux dans les pays voisins et en France

Au Royaume-Uni, la méthanisation est citée comme un moyen de destruction du matériel infecté par le ToBRFV, sans aucune autre précision sur les conditions à respecter. Il est indiqué que des autorisations doivent être demandées avant la mise en place de cette technique (DEFRA, 2022).

En France, aucun recours à la méthanisation n'a eu lieu lors de la gestion des précédents foyers (audition SRAL Bretagne).

- Littérature scientifique

Selon le standard EPPO PM 3/66 (EPPO, 2022), la digestion mésophile est généralement insuffisante pour éliminer les organismes nuisibles aux végétaux compte tenu des températures appliquées. Le TMV n'est pas éliminé par digestion anaérobie thermophile (Ryckeboer *et al.*, 2002b ; Termorshuizen, 2006).

Contrairement au compostage, le processus de méthanisation est très peu abordé dans la littérature relative à l'inactivation des tobamovirus. Seules 6 publications (tableau 2) reprennent des données de couples température-durée appliquées à du matériel végétal

infecté soumis à un traitement en anaérobie. Tous les essais se sont avérés non concluants et la méthanisation ne semble donc pas être un processus applicable pour inactiver les virus tolérants à la chaleur, dont le ToBRFV.

- Synthèse sur l'utilisation possible de la méthanisation

Le manque de données scientifiques en faveur de la méthanisation pour l'élimination des virus thermorésistants et la non-utilisation de cette technique dans la pratique, conduit le GECU à ne pas recommander l'utilisation de la méthanisation pour éliminer des déchets végétaux infectés par le ToBRFV.

3.2.5. Traitement des produits contaminés : substrats de culture et sol

- Substrats de culture : Etat des lieux dans les pays voisins et en France

Au Royaume-Uni, une fois la culture infectée par le ToBRFV retirée, les supports de culture doivent être détruits par incinération, enfouissement profond ou toute autre méthode approuvée, ou recyclés. La laine de roche, la fibre de coco et d'autres supports de culture peuvent être recyclés pour un usage non horticole (DEFRA, 2022). Aucune recommandation n'est faite pour le sol.

En Allemagne, les autorités recommandent la destruction complète des substrats de culture et rappellent que le traitement thermique ne détruit pas avec certitude le ToBRFV¹⁻⁷.

En Belgique, il est recommandé de détruire les substrats de culture par incinération. Le recyclage est aussi possible dans une usine de recyclage de laine de roche (en démontrant que l'eau résiduelle du substrat est évacuée sans poser de risque phytosanitaire). Les autres options (compostage, mise en décharge, traitement par la vapeur) nécessitent l'accord de l'AFSCA (AFSCA, 2021).

En Espagne, les autorités recommandent la destruction du substrat de culture ou son traitement de manière à ce qu'il n'y ait aucun risque détectable de dissémination du virus (Ministro de Agricultura, Pesca y alimentación, 2019).

Aux Pays-Bas, plusieurs options sont proposées (NVWA, 2023) : dans un site de destruction reconnu par NVWA, le substrat peut être incinéré, composté (selon les mêmes conditions que pour le matériel végétal), transformé dans une entreprise de recyclage de laine de roche ou mis en décharge dans les mêmes conditions que du matériel végétal infecté. Un traitement à la vapeur est également possible pour la laine de roche sur le lieu de production à condition que : (i) la laine de roche contienne au maximum 40% d'humidité (en poids) avant d'être étuvée et (ii) pendant le traitement à la vapeur, une température d'au moins 90°C soit atteinte pendant au moins 30 minutes consécutives dans l'ensemble du substrat. Après le traitement de la laine de roche à la vapeur, il n'y a aucune restriction quant à son utilisation. Pour les matériaux autres que la laine de roche, le traitement à la vapeur n'est pas encore considéré comme suffisamment efficace, car il existe une incertitude sur les conditions dans lesquelles le virus est complètement éliminé dans ces matériaux.

En France, la laine de roche a été enfouie, les autres substrats de culture incinérés (audition Coopérative maraichère de l'Ouest).

⁷ Aucune précision sur le traitement thermique n'est donnée.

- Sol : Etat des lieux dans les pays voisins et en France

En Israël, la solarisation est recommandée durant 40 à 60 jours pendant l'été (juin-juillet-août). La désinfection du sol au chlore stabilisé 1 à 2 jours avant la plantation via le système d'irrigation est également recommandée (Dombrovsky, comm. pers., 2023).

En Grèce, la solarisation est également recommandée sans plus de précision (Varveri, comm. pers., 2023).

Les autorités espagnoles indiquent qu'un traitement thermique du sol peut être utilisé. Cependant, elles rappellent que le ToBRFV est inactivé à plus de 90 degrés et soulignent de ce fait que la combinaison température/durée nécessaire à la désinfection des sols doit encore être étudiée (Ministro de Agricultura, Pesca y alimentacion, 2019).

En France, aucun traitement n'a été préconisé pour la désinfection des sols, en particulier pour le seul foyer en agriculture biologique concerné par cette question.

- Littérature scientifique

Le GECU a identifié trois articles scientifiques relativement récents traitant la question de la désinfection d'un sol contaminé par un tobamovirus ainsi qu'une revue (Smith & Dombrovsky, 2019). L'un des articles concerne le cucumber green mottle mosaic virus (CGMMV) (Lovelock *et al.*, 2022), un autre le TMV (Luvisi *et al.*, 2015) et enfin le troisième le CGMMV et le ToBRFV (Dombrovsky *et al.*, 2022).

Les données montrent qu'en l'absence de tout traitement, les tobamovirus peuvent rester infectieux dans le sol pendant plusieurs mois (Dombrovsky *et al.*, 2022), voire au-delà d'une année dans les sols secs peu actifs biologiquement ou dans les sols argileux (EPPO, 2020; Lovelock *et al.*, 2022). A contrario, dans les sols humides et présentant une forte activité biologique, l'inactivation du virus semble être plus rapide et pouvoir être observée en quelques mois (EPPO, 2020). En l'absence de données expérimentales précises, il est par ailleurs raisonnable de considérer que les différents tobamovirus ont vraisemblablement des propriétés de persistance dans le sol comparables (Smith & Dombrovsky, 2019).

L'analyse de risque phytosanitaire réalisée par l'EPPO (2020) indique que la solarisation pourrait être efficace pour la désinfection du sol dans le sud de la région EPPO. Cependant, les données obtenues par Luvisi *et al.* (2015) ont montré l'inefficacité de la solarisation (pas de diminution notable de l'infectivité après 20 jours de solarisation en Italie centrale; 3 types de bâches utilisées). Cette approche ne semble donc pas une voie envisageable pour désinfecter des sols contaminés par le ToBRFV sur le territoire métropolitain.

Les travaux de Lovelock *et al.* (2022) et de Dombrovsky *et al.* (2022) ont porté sur l'utilisation de différents désinfectants pour traiter le sol. Ces travaux ont montré une diminution de l'infectivité du sol suite au traitement par divers produits commerciaux ou matières actives (Virkon, eau de javel, dichloroisocyanurate de sodium (Taharan, ChloRan), troclosene sodium (Klor-Back), GreenUp ABV, Huwa-San TR-50 (peroxyde d'hydrogène), chlorinated tri-sodium phosphate). Les résultats obtenus montrent cependant une reproductibilité incomplète de la désinfection selon les expériences ou les plantes sensibles utilisées. De plus, il convient de souligner les volumes importants de solution désinfectante utilisés : 100 mL de solution par pot de 100 mm de diamètre pour Lovelock *et al.* (2022) et de l'ordre de 100 mL par trou de plantation d'un volume de 100 mL pour Dombrovsky *et al.* (2022). Ceci correspond à un volume d'application de l'ordre d'une douzaine de L/m² ou d'une douzaine de m³/ha pour un traitement de la totalité d'une surface de sol, sans qu'une garantie complète de désinfection ne puisse être apportée. A titre d'exemple, les travaux de Dombrovsky *et al.* (2022), qui sont

les seuls ayant porté sur le ToBRFV montrent, dans des conditions de forte pression d'inoculum, une réduction du nombre de plantes infectées variant de 29 à 100% (moyenne 75 +/- 23%) sans qu'aucune molécule n'ait systématiquement permis d'atteindre 100% d'efficacité, même dans des sols sableux où l'efficacité de désinfection s'est globalement révélée supérieure. Les données convergentes de ces travaux montrent qu'une réduction importante de l'infectivité du sol peut être espérée par ce type de traitement, qu'il est par ailleurs possible de focaliser sur les trous de plantation, mais qu'il est difficile de tabler sur une désinfection complète et reproductible.

La revue de Smith & Dombrovsky (2019) identifie par ailleurs un certain nombre de molécules qui auraient montré une action antivirale contre des tobamovirus, mais aucune de ces molécules ne semble avoir été testée pour la désinfection de sols ou contre le ToBRFV. Ces molécules ne représentent donc pas une option envisageable en l'état.

Luvisi *et al.* (2015) ont par ailleurs évalué l'efficacité de traitements par la vapeur sans ou avec adjonction de produits chimiques destinés à augmenter la production de chaleur par réaction exothermique avec la vapeur injectée [chaux vive (CaO) ou hydroxyde de potassium (KOH), tous deux apportés à la dose de 1 T/ha]. Dans des essais au champ, une machine injectant 600 kg de vapeur à l'heure en traitant une surface de 1,6 * 60 m à l'heure a été utilisée. Selon la profondeur de traitement, les températures T_{max} atteintes ont respectivement été de 83,2-89,3°C (vapeur), 90,4-93,5°C (vapeur + CaO) et 89,2-91,6°C (vapeur + KOH). Le traitement par la vapeur seule a réduit l'infectivité d'un sol contaminé par le TMV de 83-90% selon la profondeur de traitement (20 ou 40 cm) contre 97-98,5% pour les traitements vapeur + produits additionnels. Ces résultats sont à rapprocher de la température d'inactivation du ToBRFV de 90°C pendant 5 minutes déterminée par le projet ADHB (2021) ; ce qui suggère qu'une telle température devrait être atteinte dans la masse du sol traité pour une désinfection efficace.

- Synthèse pour le traitement du sol

En conclusion, la littérature ne fait actuellement pas apparaître de traitement permettant de garantir une désinfection complète d'un sol contaminé par le ToBRFV. Si la solarisation ne semble pas une option envisageable, un traitement par la vapeur et/ou un traitement par l'une des substances désinfectantes listées ci-dessus peuvent par contre permettre d'espérer des réductions importantes de l'infectivité du sol, voire une désinfection complète dans le meilleur des cas. Cette analyse est cependant affectée d'incertitudes substantielles du fait du nombre très limité de travaux ayant abordé cette question. Il n'existe actuellement pas d'information sur les performances d'une approche combinant traitement du sol par la vapeur et utilisation de substances désinfectantes.

En l'absence de solution totalement efficace de traitement des sols, la plantation d'espèces non sensibles au ToBRFV couplée à la gestion des adventices, dont certaines pourraient être sensibles (Salem *et al.*, 2022), est une option recommandée pour une durée qu'il reste difficile de préciser mais qui ne devrait sans doute pas être inférieure à un an (Anses, 2020b ; EPPO, 2020). De plus, il faut par ailleurs souligner que les traitements par la vapeur ou des substances désinfectantes peuvent avoir des effets drastiques sur des organismes non cibles du sol, avec de potentiels effets négatifs non intentionnels en termes de biodiversité.

- Synthèse pour le traitement des substrats de culture

En ce qui concerne les substrats de culture autres que la laine de roche, dans la mesure où l'incinération des pains de substrats à base de fibre de coco ou d'autres substances d'origine végétale est faisable, ce procédé de destruction est recommandé. Le recours à

l'enfouissement est également possible. Quant à la laine de roche, son recyclage industriel est recommandé, son enfouissement pouvant également être envisagé.

3.2.6. Réponses à la question 1

Dans les parties précédentes, les moyens de traitement et de destruction du matériel végétal, du sol et des substrats contaminés par le ToBRFV ont été étudiés. Les moyens recommandés pour différentes matrices sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Synthèse des moyens recommandés par ordre de préférence en fonction des matrices

Matrices	Procédés à privilégier
Plantes	Incinération / enfouissement / compostage
Fruits	Enfouissement / compostage ou mise en décharge contrôlée si enfouissement techniquement non réalisable
Substrats autres que laine de roche	Incinération / enfouissement
Substrats laine de roche	Recyclage / enfouissement
Sol	Aucun*

* le GECU recommande la plantation d'espèces non sensibles au ToBRFV pendant une durée d'au moins un an, couplée à la gestion des adventices

3.3. Question 2 : Désinfection des locaux, outils et équipements

Les pratiques des autres pays en terme de désinfection des locaux, outils et équipements sont résumées dans l'annexe 3.

Quinze articles ont été retenus par le GECU et ont fait l'objet d'une analyse approfondie pour estimer l'efficacité de différents produits désinfectants. Ces articles portaient sur 4 virus différents appartenant tous au genre *Tobamovirus*. Les propriétés physico-chimiques des espèces appartenant à ce genre viral étant très similaires⁶, le GECU a considéré que les résultats de cette analyse seraient faits sans distinction de l'espèce virale concernée.

Dans les articles analysés la détermination de l'effet sur l'infectivité virale s'appuie sur la réalisation d'un ou plusieurs tests biologiques permettant de déterminer l'infectivité résiduelle éventuelle du matériel après désinfection. Ceci permet de s'affranchir d'éventuels effets artefactuels liés à la seule utilisation de tests moléculaires ou sérologiques pouvant rester positifs alors que le virus a été inactivé.

Seules les substances actives ayant présenté au moins une fois 100% de réduction d'infectivité dans au moins trois publications différentes sont retenues et discutées dans les parties suivantes. Le tableau 4 présente les substances actives retenues et les références correspondantes. Les produits non retenus pour cette analyse approfondie car ne remplissant pas les conditions ci-dessus sont présentés en annexe 4.

Tableau 4. Liste des matières actives retenues par le GECU car ayant présenté au moins une fois 100% de réduction de l'infectivité d'un virus et testées dans au moins trois publications différentes ainsi que les références dans lesquelles elles sont citées

Substance active ou produit	Références
Acide benzoïque	ADHB, 2021 ; Büttner & Bandte, 1999 ; Darzi <i>et al.</i> , 2020 ; Ehlers <i>et al.</i> , 2022a ; Ehlers <i>et al.</i> , 2022b ; Lewandowski <i>et al.</i> , 2010 ; Li <i>et al.</i> , 2015 ; Ling <i>et al.</i> , 2022 ; Nourinejhad Zarghani <i>et al.</i> , 2023.
Glutaraldéhyde et Ammonium quaternaire	ADHB, 2021 ; Chanda <i>et al.</i> , 2021 ; Darzi <i>et al.</i> , 2020 ; Ling <i>et al.</i> , 2022 ; Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Hypochlorite de sodium et produits apparentés	ADHB, 2021 ; Chanda <i>et al.</i> , 2021 ; Darzi <i>et al.</i> , 2020 ; Ehlers <i>et al.</i> , 2022a ; Lewandowski <i>et al.</i> , 2010 ; Li <i>et al.</i> , 2015 ; Ling <i>et al.</i> , 2022 ; Lovelock <i>et al.</i> , 2022 ; Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
Lactoferrine	Chanda <i>et al.</i> , 2021 ; Ehlers <i>et al.</i> , 2022a ; Ling <i>et al.</i> , 2022
Lait écrémé en poudre	Chanda <i>et al.</i> , 2021 ; Darzi <i>et al.</i> , 2020 ; Ehlers <i>et al.</i> , 2022a ; Lewandowski <i>et al.</i> , 2010 ; Li <i>et al.</i> , 2015 ; Ling <i>et al.</i> , 2022 ; Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
Peroxyde d'hydrogène	ADHB, 2021 ; Darzi <i>et al.</i> , 2020 ; Ehlers <i>et al.</i> , 2022b ; Li <i>et al.</i> , 2015
Peroxymonosulfate de potassium	ADHB, 2021 ; Chanda <i>et al.</i> , 2021 ; Darzi <i>et al.</i> , 2020 ; Ehlers <i>et al.</i> , 2022a ; Ellouze <i>et al.</i> , 2020 ; Lewandowski <i>et al.</i> , 2010 ; Li <i>et al.</i> , 2015 ; Ling <i>et al.</i> , 2022 ; Lovelock <i>et al.</i> , 2022
Phosphate trisodique	ADHB, 2021 ; Chanda <i>et al.</i> , 2021 ; Lewandowski <i>et al.</i> , 2010 ; Li <i>et al.</i> , 2015 ; Ling <i>et al.</i> , 2022
Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium	Chanda <i>et al.</i> , 2021 ; Lewandowski <i>et al.</i> , 2010 ; Li <i>et al.</i> , 2015

3.3.1. Acide benzoïque

L'acide benzoïque est la matière active de trois spécialités commerciales (MENNO Florades, MENNO Clean et ENNO Rapid) évaluées pour la décontamination du ToBRFV ou d'autres tobamovirus dans 9 publications (tableau 5).

De façon générale, de très bon niveaux d'efficacité sont rapportés dans ces études avec des réductions d'infectivité estimées à 99,9-100% dans la grande majorité des essais. Ces résultats sont le plus souvent obtenus pour des concentrations de MENNO Florades de 2 ou 4% et des temps d'action de quelques minutes à quelques heures (minimum de 1 min pour 100% d'efficacité dans la publication de Darzi *et al.*, 2020).

Les cas où des efficacités de désinfection moins importantes ont été observées concernent :

- le traitement direct de broyats de plante infectée (Li *et al.*, 2015 ; Ling *et al.*, 2022 ; Ehlers *et al.*, 2022a), situation pour laquelle ce produit ne semble pas approprié même si des résultats inverses ont été rapportés par Darzi *et al.* (2020) ;
- des durées de traitement sans doute trop courtes et/ou la concentration du produit commercial utilisée trop faible (4% 1 min, Lewandowski *et al.*, 2010 ; 1% et 1 ou 10 min, Li *et al.*, 2015 ; 4% et de l'ordre de quelques secondes, Ehlers *et al.*, 2022a) ;
- de traitement de surfaces de béton, y compris sur une durée de 16h (ADHB, 2021) ;
- le lavage des mains (ENNO Rapid, 3 min ; ADHB, 2021).

En conclusion, au vu du nombre d'études rapportant des résultats positifs, les incertitudes concernant l'efficacité des spécialités commerciales à base d'acide benzoïque apparaissent

assez faibles. Une utilisation du MENNO Florades® à 4% pour un minimum de quelques minutes est recommandée. On peut par ailleurs souligner la large gamme de matrices pour laquelle l'efficacité de décontamination du MENNO Florades a été démontrée (outils de greffage, semelles et vêtements, supports solides tels que le verre, l'aluminium, le plastique dur, le polyéthylène et l'acier inoxydable). Par contre, suivant les résultats de l'étude anglaise (ADHB, 2021), son utilisation n'est pas recommandée pour la décontamination des surfaces en béton de même que l'utilisation de l'ENNO Rapid® pour le lavage des mains.

Tableau 5. Efficacités des produits à base d'acide benzoïque testés vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Menno Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Toutes surfaces sauf béton	4%	16 h	100,0	ADHB, 2021
Menno Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Toutes surfaces sauf béton et plastique dur	4%	1 h	100,0	ADHB, 2021
Menno-Florades	Acide benzoïque	TMV	Couteau	5%	6 min	100,0	Büttner & Bandte, 1999
Menno-Florades	Acide benzoïque	TMV	Table de culture	5%	16 h	100,0	Büttner & Bandte, 1999
MENNO-Florades	Acide benzoïque 9%	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	4%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
MENNO-Florades	Acide benzoïque 9%	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
MENNO-Florades	Acide benzoïque 9%	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	5 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
MENNO-Florades	Acide benzoïque 9%	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	30 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
MENNO Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Semelles caoutchouc contaminées par poudre plante infectée	4%	10 sec	100,0	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
MENNO Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Poudre plante infectée	4%	4 jours	100,0	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Menno Florades	Acide benzoïque	ToBRFV	Broyat tabac	4%	16 h	100,0	Nourinejhad Zarghani <i>et al.</i> , 2023

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Menno Florades	Acide benzoïque	ToBRFV	Support solide : anneau métallique (30mm diamètre) ou plastique (3x3 cm)	4%	16 h	100,0	Nourinejhad Zarghani <i>et al.</i> , 2023
Menno Florades	Acide benzoïque	ToBRFV	Support solide : plastique (3x3 cm)	4%	16 h	100,0	Nourinejhad Zarghani <i>et al.</i> , 2023
MENNO Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Poudre plante infectée	4%	1 jour	99,9	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
MENNO Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Vêtement de travail contaminé par broyat de plante	4%	10 min	99,9	Ehlers <i>et al.</i> , 2022b
MENNO Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Vêtement de travail contaminé par broyat de plante	4%	4 h	99,9	Ehlers <i>et al.</i> , 2022b
MENNO Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Broyat plante	4%	10 min	91,3	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
MENNO Clean	Acide benzoïque 9%	TMV	Lame de scalpel	4%	1 min	80-100	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Menno Florades	Acide benzoïque 9%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	1 min, 10 et 30 sec	22-67	Li <i>et al.</i> , 2015
MENNO Florades	Acide benzoïque 9%	ToBRFV	Semelles caoutchouc contaminées par broyat	4%	30 sec	0,0	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Menno Florades	Acide benzoïque (90g/L)	ToBRFV	Broyat tomate	3%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Menno Florades	Acide benzoïque (90g/L)	ToBRFV	Broyat tomate	1,50%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Menno Florades	Acide benzoïque (90g/L)	ToBRFV	Broyat tomate	0,75%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Enno Rapid	Acide benzoïque	ToBRFV	Mains	non indiqué	3 min	Incomplètement efficace	ADHB, 2021

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.2. Glutaraldéhyde et Ammonium quaternaire

L'utilisation du glutaraldéhyde en association avec de l'ammonium quaternaire correspond à deux spécialités commerciales (Virocid et Unifect-G). Ces produits ont été testés par 5 auteurs différents dont quatre publications sur le ToBRFV (ADHB, 2021 ; Chanda *et al.*, 2021 ; Ling *et al.*, 2022 ; Vargas-Mejía *et al.*, 2023) et une sur le CGMMV (Darzi *et al.*, 2020) (tableau 6).

Pour les deux spécialités commerciales testées on observe une efficacité de 100% dans tous les cas (broyat de plantes infectées ou surfaces) pour une concentration d'usage d'un minimum de 1,25% et pour des durées de 1 à 30 min (Darzi *et al.*, 2020, ADHB, 2021 ; Chanda *et al.*, 2021 ; Ling *et al.*, 2022). Une concentration à 1% a également été testée mais les temps d'application doivent être supérieurs à 30 min pour obtenir une efficacité de 100% (Darzi *et al.*, 2020, ADHB, 2021). En deçà de ces durées, en particulier pour des essais adaptés à la désinfection d'outils (scalpel), les résultats sont contradictoires pour 1 min (67% pour Darzi *et al.*, 2020 contre 100% pour Ling *et al.*, 2022) et l'efficacité a été réduite pour les autres temps de contact (78% à 80%) (Darzi *et al.*, 2020).

Les tests menés à des concentrations inférieures montrent des résultats hétérogènes avec une forte variabilité (30% à 100% d'efficacité pour les concentrations entre 0,5% et 0,75%) et des efficacités nulles pour les concentrations inférieures à 0,5% (Chanda *et al.*, 2021 ; Ling *et al.*, 2022 ; Vargas-Mejía *et al.*, 2023).

En conclusion, il apparaît que l'utilisation de spécialités commerciales (Virocid® et Unifect-G®) à base de glutaraldéhyde associé à de l'ammonium quaternaire est recommandée avec une faible incertitude quant à l'efficacité pour la désinfection des tobamovirus. Pour cet usage, l'application doit être envisagée à une concentration de 1% ou de 3% minimum avec des temps d'application minimum respectifs de 30 min et de 1 min.

Tableau 6. Efficacités des produits à base de glutaraldéhyde et d'ammonium quaternaire testés vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Unifect-G	Glutaraldéhyde et Ammonium quaternaire	ToBRFV	Toutes surfaces	4%	10 min	100	ADHB, 2021
Virocid	Ammonium quaternaire, glutaraldéhyde et isopropanol	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	3%	1 min	100	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virocid	Ammonium quaternaire, glutaraldéhyde et isopropanol	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	3%	5 min	100	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virocid	Ammonium quaternaire, glutaraldéhyde et isopropanol	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	3%	30 min	100	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virocid	Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 17,06% [50% C14, 40% C12, 10% C16], Chlorure de didécyldiméthylammonium 7,8%, Glutaraldéhyde 10,725% = A*	ToBRFV	Broyat tomate	2%	10 sec	100	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	2%	20 sec	100	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	2%	1 min	100	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	2%	1 min	100	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	1,75%	1 min	100	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	1,50%	1 min	100	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	1,25%	1 min	100	Ling <i>et al.</i> , 2022

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	1%	1 min	100	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virocid	Glutaraldéhyde et Ammonium quaternaire	ToBRFV	Toutes surfaces	1%	1 h	100	ADHB, 2021
Virocid	Ammonium quaternaire, glutaraldéhyde et isopropanol	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	30 min	100	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,75%	1 min	100	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,50%	10 sec	100	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,50%	20 sec	100	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,50%	1 min	100	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,50%	1 min	100	Ling <i>et al.</i> , 2022
Sels d'ammonium quaternaire et glutaraldéhyde	Sels d'ammonium quaternaire et glutaraldéhyde	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,30%	10 min	100	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Virocid	Ammonium quaternaire, glutaraldéhyde et isopropanol	CGMMV	Lame de scalpel	1%	2 sec	80	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virocid	Ammonium quaternaire, glutaraldéhyde et isopropanol	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	5 min	78	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virocid	Ammonium quaternaire, glutaraldéhyde et isopropanol	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	1min	67	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,50%	15 min	30	Ling <i>et al.</i> , 2022

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,25%	15 min	0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,05%	15 min	0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virocid	A*	ToBRFV	Broyat tomate	0,01%	15 min	0	Ling <i>et al.</i> , 2022

^a: tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.3. Hypochlorite de sodium et produits apparentés

L'hypochlorite de sodium (eau de javel) est une substance largement utilisée comme agent désinfectant de surface. Son efficacité (et celle d'autres produits chlorés apparentés) pour la décontamination des tobamovirus a été évaluée par le GECU en analysant 9 articles (tableau 7).

Différentes formulations d'hypochlorite de sodium permettant d'éliminer totalement les tobamovirus présents dans des broyats de plantes contaminés ont été testées : Chlorox à 10% pendant 10 sec (Li *et al.*, 2015 ; Chanda *et al.*, 2021) ou 5% pendant 15 min (Ling *et al.*, 2022), eau de javel 1% pendant 30 sec (Lovelock *et al.*, 2022), KlorBac 0,2% pendant 5 min (Darzi *et al.*, 2020).

Dans une étude conduite par l'ADHB (2021) sur des supports solides, un traitement à l'hypochlorite de sodium à 4% pendant 1 h sur du béton, du plastique ou de l'aluminium imprégné de broyat de plantes infectées par le ToBRFV a montré une efficacité de désinfection totale. Des temps de contact d'1 min se sont avérées inefficaces sur ces mêmes surfaces. Cette même étude n'a pas permis d'éliminer complètement le virus présent sur des supports en verre, en polyéthylène ou en acier même après 1 h d'exposition.

Concernant les outils, si l'usage d'hypochlorite de sodium 0,6% pendant 1 min sur des lames de scalpel contaminées avec du TMV a montré une efficacité de 100% (Lewandowski *et al.*, 2010), Rodríguez-Díaz *et al.* (2022) décrivent qu'une utilisation d'hypochlorite de sodium à 3% pendant 30 secondes sur une lame de couteau contaminée par du ToBRFV ne permet pas d'éliminer totalement le virus (99% d'efficacité). Dans une autre étude portant sur la désinfection du CGMMV (Darzi *et al.*, 2020), l'utilisation d'une formulation de chlore stabilisé (KlorBac à 0,2%) par trempage pendant 2 sec n'a pas permis non plus de désinfecter totalement les couteaux de greffage contaminés (93% d'efficacité). Dans cette même étude, des essais de désinfection de plateaux de semis alvéolés contaminés ont été conduits en utilisant 2 produits chlorés : KlorBac et ChloRun. Des traitements de ces 2 produits à 0,1% pendant 1 min ou à 0,2% pendant 30 sec ont permis de s'assurer d'une élimination totale du virus de ces supports. Enfin, Ehlers *et al.* (2022a) rapportent que la désinfection de semelles de caoutchouc contaminées par du ToBRFV et trempées dans de l'hypochlorite de sodium 2,8% n'élimine pas totalement le virus (82,1% d'efficacité).

En conclusion et compte tenu de nombreuses études impliquant divers supports et rapportant des résultats positifs, l'utilisation de produits à base d'hypochlorite de sodium ou de produits apparentés, est considérée comme efficace pour la désinfection du ToBRFV avec une incertitude faible à condition de respecter les conditions d'usage listées ci-dessus.

Tableau 7. Efficacités des produits à base d'hypochlorite de sodium testés vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Chlorox	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	10%	10 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Chlorox	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	10%	30 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Chlorox	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	10%	1 min	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Sodium hypochlorite	Hypochlorite de sodium	ToBRFV	Toutes surfaces sauf verre, acier et polyéthylène	4,00%	1 h	100,0	ADHB, 2021
Bleach (6% NaOCl)	Hypochlorite de sodium 6%	TMV	Lame de scalpel	6%	1 min	100,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Bleach 6%	Hypochlorite de sodium 6%	TMV	Lame de scalpel	0,60%	1 min	100,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Sodium hypochlorite	Hypochlorite de sodium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	30 sec	100,0	Lovelock <i>et al.</i> , 2022
Sodium hypochlorite	Hypochlorite de sodium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	1 min	100,0	Lovelock <i>et al.</i> , 2022

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Sodium hypochlorite	Hypochlorite de sodium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	5 min	100,0	Lovelock <i>et al.</i> , 2022
Clorox	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToBRFV	Broyat tomate	10%	10 sec	100,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Clorox	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToBRFV	Broyat tomate	10%	20 sec	100,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Clorox	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToBRFV	Broyat tomate	10%	1 min	100,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Clorox Bleach	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToBRFV	Broyat tomate	5%	15 min	100,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,2%	5 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,2%	30 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,1%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,2%	30 sec	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,2%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
ChloRun	Dichloroisocyanurate de sodium 56% chloré	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,1%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
ChloRun	Dichloroisocyanurate de sodium 56% chloré	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,2%	30 sec	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
ChloRun	Dichloroisocyanurate de sodium 56% chloré	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,2%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Dan-Klorix	Hypochlorite de sodium 2,8%	ToBRFV	Broyat plante	12,5%	10 min	99,9	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Dan-Klorix	Hypochlorite de sodium 2,8%	ToBRFV	Broyat plante	25%	10 min	99,5	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Sodium hypochlorite	Hypochlorite de sodium	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par trempage dans un broyat de plante infectée	3%	30 sec	99,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
ChloRun	Dichloroisocyanurate de sodium 56% chloré	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,1%	30 sec	99,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Plateau alvéolé polystyrène (84 puits)	0,1%	30 sec	98,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Lame de scalpel	0,2%	2 sec	93,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Bleach 6%	Hypochlorite de sodium 6%	TMV	Lame de scalpel	0,60%	1 min	92,2	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Dan-Klorix	Hypochlorite de sodium 2,8%	ToBRFV	Semelles caoutchouc contaminées par broyat	12,5%	30 sec	82,1	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Swimming pool chlorine (10% NaOCl)	Hypochlorite de sodium 10%	TMV	Lame de scalpel	10%	1 min	80-100	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Klor Bac	Dichloroisocyanurate de sodium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,2%	1 min	44,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Clorox Bleach	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToBRFV	Broyat tomate	0,25%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Clorox Bleach	Hypochlorite de sodium 5,25%	ToBRFV	Broyat tomate	0,1%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.4. Lactoferrine

La lactoferrine, protéine reconnue comme principe actif pharmaceutique par certaines agences officielles (EMA, FDA), est également décrite pour exercer une action antivirale. Son efficacité a été évaluée par le GECU sur la base de 3 publications disponibles avec des modalités d'utilisation différentes (tableau 8). Une préparation de lactoferrine à 95% (dilution d'usage 0,5%) a montré une efficacité de 100% sur du broyat de tomate contaminé par du ToBRFV pour des temps d'action inférieurs à 1 min (Chanda *et al.*, 2021). Des conditions d'usage moins concentrées se sont montrées inefficaces pour inactiver le virus, y compris avec des temps de contact plus longs (jusqu'à 15 minutes pour l'étude de Ling *et al.*, 2022). Enfin une étude sur la désinfection de semelles de caoutchouc contaminées par un broyat de plante en utilisant une préparation de la lactoferrine à 31% (dilution d'usage 0,5%) pendant 30 sec a montré une bonne efficacité (99,3% d'efficacité) (Ehlers *et al.*, 2022a).

Bien que peu fournie, la littérature disponible montre que la lactoferrine semble permettre une efficacité complète ou quasi-complète pour la décontamination du ToBRFV quand elle est utilisée dans les conditions d'usage appropriées (ie. 0,5% pour la lactoferrine 95%).

Tableau 8. Efficacités des produits à base de lactoferrine testés vis-à-vis du ToBRFV

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Lactoferrin	Lactoferrine 95%	ToBRFV	Broyat tomate	0,5%	10 sec	100,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Lactoferrin	Lactoferrine 95%	ToBRFV	Broyat tomate	0,5%	20 sec	100,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Lactoferrin	Lactoferrine 95%	ToBRFV	Broyat tomate	0,5%	1 min	100,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Floradix Lactofering	Lactoferrine 31%	ToBRFV	Semelles caoutchouc contaminées par broyat	0,5%	30 sec	99,3	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Lactoferrin	Lactoferrine 95%	ToBRFV	Broyat tomate	0,1%	10 sec	50,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Lactoferrin	Lactoferrine 95%	ToBRFV	Broyat tomate	0,1%	20 sec	50,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Lactoferrin	Lactoferrine 95%	ToBRFV	Broyat tomate	0,1%	1 min	50,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Proferrin	Lactoferrine 95% (poudre)	ToBRFV	Broyat tomate	0,1%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Proferrin	Lactoferrine 95% (poudre)	ToBRFV	Broyat tomate	0,05%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Proferrin	Lactoferrine 95% (poudre)	ToBRFV	Broyat tomate	0,01%	15min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.5. Lait écrémé en poudre et autres produits à base de lait

L'efficacité du lait écrémé en poudre (LEP) et de produits à base de lait pour la décontamination de tobamovirus a été évaluée dans 7 publications identifiées par le GECU (tableau 9). Trois études ont rapporté des réductions d'infectivité de 100% (Lewandowski *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2015) dont une seule a atteint 100% d'efficacité dans toutes les expériences décrites (Li *et al.*, 2015).

On notera que des résultats très différents sont rapportés selon les études, qui pourraient s'expliquer par des protocoles expérimentaux différents, le tobamovirus étudié et/ou la préparation commerciale de LEP utilisée. Une conséquence de ces résultats divergents est d'accroître les incertitudes sur les conditions d'emploi et l'efficacité du LEP.

Les articles identifiés ont testé l'efficacité du LEP pour la décontamination de trois matrices, les broyats de plante infectée, les lames de scalpel et les semelles. Concernant ces deux dernières, si les efficacités rapportées sont généralement au-delà de 90%, elles n'ont que rarement atteint une efficacité de 100%.

Une étude (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2022) a montré l'efficacité d'un traitement combinant le lait en poudre (6%) avec l'hypochlorite de sodium (2%) avec une réduction de l'infectivité du ToBRFV variant de 99,5 à 100%. Ce résultat intéressant demande sans doute à être confirmé.

De façon globale, l'analyse de la littérature ne permet pas de garantir une efficacité complète lors de l'utilisation du LEP pour la décontamination du ToBRFV, avec en particulier des incertitudes importantes quant à l'origine des différences d'efficacité rapportées.

Tableau 9. Efficacités des produits à base de lait écrémé en poudre et autres produits à base de lait vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial ^a	Produit ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Non-fat dry milk	Protéine 34,78%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	10 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Non-fat dry milk	Protéine 34,78%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	30 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Non-fat dry milk	Protéine 34,78%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	1 min	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
NFDM	Lait écrémé en poudre	TMV	Lame de scalpel	20%	1 min	100,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Skim milk powder	Lactose 45-54%	ToBRFV	Broyat plante	20%	10 min	99,2	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Skim milk powder	Lactose 45-54%	ToBRFV	Semelles caoutchouc contaminées par broyat	10%	30 sec	99,2	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
NFDM	Lait écrémé en poudre	TMV	Lame de scalpel	20%	1 min	99,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Skim milk powder	Lactose 45-54%	ToBRFV	Broyat plante	10%	10 min	98,5	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
NFDM + Tween-20	Lait écrémé en poudre + Tween-20	TMV	Lame de scalpel	20%	1 min	98,3	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
NFDM	Lait écrémé en poudre	TMV	Lame de scalpel	20%	1 min	98,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Nonfat milk	Lait écrémé	CGMMV	Lame de scalpel	20%	2 sec	93,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Lait en poudre	Lait en poudre	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par	0.06%	30 sec	94,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022

Nom commercial ^a	Produit ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
			trempage dans un broyat de plante infectée				
Nonfat milk	Lait écrémé	CGMMV	Lame de scalpel	2%	2 sec	83,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Nonfat dry milk	Lait écrémé en poudre	TMV	Lame de scalpel	20%	1 min	81,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Prevento	Lait	ToBRFV	broyat tomate	10%	15 min	70,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Nonfat dry milk	Lait écrémé en poudre	TMV	Lame de scalpel	20%	1 min	67,0-100,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Prevento	Lait	ToBRFV	broyat tomate	5%	1 min	50,0-84,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Prevento	Lait	ToBRFV	broyat tomate	10%	1 min	49,0-84,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
NFD Milk	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	20%	10 sec	20,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
NFD Milk	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	20%	20 sec	20,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
NFD Milk	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	20%	1 min	20,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
NFDM (No-fat dry milk)	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	10%	15 min	20,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Nonfat milk powder	Lait écrémé en poudre	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	30 min	11,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Nonfat milk powder	Lait écrémé en poudre	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	1 min	0,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Nonfat milk powder	Lait écrémé en poudre	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	5 min	0,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Nonfat milk powder	Lait écrémé en poudre	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	30 min	0,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020

Nom commercial ^a	Produit ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Nonfat milk powder	Lait écrémé en poudre	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	1 min	0,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Nonfat milk powder	Lait écrémé en poudre	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	5 min	0,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
NFD Milk	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	10%	10 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
NFD Milk	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	10%	20 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
NFD Milk	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	10%	1 min	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
NFDM (No-fat dry milk)	Protéine 34,78%	ToBRFV	Broyat tomate	20%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Prevento	Lait	ToBRFV	broyat tomate	5%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Prevento	Lait	ToBRFV	broyat tomate	2%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.6. Peroxyde d'hydrogène

Le peroxyde d'hydrogène est la matière active de très nombreuses spécialités commerciales (ex : Huwa San TR50, Vortexx, Bioside, ...). Il est recommandé pour la désinfection dans de nombreux domaines dont l'industrie, l'élevage, la post-récolte, etc. Le GECU a identifié 4 publications d'intérêt dont deux ayant testé ces produits commerciaux sur le ToBRFV (ADBH, 2021 ; Ehlers *et al.*, 2022b), un sur le CGMMV (Darzi *et al.*, 2020) et un sur le tomato mosaic virus ToMV et le TMV (Li *et al.*, 2015) (tableau 10).

L'efficacité du peroxyde d'hydrogène pour l'élimination des tobamovirus s'est avérée incomplète. Seul un essai pour la désinfection de différentes surfaces à l'exclusion du béton (verre, aluminium, plastiques durs, polyéthylène, inox) a présenté une efficacité de 100% (ADHB, 2021). Les essais réalisés sur plaques alvéolées, vêtements de travail ou lames de scalpel ont présenté une efficacité très hétérogène pour des concentrations inférieures ou égales à 3% (Darzi *et al.*, 2020 ; Ehlers *et al.*, 2022b) tandis que tous les essais réalisés sur broyats de plantes ont montré une efficacité très limitée ou nulle.

En conclusion, le peroxyde d'hydrogène ne semble pouvoir être recommandé que pour un seul usage : la désinfection des surfaces à l'exception du béton et à condition de respecter une concentration de 25% minimum et une durée d'application de 60 min. En dehors de ces conditions, l'ensemble des essais réalisés par les différents auteurs présente une forte incertitude quant à l'efficacité du peroxyde d'hydrogène pour la désinfection du ToBRFV.

Tableau 10. Efficacités des produits à base de peroxyde d'hydrogène vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Huwa San	Peroxyde d'hydrogène 50%	ToBRFV	Toutes surfaces sauf béton	25,00%	1 h	100,0	ADHB, 2021
Huwa-San	Peroxyde d'hydrogène	CGMMV	Plateau alveolé polystyrène (84 puits)	1%	30 sec	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Huwa-San	Peroxyde d'hydrogène	CGMMV	Plateau alveolé polystyrène (84 puits)	1%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Vanish Oxi Action Gel	Peroxyde d'hydrogène ≤10%	ToBRFV	Vêtement de travail contaminé par broyat de plante	2,50%	10 min	89,7	Ehlers <i>et al.</i> , 2022b
Active oxygen (Huwa-San)	Peroxyde d'hydrogène	CGMMV	Lame de scalpel	1%	2 sec	78,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Huwa San TR50	Peroxyde d'hydrogène	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	1 min	22,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Huwa San TR50	Peroxyde d'hydrogène	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	5 min	11,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Sanidate	Peroxyde d'hydrogène 23%, Acide peracétique 5,3%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,38%	1 min, 10 et 30 sec	7,0-11,0	Li <i>et al.</i> , 2015

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Octave	Peroxyde d'hydrogène 7,52%, Acide peroxyoctanoïque 0,94%, Acide octanoïque 2,72%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,78%	1 min, 10 et 30 sec	4,0-11,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Vortexx	Peroxyde d'hydrogène 6,9%, Acide peracétique 4,4%, Acide octanoïque 3,3%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,20%	1 min, 10 et 30 sec	0,0-4,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Huwa San TR50	Peroxyde d'hydrogène	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	30 min	0,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Bioside	Acide peracétique 15%, Peroxyde d'hydrogène 22%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,08%	1 min, 10 et 30 sec	0,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Huwa San	Peroxyde d'hydrogène 50%	ToBRFV	Toutes surfaces	6,00%	16 h	Incomplètement efficace	ADHB, 2021

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.7. Peroxymonosulfate de potassium

Le peroxymonosulfate de potassium est la matière active de toutes les spécialités commerciales portant la dénomination Virkon® et commercialisés par la société LanXess (ex : Virkon®, Virkon S®, Virkon Greenhouse®). Largement répandu dans le monde horticole pour la désinfection des installations, il a fait l'objet de nombreuses études sur son efficacité pour la désinfection des virus et des tobamovirus en particulier. Le GECU a retenu neuf publications dont trois traitent de la désinfection du CGMMV (Darzi *et al.*, 2020 ; Ellouze *et al.*, 2020 ; Lovelock *et al.*, 2022), deux du TMV (Lewandowski *et al.*, 2010 ; Li *et al.*, 2015), une du ToMV (Li *et al.*, 2015) et quatre du ToBRFV (ADHB, 2021 ; Chanda *et al.*, 2021 ; Ehlers *et al.*, 2022a ; Ling *et al.*, 2022) (tableau 11).

Globalement, de très bons niveaux d'efficacité sur broyats de plantes sont reportés dans ces études avec des réductions d'infectivité de 100% pour des concentrations supérieures à 2% et des temps d'application de 5 min et plus (Darzi *et al.*, 2020 ; Li *et al.*, 2015 ; Ling *et al.*, 2022 ; Lovelock *et al.*, 2022). Des résultats variables apparaissent avec des temps inférieurs à 1 min ou/et pour des concentrations plus faibles. Pour les surfaces (verre, aluminium, plastiques durs, polyéthylène, inox), les essais ont été réalisés avec une concentration minimale de 1% (Ellouze *et al.*, 2020 ; ADHB, 2021). Dans les deux cas, une efficacité de 100% a été observée à l'exception du béton pour lequel une concentration de 2% semble nécessaire (Ellouze *et al.*, 2020).

Cependant, dans plusieurs cas le peroxymonosulfate de potassium s'est avéré moins efficace, avec d'importantes variations d'efficacité relevées. Ainsi sur sols, les résultats obtenus ont montré une grande hétérogénéité (30 à 100% d'efficacité) pour les deux espèces testées (*Nicotiana benthamina* et *Citrullus lanatus*) sans que cette variabilité puisse aisément s'expliquer. De même la désinfection d'outils de taille ou de semelles de chaussures a présenté des niveaux d'efficacité très contrastés (ie. d'un niveau satisfaisant - 93% à 98% - à nul pour des temps d'application de quelques secondes à 1 min).

En conclusion, le Virkon® apparaît comme un désinfectant efficace avec une faible incertitude pour l'ensemble des surfaces (dont le béton) ou les broyats de plantes pour une concentration supérieure ou égale à 2% et des temps d'application de 5 min et plus. En deçà de ces conditions, on observe de fortes variations d'efficacité.

Tableau 11. Efficacités des produits à base de peroxymonosulfate de potassium vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	10 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	30 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToMV et TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	1 min	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Eau chaude 70°C puis Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium	ToBRFV	Bacs plastiques	1%	5 min	100,0	ADHB, 2021
Eau chaude 70°C puis Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium	ToBRFV	Bacs plastiques	1%	1 min	100,0	ADHB, 2021
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium	ToBRFV	Toutes surfaces sauf béton	1%	20 min	100,0	ADHB, 2021
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium	ToBRFV	Toutes surfaces sauf béton	1%	20 min	100,0	ADHB, 2021
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	5 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	30 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020

Avis de l'Anses

Saisine n° « 2023-AST-0145 »

Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Virkon Greenhouse	Bis(peroxymonosulfate)disulfate de pentapotassium (SA principale)	CGMMV	Prélèvement dans 3 zones infectées de 15 surfaces dures ^b	Non précisé	Non précisé	100,0	Ellouze <i>et al.</i> , 2020
Virkon	Bis(peroxymonosulfate)disulfate de pentapotassium (SA principale)	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	30 sec	100,0	Lovelock <i>et al.</i> , 2022
Virkon	Bis(peroxymonosulfate)disulfate de pentapotassium (SA principale)	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	1 min	100,0	Lovelock <i>et al.</i> , 2022
Virkon	Bis(peroxymonosulfate)disulfate de pentapotassium (SA principale)	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	5 min	100,0	Lovelock <i>et al.</i> , 2022
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	15 min	100,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 45,3%	ToBRFV	Broyat plante	1%	10 min	98,0	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	TMV	Lame de scalpel	1%	1 min	97,5	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	TMV	Lame de scalpel	1%	1 min	96,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	3%	10 sec	96,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	3%	20 sec	96,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	3%	1 min	96,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	TMV	Lame de scalpel	1%	1 min	93-100	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	2%	1 min	89,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium	CGMMV	Lame de scalpel	2%	2 sec	79,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	10 sec	78,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	20 sec	78,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virkon	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	1 min	78,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	1 min, 10 et 30 sec	52-89	Li <i>et al.</i> , 2015
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,50%	1 min, 10 et 30 sec	11,0-15,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 45,3%	ToBRFV	Semelles caoutchouc contaminées par broyat	1%	30 sec	0,0	Ehlers <i>et al.</i> , 2022a

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	0,5%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Virkon S	Peroxymonosulfate de potassium 20,4%, Chlorure de Sodium 1,5%	ToBRFV	Broyat tomate	0,1%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

^b : allées en ciment, gouttières des plateaux, supports de rails, rails, tissus du sol, tuyaux d'eau sous les plateaux, tuyaux d'irrigation/de drainage à l'extrémité des plateaux, tuyaux de chauffage de la canopée, dessus des plateaux, poteaux de soutien, supports de plateaux à poutre en acier, fils de culture, tuyaux de chauffage du périmètre, murs intérieurs et rideaux d'ombrage sur les murs

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.8. Phosphate trisodique

L'efficacité du phosphate trisodique a été évaluée sur la base des 5 publications disponibles (tableau 12). Un traitement avec une solution à 2,5% pendant 15 min en contact direct avec du broyat de plantes infectées par le ToBRFV a permis une désinfection totale (Ling *et al.*, 2022). Il s'agit de la seule étude ayant montré une réduction d'infectivité de 100%. Les autres études utilisant différentes concentrations de phosphate trisodique sur différents supports contaminés par des tobamovirus tels que des lames de scalpel (phosphate trisodique 3 à 10% pendant 1 min ; Lewandowski *et al.*, 2010) ou des supports en verre, acier, plastique, aluminium, béton, polyéthylène (phosphate trisodique 10% pendant 60 min ; ADHB, 2021) n'ont pas permis d'obtenir une élimination complète des virus.

En conclusion et en l'état actuel des connaissances, le GECU ne peut recommander l'usage du phosphate trisodique pour la désinfection de supports de cultures ou d'outils contaminés par le ToBRFV.

Tableau 12. Efficacités des produits à base de phosphate trisodique vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Phosphate trisodique (TSP)	Phosphate trisodique	ToBRFV	Broyat tomate	10%	15 min	100,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Phosphate trisodique (TSP)	Phosphate trisodique	ToBRFV	Broyat tomate	5%	15 min	100,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Phosphate trisodique (TSP)	Phosphate trisodique	ToBRFV	Broyat tomate	2,5%	15 min	100,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Tri-Sodium Phosphate (T.S.P.)	Phosphate trisodique 30 à 60%, Carbonate de sodium 10 à 30% anhydre	TMV	Lame de scalpel	A saturation	1 min	92,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
TSP	Phosphate trisodique dodécahydraté 75 à 80%, Sesquicarbonate de sodium 20 à 25%	TMV	Lame de scalpel	3%	1 min	90,7	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
TSP (Tri-sodium phosphate)	Phosphate trisodique	ToBRFV	Broyat tomate	10%	10 sec	56,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
TSP (Tri-sodium phosphate)	Phosphate trisodique	ToBRFV	Broyat tomate	10%	20 sec	56,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
TSP (Tri-sodium phosphate)	Phosphate trisodique	ToBRFV	Broyat tomate	10%	1 min	56,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Trisodium phosphate	Phosphate trisodique	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	10%	1 min et 10 à 30 sec	52,0-59,0	Li <i>et al.</i> , 2015

Nom commercial ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
TSP	Phosphate trisodique dodécahydraté 75 à 80%, Sesquicarbonate de sodium 20 à 25%	TMV	Lame de scalpel	A saturation	1 min	33,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Trisodium phosphate	Phosphate trisodique	ToBRFV	Supports en verre, acier, plastique, aluminium, béton, polyéthylène	10%	60 min	Incomplètement efficace	ADHB, 2021

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.9. Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium

L'efficacité du Lysol à base de saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium pour la décontamination des tobamovirus a été évaluée dans 3 des publications identifiées par le GECU (tableau 13). Les résultats rapportés sont contradictoires entre les études voire entre les répétitions décrites au sein d'une même étude (Lewandowski *et al.*, 2010) en fonction des modalités d'utilisation ou d'autres paramètres plus difficiles à identifier. Il faut cependant constater que l'étude de Li *et al.* (2015) rapporte des résultats positifs sur le TMV et le ToMV alors que celle de Chanda *et al.* (2021) porte sur le ToBRFV, avec des niveaux d'efficacité beaucoup plus décevants.

En conclusion, les données divergentes et les efficacités seulement partielles rapportées dans deux des trois études analysées par le GECU ne permettent pas de recommander l'utilisation du saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium pour la décontamination du ToBRFV.

Tableau 13. Efficacités des produits à base de saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium vis-à-vis de différents tobamovirus

Nom commercial	Substance active	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	ToMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	50%	10 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	ToMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	50%	30 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	ToMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	50%	1 min	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	50%	10 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	50%	30 sec	100,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	TMV	Lame de scalpel	Ruissellement	1 min	100,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	50%	1 min	96,0	Li <i>et al.</i> , 2015

Nom commercial	Substance active	Virus	Support	Dilution de la spécialité commerciale	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	ToBRFV	Broyat tomate	50%	10 sec	74,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	ToBRFV	Broyat tomate	50%	20 sec	74,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	ToBRFV	Broyat tomate	50%	1 min	74,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Lysol	Saccharinate d'alkyldiméthylbenzylammonium 0,1% [50% C14, 40% C12, 10% C16]	TMV	Lame de scalpel	Ruissellement	1 min	48,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence

Des couples (dilution de la spécialité commerciale et temps) testés dans une même publication peuvent donner des efficacités différentes; cela pourrait être dû aux différences dans les protocoles expérimentaux (plantes différentes lors des bioessais, tests biologiques différents - moléculaires ou sérologiques - permettant de déterminer l'infectivité résiduelle).

3.3.10. Pulvérisation vs nébulisation

Le GECU n'a pas identifié d'étude comparant différentes modalités d'apport des désinfectants lors d'essai de désinfection de tobamovirus dans des structures de culture. Il a néanmoins identifié l'article de Rüegg & Total (2010) qui explore les avantages et les inconvénients de la nébulisation à froid des produits phytosanitaires en serre par rapport aux pulvérisations classiques. Les auteurs rappellent que la nébulisation à froid offre le grand avantage de simplifier et d'alléger les travaux liés à l'application des produits phytosanitaires en serre. Cependant, les premières mesures effectuées dans deux serres où étaient cultivées respectivement des tomates et des aubergines ont montré que la répartition de la matière active à partir d'un appareil stationnaire était très inégale. En effet, les dépôts mesurés ont montré très clairement qu'un appareil de nébulisation à froid stationnaire posé à même le sol et un ventilateur par 500 m² environ n'ont pas permis d'obtenir une répartition égale de la matière active dans les deux serres examinées. Dans la zone de passage où l'appareil était placé, les dépôts étaient plus importants sur le sol et sur les plantes avoisinantes que dans les rangs plus lointains avec des dépôts enregistrés bien moins importants, voire très faibles. Sur le dessus des feuilles, le dépôt était presque toujours plusieurs fois supérieur à celui de la face inférieure. Globalement, les dépôts sur les parois et le plafond étaient plutôt faibles à moyens. Les estimations présentés dans l'article indiquent que la plupart du temps, 43 à 46% seulement de la substance active se retrouvent sur les feuilles des plantes, tandis que 16 à 19% se déposent sur le sol et moins de 2% sur la structure de la serre.

Compte tenu de ces éléments très limités, il n'est pas possible pour le GECU de conclure à une efficacité supérieure d'un apport de molécules désinfectantes par nébulisation par rapport à un apport par pulvérisation, mais les incertitudes affectant cette évaluation sont particulièrement importantes.

3.3.11. Désinfection par la chaleur

Le traitement par la chaleur pour l'inactivation du ToBRFV a été testé dans deux publications (tableau 14). Ces deux études, focalisées l'une sur l'inactivation du virus dans un broyat de plante infectée (Vargas-Mejia *et al.*, 2023) et l'autre sur la désinfection de bacs plastiques (ADHB, 2021), donnent des résultats divergents. L'inactivation du broyat de plante semble nécessiter un traitement à 92°C pour une durée de 30 minutes alors que la désinfection des bacs plastiques a été obtenue pour un traitement à 90°C pendant seulement 5 minutes. Ces divergences pourraient provenir d'une concentration plus élevée du virus dans l'expérimentation avec le broyat de plante mais d'autres paramètres pourraient éventuellement être aussi impliqués.

La température à atteindre rend cette approche de désinfection par la chaleur inapplicable pour les locaux. Elle peut cependant être envisagée, avec une incertitude limitée quant à son efficacité, pour des équipements d'une taille et d'une sensibilité compatibles avec une immersion pendant un minimum de 5 minutes dans de l'eau maintenue à un minimum de 90°C.

Tableau 14. Efficacités des traitements par la chaleur vis-à-vis du ToBRFV

Traitement	Virus	Support	Temps de contact en min	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Incubation à 97°C	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par chaleur	30	100	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Incubation à 97°C	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par chaleur	15	96	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Incubation à 92°C	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par chaleur	30	100	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Incubation à 92°C	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par chaleur	15	50	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Eau chaude 90°C	ToBRFV	Bacs plastiques	5	100	ADHB, 2021
Incubation à 87°C	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par chaleur	15	0	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Eau chaude 70°C	ToBRFV	Bacs plastiques	5	Incomplètement efficace	ADHB, 2021

3.3.12. Prophylaxie

Le GECU rappelle que toutes les recommandations émises par l'Anses dans le rapport AST (Anses, 2020b) restent vraies pour le volet prophylaxie comme la marche en avant, le cloisonnement des unités de production, le principe de désinfection de tout ce qui entre et sort de l'unité de production : mains, vêtements, chaussures, matériels réutilisables (outils, palettes, pots, godets, etc.), véhicules. Pour cette désinfection, il convient de se baser sur les nouvelles données présentées dans le présent avis pour sélectionner les substances actives en fonction des matrices à désinfecter. En ce qui concerne le lavage des mains, l'usage des gants jetables reste le moyen le plus sûr pour empêcher la dissémination du ToBRFV dans une exploitation à partir d'une unité de production contaminée. Le recours au lavage des mains est envisageable si une substance active ayant fait ses preuves, parmi celles étudiées plus haut, est compatible avec un usage sur la peau.

3.3.13. Réponse à la question 2

L'analyse des différentes publications et données disponibles a mis en évidence un certain nombre de molécules actives et de spécialités commerciales comme ayant eu une efficacité pour l'inactivation de divers tobamovirus dont le ToBRFV. Parmi les substances identifiées, l'acide benzoïque, le glutaraldéhyde associé aux sels d'ammonium quaternaire, l'hypochlorite de sodium et le peroxymonosulfate de potassium se distinguent par leurs efficacités et la praticité de leurs conditions d'usage (temps, concentration) (tableau 15).

Tableau 15. Tableau synthétique de quelques substances actives identifiées pour la désinfection du ToBRFV

Substance active	Conditions d'usage (temps, dilution de la spécialité commerciale)	Remarques
Acide benzoïque	4% pour un minimum de quelques minutes	- Large gamme de matrices (outils de greffage, semelles et vêtements, supports solides tels que le verre, l'aluminium, le plastique dur, le polyéthylène et l'acier inoxydable) - Faible incertitude
Glutaraldéhyde associé à de l'ammonium quaternaire	Concentration de 1% ou de 3% minimum pour des temps minimum respectifs d'application de 30 min et de 1 min	Faible incertitude
Hypochlorite de sodium	Conditions variables en fonction des supports (4% pendant 1 h sur supports solides, 0,6% pendant 1 min sur les lames de scalpels, 0,1% pendant 1 min ou à 0,2% pendant 30 sec sur les plateaux)	- Large gamme de matrices (lames de scalpels, plateaux, supports solides tels que le béton, pastique, aluminium) - Faible incertitude
Peroxymonosulfate de potassium	Concentration supérieure ou égale à 2% et des temps d'application de 5 min et plus	- Différents substrats dont le béton et le broyat de plantes - Faible incertitude

3.4. Conclusion

En réponse à la question 1 de la saisine, les moyens de traitement et de destruction du matériel végétal, y compris le sol et les substrats contaminés par le ToBRFV, ont été étudiés. Les moyens recommandés pour différentes matrices sont présentés par ordre de préférence :

- pour les plantes : incinération puis enfouissement puis compostage ;
- pour les fruits : enfouissement puis compostage ou mise en décharge contrôlée si enfouissement techniquement non réalisable ;
- pour les substrats autres que laine de roche : incinération puis enfouissement ;
- pour les substrats laine de roche : recyclage puis enfouissement ;
- pour le sol : aucune méthode complètement efficace n'a été identifiée.

Les conditions de mises en œuvre et incertitudes liées aux différentes méthodes recommandées sont présentées en détail dans le corps du texte.

En réponse à la question 2 de la saisine, l'analyse des différentes publications et données disponibles a mis en évidence un certain nombre de molécules actives et de spécialités commerciales comme ayant eu une efficacité pour l'inactivation de divers tobamovirus dont le ToBRFV. Parmi les substances identifiées, l'acide benzoïque, le glutaraldéhyde associé aux sels d'ammonium quaternaire, l'hypochlorite de sodium et le peroxymonosulfate de potassium se distinguent par leurs efficacités et la praticité de leurs conditions d'usage (temps,

concentration). Sont ainsi recommandées les matières actives qui, en plus d'avoir des autorisations de mises sur le marché français, présentent une comptabilité avec l'utilisation prévue (efficacité et compatibilité avec la matrice à désinfecter, temps de contact possible et acceptable lors de travaux au sein des exploitations).

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) endosse les conclusions du groupe d'expertise collective d'urgence concernant les deux questions posées sur l'identification de (i) moyens de destruction efficaces des végétaux et des produits végétaux ainsi que des moyens de destruction ou de stérilisation des substrats autres que ceux déjà recensés dans le rapport AST 2020, (ii) méthodes ou substances utilisables pour la désinfection des locaux, des outils et des équipements autres que ceux déjà recensés dans le rapport AST 2020.

L'Anses rappelle que si l'aire de répartition actuelle du ToBRFV à l'échelle européenne s'est largement agrandie depuis 2020, sa distribution en France reste à ce jour circonscrite, mais avec une progression du nombre de foyers. Du fait de cette progression, l'Agence note la forte évolution de la stratégie de gestion du ToBRFV à l'échelle nationale depuis 2020, celle-ci se situant désormais dans un contexte de maintien des productions en présence du ToBRFV. De ce fait, l'Anses insiste sur l'importance de la mise en place des moyens de désinfection des structures, équipements et outils et des mesures de prophylaxie efficaces par les professionnels, dans un contexte de pression virale croissante et de circulation des fruits infectés au sein de l'UE. Ces mesures constituent un des leviers d'action à activer, en plus de l'utilisation de semences et de plants sains lors de la mise en place de nouveaux cycles de culture pour garantir les meilleures conditions de production, notamment pour les variétés de tomates les plus sensibles et sur lesquelles le ToBRFV peut occasionner des pertes de rendement très importantes.

Enfin, l'Anses recommande la poursuite d'efforts de recherche ciblés sur l'efficacité de différentes mesures de gestion, en particulier sur les volets « méthanisation » et « désinfection des sols » pour lesquels les données sont encore incomplètes pour guider les actions de terrain.

Pr Benoît Vallet

MOTS-CLÉS

Tomato brown rugose fruit virus, gestion, foyer, destruction du matériel végétal, désinfection
Tomato brown rugose fruit virus, management, outbreak, disposal of virus-infected material, disinfection

BIBLIOGRAPHIE

Publications

ADHB (Agriculture and Horticulture Development Board). (2021). Tomato brown rugose fruit virus: survival of the virus and efficacy of disinfection approaches. PE 033/ PE 033A. Final 2021. 14 pp.

AFSCA (Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire. (2021). MESURES en cas de découverte ou de suspicion de ToBRFV chez des producteurs de tomates (culture sur substrat). 7 pp.

AGUILAR M., GUIRADO M., MELERO-VARA J.M. & GÓMEZ J. (2010). Efficacy of composting infected plant residues in reducing the viability of pepper mild mottle virus, melon necrotic spot virus and its vector, the soil-borne fungus *Olpidium bornovanus*. *Crop Protection*, 29:342-348.

ANSES. (2020a). Avis et rapport sur l'évaluation du risque simplifiée du tomato brown rugose fruit virus pour la France métropolitaine. 75 pp.

ANSES. (2020b). Demande d'appui scientifique et technique sur les questions relatives aux mesures de prophylaxie et de gestion de l'unité de production en cas de foyer de ToBRFV. 39 pp.

AVGELIS A. & MANIOS V. (1989). Elimination of tomato mosaic virus by composting tomato residues. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 95, 167.

BÖHM R. (2004). Investigations on microbial indicators and/or test-organisms in supervision of hygienic safety in co-digestion of animal slurry, biowastes and/or animal by-products. *International Society for Animal Hygiène*, October 11th - 13th, Saint-Malo, France.

BÜTTNER C. & BANDTE M. (1999). Investigations on the efficiency of disinfectants to eliminate virus contamination by using Menno-Florades | Überprüfung der viruziden Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln am Beispiel von Menno-Florades. *Gartenbauwissenschaft*, 64(5):214-219.

CHANDA B., SHAMIMUZZAMAN M., GILLIARD A. & LING K.S. (2021). Effectiveness of disinfectants against the spread of tobamoviruses: Tomato brown rugose fruit virus and Cucumber green mottle mosaic virus. *Virology Journal*, 18(1):7.

CHRISTENSEN K.K., CARLSBÆK M. & KRON E. (2002). Strategies for evaluating the sanitary quality of composting. *Journal of Applied Microbiology*, 92:1143-1158.

COVENTRY E., FAYOLLE L., AIMÉ S., ALABOUVETTE C. & NOBLE R. (2004). Eradication of plant pathogens and pest from composting wastes and their use in disease suppression. *IOBC/wprs Bulletin*, 27(8):265-269.

- DARZI E., LACHMAN O., SMITH E., KOREN A., KLEIN E., PASS N., FRANKEL O. & DOMBROVSKY A. (2020). Paths of cucumber green mottle mosaic virus disease spread and disinfectant-based management. *Annals of Applied Biology*, 177(3):374-384.
- DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs). (2022). Pest specific plant health response plan: Outbreaks of tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV). 41 pp.
- DOMBROVSKY A., MOR N., GANTZ S., LACHMAN O. & SMITH E. (2022). Disinfection Efficacy of Tobamovirus-Contaminated Soil in Greenhouse-Grown Crops. *Horticulturae*, 8(7):563.
- EHLERS J., NOURINEJHAD ZARGHANI S., KROSCHEWSKI B., BÜTTNER C. & BANDTE M. (2022a). Cleaning of Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) from Contaminated Clothing of Greenhouse Employees. *Horticulturae*, 8(8):751.
- EHLERS J., NOURINEJHAD ZARGHANI S., KROSCHEWSKI B., BÜTTNER C. & BANDTE M. (2022b). Decontamination of Tomato Brown Rugose Fruit Virus-Contaminated Shoe Soles under Practical Conditions. *Horticulturae*, 8(12):1210.
- ELLOUZE W., MISHRA V., HOWARD R.J., LING K.S. & ZHANG W. (2020). Preliminary study on the control of cucumber green mottle mosaic virus in commercial greenhouses using agricultural disinfectants and resistant cucumber varieties. *Agronomy*, 10(12):1879.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2022). PM 3/66 (3) Guidelines for the management of plant health risks of biowaste of plant origin. *EPPO Bulletin*, 52:518-525.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2020). Pest risk analysis for tomato brown rugose fruit virus. EPPO, Paris. 88 pp.
- GRUSHEVOI S.E. & LEVYKH P.M. (1940). Possibility of obtaining seed-bed free of infection in compost heaps. *Vsesritniy Nauchnyi Issedovateljskyj Instytyt Tabachno Makhorochnyk Prodyktiv*, USSR 141: 42–48 (in Russian).
- HERMANN I., MEISSNER S., BÄCHLE E., RUPP E., MENKE G. & GROSSMANN F. (1994). Einfluss des Rotteprozesses von Bioabfall auf das Überleben von phytopathogenen Organismen und von Tomatensamen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 101:48-65.
- HOITINK H.A.J. & FAHY P.C. (1986). Basis for the Control of Soilborne Plant Pathogens with Composts. *Annual Review of Phytopathology* 24: 93–114. (Article cites for the data: Hoitink H.A.J., Nelson E.B., Gordon D.T. (1982). Composted bark controls soil pathogens of plants. *Ohio Rep.* 67:7-10.)
- IDELMANN M. (2005). Hygienisierung von Kompost; Möglichkeiten zum Nachweis einer erfolgreichen Abtötung von Pathogenen und Unkrautsamen. Ph.D. Thesis. University of Kassel, Germany, 126pp.
- LEWANDOWSKI D.J., HAYES A.J. & ADKINS S. (2010). Surprising results from a search for effective disinfectants for Tobacco mosaic virus-Contaminated tools. *Plant Disease*, 94(5):542-550.
- LI R.G., BAYSAL-Gurel F., ABDO Z., MILLER S.A. & LING K.S. (2015). Evaluation of disinfectants to prevent mechanical transmission of viruses and a viroid in greenhouse tomato production. *Virology Journal*, 12(5).

- LING K.S., GILLIARD A.C. & ZIA B. (2022). Disinfectants Useful to Manage the Emerging Tomato Brown Rugose Fruit Virus in Greenhouse Tomato Production. *Horticulturae*, 8(12):1193.
- LIU Y., DONG J., LIU G., YANG H., LIU W., WANG L., KONG C., ZHENG D., YANG J., DENG L. & WANG S. (2015). Co-digestion of tobacco waste with different agricultural biomass feedstocks and the inhibition of tobacco viruses by anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 189:210-216.
- LORENZ H. (2004). Überprüfung der phyto- und seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungsrückständen aus der anaeroben Behandlung von Bioabfällen. PhD Dissertation, Universität Hohenheim, Germany, 161 p.
- LOVELOCK D., MINTOFF S., KURZ N., NEILSEN M., PATEL S., CONSTABLE F. & TRAN-NGUYEN L. (2022). Investigating the Longevity and Infectivity of Cucumber green mottle mosaic virus in Soils of the Northern Territory, Australia. *Plants*, 11(7):883.
- LUVISI A., PANATTONI A. & MATERAZZI A. (2015). Heat treatments for sustainable control of soil viruses. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:657-666.
- MARCINISYN E., PEITZMEIER M. & HECKMANN J. (2004). Consultants for Environmental Technology and Design. Überprüfung der phyto- und seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Vergärungsrückständen aus der anaeroben Behandlung von Bioabfällen. TV 3 - Praxisuntersuchungen. Final report. 1-132.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2019). PLAN DE ACCIÓN DE *Tomato Brown Rugose Fruit Virus* (ToBRFV). 20 pp.
- NOBLE R. & ROBERTS S.J. (2004). Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: a review. *Plant Pathology*, 53:548-568.
- NOBLE R., JONES P.W., COVENTRY E., ROBERTS S.R., MARTIN M. & ALABOUVETTE C. (2004). Investigation of the Effect of the Composting Process on Particular Plant, Animal and Human Pathogens known to be of Concern for High Quality End-Uses. Report STA0012. The Waste & Resources Action Programme, Banbury, Oxfordshire, UK.
- NOURINEJHAD ZARGHANI S., EHLERS J., MONAVARI M., VON BARGEN S., HAMACHER J. BÜTTNER C. & BANDTE M. (2023). Applicability of Different Methods for Quantifying Virucidal Efficacy Using MENNO Florades and Tomato Brown Rugose Fruit Virus as an Example. *Plants*, 12(4):894.
- NVWA (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit). (2023). Eliminatiescenario voor *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) in de bedekte vruchtenteelt van tomaat (*Solanum lycopersicum*), paprika en Spaanse peper (*Capsicum* spp.) op substraat. 7 pp.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ C.I., ZAMORA-MACORRA E.J., OCHOA-MARTÍNEZ D.L. & GONZÁLEZ-GARZA R. (2022). Disinfectants effectiveness in Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) transmission in tobacco plants. *Mexican Journal of Phytopathology*, 40(2):240-253.
- ROSARIO K., SYMONDS E.M., SINIGALLIANO C., STEWART J. & BREITBART M. (2009). Pepper mild mottle virus as an indicator of fecal pollution. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(22):7261-7267.
- RÜEGG J. & TOTAL R. (2010). Nébulisation à froid des produits phytosanitaires en serre: avantages et inconvénients. *Recherche Agronomique Suisse*, 1(4):148-153.

RYCKEBOER J. (2001). Biowaste and yard waste composts: microbiological and hygienic aspects – suppressiveness to plant diseases. Leuven, Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, PhD thesis.

RYCKEBOER J., COPS S. & COOSEMANS J. (2002a). The fate of plant pathogens and seeds during backyard composting of vegetable, fruit and garden wastes. In: *Microbiology of Composting* (Ed. Insam H, Riddech N & Klammer S), pp. 527–537. Springer-Verlag, Heidelberg (DE).

RYCKEBOER J., COPS S. & COOSEMANS J. (2002b). The fate of plant pathogens and seeds during anaerobic digestion and aerobic composting of source separated household wastes. *Compost Science and Utilization*, 10:204-216.

SALEM N.M., ABUMUSLEM M., TURINA M., SAMARAH N., SULAIMAN A., ABU-IRMAILEH B. & ATA Y. (2022). New Weed Hosts for Tomato Brown Rugose Fruit Virus in Wild Mediterranean Vegetation. *Plants* 11, 2287.

SKELTON A., FOWKES A., FREW L., CHISNALL K., LOH Y.L., HOWARD C. & FOX A. (2023). Tomato brown rugose fruit virus in imported tomatoes in the retail trade in the United Kingdom. *Journal of Plant Pathology*, 1-7.

SMITH E. & DOMBROVSKY A. (2019). Aspects in Tobamovirus Management in Intensive Agriculture. In: *Plant Pathology and Management of Plant Diseases*. IntechOpen.

SUÁREZ-ESTRELLA F., LÓPEZ M., ELORRIETA M., VARGAS-GARCÍA M. & MORENO J. (2002). Survival of phytopathogen viruses during semipilot-scale composting. In 2002. *Microbiology of composting*, pp. 539- 548. Springer, Berlin, Heidelberg.

TERMORSHUIZEN A.J. (2006). Management of soil health in horticulture using compost. Final Report EU project QLK5-CT-01442. Wageningen-UR, Wageningen, (NL).

VARGAS-MEJÍA P., RODRÍGUEZ-GÓMEZ G., SALAS-ARANDA D.A., GARCÍA-LÓPEZ I.J., PÉREZ-ALFARO R.S., de DIOS E.Á., SANTOYO-VILLA J.N., BRISEÑO R.I.A. & SILVA-ROSALES L. (2023). Identification and management of tomato brown rugose fruit virus in greenhouses in Mexico. *Archives of Virology*, 168(5):135.

WICHUK K.M., TEWARI J.P. & McCARTNEY D. (2011). Plant Pathogen Eradication During Composting: A Literature Review, *Compost Science & Utilization*, 19(4):244-266.

Législation et réglementation

RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2023/1032 DE LA COMMISSION du 25 mai 2023 établissant des mesures destinées à éviter l'introduction et la dissémination du virus du fruit rugueux brun de la tomate sur le territoire de l'Union et modifiant le règlement d'exécution (UE) 2020/1191.

RÈGLEMENT (UE) 2019/1009 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 5 juin 2019 établissant les règles relatives à la mise à disposition sur le marché des fertilisants UE, modifiant les règlements (CE) n°1069/2009 et (CE) n°1107/2009 et abrogeant le règlement (CE) n°2003/2003).

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2023). Actualisation du rapport d'appui scientifique et technique (AST) relatif aux mesures de prophylaxie et de gestion de l'unité de production en cas de foyer de ToBRFV (saisine 2020-SA-0038). (saisine 2023-AST-0145). Maisons-Alfort : Anses, 75 p.

ANNEXE 1

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, intuitu personae, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GRUPE D'EXPERTISE COLLECTIVE D'URGENCE

Président

M. Thierry CANDRESSE – Directeur de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux. Compétences en virologie, épidémiologie et analyse de risque

Membres

M. Pascal GENTIT /Mme Prénom NOM – Chef de l'Unité Bactériologie, Virologie, OGM, Laboratoire de la santé des végétaux, Anses. Compétences en virologie et cultures légumières, précédemment mobilisé sur la saisine 2019-SA-0080

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Responsable Virologie Végétale. Compétences en virologie, épidémiologie et pratiques culturales ; précédemment mobilisé sur les saisines 2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

M. Eric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre PACA Avignon, Unité de pathologie végétale. Compétences en virologie et épidémiologie : précédemment mobilisé en tant que président de GT sur les saisines 2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Mme Christine TAYEH – Coordinateur scientifique – Anses

Contribution scientifique

-

Secrétariat administratif

Mme Françoise LOURENCO – Anses

AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Coopérative maraichère de l'Ouest

M. Patrice JACQ – Conseiller production culture PBI, Coopérative Maraichère de l'Ouest

Service régional de l'alimentation SRAL, DRAAF Bretagne

Mme Françoise CHARTIER – Cheffe de service, SRAL Bretagne

Mme Christine MARREC – Inspecteur en santé végétale, SRAL Bretagne

CONTRIBUTIONS EXTÉRIEURES AU(X) COLLECTIF(S)

« Mise à disposition de données relatives à la destruction du matériel végétal contaminé et aux procédés de désinfection en Allemagne » ; Mme Monika HEUPEL, Chamber of Northrhine Westfalia

« Mise à disposition de données relatives à la destruction du matériel végétal contaminé et aux procédés de désinfection en Grèce » ; Mme Christina VARVERI, Benaki Phytopathological Institute

« Mise à disposition de données relatives à la destruction du matériel végétal contaminé et aux procédés de désinfection en Israël » ; M. Aviv DOMBROVSKY, ARO. The Volcani Center

« Mise à disposition de données relatives à la destruction du matériel végétal contaminé et aux procédés de désinfection au Royaume-Uni » ; M. Adrian FOX, FERA

« Mise à disposition de données relatives aux produits phytopharmaceutiques » ; M. Laurent THIBAUT, Anses

« Mise à disposition de données relatives aux biocides » ; Mme Isabelle ATTIG, Anses

« Mise à disposition de données relatives à la méthanisation » ; Mme Patricia MERIGOUT, Anses

ANNEXE 2 : TEXTE DE SAISINE

Le texte de saisine est présenté ci-dessous



Direction générale
de l'alimentation

Paris, le 6 juillet 2023

La Directrice générale de l'alimentation

à

Monsieur le Directeur général de l'ANSES

Objet : Actualisation du rapport d'appui scientifique et technique (AST) relatif aux mesures de prophylaxie et de gestion de l'unité de production en cas de foyer de ToBRFV (saisine 2020-SA-0038).

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a été sollicitée lors des premières détections sur le territoire national en 2020 du virus de la tomate (ToBRFV) au sein d'exploitations produisant des tomates, pour apporter un appui scientifique et technique. Les recommandations de l'Agence ont permis de mettre en œuvre des mesures de gestion permettant de gérer ces foyers. La découverte récente de nouveaux foyers de ce virus réglementé soulève toutefois des questions pour certaines de ces mesures.

Dans ce cadre, conformément aux dispositions prévues à l'article L.1313-3 du code de la santé publique, je sollicite l'Anses afin d'actualiser et de compléter le rapport rendu par l'agence en 2020 sur différents points détaillés ci-après.

Éléments de contexte

Plusieurs foyers du ToBRFV ont été détectés dans différentes serres de production de tomates au cours de ce printemps 2023 et sont en cours de gestion en région Bretagne par la DRAAF-SRAL en lien étroit avec la DGAL (MUS et BSV). La gestion de ces foyers s'effectue en particulier en application de l'article 6 3)b du règlement européen UE/2023/1032 du 25 mai 2023 établissant des « mesures destinées à éviter l'introduction et la dissémination du virus du fruit rugueux brun de la tomate sur le territoire de l'Union et modifiant le règlement d'exécution (UE) 2020/1191 ».

La mise en œuvre des mesures de destruction des végétaux et en particulier des produits végétaux non commercialisables posent des difficultés pratiques au SRAL. Il s'agit en particulier de difficultés liées à :

- **la destruction des produits contaminés notamment des fruits.** En effet, l'AST de 2020 (page 27) recommande leur incinération et émet des réserves sur l'enfouissement en présence de chaux vive car l'efficacité de cette mesure décrite contre un champignon n'est pas avérée contre le ToBRFV. Néanmoins, la mise en œuvre de l'enfouissement a été tentée en région suite au refus des centres d'incinération de prendre en charge des produits à trop forte teneur en eau.

Pour autant, l'enfouissement à la chaux des fruits utilisé en lieu et place de l'incinération pose des difficultés et ce, pour les raisons suivantes :

- o Cela nécessite de disposer de surfaces appropriées.
- o Il impose l'intervention d'un hydrogéologue pour qualifier l'aptitude de ces surfaces à cet enfouissement. Il faudrait donc disposer d'une procédure pré établie avec l'ARS.
- o L'enfouissement des fruits impose en outre des précautions spécifiques du fait même de l'utilisation de chaux vive.
- o Ces méthodes ne permettent pas de valoriser a minima les produits contaminés.

Enfin, la gestion des supports de culture (pains de substrats notamment) pose également des difficultés (volume important à détruire dès le premier site de production contaminé).

- La désinfection des locaux et des sols abritant les foyers. Les méthodes préconisées dans le rapport AST rendu par l'Agence en 2020 peuvent s'avérer difficiles à mettre en œuvre en particulier pour les unités de production de grande taille (séquençage de production lié à la rotation de plusieurs cultures sur un même site). En outre, de nouveaux produits ou procédés dont l'efficacité est rapportée, sont utilisés dans d'autres Etats membres (Virkon, protéines de lait ou osmose par nébulisation). Enfin, le port de certains EPI (gants en particulier) peut s'avérer complexe (changements très fréquents, corrosivité des moyens de désinfection...).

Questions posées

De nouvelles connaissances scientifiques ont pu être produites depuis 2020 sur le virus et les méthodes de lutte/prophylaxie associées. Sur cette base, il est demandé à l'Agence, afin d'améliorer les mesures de gestion des prochains foyers et, de manière plus générale, la prophylaxie au sein des sites de production de fruits de tomate, d'évaluer si :

- i) Des moyens de destruction efficaces des végétaux et des produits végétaux ainsi que des moyens de destruction ou de stérilisation des substrats (y compris le sol en conditions de production « pleine terre ») autres que ceux déjà recensés dans le rapport AST 2020 permettent d'éviter la propagation du virus (compostage, méthanisation, etc.),
- ii) Des méthodes ou substances utilisables pour la désinfection des locaux, des outils et des équipements autres que celles déjà recensés dans le rapport AST 2020 sont envisageables. Les méthodes de désinfection proposées doivent être efficaces et les plus opérationnelles possibles (pour une facilité de mise en œuvre par les opérateurs).

Délais

Je souhaiterais pouvoir bénéficier de votre avis dans un **déla**i de **trois mois** à compter de la réception de ce courrier.

Destinataire pour la réponse par mail : bsv.sdspv.dgal@agriculture.gouv.fr

Mes services se tiennent à votre disposition pour apporter toute information complémentaire qui vous serait nécessaire au traitement de cette demande.

ANNEXE 3 : PRATIQUES DES PAYS EN TERME DE DESINFECTION DES LOCAUX, OUTILS ET EQUIPEMENTS

Dans cette annexe, sont présentées les pratiques des pays en terme de désinfection des locaux, outils et équipements.

En Grèce, le BPI (Benaki Phytopahtological Institute) recommande l'hypochlorite de sodium, le Virkon S, le Menno Florades, le Virocid et le phosphate trisodique chloré pour la désinfection des locaux. Les producteurs utilisent le NaOCl et le Virkon ainsi que du peroxyde d'hydrogène ou du dioxyde de chlore également appliqués dans le sol (Varveri, comm. pers., 2023).

Les autorités belges recommandent que tout le matériel et les surfaces de la ou des zones déclarées contaminées soient d'abord nettoyés en profondeur puis désinfectés. Il en est de même pour les conduites, la cuve de récupération d'eau de drainage, les poignées de porte, les restaurants d'entreprise, etc (AFSCA, 2021). Aucun produit ou substance active ne sont explicitement cités.

En Espagne, les outils, chaussures et véhicules doivent être désinfectés avec plusieurs produits et substances recommandés : des détergents (sans préciser lesquels), de l'hypochlorite de sodium (5,25%), l'iodo-noniphénoxy-polyéthoxy-éthanol, l'éthanol 96%, les quaternaires de première, deuxième, troisième, quatrième et cinquième génération, le bis(peroxymonosulfate) et bis(sulfate) de pentapotassium à la dose de 1:100 à 1:200 dans l'eau, le phosphate trisodique (TPAS) en solution à 1 ou 10% (Ministro de Agricultura, Pesca y alimentacion, 2019).

Aux Pays-Bas, les autorités recommandent l'Hyperclean X à base d'hypochlorite de sodium, le MENNO Florades à base d'acide benzoïque et le Virkon S à base de bis(peroxymonosulfate)bis(sulfate) de pentapotassium pour la désinfection des surfaces et matériaux. Il est conseillé de suivre les recommandations des fournisseurs pour décider du dosage. Pour le MENNO Florades, les autorités recommandent un dosage de 4%. Le Virkon S à base de bis(peroxymonosulfate)bis(sulfate) de pentapotassium est également recommandé pour la désinfection des chaussures (NWWA, 2023).

En Allemagne, les autorités indiquent que les désinfectants pour les mains à base d'alcool ne sont pas assez efficaces contre le ToBRFV ; il faut donc utiliser des produits à base d'acide benzoïque (par exemple Enno Rapid). Le Menno Florades (dont l'acide benzoïque est le principe actif) est recommandé comme produit phytopharmaceutique pour la désinfection mais également lors des opérations courantes : (i) traitement par immersion pour les outils de coupe (solution à 4%, 3 min, plein effet uniquement à pH < 4,5), (ii) pulvérisation/coulage pour les caisses, chariots élévateurs et de récolte et les surfaces plus grandes (solution à 4%, 4 h si appliqué sous forme de mousse, sinon 8 à 16 h d'application de mousse offrent une plus grande efficacité). L'hypochlorite de sodium NaOCl (4%, 2 h) peut être utilisé également en tant que biocide⁸.

Au Royaume-Uni, les autorités font référence aux résultats de l'étude « ADHB Research Project : PE033 » (AHDB, 2021) dont les résultats sont présentés avec ceux de la littérature scientifique.

⁸ <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/pflanzenschutz/gemuesebau/tobrfv.htm> ; <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/pflanzenschutz/gemuesebau/pdf/tabelle-tobrfv-dekontamination.pdf>

Les protocoles mis en place par les producteurs de la Coopérative Maraichère de l'Ouest en France comportent des étapes successives de nettoyage et désinfection par pulvérisation et par nébulisation de produits tels que le Virkon et Huwa-San 50 (audition Coopérative Maraichère de l'Ouest).

ANNEXE 4 : TABLEAU SYNTHETIQUE DES PRODUITS DE DESINFECTION ET TRAITEMENTS VIS-A-VIS DES TOBAMOVIRUS NON RETENUS POUR UNE ANALYSE APPROFONDIE

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Acide phosphorique	Acide phosphorique	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	61%	10 min	58,0	Vargas-Mejia <i>et al.</i> , 2023
Alcool éthylique	Alcool éthylique	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par trempage dans un broyat de plante infectée	70%	30 sec	70,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
Alcool éthylique	Alcool éthylique	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par trempage dans un broyat de plante infectée	90%	31 sec	70,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
DES-O-GERM	Chlorhydrate de polyhexaméthylène biguanide, Chlorure de benzalkonium	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,10%	5 min et 10 à 30 sec	0-4	Li <i>et al.</i> , 2015
DES-O-GERM	Chlorhydrate de polyhexaméthylène biguanide, Chlorure de benzalkonium	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,20%	6 min et 10 à 30 sec	0,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Eau seule	x	ToBRFV	Mains	na	2 min	Incomplètement efficace	ADHB, 2021
EUC (EtOH/Urea/Citric acid)	Ethanol 95%, urée et acide citrique	ToBRFV	Broyat tomate	2%	10 sec	35,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
EUC (EtOH/Urea/Citric acid)	Ethanol 95%, urée et acide citrique	ToBRFV	Broyat tomate	2%	20 sec	35,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
EUC (EtOH/Urea/Citric acid)	Ethanol 95%, urée et acide citrique	ToBRFV	Broyat tomate	2%	1 min	35,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021

Avis de l'Anses
Saisine n° « 2023-AST-0145 »
Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Fadex H+	Acide formique 45-<50%	ToBRFV	Vêtement de travail contaminé par broyat de plante	2%	10 min	99,9	Ehlers <i>et al.</i> , 2022b
Flame	x	TMV	Lame de scalpel	x	1 min	90,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Flame	x	TMV	Lame de scalpel	x	1 min	100,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Green Up AB	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Lame de scalpel	10%	2 sec	88,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	1 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	5 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	30 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020

Avis de l'Anses

Saisine n° « 2023-AST-0145 »

Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	15%	1 min	94,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	15%	5 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	15%	30 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	1 min	89,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	5 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020

Avis de l'Anses

Saisine n° « 2023-AST-0145 »

Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	20%	30 min	100,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Green Up D	Mélange de glucose issu de maïs et alcools gras issus d'huile de noix de coco et huile de palme (https://www.egreenup.com/copy-of-tds-d-dishwashing-liquid).	CGMMV	Lame de scalpel	10%	3 sec	88,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Greenhouse Guardian	Trichloromélamine	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,11%	2 min et 10 à 30 sec	0-7	Li <i>et al.</i> , 2015
Green-Shield	Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 10% n-alkyl [60% C14, 30% C16, 5% C12, 5% C18], Chlorure d'alkyldiméthyléthylbenzylammonium 10% n-alkyl [68% C12, 32% C14]	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,52%	3 min et 10 à 30 sec	4-26	Li <i>et al.</i> , 2015
Green-Shield	Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 10% n-alkyl [60% C14, 30% C16, 5% C12, 5% C18] Chlorure d'alkyldiméthyléthylbenzylammonium 10% n-alkyl [68% C12, 32% C14]	TMV	Lame de scalpel	0,005%	1 min	21,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Green-Shield	Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 10% n-alkyl [60% C14, 30% C16, 5% C12, 5% C18] Chlorure	TMV	Lame de scalpel	0,005%	1 min	93-100	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010

Avis de l'Anses

Saisine n° « 2023-AST-0145 »

Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
	d'alkyldiméthyléthylbenzylammonium 10% n-alkyl [68% C12, 32% C14]						
Green-Shield	Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 10% n-alkyl [60% C14, 30% C16, 5% C12, 5% C18], Chlorure d'alkyldiméthyléthylbenzylammonium 10% n-alkyl [68% C12, 32% C14]	TMV	Lame de scalpel	0,010%	1 min	90,7	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Green-Shield	Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 10% n-alkyl [60% C14, 30% C16, 5% C12, 5% C18], Chlorure d'alkyldiméthyléthylbenzylammonium 10% n-alkyl [68% C12, 32% C14]	TMV	Lame de scalpel	0,005%	3 min	91,5	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
Hydroxyde de calcium (ex : chaux)	Hydroxyde de calcium	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	75%	10 min	33,0	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Jet 5	Acide péracétique 5%	ToBRFV	Toutes surfaces	0,80%	1 h	Incomplètement efficace	ADHB, 2021
KleenGrow	Chlorure de didécyl diméthylammonium 7,5%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,40%	1 min et 10 à 30 sec	0-4	Li <i>et al.</i> , 2015
Kleengrow	Chlorure de didécyl diméthylammonium 7,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	10 sec	25,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Kleengrow	Chlorure de didécyl diméthylammonium 7,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	20 sec	25,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Kleengrow	Chlorure de didécyl diméthylammonium 7,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	1 min	25,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021

Avis de l'Anses
Saisine n° « 2023-AST-0145 »
Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Kleengrow	Chlorure de didécyl diméthylammonium 7,5%	ToBRFV	Broyat tomate	5%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Kleengrow	Chlorure de didécyl diméthylammonium 7,5%	ToBRFV	Broyat tomate	2,7%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Kleengrow	Chlorure de didécyl diméthylammonium 7,5%	ToBRFV	Broyat tomate	0,8%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Lavage haute pression + C-Clean	non précisé	CGMMV	Prélèvement dans 3 zones infectées de 15 surfaces dures : allées en ciment, gouttières des plateaux, supports de rails, rails, tissus du sol, tuyaux d'eau sous les plateaux, tuyaux d'irrigation/de drainage à l'extrémité des plateaux, tuyaux de chauffage de la canopée, dessus des plateaux, poteaux de soutien, supports de plateaux à poutre en acier, fils de culture, tuyaux de chauffage du périmètre, murs intérieurs et rideaux d'ombrage sur les murs	Non précisé	Non précisé	93,0	Ellouze <i>et al.</i> , 2020
Lavage haute pression + MS Topfoam LC ALK	Mousse alcaline contenant de l'hydroxyde de sodium	CGMMV	Prélèvement dans 3 zones infectées de 15 surfaces dures : allées en ciment, gouttières des plateaux, supports de rails, rails, tissus du sol, tuyaux d'eau sous les plateaux, tuyaux d'irrigation/de drainage à l'extrémité des plateaux, tuyaux de chauffage de la canopée, dessus des plateaux, poteaux de soutien, supports de plateaux à poutre en acier, fils de culture, tuyaux de chauffage du périmètre, murs	Non précisé	Non précisé	73,0	Ellouze <i>et al.</i> , 2020

Avis de l'Anses

Saisine n° « 2023-AST-0145 »

Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
			intérieurs et rideaux d'ombrage sur les murs				
Menno Hortisept Clean Plus	Hydroxyde de sodium 10->15%	ToBRFV	Vêtement de travail contaminé par broyat de plante	2%	10 min	99,9	Ehlers <i>et al.</i> , 2022b
Menno-Ter Forte	Chlorure de didécyl diméthylammonium 32,5%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	7 min et 10 à 30 sec	74,0	Li <i>et al.</i> , 2015
Microsan	Chlorure de benzalkonium et nonoxynol-9 1300ppm	ToBRFV	Broyat tomate	50%	10 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Microsan	Chlorure de benzalkonium et nonoxynol-9 1300ppm	ToBRFV	Broyat tomate	50%	20 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Microsan	Chlorure de benzalkonium et nonoxynol-9 1300ppm	ToBRFV	Broyat tomate	50%	1 min	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Microside	Chlorure d'alkyldiméthylbenzyle d'ammonium 2,25%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 2,25%	ToBRFV	Broyat tomate	0,04%	10 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Microside	Chlorure d'alkyldiméthylbenzyle d'ammonium 2,25%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 2,25%	ToBRFV	Broyat tomate	0,04%	20 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Microside	Chlorure d'alkyldiméthylbenzyle d'ammonium 2,25%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 2,25%	ToBRFV	Broyat tomate	0,04%	1 min	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Mydis	pas d'information disponible	ToBRFV	Mains	na	4 min	Incomplètement efficace	ADHB, 2021

Avis de l'Anses
Saisine n° « 2023-AST-0145 »
Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Physan 20	10% N-alkyl ; Chlorure de diméthyléthylbenzylammonium	ToBRFV	Broyat tomate	0,0025%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Physan 20	10% N-alkyl ; Chlorure de diméthyléthylbenzylammonium	ToBRFV	Broyat tomate	0,0005%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Physan 20	10% N-alkyl ; Chlorure de diméthyléthylbenzylammonium	ToBRFV	Broyat tomate	0,0001%	15 min	0,0	Ling <i>et al.</i> , 2022
Proteacteav	Alcool éthylique (70%)	ToBRFV	Broyat tomate	50%	10 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Proteacteav	Alcool éthylique (70%)	ToBRFV	Broyat tomate	50%	20 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Proteacteav	Alcool éthylique (70%)	ToBRFV	Broyat tomate	50%	1 min	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Purrell	Alcool éthylique (70%)	ToBRFV	Broyat tomate	50%	10 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Purrell	Alcool éthylique (70%)	ToBRFV	Broyat tomate	50%	20 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Purrell	Alcool éthylique (70%)	ToBRFV	Broyat tomate	50%	1 min	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Savon liquide commercial	Savon liquide commercial	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par trempage dans un broyat de plante infectée	7,50%	34 sec	91,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
Savon liquide commercial	Savon liquide commercial	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par trempage dans un broyat de plante infectée	18%	35 sec	91,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
Sels ammonium quaternaire	Sels d'ammonium quaternaire	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par trempage dans un broyat de plante infectée	0,40%	32 sec	70,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022
Sels ammonium quaternaire	Sels d'ammonium quaternaire	ToBRFV	Lame de couteau contaminée par trempage dans un broyat de plante infectée	2%	33 sec	70,0	Rodríguez-Díaz <i>et al.</i> , 2022

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Sels de pentapotassium	Sels de pentapotassium	ToBRFV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	1%	10 min	100,0	Vargas-Mejía <i>et al.</i> , 2023
Septadine	Chlorohexidine gluconate 0,5% Alcool 70%	CGMMV	Lame de scalpel	0,5%	4 sec	68,0	Darzi <i>et al.</i> , 2020
Simple Green	Chlorure d'octyldécyltriméthylammonium 1,65%, Chlorure de dioctyldiméthylammonium 0,66%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 2,20% alkyl [50% C14, 40% C12, 10% C10]	ToBRFV	Broyat tomate	2%	10 sec	30,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Simple Green	Chlorure d'octyldécyltriméthylammonium 1,65%, Chlorure de dioctyldiméthylammonium 0,66%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 2,20% alkyl [C14 50%, C12 40%, C10 10%]	ToBRFV	Broyat tomate	2%	20 sec	30,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Simple Green	Chlorure d'octyldécyltriméthylammonium 1,65%, Chlorure de dioctyldiméthylammonium 0,66%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 2,20% alkyl [C14 50%, C12 40%, C10 10%]	ToBRFV	Broyat tomate	2%	1 min	30,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
SP 2700	Composé biochimique produit par fermentation (inconnu)	ToBRFV	Broyat tomate	<70%	10 sec	70,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021

Avis de l'Anses

Saisine n° « 2023-AST-0145 »

Saisine(s) liée(s) n°2019-SA-0080 et 2020-SA-0038

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
SP 2700	Composé biochimique produit par fermentation (inconnu)	ToBRFV	Broyat tomate	<70%	20 sec	70,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
SP 2700	Composé biochimique produit par fermentation (inconnu)	ToBRFV	Broyat tomate	<70%	1 min	70,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
SP 2700	Composé biochimique produit par fermentation (inconnu)	ToBRFV	Broyat tomate	1,2%	10 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
SP 2700	Composé biochimique produit par fermentation (inconnu)	ToBRFV	Broyat tomate	1,2%	20 sec	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
SP 2700	Composé biochimique produit par fermentation (inconnu)	ToBRFV	Broyat tomate	1,2%	1 min	0,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Spee ActivGel	Tensioactifs anioniques 5-15%	ToBRFV	Vêtement de travail contaminé par broyat de plante	0,25%	10 min	45,1	Ehlers <i>et al.</i> , 2022b
StorOx	Dioxyde d'hydrogène 27%	ToMV ou TMV	Broyat de plante infectée traité par désinfectant	0,98%	4 min et 10 à 30 sec	0-15	Li <i>et al.</i> , 2015
TSP Substitute	Carbonate de sodium anhydre	TMV	Lame de scalpel	A saturation	1 min	29,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
TSP-PF	Sesquicarbonate de sodium 90 à 95%, Acide éthylènediaminetétraacétique 0 à 5%	TMV	Lame de scalpel	A saturation	1 min	14,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
TwinOxide	Dioxyde de chlore 0,3%	TMV	Lame de scalpel	0,0001%	1 min	74,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
TwinOxide	Dioxyde de chlore 0,3%	TMV	Lame de scalpel	0,0002%	1 min	53,0	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010

Nom commercial ou traitement ^a	Substance active ^a	Virus	Support	Conditions d'usage en %	Temps de contact	Résultats en terme de réduction d'infectivité en %	Référence
Virex	Chlorure de didécyl diméthylammonium 8,7%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 8,2%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	10 sec	89,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virex	Chlorure de didécyl diméthylammonium 8,7%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 8,2%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	20 sec	89,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
Virex	Chlorure de didécyl diméthylammonium 8,7%, Chlorure d'alkyldiméthylbenzylammonium 8,2%	ToBRFV	Broyat tomate	2%	1 min	89,0	Chanda <i>et al.</i> , 2021
ZeroTol	Dioxyde d'hydrogène 27%	TMV	Lame de scalpel	0,01%	1 min	60-100	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010
ZeroTol	Dioxyde d'hydrogène 27%	TMV	Lame de scalpel	0,01%	1 min	87,2	Lewandowski <i>et al.</i> , 2010

^a : tel que mentionné dans les publications citées en référence