



anses

Impacts socio-économiques de la limitation ou du retrait des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Juin 2025

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 12 juin 2025

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

relatif à l'« Analyse des impacts socio-économiques de la limitation ou du retrait des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture »

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 la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux, l'évaluation des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des aliments et, en évaluant l'impact des produits réglementés, la protection de l'environnement.

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 s'est auto-saisie le 04 mars 2022 pour la réalisation de l'expertise suivante : analyse des impacts socio-économiques de la limitation ou du retrait des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Le cuivre, très utilisé en agriculture pour ses propriétés fongicides et bactéricides contre certaines maladies des plantes, est une substance qui présente des risques pour l'environnement et dans une certaine mesure aussi, pour la santé humaine.

Concernant l'environnement, les travaux sur le cuivre établissent que les composés à base de cuivre satisfont à la condition définie à l'annexe II, point 4, deuxième tiret, du règlement (CE) no1107/2009, puisqu'ils remplissent deux des trois critères PBT (persistant/ bioaccumulable/ toxique), à savoir la persistance (P) et la toxicité (T) pour l'environnement¹, en particulier pour les organismes aquatiques. L'accumulation de cuivre dans les sols et sa persistance est néfaste pour la biodiversité des sols. Selon l'INERIS, le cuivre migre peu en profondeur, sauf dans des conditions particulières de drainage ou en milieu très acide (INERIS, 2019). Dans ces conditions, le risque de contamination des eaux souterraines pourrait augmenter. Le rapport de l'INERIS souligne également que le principal émetteur de cuivre vers le sol est l'agriculture (plus de 70 %) (INERIS, 2019).

Concernant la santé, les travaux existants rappellent que le cuivre est un oligoélément essentiel pour les êtres vivants. Il intervient dans de nombreux systèmes enzymatiques, la transcription des gènes et dans le bon fonctionnement du système immunitaire. Chez l'homme, le cuivre ne s'accumule pas dans les organismes sauf en cas d'anomalies génétiques ou lors d'une administration chronique à doses anormalement élevées où il s'accumule dans le foie (RAR, 2016, cité par INERIS, 2019). Le cuivre peut par ailleurs présenter des propriétés toxiques pour la santé humaine (propriétés cytotoxiques notamment) et certains composés du cuivre sont classés toxiques aigus par voie orale.

S'agissant de l'évaluation des risques (pour la santé et pour l'environnement) associés à l'exposition aux produits phytopharmaceutiques à base des substances « composés de cuivre », l'avis 2018 de l'Autorité européenne de sécurité sanitaire des aliments (EFSA)² identifie des risques pour les organismes de l'environnement pour les usages sur la vigne, les cucurbitacées et les tomates, ainsi que pour la santé des travailleurs pour l'usage vigne (EFSA, 2018). Dans son avis de 2023³ sur les risques en lien avec l'exposition au cuivre d'origine alimentaire, l'EFSA conclut que la contribution du cuivre provenant de son utilisation comme produit phytosanitaire, additif pour l'alimentation humaine et animale ou engrais est négligeable. L'utilisation de cuivre dans les engrais ou les produits phytosanitaires contribue en revanche à l'accumulation de cuivre dans le sol (EFSA, 2023).

Il existe une littérature abondante sur les dangers et risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre. Le présent rapport a pris comme point de départ les conclusions de ces travaux sans en analyser la portée ou la pertinence qui étaient en dehors des objectifs de l'auto-saisine et des compétences des experts du GT en charge de l'expertise socio-économique.

¹ [Règlement \(CE\) no 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil \(europa.eu\)](#)

² [Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance copper compounds copper\(I\), copper\(II\) variants namely copper hydroxide, copper oxychloride, tribasic copper sulfate, copper\(I\) oxide, Bordeaux mixture](#)

³ [Re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources | EFSA \(europa.eu\)](#)

Bien que l'approbation du cuivre en tant que substance active ait été renouvelée par le règlement d'exécution (UE) n°2018/1981, elle n'est valable que pour une période de 7 ans allant du 1^{er} décembre 2019 au 31 décembre 2025 : le cuivre étant approuvé en tant que substance active candidate à la substitution, conformément à l'article 24 du règlement (CE) n° 1107/2009. Durant la période d'approbation en cours, le règlement d'exécution européen impose de restreindre la quantité totale de cuivre applicable sur 7 années à un maximum de 28 kg de cuivre métal par hectare (ha), quelle que soit la finalité phytosanitaire de l'utilisation. Le règlement d'exécution prévoit également que les États membres de l'Union Européenne puissent fixer un taux d'application maximal de cuivre de 4 kg/ha/an au niveau national. Désormais, les conditions d'utilisation du cuivre sont les mêmes en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle. Suite au renouvellement de l'approbation de la substance active cuivre, le Ministère chargé de l'agriculture en collaboration avec les administrations compétentes et les acteurs de la recherche et du développement (INRAE⁴, ACTA⁵, ITAB⁶, APCA⁷, FNAB⁸) a présenté en 2019 une feuille de route pour la diminution de l'utilisation du cuivre en agriculture⁹.

Parce qu'ils contiennent une substance active candidate à la substitution, tous les produits cupriques doivent par ailleurs faire l'objet d'une évaluation comparative pour chaque usage dans le cadre du réexamen des demandes d'autorisation de mise sur le marché (AMM), conformément aux exigences de l'article 50 ainsi que des annexes II (point 4) et IV du règlement (CE) n°1107/2009. Cette évaluation comparative a notamment pour but d'examiner les possibilités de substitution au regard des critères du paragraphe 1 de ce même article. Il découle de ces exigences réglementaires et des possibilités d'évolution de la réglementation sur les conditions d'utilisation du cuivre pour les traitements phytosanitaires dans les prochaines années, différentes implications pour certains usages du cuivre en agriculture.

La présente auto-saisine fait suite à un travail mené lors d'une première auto-saisine visant à cartographier les utilisations des produits phytosanitaires à base de cuivre dans l'agriculture en France (rapport d'appui scientifique et technique de l'Anses, 2022). Cette étude initiale a mis en évidence une forte variabilité d'utilisation du cuivre entre les régions et entre les cultures ou systèmes de production et a souligné la dépendance de certaines filières aux produits cupriques.

Compte tenu de ces premiers éléments, des exigences réglementaires actuelles et des possibilités d'évolution de la réglementation sur les conditions d'utilisation du cuivre pour les traitements phytosanitaires dans les prochaines années, la question des impacts socio-économiques de cette évolution se pose avec acuité, certains impacts pouvant être significatifs selon les filières et les modes de production concernés.

La présente auto-saisine porte donc sur l'analyse des impacts socio-économiques d'une éventuelle limitation ou d'une interdiction de l'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture biologique et conventionnelle en France hexagonale. Il s'agit de répondre à trois questions :

⁴ Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

⁵ Association de Coordination Technique Agricole

⁶ Institut de l'agriculture et de l'alimentation biologiques

⁷ Assemblée permanente des Chambres d'agriculture

⁸ Fédération Nationale de l'Agriculture Biologique

⁹ [Feuille de route pour la diminution de l'utilisation du cuivre en agriculture | Ministère de l'Agriculture, de la Souveraineté alimentaire et de la Forêt](#)

- Question 1 : construire des scénarios de limitation de l'utilisation du cuivre pour les principaux usages concernés, par culture et par mode de production, en tenant compte de la possibilité d'adoption d'alternatives chimiques et non chimiques spécifiques à chaque filière (question Q1 de l'auto-saisine) ;
- Question 2 : documenter, analyser et évaluer les impacts socio-économiques sur les filières agricoles concernées par les différents scénarios de substitution ainsi construits (sur l'organisation de l'activité agricole, le revenu, l'emploi, etc.) (question Q2 de l'auto-saisine) ;
- Question 3 : documenter et analyser les freins et leviers à l'adoption des alternatives identifiées et les changements de pratiques agricoles nécessaires (question Q3 de l'auto-saisine).

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

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 (janvier 2024) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Analyse Socio-économique » (ASE) et du CES « Risques biologiques pour la santé des végétaux » (SANTVEG). L'Anses a confié au groupe de travail (GT) « impacts socio-économiques cuivre » l'instruction de cette auto-saisine. Ce GT est un collectif d'experts aux compétences diversifiées et complémentaires (protection des végétaux, agronomie, économie). Le CES ASE a été chargé de la validation des travaux de l'expertise. Les travaux d'expertise du groupe de travail ont donc été soumis régulièrement au CES ASE (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Les travaux ont été présentés au CES SANTVEG tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques le 04 juillet 2023. Ils ont été adoptés par le CES ASE réuni le 10 septembre 2024.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts du groupe de travail 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 GT ET DU CES ASE

3.1. Méthodologie de l'expertise

Dans l'objectif de répondre aux questions énoncées dans l'auto-saisine et rappelées *supra*, le GT « impacts socio-économiques cuivre » a procédé, après validation du CES « ASE », selon la méthodologie suivante (détaillée dans le chapitre 3 du rapport) :

Question	Méthodologie
1	<ul style="list-style-type: none">- Identification des principaux usages des produits phytosanitaires à base de cuivre autorisés en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle et sélection de trois cas d'étude <i>via</i> une démarche multicritère incluant des critères relatifs au volume d'utilisation du cuivre et au poids économique de la filière concernée ;- Identification des alternatives chimiques et non chimiques aux produits phytosanitaires à base de cuivre disponibles sur le marché ou en cours de R&D et sélection des alternatives à inclure dans les scénarios de substitution <i>via</i> une démarche multicritère incluant des critères techniques, économiques, sanitaires et environnementaux ;- Construction des scénarios de substitution des produits phytosanitaires à base de cuivre pour les traitements phytosanitaires, considérant deux niveaux de rupture à comparer à un scénario de référence « actuel » (i.e., une utilisation du cuivre dans les conditions actuelles) : 1) une diminution de dose de cuivre (scénario « demi cuivre ») et 2) une suppression totale de l'utilisation du cuivre (scénario « zéro cuivre »).
2	<p>L'analyse des impacts socio-économiques comprend :</p> <ul style="list-style-type: none">- une évaluation quantitative des impacts technico-économiques des combinaisons d'alternatives incluses dans les scénarios de substitution sur la base de dires d'experts, d'élicitation de dires d'experts et des données disponibles pour chacun des cas d'étude en termes de différentiel : i) de perte de rendement, ii) de coût de protection phytosanitaire et iii) de perte de marge pour les scénarios alternatifs (« demi cuivre » et « zéro cuivre ») par rapport à la situation de référence (scénario « actuel ») ;- une analyse qualitative des implications organisationnelles¹⁰, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives retenues dans les scénarios de substitution sur la base de la littérature disponible et de leurs profils de toxicité et d'écotoxicité, leur capacité à émettre des gaz à effet de serre (GES) ainsi que leur effet sur la qualité du paysage.
3	<ul style="list-style-type: none">- Analyse des freins et leviers à l'adoption des alternatives aux produits phytosanitaires à base de cuivre sur la base d'une revue systématique de la littérature partant de l'ESCO de l'INRAE-ITAB (2018)¹¹.

Dans le cadre de cette expertise, les difficultés à mobiliser des données exploitables ont représenté, pour le GT, une limite forte dans la conduite d'une évaluation complète des impacts socio-économiques de la substitution du cuivre par des alternatives

¹⁰ Il s'agit des implications sur le plan organisationnel du travail de l'agriculteur (par exemple, besoin en équipements, en main-d'œuvre et temps de travail) pour lutter contre les bioagresseurs.

¹¹ Andrivon D., Bardin M., Bertrand C., Brun L., Daire X., Decognet V., Fabre F., Gary C., Grenier A.S., Montarry J., Nicot P., Reignault P. et Tamm L. 2018. *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques?* INRAE, 185 p.

chimiques et non chimiques. Par conséquent, du fait des enjeux importants, complexes et multidimensionnels de la transition qu'impliquerait la limitation de l'utilisation ou le retrait du cuivre pour de nombreuses filières agricoles, et du fait des incertitudes multiples concernant les données mobilisables pour en évaluer précisément les impacts socio-économiques, le travail du GT a d'abord consisté en un exercice méthodologique exploratoire visant à proposer une méthode spécifique, avec des étapes et des indicateurs utiles pour conduire une telle évaluation. Cette méthode a permis de construire puis d'évaluer d'un point de vue technico-économique différents scénarios alternatifs pour plusieurs cultures sélectionnées et d'analyser leurs implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales. La nécessité de mettre en perspective les résultats de l'évaluation d'un « jeu de possibles » réalisé dans le cadre de cette expertise demeure une préoccupation forte qui n'a cessé de sous-tendre le travail du GT. C'est pourquoi le GT rappelle que les résultats de l'évaluation doivent être interprétés avec précaution, en gardant à l'esprit les conditions d'exercice dans lesquelles elle s'est réalisée et les hypothèses sur lesquelles elle se fonde.

3.1.1. Sélection des cas d'étude retenus pour l'évaluation

Etant donné le nombre important de cultures et d'usages agricoles concernés par l'utilisation du cuivre, et dans un but de faisabilité de l'analyse, l'étude s'est appuyée sur des cas d'étude sélectionnés à partir de critères permettant d'identifier les situations qui seraient les plus problématiques en termes d'impacts technico-économiques du fait de leur dépendance au cuivre. Pour ce faire, le GT a utilisé des critères relatifs au volume de cuivre utilisé (**surface agricole totale de la culture, part de surface de la culture, quantité de cuivre utilisée par la culture, part de la surface de la culture utilisant du cuivre, part de la quantité de cuivre**), au poids économique des cultures concernées par l'utilisation du cuivre (**nombre d'exploitations agricoles, culture majeure, usage majeur**) et au statut du cuivre en tant que **substance pivot**. La classification des usages du cuivre obtenue à partir de ces critères a permis au GT de sélectionner trois cas d'étude, soit :

- i. **le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique ;**
- ii. **le mildiou de la vigne en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle ;**
- iii. **la tavelure du pommier en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle.**

Le mildiou de la vigne et le mildiou de la pomme de terre sont les principales maladies cibles des traitements au cuivre. Le GT a retenu pour l'analyse le traitement de la tavelure en culture de pommes à couteau étant donné l'impact de la maladie plus importante pour ce type de production par rapport à la culture de pommes pour la transformation. D'autres situations pour lesquelles des restrictions de l'utilisation du cuivre pourraient avoir des impacts (autres maladies cibles pour les cultures analysées, usages orphelins selon la définition de la Commission des usages orphelins notamment) non retenues sont discutées dans le rapport (cf. chapitre 6 du rapport).

3.1.2. Identification des alternatives chimiques et non chimiques au cuivre

Dans le cadre de l'expertise, le GT a adopté comme définition d'une alternative : « **toute méthode/substance ou combinaisons de méthodes/substances permettant de réduire ou d'éviter l'emploi de la substance (cuivre) pour une fonction ou un usage donné** ».

Le GT a pris le parti de ne pas exclure *a priori* des alternatives avec des profils de dangers peu favorables pour l'environnement ou la santé car, à moins d'être interdites, elles font partie des méthodes de lutte disponibles aux choix des agriculteurs et pourraient, en cas de retrait du cuivre, représenter des « pis-aller » de transition. **Le GT considère que les impacts technico-économiques d'une telle trajectoire, qui serait peu soutenable du point de vue environnemental ou sanitaire, doivent néanmoins être explicités et être renseignés quantitativement dans un but de complétude de l'analyse et afin de donner à voir au décideur les potentielles conséquences non désirables d'une substitution du cuivre dans les conditions actuelles du modèle agricole.**

Le GT a adopté une perspective de court terme, compte tenu du calendrier de réexamen des demandes d'AMM pour le cuivre fixé à fin 2025. Ainsi, le GT a retenu parmi la gamme d'alternatives à considérer pour l'évaluation d'impacts uniquement celles :

- ayant montré lors d'expérimentations scientifiques un niveau minimum d'efficacité pour réduire la sévérité de la maladie ;
- disponibles sur le marché ou en cours de développement ;
- utilisables en agriculture biologique (pour les cas d'étude concernant le mode de production biologique)- excluant par exemple les phosphonates qui ne sont pas autorisés en agriculture biologique.

Ces alternatives sont regroupées en différentes familles de méthodes de lutte :

- lutte chimique (autres pesticides de synthèse) ;
- lutte à partir de préparations naturelles à propriété antifongique ;
- lutte biologique basée sur des agents microbiens (micro-organismes ou macro-organismes) ;
- lutte génétique (variétés résistantes) ;
- lutte physiologique par stimulation des défenses des plantes (SDP) ;
- méthodes physiques ;
- mesures de prophylaxie.

Selon le cas d'étude, le GT a considéré l'utilisation des outils d'aide à la décision (OAD) comme des méthodes permettant de gérer les interventions afin d'optimiser en particulier les doses de cuivre apportées. En ce sens, ces outils ont été considérés comme faisant partie des « méthodes et alternatives » pour réduire ou éviter l'utilisation du cuivre.

N'ont pas été considérées :

- les alternatives en cours de R&D du fait du manque de données pour les évaluer ;
- les alternatives qui impliquent un changement de système ou modèle agricole, du fait des difficultés pour les évaluer. Le GT rappelle que, même si cela n'est pas propre au cas du cuivre, l'adoption d'alternatives aux produits phytosanitaires ne repose pas sur une logique de remplacement d'une substance par une autre, mais sur une approche systémique qui permet de considérer la combinaison de différentes méthodes dans une logique de changements de pratiques agricoles, de modifications des itinéraires techniques et de re-conception des systèmes de culture. L'analyse technico-

économique de tels systèmes re-conçus nécessite d'étendre considérablement l'approche par scénarios en incluant une palette de paramètres beaucoup plus large allant des choix de cultures aux choix de société en associant tous les acteurs concernés dans une démarche prospective.

Pour chaque usage dans les cas d'étude retenu, le GT a établi un classement des alternatives considérées sur la base de quatre critères techniques (**magnitude de l'efficacité, durabilité de l'efficacité, opérationnalité de l'alternative et praticité de la mise en œuvre**), un critère d'**impact de l'alternative sur le rendement agricole** (en l'absence de maladie) et un critère de **toxicité et d'écotoxicité** de l'alternative. Sur la base de ce classement, le GT a sélectionné des alternatives pouvant entrer dans des combinaisons pour les scénarios de substitution du cuivre.

3.1.3. Scénarios de substitution construits pour l'évaluation

Dans le cadre de l'expertise, le GT définit la substitution comme « **le remplacement (partiel ou total) d'une substance par une méthode (chimique ou non chimique) ou substance ou combinaisons de méthodes/substances permettant de réduire ou d'éviter l'emploi de la substance pour une fonction ou un usage donné** ».

L'évaluation s'inscrivant dans une logique de court terme, les scénarios de substitution du cuivre ont été construits exclusivement dans cet horizon temporel, en considérant des combinaisons d'alternatives d'ores et déjà disponibles sur le marché, sélectionnées *via* une démarche multicritère, incluant les critères techniques, économiques, sanitaires et environnementaux mentionnés *supra*.

Pour chacun des cas d'étude, le GT a ainsi évalué les impacts socio-économiques de la substitution des produits phytosanitaires à base de cuivre par des combinaisons d'alternatives chimiques et non chimiques à travers les scénarios présentés dans les tableaux 1, 2 et 3 suivants. Les scénarios « zéro cuivre » correspondent à une situation de suppression totale de la dose de cuivre (dose maximale autorisée de 0 kg/ha/an) et les scénarios « demi cuivre » correspondent à une situation de réduction de 50% de la dose de cuivre (dose maximale de 2 kg/ha/an) par rapport à la dose actuellement autorisée et sans possibilité de lissage¹².

¹² Le lissage permettrait d'étaler la quantité totale autorisée sur une période donnée (par exemple, 14kg/ha sur une période de 7 ans dans le scénario « demi cuivre »).

Tableau 1. Scénarios de réduction/retrait du cuivre pour la pomme de terre biologique contre le mildiou

Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénarios « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>	
		<i>Variante 1</i>	<i>Variante 2</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Variété sensible - PPP à base de cuivre - Pilotage avec OAD 	<ul style="list-style-type: none"> - Variété résistante au mildiou - prophylaxie inoculum primaire (gestion déchets et repousses ; plant certifié) - PPP à base de cuivre (si nécessaire) - Pilotage avec OAD 	<ul style="list-style-type: none"> - Variété résistante au mildiou - Prophylaxie inoculum primaire (gestion déchets et repousses ; plants certifiés) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mélange variétal (sensibles et résistantes au mildiou) - Prophylaxie inoculum primaire (gestion déchets et repousses ; plants certifiés)

Note : outil d'aide à la décision (OAD), produit phytopharmaceutique (PPP)

Tableau 2. Scénarios de réduction/retrait du cuivre en viticulture contre le mildiou

	Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>	
AB	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Produits liste biocontrôle - Extraits de plantes 	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Produits liste biocontrôle - extraits de plantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Produits liste biocontrôle - Extraits de plantes 	
AC	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Fongicides de synthèse (hors biocontrôle) - Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates) 	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fongicides de synthèse (hors biocontrôle) - Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates) 	<ul style="list-style-type: none"> - Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates)

Note : agriculture biologique (AB), agriculture conventionnelle (AC), produit phytopharmaceutique (PPP)

Tableau 3 : Scénarios de réduction/retrait du cuivre en pomiculture contre la tavelure

	Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>
AB	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Pilotage avec OAD - Biocontrôles, SDP, SN - Mesures prophylactiques généralisées - Variétés sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure 	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Pilotage avec OAD - Biocontrôles, SDP, SN et biostimulants - Mesures prophylactiques généralisés - Mélanges variétaux (sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure) - Mesures physiques (bâches anti-pluie) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotage avec OAD - Biocontrôles, SDP, SN, biostimulants - Mesures prophylactiques généralisées - Mélanges variétaux (sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure) - Mesures physiques (bâches anti-pluie) - Adaptation du système d'irrigation (pour éviter l'aspersion et l'humectation du feuillage)
AC	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Fongicides de synthèse - Pilotage avec OAD - Mesures prophylactiques - Variétés sensibles à la tavelure 	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Fongicides de synthèse - Pilotage avec OAD - Mesures prophylactiques - Variétés sensibles à la tavelure - Biocontrôles, SDP, SN, biostimulants 	<ul style="list-style-type: none"> - Fongicides de synthèse - Pilotage avec OAD - Mesures physiques (bâches anti-pluie) - Mesures prophylactiques généralisée - Biocontrôles, SDP, SN, biostimulants - Mélanges variétaux (sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure)

Note : agriculture biologique (AB), agriculture conventionnelle (AC), outil d'aide à la décision (OAD), stimulateur des défenses des plantes (SDP), substance naturelle (SN), produit phytopharmaceutique (PPP)

3.1.4. Méthode d'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution des produits phytosanitaires par des combinaisons d'alternatives chimiques et non chimiques

Les impacts technico-économiques de la substitution du cuivre par les combinaisons d'alternatives chimiques et non chimiques ont été évalués quantitativement à travers trois principaux indicateurs (cf. section 3.5 du rapport) :

- les pertes moyennes de rendement en tonne par hectare (t/ha) entre un rendement « de référence » (pour la pomme de terre AB et la pomme AB et AC) ou un rendement « objectif¹³ » (pour la viticulture AB et AC) et le rendement obtenu dans le scénario

¹³ Rendement défini dans les cahiers des charges des indications géographiques (AOP, IGP).

- « actuel » ou dans un scénario alternatif (« demi cuivre » ou « zéro cuivre »), pondérées par des niveaux de pression pour chaque scénario ;
- le coût de la protection phytosanitaire (en €/ha) en prenant en compte les charges directes concernant les facteurs de production consommés pour la protection des cultures ;
 - la marge sur le coût de la protection phytosanitaire (en €/ha) pour chaque scénario tenant compte de pertes de rendement en valeur et du coût de protection phytosanitaire.

Pour chacun de ces indicateurs, les écarts entre les valeurs obtenues pour le scénario « actuel » et les scénarios alternatifs (« demi cuivre » et « zéro cuivre ») pour chaque culture ont été estimés et discutés par le GT.

Le GT a également estimé l'augmentation de prix (en %) qu'il faudrait envisager pour que l'écart de marge sur le coût de protection entre deux scénarios soit nul (ou autrement dit, compensé) dans les conditions actuelles de production et d'organisation du modèle agricole.

3.1.5. Méthode d'analyse qualitative des implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre

Au-delà des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre par des combinaisons d'alternatives, le GT a analysé des implications d'ordre organisationnel, agronomique, sanitaire et environnemental de cette substitution. Cette analyse est basée sur les compétences des experts du GT et la littérature scientifique et grise. Compte tenu du peu de données disponibles actuellement pour réaliser cette analyse et des compétences composant le GT (pas d'évaluateur de risque ni de toxicologue ou écotoxicologue notamment), ainsi que du temps prévu pour réaliser l'expertise, l'analyse de ces implications a été conduite de manière qualitative.

3.1.6. Méthode d'analyse des freins et des leviers à l'adoption d'alternatives au cuivre

Pour l'analyse des freins et des leviers à l'adoption d'alternatives au cuivre, le GT a réalisé une synthèse des publications scientifiques internationales référencées dans les bases de données internationales *via* une recherche systématique en utilisant la même méthodologie déployée dans l'ESCo INRAE-ITAB de 2018. Celle-ci a ensuite été complétée par une recherche de proche en proche qui a permis une sélection pertinente de rapports, documents de projets, actes de conférences, et autres documents issus d'organisations professionnelles, ainsi que par des documents recommandés par les experts du GT (cf. section 5.1 du rapport). L'analyse du GT s'est restreinte aux freins et leviers socio-économiques.

3.2. Synthèse des résultats de l'évaluation des impacts socio-économiques de la substitution des produits phytosanitaires par des combinaisons d'alternatives chimiques et non chimiques

3.2.1. Impacts technico-économiques de la substitution

3.2.1.1. Cas de la pomme de terre biologique

Sur le plan agronomique, et dans les conditions actuelles d'organisation du modèle agricole, tous les scénarios alternatifs de substitution du cuivre étudiés par le GT sont moins efficaces que le scénario « actuel » d'utilisation du cuivre, avec des pertes moyennes systématiques de

rendement. Si le scénario « demi cuivre » permet de contrôler le mildiou de manière comparable au scénario « actuel » avec des pertes de rendement évitées équivalentes, les combinaisons d'alternatives dans les scénarios « zéro cuivre » ne permettent pas de garantir une absence de pertes par rapport au niveau actuel (i.e., par rapport aux conditions et réglementations actuelles sur l'utilisation du cuivre). En dépit de leur efficacité avérée contre le mildiou de la pomme de terre, les variétés résistantes incluses dans les scénarios alternatifs ne permettraient pas à elles seules d'assurer une absence de perte, estimée entre 2,5 et 5 t/ha en pression de maladie moyenne ou forte par rapport au scénario « actuel », dans le cas d'un retrait total du cuivre.

Sur le plan économique, les écarts de marge calculées sont très variables (-649 €/ha pour le scénario « demi cuivre » et entre -2210 et -4372 €/ha pour certains scénarios « zéro cuivre »). La perte est limitée pour le scénario « demi cuivre » avec une absence de perte de rendement et des surcoûts maîtrisés, rendant ce scénario économiquement envisageable. Les pertes élevées des scénarios « zéro cuivre » sont essentiellement liées aux pertes de rendement occasionnées par l'utilisation de combinaisons d'alternatives. Les surcoûts de mise en œuvre des alternatives occupent une très faible part de la variation de la perte totale (moins de 10 %), sauf pour le scénario « demi cuivre », avec un niveau d'efficacité équivalent à celui de la situation de référence (scénario « actuel »), pour lequel les coûts supplémentaires de protection représentent 100 % des pertes économiques. Le cuivre étant une substance active très peu coûteuse, les pertes économiques ne sont que (très) partiellement compensées par les économies associées à sa non-utilisation.

Compte tenu de ces pertes potentielles liées à la substitution du cuivre en culture de pomme de terre AB, le GT estime qu'une augmentation du prix de vente de la production entre 2 % et 19 % pourrait être nécessaire pour préserver la marge des producteurs dans les conditions actuelles de production.

De ces estimations technico-économiques, le GT conclut qu'il est difficile d'atteindre une performance similaire à celle du scénario actuel dans les deux autres types de configuration (« demi cuivre » ou « zéro cuivre ») en culture de pomme de terre biologique, en particulier dans les zones à forte pression de mildiou (régions côtières de la façade atlantique par exemple) dans les conditions actuelles de production agricole. Toutefois, les variétés résistantes apparaissent comme une solution prometteuse, et même indispensable, pour réduire les pertes en cas de restriction supplémentaire par rapport à la dose de cuivre actuellement autorisée en culture de pomme de terre biologique. Cependant, leur déploiement nécessite des adaptations, une implication de l'ensemble des acteurs des filières et une gestion territorialisée impliquant à la fois les secteurs de l'agriculture biologique et conventionnelle.

3.2.1.2. Cas de la viticulture

L'évaluation de l'impact des scénarios de substitution du cuivre en viticulture montre que les scénarios de forte réduction et de retrait de la substance entraînent des performances technico-économiques inférieures à celles de la situation actuelle, que ce soit en viticulture AB ou en viticulture conventionnelle, dans les conditions actuelles de production.

Sur le plan agronomique, et sur la base de l'élicitation des dires d'experts filière, l'évaluation montre des pertes de rendement supérieures pour les différents scénarios de substitution du cuivre par rapport à la situation actuelle, sauf en cas d'utilisation de fongicides de synthèse (pour le scénario « zéro cuivre »). En effet, sans les produits phytosanitaires à base de cuivre,

seuls les fongicides de synthèse permettent de maintenir le niveau de production. Les pertes sont en moyenne plus élevées en viticulture AB pour laquelle les alternatives avec un niveau d'efficacité proche de celui du cuivre (fongicides de synthèse, phosphonates) ne sont pas autorisées. Ces pertes de rendement supplémentaires en AB sont potentiellement plus importantes en zone atlantique (+40 % en moyenne) qu'en zone méditerranéenne (+34 % en moyenne) du fait du niveau de pression plus important.

Sur le plan économique, les écarts de marge sur coûts de protection entre les différents scénarios et la situation actuelle sont essentiellement dus à des pertes de rendement associées aux différents niveaux de pression et à l'efficacité des alternatives qui ne permettent pas d'atteindre des niveaux de rendement équivalents dans les conditions actuelles de production. Toutefois, le coût de la protection phytosanitaire est en moyenne plus élevé par rapport à la situation actuelle quel que soit le niveau de pression. L'augmentation des coûts est liée aussi bien à l'augmentation du nombre de passages de produits (surtout dans les cas de pressions faible et moyenne) qu'au coût des produits appliqués pour les scénarios alternatifs, qui est supérieur au coût du cuivre. Les pertes économiques dépendent du niveau de valorisation du vin (prix de vente de la bouteille) et du rendement « objectif » tel que défini dans les cahiers des charges des indications géographiques (AOP, IGP). La situation est plus problématique en viticulture AB, notamment pour le scénario « zéro cuivre » où les écarts de marge sur protection par rapport à la situation actuelle sont importants (jusqu'à près de 14 000 €/ha en zone Atlantique pour un vin valorisé à 5 € la bouteille par exemple).

Compte tenu de ces pertes potentielles liées à la substitution du cuivre, le GT estime qu'une augmentation de prix de vente de la production entre 16 et 49 % pourrait être nécessaire pour préserver la marge des producteurs dans les conditions actuelles de production. Cette augmentation dépend de la valorisation (prix) de la bouteille de vin.

Les résultats de l'évaluation montrent que les impacts sont plus importants en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle ; cette dernière pouvant avoir recours aux molécules de synthèse autorisées. Cependant, le GT note que d'autres facteurs non pris en compte dans l'évaluation (sensibilité des cépages¹⁴, qualité de la pulvérisation, capacité matérielle et humaine, etc.) pourraient influencer la performance technico-économique des stratégies des combinaisons d'alternatives étudiées. Des stratégies de protection mobilisant des leviers plus en rupture par rapport aux pratiques actuelles pourraient également conduire à des résultats différents (cf. section 3.3 *infra*).

3.2.1.3. Cas de la pomiculture

Les résultats de l'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre en pomiculture montrent que dans l'ensemble les différents scénarios alternatifs analysés présentent une efficacité moindre par rapport au scénario actuel.

Sur le plan agronomique, l'évaluation réalisée sur la base de l'élicitation des dires d'experts filière montre des pertes de rendement supérieures pour les différents scénarios de substitution du cuivre par rapport à la situation actuelle. Si le scénario « demi cuivre » peut permettre de réduire les pertes de rendement dues à la tavelure en pression faible de manière similaire au scénario de référence « actuel », le scénario « zéro cuivre » ne permettrait pas de maintenir les rendements actuels, même au prix d'efforts significatifs pour cultiver autrement

¹⁴ La question des cépages résistants est discutée dans le chapitre 6 du rapport.

les vergers, dans les conditions actuelles de production. En situation de pression tavelure forte, le GT estime qu'on pourrait s'attendre à une diminution moyenne de la production de pommes à couteau entre 3 et 19 t/ha en AB et entre 2 et 5 t/ha en agriculture conventionnelle. Sur le plan économique, la mise en place des combinaisons d'alternatives dans les différents scénarios retenus par le GT entraîne des coûts supplémentaires, qui sont essentiellement dus à la re-conception des vergers avec des variétés résistantes couplées à des investissements pour limiter les contaminations et assurer la prophylaxie. Cependant, les résultats économiques sont essentiellement dépendants du niveau de perte estimée. Les écarts de marge sur coût de protection sont plus élevés en AB (estimées à près de -13 000 €/ha pour le scénario « demi cuivre » et -28 880 €/ha pour un scénario « zéro cuivre ») qu'en agriculture conventionnelle (estimées à -2 914 €/ha pour le scénario « demi cuivre » et environ -6 409 €/ha pour le scénario « zéro cuivre »). Dans ces pertes économiques, la part liée à la diminution du rendement est estimée à au moins 54 % quel que soit le scénario de substitution considéré. Compte tenu de ces pertes, le GT estime qu'une augmentation de prix de vente de la production entre 4 % et plus de 88 % pourrait être nécessaire pour préserver la marge des arboriculteurs dans les conditions actuelles de production.

Les résultats de l'évaluation technico-économique montrent que la réduction ou l'arrêt des usages de produits phytosanitaires à base de cuivre pourrait avoir des conséquences non négligeables en termes de pertes de rendement en quantité et qualité, de coûts supplémentaires de mise en œuvre des alternatives et de pertes de marge pour la filière pomme à couteau. Les impacts seraient plus importants en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle qui peuvent avoir recours aux molécules de synthèses encore autorisées. Cependant, le GT souligne que d'autres bioagresseurs cibles du cuivre comme ceux à l'origine des maladies du chancre (non considérés dans cette évaluation) pourraient faire évoluer ces impacts à la hausse.

3.2.2. Implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives aux produits phytosanitaires à base de cuivre

En plus des impacts technico-économiques, la mise en œuvre d'alternatives, qu'il s'agisse de l'utilisation de substances chimiques autres que le cuivre, des produits de biocontrôle, des variétés résistantes ou de la prophylaxie généralisée, est susceptible d'avoir des implications sur les plans organisationnel (pour les exploitations et pour les filières plus généralement), agronomique, sanitaire et environnemental.

Sur le plan organisationnel, d'une manière générale, la mise en œuvre des alternatives pourrait entraîner une augmentation du besoin en équipements et en main-d'œuvre ainsi qu'en temps de travail nécessaire pour lutter contre les bioagresseurs du fait du nombre de passages pour assurer un minimum d'efficacité de ces alternatives. De plus, l'utilisation de certaines alternatives (les variétés résistantes en particulier) suppose un effort conjoint d'adaptation de la filière dans son ensemble à une rotation variétale bien plus rapide que par le passé et à une diversité variétale supérieure. A une échelle plus large, les pertes de rendement et/ou les surcoûts de production, observés dans les divers scénarios alternatifs analysés pourraient entraîner une perte de compétitivité en particulier de la filière bio française par rapport à des concurrents étrangers (notamment non communautaires). Cette situation pourrait conduire à des problèmes d'approvisionnement et à des choix de localisation (ou délocalisation) géographique des productions, notamment pour la pomme de terre biologique. L'efficacité et

la disponibilité de certaines molécules de synthèse en agriculture conventionnelle pourraient inciter à des déconversions en AB (dans les situations agro-climatiques où la pression des bioagresseurs est récurrente) pour des raisons techniques et réglementaires, interrompant ainsi la dynamique de la filière en termes de pourcentage d'exploitations et de surfaces en AB.

Sur le plan agronomique, les scénarios alternatifs analysés dans ce rapport dépendent très largement de la disponibilité, de l'efficacité et du déploiement de variétés à niveau élevé ou très élevé de résistance au mildiou (pomme de terre) ou à la tavelure (pommier). Cependant, la préservation des gènes de résistance (spécifiques et quantitatives) nécessite des modes de gestion bien spécifiques notamment à travers : i) des dispositifs d'épidémiologie-vigilance permettant de détecter très rapidement les souches pathogènes virulentes ; ii) l'emploi de mélanges variétaux pour limiter les risques de contournement de résistance ; et iii) une séparation plus nette entre variétés utilisées en AB et en conventionnel pour réduire le risque de contournement des résistances des variétés biologiques. Outre le mildiou et la tavelure, le cuivre possède des usages contre d'autres maladies (la nécrose bactérienne de la vigne, les chancres du pommier, l'alternariose de la pomme de terre, etc.). Ainsi, l'interdiction d'utilisation du cuivre en AB et en agriculture conventionnelle risquerait d'aggraver les problèmes liés à ces bioagresseurs. De plus, le retrait de toutes les molécules multi-sites (y compris le cuivre) risquerait d'engendrer rapidement une baisse d'efficacité des substances actives restantes face à la résistance des bioagresseurs.

Sur les plans sanitaire et environnemental, le GT a analysé les implications de la mise en œuvre des alternatives évaluées sur la base de leur profil de toxicité et d'écotoxicité. Il en résulte que la substitution du cuivre pourrait avoir des implications sur la santé humaine et l'environnement selon les alternatives considérées par le GT dans les combinaisons évaluées.

Sur le plan de la santé humaine, le cuivre présente des propriétés cytotoxiques (notamment) et certains composés du cuivre présentent des propriétés de toxicité aiguë par voie orale (cf. annexe 14 du rapport). Ainsi, la réduction de l'utilisation du cuivre pourrait s'accompagner de bénéfices sanitaires. Toutefois, certaines des alternatives au cuivre présentent aussi des dangers pour la santé humaine et leur utilisation pourrait alors ne pas s'accompagner de bénéfices pour la santé. Même en l'absence de toxicité pour la santé humaine, certaines alternatives (prophylaxie généralisée, passage répété avec des produits peu efficaces, etc.) pourraient avoir des conséquences potentielles sur la santé parce que leur mise en œuvre nécessite plus de main-d'œuvre, ce qui pourrait faire augmenter le temps de travail des agriculteurs.

Sur le plan environnemental, et à l'exception des fongicides de synthèse encore utilisables en agriculture conventionnelle, la quasi-totalité des alternatives incluses dans les scénarios étudiés présente un risque environnemental limité et, dans certains cas, nul : c'est le cas en particulier des variétés résistantes, des méthodes de prophylaxie et de la plupart des solutions de biocontrôle. La généralisation de leur emploi, en substitution partielle ou totale des apports actuels de cuivre (voire de fongicides de synthèse), devrait donc s'accompagner de bénéfices environnementaux de court et moyen termes (qui restent à documenter précisément, ce qui ne relevait pas des missions du GT). L'un de ces bénéfices, et non des moindres puisqu'il concerne directement les effets néfastes du cuivre sur l'environnement (le cuivre étant classé substance candidate à la substitution du fait de sa persistance et de sa toxicité pour la biodiversité des sols et les eaux souterraines – cf. section 1.1 et chapitre 2 du rapport), est qu'en limitant les apports de cuivre, l'emploi d'alternatives non ou peu écotoxiques devrait *à minima* stabiliser, et à terme contribuer à faire décroître, les quantités de cuivre stockées dans les sols (en partie biodisponibles) et dans les eaux. En revanche, certaines alternatives ne

présentent pas de profil environnemental favorable (en particulier des molécules de synthèse autorisées en agriculture conventionnelle) ; leur utilisation en remplacement du cuivre ne s'accompagnerait pas de bénéfices environnementaux et pourrait même accroître les dommages causés à l'environnement. De plus, l'augmentation du nombre de passages nécessaires avec des alternatives moins efficaces peut entraîner une hausse de la consommation de carburant qui pourrait contribuer à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES). D'autres alternatives comme les méthodes physiques (ex : bâchage des tas de déchets et bâches anti-pluie) ou l'utilisation de plusieurs machines (ex : pour l'arrachage de la pomme de terre biologique, dans le cas des mélanges de variétés) pourraient également contribuer à l'augmentation des émissions de GES, des micro-plastiques dans l'environnement ainsi qu'une détérioration de la qualité du paysage.

Tenant compte des profils de dangers des alternatives chimiques et non chimiques, les implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des scénarios de substitution du cuivre pourraient être différentes selon la culture/usage concerné.

3.3. Freins et leviers à l'adoption des alternatives aux produits phytosanitaires à base de cuivre

La revue de littérature réalisée par le GT a mis en évidence un certain nombre de freins et leviers à l'adoption des alternatives évaluées dans les cas d'étude du présent rapport. Ces freins et leviers identifiés concernent en particulier les variétés résistantes, les produits de biocontrôle et les pratiques culturales.

■ Concernant les variétés résistantes

L'ESCo INRAE-ITAB (2018) avait mis en évidence - en plus du temps très long de la sélection - quatre points de blocage principaux que l'on peut considérer comme des freins à l'adoption d'alternatives au cuivre : i) des réserves techniques de la part des utilisateurs sur l'efficacité et la durabilité des alternatives proposées - le projet Co-Free soulignant toutefois que certains produits alternatifs pourraient contribuer à gérer les contournements de résistance ; ii) des réserves sur les compromis entre caractères agronomiques et résistance (qualité, productivité, etc.) ; iii) des conflits de valeur sur les procédés d'obtention et ; iv) des blocages dans les systèmes de recherche en amont et dans les systèmes de diffusion des innovations en aval.

La littérature distingue une multiplicité de déterminants à combiner¹⁵ pour le déploiement des variétés résistantes. Ce déploiement nécessite de trouver un équilibre sur les performances technico-économiques à différentes échelles (agriculteurs, distributeurs, consommateurs) tout en préservant les objectifs de chacun autour d'un objectif partagé. Cela nécessite également de déployer une démarche visant à : i) sensibiliser et donner de la valeur à la gestion des résistances en passant d'une logique de rendement à une logique de marge comme cela a été fait pour le blé¹⁶ ; ii) promouvoir des outils collectifs de gestion et de suivi des résistances pour assurer leur durabilité ; iii) s'appuyer sur des organisations collectives de gestion des

¹⁵ Hochereau, François. 2021. « La résistance variétale, un objet frontière à construire. » Dans L'immunité des plantes - Pour des cultures résistantes aux maladies, édité par Lannou Christian, Roby Dominique, Ravigné Virginie, Hannachi Mourad et Moury Benoît, 247-258. Versailles : QUAE.

¹⁶ Cf. Hochereau, 2021

résistances pour traiter des situations difficiles par la mise en place de collectifs de pilotage (leviers territoriaux).

Le déploiement des variétés résistantes nécessite également : i) des moyens en termes d'épidémiologie-surveillance en mobilisant des moyens pérennes et d'autres à moderniser (tests moléculaires, sciences participatives...) ; ii) une qualification fiable des résistances, y compris partielles ; iii) la définition de stratégies d'utilisation (modélisation, implication des acteurs...) ; iv) un suivi des variétés implantées par les agriculteurs (observatoires comme Oscar en viticulture).

■ Concernant les produits de biocontrôle

La littérature souligne principalement des difficultés d'adoption liées à l'efficacité des produits de biocontrôle et des contraintes réglementaires liées à leur expérimentation sur le terrain. Elle montre également que le défi majeur réside dans la disponibilité et la mise sur le marché de ces produits pour lesquels la standardisation de la ou des substance(s) active(s) est loin d'être évidente, et les contraintes réglementaires pour l'homologation représentent des barrières fortes. En effet en France et en Europe, il est difficile de tester à grande échelle et sans dérogation à la destruction des récoltes de nouveaux produits d'intérêt dont la substance active n'est pas encore approuvée ou dont les conclusions de l'Efsa ne sont pas encore publiées. À cela s'ajoute en agriculture biologique certifiée (label AB) le déclassement automatique de la récolte dans le cas de l'utilisation d'un intrant non référencé.

Parmi les leviers identifiés, on peut distinguer dans la littérature : i) l'amélioration de la formulation des produits pour permettre une réduction du cuivre à efficacité constante ; ii) la qualité de pulvérisation et le positionnement des produits au bon moment pour optimiser l'utilisation du cuivre ; iii) l'adaptation du processus d'expérimentation avec la nécessité d'un processus d'apprentissage essai-erreur, dans un cadre accompagné et en disposant d'informations pour favoriser le déploiement de solutions alternatives.

■ Concernant les pratiques culturales

Selon la littérature, plusieurs techniques physiques permettent de limiter la survie de l'inoculum résiduel dans les parcelles (élimination des résidus de culture infectés, gestion des repousses, etc.), d'empêcher son accès aux organes productifs (enfouissement, bâchage, sélection sanitaire des semences et plants) ou de limiter la germination de l'inoculum et la contamination des organes végétaux (bâches anti-pluie). Ces mesures s'avèrent très efficaces, mais sont peu utilisées du fait des investissements nécessaires souvent élevés pour les producteurs. D'autres méthodes plus simples (bâchage des tas de déchets et écarts de tri à proximité des parcelles, gestion des repousses) existent mais sont également peu mises en œuvre en pratique à cause d'un temps de travail plus élevé pour les agriculteurs, alors qu'ils disposent actuellement de méthodes chimiques efficaces pour juguler les attaques des bioagresseurs.

Néanmoins, le niveau très partiel d'efficacité de la plupart des leviers impose de les insérer dans des stratégies intégrées de protection phytosanitaire, et non pas de les utiliser comme éléments isolés, individuellement substituables aux applications cupriques. Cependant, il n'existe encore aujourd'hui que très peu de références et données scientifiquement évaluables sur des systèmes intégrés (y compris à dimension paysagère, comme l'agroforesterie) mais qui ne portent pas spécifiquement sur le cas de la réduction du cuivre. Faute de disposer de

modèles paramétrés de manière adéquate et suffisamment précise, la conception et l'évaluation de tels systèmes restent difficiles.

3.4. Conclusions du GT et du CES

Au terme des travaux de l'expertise, le GT a pu dégager cinq groupes de conclusions, de portée générique ou spécifique, qui sont détaillés ci-après.

- ***La substitution du cuivre, un enjeu de portée différente selon les filières agricoles et les modes de production***

Le GT souligne qu'il y a une asymétrie de la dépendance au cuivre entre les productions biologiques et les productions conventionnelles qui explique que l'enjeu de la substitution, totale ou partielle, de ces apports en cuivre soit lui aussi asymétrique : critique en production biologique, beaucoup plus marginal en production conventionnelle (au moins tant que les fongicides de synthèse resteront disponibles et diversifiés sur le marché). Cette asymétrie doit être prise en compte lors de toute décision impliquant une réduction des utilisations du cuivre, qui impacterait en premier lieu – et plus sévèrement - les productions biologiques que les productions conventionnelles, et pourrait donc aller à l'encontre des objectifs de développement de l'AB en France (voir recommandations du GT *infra*).

Le GT souligne également les enjeux possibles pour certaines filières non étudiées dans ce rapport (compte tenu du délai et des données mobilisables) qui utilisent relativement peu de cuivre en tonnage du fait des superficies concernées mais pour lesquelles des restrictions d'utilisation du cuivre pourraient avoir des conséquences. En effet, pour certains usages, le cuivre serait la seule substance à avoir une efficacité approuvée, ce qui rendrait ces usages orphelins en cas de restrictions supplémentaires par rapport à la dose de cuivre actuellement autorisée (cf. chapitre 6 du rapport).

- ***La substitution : techniquement envisageable, mais toujours agronomiquement difficile et souvent économiquement impactante pour les utilisateurs***

Sur la base des cas d'étude analysés, le GT conclut que la substitution peut être considérée comme techniquement envisageable pour les trois cultures étudiées. Néanmoins, il note que, selon les filières, tout ou partie des alternatives potentielles (variétés résistantes et produits de biocontrôle en particulier) sont soit manquantes, soit ne répondent pas aux besoins actuels des filières (qualité insuffisante des produits transformés, impossibilité réglementaire de mise en œuvre, etc.), et que leur utilisation en pratique impliquerait donc des adaptations ou des poursuites de développement conséquentes.

De plus, l'analyse économique des scénarios alternatifs révèle des limites quant à la faisabilité d'une transition soutenable dans les conditions d'organisation et de fonctionnement actuel du modèle agricole français et européen et sans mesures fortes d'accompagnement. Les scénarios de réduction des doses de cuivre (scénarios « demi cuivre ») semblent économiquement envisageables pour certaines filières (pomme de terre biologique par exemple), sans perte de rendement et avec des surcoûts maîtrisés, mais pas pour d'autres (en vigne biologique par exemple). Pour leur part, les scénarios « zéro cuivre » évalués par le

GT, encore plus complexes, plus coûteux et moins efficaces, présentent tous des impacts technico-économiques élevés, notamment en agriculture biologique. Ces impacts pourraient ne pas être compatibles avec la pérennité économique de certaines exploitations, tout au moins à court/moyen terme et sans aide technique et financière significative. Ces scénarios pourraient se traduire probablement par un recours accru aux fongicides de synthèse pour les exploitations en agriculture conventionnelle et un risque de déconversion pour les exploitations en agriculture biologique.

- ***Des alternatives au profil environnemental et sanitaire globalement favorable, avec des bénéfices attendus à court et à long terme, mais dont l'évaluation complète reste ardue quant aux implications globales (y compris organisationnelles et agronomiques)***

Le GT souligne qu'une quantification précise des bénéfices espérés de la réduction d'utilisation ou du retrait du cuivre en agriculture, tant sur le plan organisationnel, agronomique, environnemental que sanitaire, n'a pas été possible du fait que : i) les données nécessaires à une telle évaluation sont souvent manquantes ou lacunaires et ; ii) ces bénéfices résultant de combinaisons toujours mouvantes de leviers de gestion et de pressions parasites, une quantification supposerait le développement de modèles multicritères complexes, hors du champ et des compétences du collectif d'experts mobilisé pour l'expertise. Cela est également le cas pour les impacts de ces stratégies alternatives sur l'emploi et le travail, qui seront sans doute très variables selon les filières, les modes de production et les modèles économiques des exploitations concernées. Sur la base de l'appréciation qualitative des bénéfices (ou risques évités) attendus, le GT souligne les principaux points suivants :

- Sur le plan organisationnel, les répercussions économiques des pertes de rendement induites par la substitution du cuivre (prix des produits sur les marchés finaux, importations, délocalisation de production, déconversion...) sont susceptibles d'être importantes et méritent d'être explorées plus en détail ;
- Sur le plan agronomique, la mobilisation des alternatives au cuivre étudiées et des combinaisons dans lesquelles elles doivent s'insérer pour atteindre une performance suffisante, induisent le plus souvent des perturbations notables dans les itinéraires techniques et, partant, dans les modes de fonctionnement des exploitations ; ce qui génère de l'incertitude concernant leur soutenabilité de moyen et long terme ;
- Sur le plan de la santé humaine, la réduction de l'utilisation du cuivre pourrait s'accompagner de bénéfices sanitaires si les alternatives mises en place ont un profil de dangers et de risque plus favorable ;
- Sur le plan environnemental, la généralisation de l'emploi de certaines alternatives devrait s'accompagner de bénéfices environnementaux car elles présentent, pour la plupart, un risque environnemental limité et, dans certains cas, nul (sauf les substances actives de synthèse autorisées en agriculture conventionnelle).

Le GT rappelle également qu'il n'a pas analysé les alternatives du point de vue de leur acceptabilité par les agriculteurs et plus généralement par d'autres acteurs concernés. Ces points n'entraient pas dans les missions du GT. Néanmoins, ce type d'analyse est d'intérêt et pourrait faire l'objet d'une étude spécifique pour tester la mise en pratique des scénarios évalués auprès des acteurs (cf. recommandation du GT *infra*).

- ***Une évaluation des impacts socio-économiques incomplète faute de données indispensables***

Le GT souligne que l'évaluation proposée reste incomplète sur plusieurs points et ne couvre que partiellement la diversité des usages du cuivre et le (très vaste) champ des différentes dimensions soulevées par l'auto-saisine traitée. La raison principale du caractère limité de cette évaluation, notamment dans sa dimension quantitative des impacts technico-économiques, tient au manque de données.

Le GT insiste sur la difficulté de constituer des jeux de références utilisables sur nombre d'alternatives potentielles, tout particulièrement celles encore en développement et pour lesquelles ni les référentiels de performance agronomique en conditions réelles d'utilisation, ni les éléments de coûts de mise en œuvre, ni *a fortiori* les informations relatives aux conséquences (positives ou négatives) de cette mise en œuvre en termes de temps de travail, d'équipement, de modification des itinéraires culturaux et donc de fonctionnement des exploitations, ne sont accessibles. C'est notamment la raison pour laquelle il n'a pas été possible d'identifier des alternatives techniquement envisageables et disponibles pour la plupart des usages mineurs ou orphelins, qui n'ont donc pas pu être inclus dans les cas d'étude analysés.

- ***Des perspectives pour améliorer l'évaluation des impacts***

En vue d'une amélioration l'évaluation des impacts socio-économiques de la substitution du cuivre par les alternatives, le GT souligne :

- *Des enjeux forts en matière d'innovation* : tant que les scénarios alternatifs ne seront pas au moins aussi efficaces pour le contrôle des épidémies que les scénarios actuels, des impacts négatifs (potentiellement rédhibitoires) pourraient être observés, et la substitution du cuivre resterait alors problématique sans un accompagnement majeur des agriculteurs ;
- *Le développement et la mise sur le marché de leviers nouveaux* : même s'il existe un certain nombre de produits alternatifs au cuivre sur le marché, le potentiel de développement reste assez grand. Ces nouveaux produits (de biocontrôle) et nouvelles techniques (agriculture de précision et des méthodes de prophylaxie généralisée) sont autant de possibilités qui devraient être considérées dans les scénarios de substitution ;
- *La poursuite des efforts sur des alternatives disponibles mais pas complètement satisfaisantes* : certaines alternatives qui sont performantes (comme les variétés résistantes) ne répondent pas forcément aux exigences du marché (consommateurs) ou des cahiers des charges imposées par la distribution aux agriculteurs. La prise en compte de ces contraintes liées à l'adoption des variétés est tout aussi importante dans l'évaluation de l'impact de la substitution.

- ***Concernant les freins et leviers à l'adoption des alternatives***

Le GT souligne que les nombreux travaux encore en cours concernant les alternatives au cuivre permettent d'envisager la mise à disposition des filières d'alternatives ou de scénarios intégrés en capacité de se substituer au cuivre. Les projets en cours sont généralement pluridisciplinaires car le déploiement des alternatives ne pourra se faire que si on en comprend

mieux les impacts socio-économiques ainsi que les déterminants et les freins tout au long de la chaîne de valeur. Toutefois, des approches systémiques, plutôt que menées *alternative par alternative* comme c'est encore souvent le cas, seront nécessaires pour convaincre et assurer un niveau de production équivalent.

Le GT souligne également que les déséquilibres actuels dans la valorisation économique et commerciale des produits issus d'une agriculture sans cuivre nécessiteraient d'étudier les conditions d'un juste partage de la valeur au sein de l'ensemble des filières. Des travaux d'économie industrielle devraient analyser les comportements et les stratégies des entreprises dans le contexte de la transition agroécologique et de l'évolution des marchés de consommation. Des recherches sont nécessaires pour évaluer les ressorts de la création de valeur depuis le producteur jusqu'au consommateur selon les différents modes de distribution.

Le GT note que la littérature fournit un ensemble de leviers d'intégration territoriale croissante du degré 0 (chacun pour soi) au degré 4 (délégation : harmonisation entre les acteurs et une action portée par un tiers) en passant par les interactions (degré 1), la concertation (degré 2) où les agriculteurs mènent des actions collectives pour dégager des bénéfices communs et le multi-acteurs (degré 3) avec une interdépendance des acteurs du territoire pour conduire à l'action.

3.5 Recommandations du GT et du CES

Tenant compte des difficultés pour mener une évaluation complète de impacts socio-économiques de la substitution du cuivre par les combinaisons d'alternatives et sur la base des résultats de cette expertise, le GT fait les recommandations suivantes.

■ **En matière de données et méthodes nécessaires pour l'évaluation des impacts socio-économiques**

Pour poursuivre l'évaluation des impacts socio-économiques de la substitution du cuivre par les combinaisons d'alternatives à travers des scénarios, le GT recommande :

- **Concernant la méthodologie à adopter** : d'étendre l'approche par scénarios (considérant un panel d'alternatives qui entrent plutôt dans un processus de re-conception des systèmes ou de modèles agricoles) en incluant une palette de paramètres beaucoup plus large et multidimensionnelle pour en refléter la complexité et en associant tous les acteurs concernés. En ce sens, la méthodologie développée par le GT dans ce rapport peut déjà constituer une base solide pour construire ces différents scénarios et identifier les paramètres à évaluer. Au-delà de l'évaluation des impacts socio-économiques, il conviendrait également d'analyser les alternatives du point de vue de leur acceptabilité par les utilisateurs et plus généralement par d'autres groupes de population concernés (ce qui n'a pas été dans le mandat du GT), incluant les acteurs par exemple dans des phases de test de ces scénarios avec possiblement des alternatives non déployées sur le terrain. Ainsi, la décision impliquant des restrictions d'utilisations d'intrants chimiques (comme le cuivre) pourrait être éclairée des implications potentielles du point de vue agronomique, économique, social et environnemental.

- **Concernant les données à mobiliser** : de collecter et mettre à disposition un certain nombre de données nécessaires pour l'évaluation des impacts socio-économiques. Les efforts à faire concernent deux types de données :
 - **Des données existantes mais non organisées** : les données existantes proviennent de sources variées (littérature scientifique et grise, dires d'experts, dossiers d'homologation, etc.) et ne sont pas toujours faciles d'accès. Des données existent, en particulier sur l'efficacité des alternatives, mais restent parfois confidentielles ou non publiées (par exemple données d'expérimentation) et non disponibles pour l'évaluation. La publication et la mise en réseau (dans des plateformes dédiées par exemple) des données sur différents aspects à tenir compte dans l'évaluation (ravageurs, pression, observation fine et régulière des symptômes par territoire, nombre de traitements en moyenne après épisode de contamination, structure des coûts de production, prix de vente, etc.) peut faciliter la réalisation de tels travaux.
 - **Des données non disponibles** : en l'absence de données en particulier sur des combinaisons d'alternatives dans un scénario zéro cuivre qui n'ont très rarement voire jamais été testées sur le terrain, les experts filières, par leur connaissance des situations spécifiques de cultures, peuvent fournir des éléments d'information nécessaires pour l'évaluation. Toutefois, il convient de mobiliser des méthodes d'élicitation de dires d'experts adéquates afin que ces informations soient recueillies avec la plus grande transparence et indépendance. Dans l'idée d'une évaluation d'impact à plus long terme, tenant compte de la durabilité de la substitution, des réseaux de surveillance sont à mettre en place en particulier sur les variétés résistantes pour les cultures pérennes, mais aussi des produits de biocontrôle, pour disposer des données suffisantes pour suivre et mieux comprendre les problèmes de contournement des résistances et évaluer l'efficacité dans la durée de ces variétés et des produits de biocontrôle innovants.

■ En matière de politiques publiques

Si l'objectif est de promouvoir l'adoption d'alternatives, le GT fait les recommandations suivantes :

- Proposer des dispositifs permettant d'inciter et d'orienter les efforts en matière de développement (et de son financement) sur les solutions à forte efficacité, en favorisant les acteurs du secteur qui les développent (créateurs de variétés ou d'OAD, méthodes innovantes en prophylaxie) plutôt que vers des solutions peu performantes ou trop complexes à mettre en œuvre ;
- Accompagner les acteurs agricoles, agriculteurs en particulier, dans la transition par des mesures fortes, adaptées aux territoires et usages, et qui puissent faire l'objet d'un suivi dans le temps :
 - encourager et soutenir l'adoption d'alternatives présentant des bénéfices environnementaux et/ou sanitaires par rapport au cuivre et proscrire les alternatives plus (éco)toxiques ;
 - proposer des mesures d'accompagnement pour aider les utilisateurs à faire face au coût de transition dans le cadre de l'adoption d'alternatives moins efficaces que le cuivre d'un point de vue technico-économique sur le court terme mais dont l'efficacité pourrait s'améliorer avec l'expérience des agriculteurs sur le moyen et le long terme ;

- diffuser la connaissance concernant des alternatives (techniques ou variétés anciennes ou nouvellement développées) et former des agriculteurs sur l'utilisation à travers des réseaux (ex : Fermes DEPHY) pour favoriser leur adoption et leur maîtrise, ce qui permettrait de réduire le coût de la transition.
- Informer les acteurs (y compris les consommateurs) sur les bénéfices et les implications organisationnelles, environnementales et sanitaires de restrictions de l'utilisation du cuivre afin de faire évoluer leurs consentements à payer pour les produits agricoles qui pourraient être plus onéreux en cas de substitution du cuivre (du fait de la répercussion des surcoûts de protection des cultures sur le prix final) ;
- Développer des moyens de partage du risque de pertes liées à l'adoption des alternatives afin de pallier l'effet assurantiel des traitements au cuivre. Cela peut passer notamment par des systèmes d'assurance récolte, la mutualisation, des contrats pluriannuels entre producteurs et acheteurs, etc. ;
- Faire évoluer les accords interprofessionnels, les signes de qualité et les cahiers des charges adressés aux agriculteurs afin de développer des éventuelles marges de manœuvre pour favoriser l'acceptation des productions (issues des variétés résistantes en particulier) qui ne respecteraient pas les normes actuelles en matière de qualité et de niveau de rendement fixés ;
- Prévoir des mécanismes pour anticiper et contrôler les effets de distorsion de concurrence susceptibles d'impacter les filières françaises les plus vulnérables (de l'agriculture biologique en particulier) en raison des différences relatives aux restrictions d'utilisation du cuivre selon les pays partenaires commerciaux.

■ En matière de recherche

Le travail du GT a mis en évidence la nécessité de développer et de poursuivre des recherches sur un ensemble de points en lien avec le développement des alternatives et l'évaluation de leur performance. En ce sens, le GT fait les recommandations suivantes.

- Développer des modèles de prévision des risques pour permettre de mieux gérer les traitements avec des produits à base de substances moins efficaces que le cuivre contre les bioagresseurs ;
- Maintenir l'effort de soutien des travaux de recherche en matière d'alternatives, allant de la substitution jusqu'à la re-conception des systèmes (diversification des systèmes culturaux, rotation de cultures, développement de variétés résistantes aux ravageurs et maladies, etc.), sur un ensemble élargi de cultures y compris des cultures mineures avec des usages orphelins et tenant compte des situations où la pression sanitaire est très forte ou permanente (par exemple dans certains territoires d'Outre-mer) ;
- Développer des analyses de cycle de vie et de soutenabilité environnementale, économique et sociale des alternatives et des systèmes alternatifs de protection, au regard de celles concernant le cuivre lui-même ;
- Développer des travaux de modélisation prédictive, intégrant des scénarios climatiques pour analyser les effets potentiels de la substitution de pesticides tels que le cuivre sur la qualité de l'environnement et la productivité des sols à long terme ;
- Développer la recherche sur des approches systémiques de maîtrise des bioagresseurs et de l'évaluation des impacts socio-économiques, environnementaux et sanitaires associés aux choix des alternatives ;

- Développer la recherche sur les leviers territoriaux en considérant le territoire comme un « construit social » porteur d'organisations collectives capables de promouvoir les changements de pratiques ;
- Pérenniser les projets de recherche structurants, pluridisciplinaires et offrant une comparaison pertinente entre zones agroclimatiques en Europe.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

Le rapport 2022 de l'Anses sur la cartographie des utilisations du cuivre en agriculture en France avait mis en évidence une dépendance variable des cultures concernées par l'utilisation des produits cupriques, en termes de quantités de cuivre utilisées et de disponibilité d'alternatives pour substituer ces produits, tant en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle. Il concluait que des restrictions supplémentaires par rapport aux conditions actuellement autorisées d'utilisation de ces produits pourraient avoir des impacts socio-économiques différents selon les filières concernées. Or, de telles restrictions supplémentaires sont susceptibles d'intervenir à relativement court terme. D'une part, suite à l'approbation de la substance active « composés du cuivre » en 2018, l'Anses a procédé à la révision des conditions d'autorisation (dont les mesures de gestion des risques), des produits phytopharmaceutiques correspondants disposant d'une AMM pour le marché français, pour garantir la sécurité de ces produits au regard de points de préoccupation identifiés dans le règlement d'approbation de la substance active. D'autre part, la substance active « composés du cuivre » est candidate à la substitution¹⁷ et, à ce titre, fait l'objet d'une approbation plus courte dans le temps que les autres substances actives. La législation concernant l'utilisation des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre pourrait donc évoluer de nouveau à brève échéance, la date de fin d'approbation étant actuellement fixée à décembre 2025.

L'Anses s'est auto-saisie en date du 04 mars 2022 pour mener une analyse des impacts socio-économiques de la limitation ou du retrait des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre en agriculture sur laquelle porte le présent avis. La démarche d'analyse socio-économique a été engagée sur le sujet au vu du peu d'alternatives immédiatement disponibles dans les conditions actuelles de production, de la dépendance de certaines filières bien caractérisées dans le rapport de 2022 (Anses, 2022) et de l'intérêt de disposer d'une vision complète de la problématique. Les résultats de ce travail, sous forme d'un rapport associé au présent avis, permettent d'appréhender le contexte socio-économique de la substitution du cuivre par des alternatives chimiques et non-chimiques en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle en France.

L'Anses, sur la base des conclusions des évaluations des risques et de l'efficacité établies *produit par produit* pour chaque usage revendiqué par les demandeurs d'AMM, a pris des décisions qui, selon leur sens, favorable ou restrictif, sont de nature à avoir des conséquences, notamment économiques. Les décisions d'AMM de l'Anses sont fondées sur les conclusions d'évaluation des risques et de l'efficacité des produits. L'analyse socio-économique présentée dans le présent avis a permis de contextualiser le travail du décideur et d'alimenter celui du Comité de suivi (CS) des AMM chargé d'analyser des mesures de gestion des risques

¹⁷ Conformément à l'article 24 du règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.

envisagées dans les décisions, et qui, en accord avec son rôle défini par la réglementation, s'est prononcé sur la faisabilité de mise en œuvre des mesures de réduction des risques, notamment pour limiter l'écotoxicité et les atteintes environnementales.

Les décisions de l'Anses sur les demandes d'AMM pour divers produits cupriques devraient *in fine* préserver des usages importants pour les filières concernées. Toutefois, l'Anses rappelle que l'analyse socio-économique réalisée souligne la nécessité d'aller vers un changement de pratiques si le cuivre n'était plus utilisable ou d'utilisation fortement réduite, sauf à subir des impacts économiques significatifs pour certaines filières. Les présents travaux sont donc en ce sens également très utiles au-delà des décisions d'AMM de 2025, dans la mesure où toute nouvelle restriction dans ce cadre rendrait difficiles ou impossibles certains usages et donc impliquerait une dynamique forte à renforcer dès maintenant en faveur d'alternatives adaptées.

Enfin, au-delà de l'Anses et du CS AMM, les résultats de ces travaux sont également d'un intérêt plus général pour l'ensemble des parties intéressées.

L'Anses endosse les conclusions et recommandations du GT « impacts socio-économiques Cuivre » et du CES ASE relatives à cette expertise.

En premier lieu, l'Agence note les difficultés rencontrées pour mener une telle analyse (multiplicités de usages des produits phytosanitaires à base de cuivre, indisponibilité des données sur l'utilisation des alternatives, etc.), le caractère exploratoire de la démarche méthodologique déployée et l'intérêt des analyses qualitatives réalisées par le GT (cf. section 4.2 du rapport). Comme souligné par le GT, l'Anses interprète ces résultats basés sur des cas d'étude avec prudence et considère en particulier les résultats de l'évaluation technico-économique comme des ordres de grandeur tenant compte des hypothèses de travail du GT. Ces éléments permettent d'éclairer les débats relatifs à l'utilisation du cuivre en agriculture et de mettre en perspective les décisions rendues par l'Anses concernant les produits cupriques.

Sur la base des cas d'étude analysés, les conclusions du GT et du CES soulignent une dépendance variable au cuivre selon les cultures et modes de production, avec un enjeu de substitution particulièrement critique en agriculture biologique. Bien que les volumes globaux de cuivre utilisés soient plus faibles en agriculture biologique, la dose par hectare y est plus élevée qu'en agriculture conventionnelle. Des stratégies de diminution de la dose autorisée à 2kg/ha/an (sans possibilité de lissage) pourraient permettre le contrôle de certains bioagresseurs dans certaines configurations pour des cultures se situant déjà dans une dynamique de réduction de l'utilisation du cuivre sans perte de rendement et avec des surcoûts maîtrisés (ex : pomme de terre biologique). Cependant, ce n'est pas le cas pour toutes les cultures étudiées, ce qui montre la nécessité d'analyser l'option de substitution culture par culture et d'en intégrer toutes les spécificités.

L'Anses note que l'évaluation réalisée s'est placée dans un horizon temporel de choix de court terme et dans un objectif opérationnel du fait du calendrier de réexamen des AMM à échéance 2025. Cette perspective constitue une limite méthodologique que l'Anses appelle à dépasser pour pouvoir considérer des alternatives de moyen et long terme allant jusqu'à la re-conception des modèles agricoles et économiques actuels incluant des changements profonds, de façon à penser la substitution de manière plus systémique. Les approches systémiques plutôt que celles menées *alternative par alternative* s'avèrent aujourd'hui essentielles pour envisager des stratégies intégrées et viables à long terme.

L'Anses endosse également la conclusion du GT et du CES selon laquelle la substitution du cuivre pourrait avoir des bénéfices pour la santé et l'environnement du fait d'alternatives au

profil de danger et de risque favorables, en particulier les variétés résistantes, les méthodes prophylactiques et les méthodes physiques. L'Anses partage les recommandations du GT et du CES qui appellent à informer les différents acteurs (y compris les consommateurs) de ces bénéfices afin de favoriser l'adoption des alternatives à ces produits à travers un effort collectif.

Compte tenu des potentielles implications socio-économiques, agronomiques et organisationnelles de la substitution du cuivre, l'Anses souligne la nécessité de mettre en place un accompagnement technique et de conseil du secteur agricole, particulièrement en cas de restrictions supplémentaires par rapport aux conditions actuellement autorisées d'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre. En ce sens, l'Anses souligne les recommandations du GT et du CES en matière de politique publique et de recherche. Les efforts en matière de développement (et leur financement) doivent être maintenus et orientés vers les solutions à forte efficacité afin de lever certains freins à l'adoption des alternatives. Une attention particulière devrait être attribuée aux filières de l'agriculture biologique qui, sans accompagnement technique et financier pour favoriser l'adoption des alternatives, pourraient être tentées par une déconversion, ce qui irait à l'encontre de la dynamique du secteur et des objectifs de développement de l'agriculture biologique fixés au niveau national et européen.

Pr Benoît Vallet

MOTS-CLÉS

Agriculture, Alternatives chimiques et non-chimiques, Analyse socio-économique, Composés du cuivre, Evaluation technico-économique, Impacts, Scénario de substitution

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2025). Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'analyse des impacts socio-économiques de la limitation ou du retrait des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture. Saisine 2022-AUTO-0038. Maisons-Alfort : Anses, 27 p.



Analyse des impacts socio-économiques de la limitation ou du retrait des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture

Auto-saisine N° 2022-AUTO-0038

RAPPORT d'expertise collective

CES « Analyse Socio-économique »

GT « Impacts cuivre »

juin 2025

Citation suggérée

Anses. (2025). Analyse des impacts socio-économiques de la limitation ou du retrait des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture (saisine 2022-AUTO-0038). Maisons-Alfort : Anses, 225p.

Mots clés

Agriculture, Alternatives chimiques et non-chimiques, Analyse socio-économique, Composés du cuivre, Evaluation technico-économique, Impacts, Scénario de substitution

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.

GROUPE DE TRAVAIL

Présidence

Mme Maïder SAINT JEAN - Enseignante-Chercheuse (Université de Bordeaux) - Compétences : économie de l'innovation, économie industrielle, économie de l'environnement, transition sociotechnique.

Membres

Mme Adeline ALONSO UGAGLIA, Enseignante-Chercheuse (Bordeaux Sciences Agro) – Compétences : économie de l'innovation, économie agricole, impacts socio-économiques des changements de pratiques, performance et durabilité

M. Didier ANDRIVON – Directeur de Recherche INRAE, chercheur en pathologie végétale et santé des cultures – Compétences : Santé végétale, Protection intégrée des cultures, épidémiologie, pathologie végétale, agronomie.

M. Rémy BALLOT – Ingénieur de recherche INRAE - Compétences : Agronomie, Agroécologie, Systèmes de culture, Pratiques culturales, Aide à la décision publique, Évaluation multicritère, Scénarisation.

Mme Cécile CABASSON - Maître de conférences (Université de Bordeaux) – Compétences : Horticulture, fruit, bio-solution, sciences des plantes, statistique.

M. Alain CARPENTIER – Directeur de recherche INRAE – Compétences : analyse des systèmes de production agricole, politique agro-environnementale, usage d'intrants chimiques.

Mme Nathalie DELAME – Ingénieure de recherche INRAE – Compétences : Economie, exploitation agricole, revenu des ménages agricoles, statistiques publiques.

M. Laurent DELIERE, Ingénieur de recherche INRAE – Compétences : Viticulture, système de culture, gestion des bioagresseurs, méthodes alternatives, phytopathologie.

Mme Adélaïde FADHUILE-CREPY, Enseignante-Chercheuse (Université de Grenoble Alpes) – Compétences : Microéconométrie appliquée, évaluations de politiques publiques (ex ante et ex post)

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES Analyse socio-économique

Présidence

Mme Laura MAXIM – Chargée de recherche (CNRS) – Compétences : socio-économie, risques chimiques, incertitude.

Vice-Présidence

M Louis-Georges SOLER – Directeur scientifique adjoint (INRAE) – Compétences : économie des filières agricoles et agroalimentaires, politiques nutritionnelles.

Membres

Mme Bénédicte APOUEY – Chargée de recherche (CNRS - Ecole d'Economie de Paris) – Compétences : économie de la santé, inégalités sociales de santé.

M. Luc BAUMSTARK – Maître de conférence (Université Lyon2) – Compétences : économie publique, économie de l'environnement, économie de la santé, calcul économique public.

Mme Aurélie BINOT – Directrice adjointe de la Maison des Sciences de l'Homme Sud et chargée de recherche (Cirad) – Compétences : anthropologie, ethnologie, agronomie, approches « One Health » (à partir du 15/04/2024).

Céline BONNET – Directrice de recherche (INRAE) – Compétences : économie industrielle, analyse des politiques alimentaires et environnementales.

M. Thierry BRUNELLE – Chargée de recherche (Cirad) – Compétences : modélisation, usages des sols, sécurité alimentaire, biodiversité, changement climatique.

Mme France CAILLAVET – Directrice de recherche (INRAE) – Compétences : déterminants socio-économiques des décisions alimentaires, inégalités, analyse des politiques alimentaires.

M. Alain CARPENTIER – Directeur de recherche (INRAE) – Compétences : analyse des systèmes de production agricole, politique agro-environnementale, usage d'intrants chimiques.

M. Thomas COUTROT – Retraité – Compétences : statistiques du travail, évaluation économique, organisation du travail.

Mme Cécile DETANG-DESSENDRE – Directrice scientifique adjointe (INRAE) – Compétences : économie des espaces ruraux, marché du travail agricole.

M. Serge GARCIA – Directeur de recherche (INRAE) – Compétences : économie de l'environnement, économie des ressources naturelles, eau, forêt, services écosystémiques, politiques publiques environnementales.

M. Julien GAUTHEY – Chargé de mission Recherche (OFB) – Compétences : sociologie, socio-économie, biodiversité, agroécologie, économie circulaire, micropolluants.

Mme Emmanuelle LAVAINÉ – Enseignante-chercheuse (Université de Montpellier) – Compétences : économie appliquée en santé-environnement, évaluation des externalités environnementales de santé (jusqu'au 29 novembre 2023).

M. Marc LEANDRI – Maître de Conférences (Université Versailles-Saint Quentin) – Compétences : économie du risque et de l'information, économie de la pollution, services écosystémiques, développement durable.

Mme Christine LE CLAINCHE – Professeure des universités (Université de Lille) – Compétences : santé-travail, inégalités sociales de santé, prévention, équité et redistribution, l'économie comportementale.

M. Youenn LOHEAC – Enseignant-chercheur (CNRS, Université Rennes 1, Rennes School of Business) – Compétences : économie expérimentale et comportementale, analyse des comportements alimentaires.

M. Selim LOUAFI – Directeur adjoint (UMR AGAP- Cirad) – Compétences : sciences sociales, biodiversité, biotechnologies, développement durable, sécurité alimentaire, décision publique. (jusqu'au 12 janvier 2024).

M. Eric PLOTTU – Chercheur – Compétences : théorie de la décision, méthodologie d'évaluation et aide multicritère à la décision, approches participatives, évaluation socio-économique et environnementale de projets.

Mme Elodie ROUVIERE – Maître de Conférences (AgroParisTech) – Compétences : organisation industrielle, économétrie appliquée, filières agroalimentaires.

Mme Maïder SAINT JEAN – Enseignante-chercheuse (Université de Bordeaux) – Compétences : économie de l'innovation, économie industrielle, économie de l'environnement, transition sociotechnique.

M. Denis SALLES – Chargé de mission Retraité INRAE – Compétences : sociologie de l'environnement et de l'action publique, gestion des ressources en eau.

Mme Léa TARDIEU – Chargée de recherche (INRAE) – Compétences : Services écosystémiques, justice environnementale, biodiversité, analyses spatialisées.

M. Jean-Christophe VERGNAUD – Directeur adjoint (Centre d'économie de la Sorbonne - Ecole d'Economie de Paris) – Compétences : économie publique appliquée en santé-environnement, théorie de la décision, économie expérimentale, REACh.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M. Legrand SAINT-CYR, Chargé de projet Agroéconomie – Anses-Direction Sciences Sociales, Economie et Société (DISSES)

Mme Karine FIORE – Directrice Ajointe de la DISSES – Anses- Direction Sciences Sociales, Economie et Société (DISSES)

Contribution scientifique

Mme Laetitia PERRAULT - Coordinatrice activité chargés de filières - Anses-Direction des Autorisations de Mise sur le Marché - Unité de Décisions (DAMM-UD)

M. Jérôme LAVILLE - Adjoint au chef d'Unité des Décisions - Anses-Direction des Autorisations de Mise sur le Marché - Unité des Décisions (DAMM-UD)

M. Papa-Bouré NDIAYE, Stagiaire Master 2 (mars-septembre 2023) - Anses- Direction Sciences Sociales, Economie et Société (DISSES)

.....

Secrétariat administratif

Virginie SADE – Anses

AUDITIONS DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Arvalis - Institut du Végétal

- M. Denis GAUCHER - Ingénieur protection des cultures /pomme de terre
- M. Michel MARTIN– Ingénieur Agronomie, conservation et qualité de la pomme de terre

INRAE

- M. Arnaud LEMARQUAND - Directeur d'unité UE 449, Pays de Loire
- M. Laurent BRUN - Responsable d'expérimentation fruits à noyaux (abricotier), UERI Gotheron, Auvergne-Rhône-Alpes
- Mme Stéphanie DRUSCH - Responsable équipe maladie et qualité du pêcher, UERI Gotheron, Auvergne-Rhône-Alpes
- Mme Marie-Laure GREIL - Directrice de l'unité UEA 393, Bourran, Nouvelle Aquitaine
- Mme Delphine RACOFIER - UEA 393, Bourran, Nouvelle-Aquitaine
- M. Jose QUERO-GARCIA - UMR 1332 BFP, Nouvelle-Aquitaine
- Mme Aude ALAPHILIPPE - Responsable scientifique, UERI Gotheron, Auvergne-Rhône-Alpes

INVENIO

- Mme Marion TUQUET - Pôle Amélioration des techniques culturales, INVENIO

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations.....	10
Liste des tableaux	12
Liste des figures.....	14
Liste des encadrés	15
Glossaire.....	16
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	19
1.1 Contexte	19
1.2 Objet de l'auto-saisine	22
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	22
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	22
2 Introduction générale	24
3 Méthodologie de l'expertise.....	28
3.1 Démarche générale	28
3.2 Identification des usages du cuivre et des cas d'étude	31
3.2.1 Définition du périmètre de l'étude et usages d'intérêt.....	31
3.2.2 Sélection des cas d'étude	33
3.2.3 Liste des cas d'étude retenus	37
3.3 Identification des alternatives chimiques et non chimiques au cuivre	39
3.3.1 Principes généraux de la démarche adoptée	40
3.4 Construction des scénarios de substitution du cuivre.....	59
3.4.1 Définition des scénarios de limitations d'usage ou de retrait du cuivre.....	59
3.4.2 Scénarios de substitution pour la vigne.....	60
3.4.3 Scénarios de substitution pour la pomme de terre biologique	61
3.4.4 Scénarios de substitution pour le pommier	63
3.5 Méthode d'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre	65
3.5.1 Définition des indicateurs technico-économiques.....	65
3.5.2 Hypothèses de travail adoptées pour l'évaluation technico-économique du retrait du cuivre	69
3.5.3 Données mobilisées	70
3.5.4 Méthodes de calcul pour l'estimation de l'efficacité technico-économique	75
3.6 Méthode d'analyse qualitative des implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre	76
4 Impacts technico-économiques et implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre.....	78

4.1	Résultats de l'évaluation des impacts technico-économiques	78
4.1.1	Cas de la pomme de terre biologique	78
4.1.2	Cas de la vigne	84
4.1.3	Cas de la pomiculture	100
4.2	Implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre	113
4.2.1	Implications sur l'organisation du travail et sur les filières concernées des alternatives évaluées	113
4.2.2	Implications agronomiques des stratégies de lutte alternative sur la gestion de résistances des bioagresseurs et des hôtes	117
4.2.3	Implications sanitaires et environnementales des alternatives évaluées	119
5	Analyse des freins et leviers à l'adoption des alternatives au cuivre	124
5.1	Méthode	124
5.1.1	Critères de recherche	124
5.1.2	Sources bibliographiques	125
5.2	Résultats de la revue de littérature	125
5.2.1	Les enseignements de l'ESCo INRAE-ITAB (2018)	125
5.2.2	Freins et leviers au déploiement des variétés résistantes	128
5.2.3	Freins et leviers à l'adoption des produits de biocontrôle	133
5.2.4	Freins et leviers à l'adoption de pratiques culturales alternatives au cuivre	135
6	Discussion : portée, incertitudes et limites de l'analyse	139
6.1	Périmètre d'étude	142
6.2	Alternatives étudiées	144
6.3	Scénarios évalués	147
6.4	Choix méthodologiques d'évaluation	148
6.5	Questions autour de la dynamique de la politique mise en œuvre	149
7	Conclusions et recommandations du GT	150
7.1	Principales conclusions du GT	152
7.2	Recommandations du GT	157
7.2.1	En matière de données et méthodes nécessaires pour l'évaluation des impacts socio-économiques	158
7.2.2	En matière de politiques publiques	159
7.2.3	En matière de recherche	160
8	Bibliographie	161
8.1	Publications	161
8.2	Normes	167
8.3	Législation et réglementation	167

Annexe 1 : Auto-saisine	169
Annexe 2 : Nombre de produits phytopharmaceutiques à base de cuivre par usage professionnel autorisés au 28 avril 2023 (date de l'extraction des données sur le site E-phy)	172
Annexe 3 : Classement des cultures/groupes de cultures (usages) sur la base des critères de hiérarchisation établis par le GT	175
Annexe 4 : Liste des alternatives identifiées pour la substitution du cuivre contre le mildiou de la vigne	179
Annexe 5 : Liste des alternatives identifiées pour la substitution du cuivre contre le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique	183
Annexe 6 : Liste des alternatives identifiées pour la substitution du cuivre contre la tavelure du pommier	185
Annexe 7 : Liste des experts extérieurs au GT ayant participé à l'éllicitation de dire d'experts pour le mildiou de la vigne	187
Annexe 8 : Liste des experts extérieurs au GT sollicités pour participer à l'éllicitation de dire d'experts pour la tavelure du pommier	188
Annexe 9 : Questionnaire de l'éllicitation des dire d'experts pour le mildiou de la vigne	189
Annexe 10 : Questionnaire de l'éllicitation des dire d'experts pour la tavelure du pommier	194
Annexe 11 : Données utilisées pour le calcul des coûts en pomiculture	203
Annexe 12a : Analyse de sensibilité des pertes de rendement en culture de pomme de terre considérant une variation des pertes de rendement de moins 10 % pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de moins 20 % pour le scénario « zéro cuivre »	204
Annexe 12b : Analyse de sensibilité des pertes de rendement en culture de pomme de terre considérant une variation des pertes de rendement de plus 10 % pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de plus 20 % pour le scénario « zéro cuivre »	206
Annexe 13 : Pertes économiques liées à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en viticulture	208
Annexe 14 : Classement des composés de cuivre et des alternatives évaluées selon leur (éco)toxicité	216
Annexe 15 : Liste des articles cités par l'ESCo INRAE-ITAB (2018) pour l'analyse des freins et leviers	222
Annexe 16 : Listes des usages orphelins pour le cuivre selon le comité des usages orphelins (CUO) du Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire	224

Sigles et abréviations

AB	: Agriculture biologique
AC	: Agriculture conventionnelle
ACTA	: Association de Coordination Technique Agricole
APCA	: Assemblée permanente des Chambres d'agriculture
AMM	: Autorisation de mise sur le marché
AOP	: Appellation d'origine protégée
ASE	: Analyse socio-économique
AST	: Appui scientifique et technique
BCMA	: Bureau de coordination du machinisme agricole
BSV	: Bulletin de santé du végétal
CE	: Commission européenne
CES	: Comité d'experts spécialisé
CMR	: Cancérogène, mutagène et reprotoxique
CSP	: Code de la santé publique
CTIFL	: Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
CUO	: Commission des usages orphelins
DGAI	: Direction générale de l'alimentation
DAMM	: Direction des Autorisations de Mise sur le Marché
DEPR	: Direction de l'Evaluation des Produits Réglementés
DGS	: Direction générale de la santé
Efsa	: Autorité européenne de sécurité sanitaire des aliments
ESCO	: Expertise Scientifique Collective
FNAB	: Fédération Nationale de l'Agriculture Biologique
GRAB	: Groupe de Recherche en Agriculture Biologique
GT	: Groupe de travail
IBS	: Inhibiteur de la biosynthèse des stéroïdes
IFT	: Indicateur de Fréquence de Traitements
IFV	: Institut Français du Vin
IGP	: Indication géographique protégée
INRAE	: Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

ITAB	: Institut de l'agriculture et de l'alimentation biologiques
MASA	: Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire
MFSC	: Matières fertilisantes et supports de culture
OAD	: Outil d'aide à la décision
PPP	: Produit phytopharmaceutique
QTL	: Quantitative Trait Locus (Loci)
RA	: Recensement agricole
SAA	: Statistique agricole annuelle
SAU	: Surface agricole utile
SN	: Substance naturelle
SDP	: Stimulateur des défenses des plantes
UE	: Union européenne

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des critères d'appréciation des alternatives et scores de notation	47
Tableau 2 : Classement des alternatives pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique	49
Tableau 3 : Classement des alternatives pour lutter contre le mildiou de la vigne	53
Tableau 4 : Classement des alternatives pour lutter contre la tavelure du pommier	56
Tableau 5 : Scénarios de réduction/retrait du cuivre en viticulture contre le mildiou	61
Tableau 6 : Scénarios de réduction/retrait du cuivre pour la pomme de terre biologique contre le mildiou	63
Tableau 7 : Scénarios de réduction/retrait du cuivre en pomiculture contre la tavelure.....	65
Tableau 8 : Coûts par type de produits utilisés contre le mildiou en viticulture AB et AC et contre la tavelure en pomiculture AB et AC	74
Tableau 9 : Coûts pour mesures prophylactiques et physiques contre la tavelure en pomiculture AB et AC	74
Tableau 10 : Pertes de rendement (tonnes/hectare) estimées en culture de pomme de terre biologique selon les scénarios.....	79
Tableau 11 : Estimation des coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en culture de pomme de terre biologique selon les scénarios de substitution	80
Tableau 12 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en culture de pomme de terre biologique (dans le cas d'un prix de vente de la pomme de terre de 800€/tonne).....	81
Tableau 13 : Statistiques des réponses des experts en viticulture AB pour la zone atlantique	85
Tableau 14 : Statistiques des réponses des experts en viticulture conventionnelle pour la zone atlantique	86
Tableau 15 : Statistiques des réponses des experts en viticulture AB pour la zone méditerranéenne	87
Tableau 16 : Statistiques des réponses des experts en viticulture conventionnelle pour la zone méditerranéenne	88
Tableau 17 : Pertes de rendement estimées en viticulture AB selon les scénarios (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha) et les zones de production	91
Tableau 18 : Pertes de rendement estimées en viticulture conventionnelle selon les scénarios (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha) et les zones de production.....	91
Tableau 19 : Coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en viticulture AB selon les scénarios de substitution et les zones de production (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha)	93
Tableau 20 : Coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en viticulture conventionnelle selon les scénarios de substitution et les zones de production (cas d'un rendement objectif de 50hl/ha)	94

Tableau 21 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en vigne AB (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha et prix de vente de 5 €/bouteille)	96
Tableau 22 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en viticulture conventionnelle (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha et prix de vente de 5 €/bouteille).....	97
Tableau 23 : Statistiques des réponses des experts en pomiculture AB.....	101
Tableau 24 : Statistiques des réponses des experts en pomiculture conventionnelle	102
Tableau 25 : Pertes de rendement estimées en pomiculture conventionnelle (AC) selon les scénarios.....	104
Tableau 26 : Pertes de rendement estimées en pomiculture biologique (AB) selon les scénarios.....	104
Tableau 27 : Estimation des coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre la tavelure en pomiculture AC selon les scénarios de substitution	106
Tableau 28 : Estimation des coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre la tavelure en pomiculture AB selon les scénarios de substitution	107
Tableau 29 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas de la tavelure en pomiculture conventionnelle	108
Tableau 30 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas de la tavelure en pomiculture biologique	108
Tableau 31 : Prise en compte des incertitudes	140

Liste des figures

Figure 1 : Démarche du GT pour la réalisation de l'expertise	28
Figure 2 : Les 9 critères de dépendance au cuivre retenus par le GT	34
Figure 3 : Critères d'appréciation des alternatives retenues par le GT.....	45
Figure 4 : Schéma résumant les notions de rendement utilisées dans le rapport	66
Figure 5 : Écart de marge sur coût de protection par rapport au scénario « actuel » pour la viticulture AB (orange) et conventionnelle (mauve) selon les scénarios de substitution	95
Figure 6 : Freins et leviers au déploiement de systèmes économes ou sans cuivre identifiés dans l'ESCo INRAE-ITAB (2018)	127

Liste des encadrés

Encadré 1 : Périmètre de l'horticulture.....	32
Encadré 2 : Calcul du nombre d'exploitations et de la surface agricole pour les cultures concernées par l'utilisation du cuivre.....	36
Encadré 3 : La tavelure du pommier.....	38

Glossaire

Agriculture biologique

L'agriculture biologique est entendue dans ce rapport comme l'agriculture respectant le règlement (UE) 2018/848 du parlement européen et du conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques (label AB).

Alternative

Toute méthode (chimique ou non chimique) ou substance ou combinaison de méthodes/substances permettant de réduire ou d'éviter l'emploi de la substance (cuivre) pour une fonction ou un usage donné.

Culture majeure

Une culture est majeure si « la consommation de la denrée produite est supérieure à 7,5 g par personne et par jour ET si la surface cultivée est > 20 000 ha et/ou la production annuelle est > 400 000 t, OU si la surface cultivée est > 20 000 ha et la production annuelle est > 400 000 t » (Commission européenne)¹.

Durabilité de l'efficacité d'une alternative

La durabilité de l'efficacité de l'alternative tient compte du risque d'apparition de résistance ou de contournement du mécanisme de régulation des organismes nuisibles (Anses 2018, TOME 1).

Groupe de cultures

Plusieurs cultures faisant partie d'une même famille et pour lesquelles est identifié un même usage de produits phytosanitaires à base de cuivre.

Magnitude de l'efficacité d'une alternative

Capacité de l'alternative à réduire l'intensité et/ou la fréquence des dégâts infligés par les organismes nuisibles à la culture ciblée (Anses 2018, TOME 1).

Mésusages

Utilisation de produits de façon détournée pour réaliser des traitements phytosanitaires (ex : engrais foliaires).

Opérationnalité d'une alternative

L'opérationnalité de l'alternative considère le niveau de disponibilité d'une technique en fonction de sa mise au point, de sa validation au champ et éventuellement de son autorisation de mise sur le marché (AMM) ou de son inscription aux Catalogues des variétés dans le cas de la lutte génétique (Anses 2018, TOME 1).

¹ [CGAAER - Valoriser le dispositif de gestion des usages orphelins](#)

Produit phytosanitaire ou phytopharmaceutique (PPP)

Produit à base de la substance active (cuivre) utilisable en agriculture (biologique et/ou conventionnelle) dotée d'une autorisation de mise sur le marché. Ce rapport utilise indifféremment les deux termes sachant que le terme « phytopharmaceutique » est le terme consacré dans la réglementation.

Praticité de la mise en œuvre d'une alternative

La praticité de la mise en œuvre indique la facilité de mise en œuvre de l'alternative, en fonction notamment du matériel, du nombre de traitements ou d'interventions, du temps de travail et de la technicité nécessaires (Anses 2018, TOME 1).

Rendement actuel

Le rendement actuel correspond au rendement obtenu dans la situation actuelle avec utilisation des produits de synthèse ou non pour prévenir ou traiter une épidémie.

Rendement de référence

Le rendement de référence correspond à un rendement théorique qui pourrait être obtenu en l'absence d'épidémie et donc de dommage (et donc ne nécessitant pas de protection). En viticulture, compte-tenu de l'écrêtement des rendements dans les cahiers des charges des indications géographiques (AOP, IGP), le rendement de référence est ici nommé « **rendement objectif** » et correspond au rendement maximum qu'il est possible de produire dans le cadre du cahier des charges.

Rendement du scénario alternatif

Le rendement du scénario alternatif correspond au rendement obtenu dans la situation dans laquelle des combinaisons d'alternatives au cuivre sont mobilisées pour prévenir ou traiter une épidémie.

Rendement sans protection

Le rendement sans protection correspond quant à lui au rendement en présence d'épidémie alors qu'aucune protection n'est appliquée sur les cultures.

Substance pivot

Une substance est dite « pivot » si elle est la seule autorisée pour un usage donné, ou bien si les autres substances actives autorisées n'apportent pas de protection jugée suffisante.

Substitution

Remplacement (partiel ou total) d'une substance par une méthode (chimique ou non chimique) ou substance ou une combinaison de méthodes/substances permettant de réduire ou d'éviter l'emploi de la substance pour une fonction ou un usage donné.

Usage d'un produit phytosanitaire

Il s'agit du triplet composé du nom de la culture, de la partie traitée de la plante et de la maladie (ou ravageur ou adventice...) cible (culture*partie traitée*maladie cible).

Usage majeur / usage mineur

Pour une culture ou un groupe de cultures, les usages peuvent être majeurs ou mineurs. Cette information figure dans le Catalogue national des produits phytopharmaceutiques (Instruction technique DGAL/SDSPV/2023-508 du 03/08/2023). Un usage majeur est défini par opposition au terme « usage mineur ». Selon le catalogue national des produits phytopharmaceutiques, *« un usage est considéré comme mineur lorsqu'il est de faible importance, de surface limitée par rapport à la couverture de la culture ou ayant un caractère aléatoire (fréquence d'apparition et importance de la maladie concernée par l'usage) »*.

Usages orphelins

Sont considérés orphelins les usages pour lesquels le cuivre est considéré en tant que substance « pivot » (CGAAER n° 17080, 2021).

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

La présente auto-saisine fait suite à un travail mené lors d'une première auto-saisine visant à cartographier les utilisations des produits phytopharmaceutiques² cupriques dans l'agriculture en France (ANSES, 2022). Cette étude initiale visait à la fois à fournir des éléments de contexte sur les pratiques agricoles actuelles, sur la forte variabilité d'utilisation du cuivre entre les régions et entre les cultures ou systèmes de production et sur la dépendance des filières aux produits cupriques, mais aussi à identifier les filières qui pourraient être impactées par une évolution des contraintes réglementaires et les décisions d'autorisation de mise sur le marché (AMM) prises sur ces produits.

En effet, le cuivre, très utilisé en agriculture pour ses propriétés fongicides et bactéricides contre certaines maladies des plantes, est une substance qui présente des risques pour l'environnement et dans une certaine mesure aussi, pour la santé humaine. Il existe une littérature abondante sur les dangers et les risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre. Le travail réalisé dans ce rapport a pris comme point de départ les conclusions de ces travaux sans analyse de leur portée ou de leur pertinence. L'évaluation des impacts sur l'environnement ou la santé humaine des usages du cuivre ne relève pas des objectifs de l'auto-saisine (cf. section 1.2) et des compétences des experts qui étaient en charge de cette expertise.

Il a ainsi été établi par les travaux sur le sujet que les composés à base de cuivre satisfont à la condition définie à l'annexe II, point 4, deuxième tiret³, du règlement (CE) no 1107/2009 puisqu'ils remplissent deux des trois critères « PBT » (persistant/bioaccumulable/toxique), à savoir la persistance (P) et la toxicité (T) pour l'environnement⁴, en particulier pour les organismes aquatiques. Le cuivre peut par ailleurs présenter des propriétés toxiques pour les plantes (phytotoxicité⁵). L'accumulation de cuivre dans les sols et sa persistance est néfaste pour la biodiversité des sols (Karimi et al., 2021a). Selon l'INERIS, le cuivre migre peu en profondeur, sauf dans des conditions particulières de drainage ou en milieu très acide » (INERIS, 2019). Dans ces conditions, le risque de contamination des eaux souterraines pourrait augmenter. Le rapport de l'INERIS souligne également que le principal émetteur de cuivre vers le sol est l'agriculture (plus de 70 %) (INERIS, 2019).

Ces travaux rappellent que le cuivre est un oligoélément essentiel pour les êtres vivants. Il intervient dans de nombreux systèmes enzymatiques, la transcription des gènes et dans le bon fonctionnement du système immunitaire. Chez l'homme, le rapport d'évaluation des risques de la Commission Européenne de 2016 souligne que « le cuivre ne s'accumule pas dans les organismes, sauf en cas d'anomalies génétiques comme la maladie de Wilson ou lors d'une administration chronique à doses anormalement élevées (60 mg par personne et

² Ce rapport utilise les deux termes « phytopharmaceutique » et « phytosanitaire » indifféremment sachant que le terme « phytopharmaceutique » est le terme consacré dans la réglementation (cf. glossaire).

³ [Règlement \(CE\) no 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil](#)

⁴ [Règlement d'exécution - 2015/408 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

⁵ [Réseau d'avertissements phytosanitaires – Bulletin d'information No 01 – Pommier – 26 avril 2013](#)

par jour) où il s'accumule dans le foie » (RAR, 2016, cité par INERIS, 2019). Le cuivre peut présenter des propriétés cytotoxiques pour la santé humaine (notamment rappelées dans le rapport Santé publique France⁶, 2021). Certains composés du cuivre sont par ailleurs classés toxiques aigus par voie orale⁷ (cf. Annexe 14).

En termes d'exposition de la population générale, l'étude Esteban de Santé Publique France a permis de décrire l'imprégnation de la population française par le cuivre (2014-2016). Un des résultats de cette étude est la tendance à l'augmentation des concentrations urinaires en cuivre chez les participants ayant une consommation très fréquente (tous les jours ou presque) d'aliments issus de l'agriculture biologique (AB) par rapport à des participants qui n'en consomment jamais ou moins d'une fois par mois (Fillol et al., 2021). Cette tendance est observée chez les enfants avec la consommation de légumes AB (+8,3 % [1,0 %; 16,2 %]) et chez les adultes avec la consommation de céréales AB (+8,4 % [-2,1 %; 20,0 %]) ; elle reste toutefois à consolider compte-tenu des effectifs et intervalles de confiance observés, qui indiquent une variabilité très importante (Fillol et al., 2021).

De plus, les conclusions de l'évaluation publiées par l'Autorité européenne de sécurité sanitaire des aliments (EFSA) en 2018⁸ dans le cadre de la procédure de renouvellement de l'approbation de la substance active « composés de cuivre », présentent l'évaluation des risques (pour la santé et pour l'environnement) associés à l'exposition aux produits phytopharmaceutiques à base de la substance « composés de cuivre ». Sur la base des informations disponibles et pour les usages évalués au niveau européen, l'EFSA identifie des risques pour les organismes de l'environnement pour les usages sur la vigne, les cucurbitacées et les tomates, ainsi que pour la santé des travailleurs pour l'usage vigne (EFSA, 2018).

Enfin, dans son avis de 2023⁹, l'EFSA a réalisé une évaluation affinée de l'exposition alimentaire au cuivre, évaluant la contribution des sources alimentaires et non alimentaires. Il conclut que les niveaux de bruit de fond du cuivre constituent une source importante de l'exposition. La contribution du cuivre provenant de son utilisation comme produit phytosanitaire, additif pour l'alimentation humaine et animale ou engrais est négligeable. L'utilisation de cuivre dans les engrais ou les produits phytosanitaires contribue en revanche à l'accumulation de cuivre dans le sol (EFSA, 2023).

Bien que l'approbation du cuivre en tant que substance active ait été renouvelée par le règlement d'exécution (UE) n° 2018/1981, elle n'est valable que pour une période de 7 ans allant du 1^{er} décembre 2019 au 31 décembre 2025 : le cuivre étant approuvé en tant que substance active candidate à la substitution, conformément à l'article 24 du règlement (CE) n° 1107/2009, du fait de ses propriétés persistantes et toxiques pour l'environnement. Durant la période d'approbation en cours, le règlement d'exécution européen impose de restreindre la quantité totale de cuivre applicable sur les 7 années à un maximum de 28 kg de cuivre métal par hectare (ha), quelle que soit la finalité phytosanitaire de l'utilisation. Le règlement d'exécution prévoit également que les États membres de l'Union Européenne puissent fixer un taux d'application maximal de cuivre de 4 kg/ha/an au niveau national. Désormais, les

⁶ [Imprégnation de la population française par le cuivre. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016 \(santepubliquefrance.fr\)](https://www.santepubliquefrance.fr/fr/actualites/2021/06/01/impregnation-de-la-population-francaise-par-le-cuivre)

⁷ [Base de données AGRITOX](#)

⁸ [Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance copper compounds copper\(I\), copper\(II\) variants namely copper hydroxide, copper oxychloride, tribasic copper sulfate, copper\(I\) oxide, Bordeaux mixture](#)

⁹ [Re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources | EFSA \(europa.eu\)](#)

conditions d'utilisation du cuivre sont les mêmes en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle ; elles sont précisées dans les AMM des produits phytopharmaceutiques concernés.

En résumé, il s'agit d'utiliser, selon les produits et dans l'attente du réexamen des demandes d'autorisation de ces produits, soit une quantité maximale de 4 kg/ha/an, soit une quantité maximale de 28 kg sur une période de 7 ans (ce qu'on appelle le « lissage interannuel¹⁰ ») (cf. note DGAI¹¹). Suite au renouvellement de l'approbation de la substance active cuivre, le Ministère chargé de l'agriculture en collaboration avec les administrations compétentes et les acteurs de la recherche et du développement (INRAE, ACTA, ITAB, APCA, FNAB) a présenté en 2019 une feuille de route pour la diminution de l'utilisation du cuivre en agriculture¹².

Parce qu'ils contiennent une substance active candidate à la substitution, tous les produits cupriques doivent par ailleurs faire l'objet d'une évaluation comparative pour chaque usage dans le cadre du réexamen des demandes d'AMM, conformément aux exigences de l'article 50 ainsi que des annexes II (point 4) et IV du règlement (CE) n°1107/2009. Cette évaluation comparative a notamment pour but d'examiner les possibilités de substitution au regard des critères du paragraphe 1 de ce même article.

Il découle de ces exigences réglementaires et des possibilités d'évolution de la réglementation sur les conditions d'utilisation du cuivre pour les traitements phytosanitaires dans les prochaines années un certain nombre d'implications pour certains usages du cuivre en agriculture :

- L'agriculture biologique (entendue dans ce rapport comme l'agriculture respectant le cahier des charges pour le label AB, cf. glossaire) est *a priori* plus directement concernée par les utilisations du cuivre (parts de surface, doses moyennes et nombre de traitements), même si, en tonnage, l'agriculture conventionnelle est plus utilisatrice (Anses, 2022) ;
- Une disparité des effets du retrait (total ou partiel) du cuivre est attendue en raison d'une part, des différences structurelles dans les utilisations du cuivre entre les filières, les cultures et les zones géographiques, d'autre part, d'une variabilité conjoncturelle fonction des conditions locales météorologiques qui déterminent largement la pression sanitaire s'exerçant sur les cultures et par suite le recours ponctuel et tactique au cuivre ;
- La réduction ou la fin éventuelle de l'utilisation du cuivre est conditionnée par l'existence ou non d'alternatives pour le remplacer, ce qui varie selon les cultures. Lorsque des alternatives aux produits cupriques existent, elles demeurent à ce jour peu utilisées du fait de leur disponibilité réduite à niveau de protection comparable au cuivre, des contraintes liées aux coûts de mise en œuvre de ces alternatives dans les

¹⁰ Depuis le 1er janvier 2019, « seules les utilisations entraînant une application totale maximale de 28 kg de cuivre par hectare sur une période de sept ans sont autorisées ». « Lors de leur évaluation générale, les États membres accordent une attention particulière à la quantité de substance active appliquée [...]. Les États membres peuvent en particulier décider de fixer un taux d'application maximal annuel ne dépassant pas 4 kg/ha de cuivre. » (Source : Règlement d'exécution (UE) 2018/1981 de la commission du 13 décembre 2018).

¹¹ Cf. Message d'information "Plafond annuel des doses d'application des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre, 13 octobre 2023. https://lot.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/070_Inst-Lot/Documents/Arborescence/Productions_techniques/Viticulture/Protection/2024/Message_d_information_cuivre.pdf

¹² [Feuille de route pour la diminution de l'utilisation du cuivre en agriculture | Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire](#)

conditions actuelles du modèle agricole en France et en Europe et parfois d'un accès limité au marché des produits agricoles.

Compte tenu de ces premiers éléments, la question des impacts socio-économiques d'une évolution de la réglementation des utilisations du cuivre se pose avec acuité, certains impacts pouvant être non significatifs selon les filières et les modes de production concernés.

1.2 Objet de l'auto-saisine

La présente auto-saisine porte sur l'analyse des impacts socio-économiques d'une éventuelle limitation ou d'une interdiction de l'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture biologique et conventionnelle en France hexagonale. Trois objectifs sont visés :

- construire des scénarios de limitation de l'utilisation du cuivre pour les principaux usages concernés, par culture et par mode de production, en tenant compte de la possibilité d'adoption d'alternatives chimiques et non chimiques spécifiques à chaque filière (question Q1 de l'auto-saisine) ;
- documenter, analyser et évaluer les impacts socio-économiques sur les filières agricoles concernées par les différents scénarios de substitution ainsi construits (sur l'organisation de l'activité agricole, le revenu, l'emploi, etc.) (question Q2 de l'auto-saisine) ;
- documenter et analyser les freins et leviers à l'adoption des alternatives identifiées et les changements de pratiques agricoles nécessaires (question Q3 de l'auto-saisine).

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail (GT) « impacts cuivre », rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « analyse socio-économique » (ASE) l'instruction de cette auto-saisine. Ce GT est un collectif d'experts aux compétences diversifiées et complémentaires (protection des végétaux, agronomie, économie).

Les travaux d'expertise conduits au sein du GT relèvent des domaines de compétences du CES « Analyse Socio-économique » (ASE) et du CES « Risques biologiques pour la santé des végétaux » (SANTVEG). Le CES ASE a été chargé de la validation des travaux de l'expertise. Les travaux d'expertise du groupe de travail ont donc été soumis régulièrement au CES ASE (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Les travaux ont également été présentés au CES SANTVEG. Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres de ces CES. Les travaux ont été adoptés par le CES ASE réuni le 10 septembre 2024.

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) ».

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses a analysé les liens d'intérêts déclarés par les experts du groupe de travail 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 du groupe de travail sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

2 Introduction générale

Il n'est pas possible de traiter la question de l'impact du retrait éventuel du cuivre, composant de produits phytosanitaires, sans se référer aux enjeux associés à la problématique de réduction de l'usage des pesticides dans le secteur agricole. En effet, si le cuivre n'est qu'un cas particulier de cette problématique générale, il présente nombre de spécificités qui rendent son analyse à la fois singulière et emblématique.

Une source de tension commune aux différentes études menées dans ce champ d'investigation est la non-disponibilité, immédiate et à coût moindre ou équivalent, d'alternatives moins dangereuses pour l'environnement et/ou la santé humaine, et tout aussi efficaces pour lutter contre la maladie ciblée dans les conditions actuelles du modèle agricole. Par ailleurs, le cuivre présente un certain nombre de caractéristiques spécifiques qui le rendent stratégique pour certaines filières, et dont la limitation ou le retrait éventuel représente un sujet sensible :

- le cuivre est une substance d'origine minérale, connue depuis longtemps (il a été utilisé dès le début du 19^{ème} siècle, selon l'Institut Français de la Vigne et du Vin)¹³ pour son efficacité contre plusieurs maladies parmi les plus destructrices en France, telles que le mildiou de la vigne (*Peronospora viticola*) ou celui de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*). Ceci a conduit le cuivre à s'ancrer dans les routines de nombreux agriculteurs professionnels, mais aussi des jardiniers amateurs, pour traiter leurs cultures, en amont ou au cours d'une épidémie déjà déclarée pour contrôler sa propagation à des plantes saines voisines. Pour certains agriculteurs ayant une forte aversion au risque, l'utilisation du cuivre est une forme d'assurance leur permettant de « garantir » un certain niveau de rendement ;
- le cuivre est une substance active multi-site (c'est-à-dire interagissant avec plusieurs molécules ou fonctions-clés des organismes cibles), ce qui lui confère à la fois une assez grande polyvalence d'utilisation (de nombreux microbes pathogènes, appartenant aux champignons, aux oomycètes et aux bactéries, y sont sensibles) et un profil peu risqué de voir apparaître des résistances chez les pathogènes visés (même s'il existe quelques cas documentés d'apparitions de souches pathogènes résistantes - Fan *et al.*, 2022) ;
- le cuivre est une substance multi-usage¹⁴, employée – à des degrés divers – dans une grande variété de productions (vigne, pomme de terre, fruits et légumes, etc.) annuelles ou pérennes. Le cuivre est donc une substance à la fois commune en agriculture, mais aussi pivot¹⁵ dans les systèmes de protection chimique de nombreuses cultures ;
- le cuivre est l'un des principaux fongicides utilisables en agriculture biologique actuellement, et un complément utile en agriculture conventionnelle aux côtés d'autres fongicides de synthèse. Ceci lui confère une particularité par rapport à de nombreux autres produits issus de la chimie, pour lesquels la question du retrait ou des limitations d'emploi ne concerne que l'agriculture conventionnelle.

En dépit de son utilité avérée pour la protection des cultures, l'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture est controversée. Le statut controversé du

¹³ [Le cuivre en viticulture - Institut Français de la Vigne et du Vin](#)

¹⁴ Usage au sens du triplet « culture*partie traitée*maladie visée », cf. Catalogue des usages phytopharmaceutiques.

¹⁵ Au sens du Comité des usages orphelins de la MASA (cf. Glossaire)

cuivre (qui est, pour rappel, une substance active candidate à la substitution) tient essentiellement à son écotoxicité et aux doses élevées qui sont appliquées pour obtenir une efficacité suffisante (Imfeld et al., 2021 ; Karimi et al., 2021b)¹⁶. Le cuivre est en effet un élément écotoxique et persistant dans les sols, qui impacte durablement à la fois la microflore et la faune des sols traités. Le lessivage des produits appliqués vers les cours d'eau entraîne également des effets délétères sur la biodiversité aquatique. C'est la raison principale pour laquelle certains pays nord-européens, comme les Pays-Bas ou le Danemark, ont interdit tout usage phytosanitaire du cuivre, en agriculture conventionnelle comme en agriculture biologique (Tamm et al., 2022). Comme indiqué dans la section 1.1., le cuivre peut également présenter des propriétés toxiques pour la santé humaine (propriétés cytotoxiques notamment) et s'accumuler dans l'organisme en cas d'anomalies génétiques ou lors d'une administration chronique à doses élevées et certains composés du cuivre sont classés toxiques aigus par voie orale (cf. annexe 14).

La possible évolution de la réglementation dans un sens plus strict¹⁷ sur les conditions d'utilisation du cuivre comme produit phytopharmaceutique, si elle est d'abord motivée par des enjeux environnementaux, s'accompagne nécessairement d'impacts de nature socio-économique qui soulèvent un ensemble de questions à court terme (horizon temporel dans lequel se place le GT compte tenu du calendrier de réexamen des demandes d'AMM pour le cuivre fixé à fin 2025) :

- L'agriculture biologique ne risque-t-elle pas d'être démunie pour lutter contre les maladies ciblées en cas de retrait du cuivre dans les conditions actuelles du modèle agricole, renforçant les difficultés techniques auxquelles ce mode de production est actuellement confronté ou remettant en cause la dynamique de conversion vers l'agriculture biologique, pouvant aller jusqu'à des dé-conversions ?
- L'agriculture conventionnelle ne risque-t-elle pas de se reporter sur d'autres fongicides de synthèse autorisés mais caractérisés par des profils de toxicité/écotoxicité peu favorables, ou des risques élevés de développement de résistances chez les bioagresseurs visés qui rendraient ces solutions très peu soutenables ?
- Peut-on s'attendre à une multiplication des cas de mésusage du cuivre, par exemple *via* des usages disproportionnés des produits cupriques commercialisés en tant que MFSC (matières fertilisantes et supports de culture) qui ne sont pas concernées par la réglementation sur la substance active candidate à la substitution¹⁸ ?
- Certaines cultures pour lesquelles le cuivre représente une substance pivot et est la seule autorisée avec une efficacité prouvée sont concernées au premier chef : jusqu'à quel point risquent-elles d'être fragilisées (usage orphelin) ?
- Se passer du cuivre peut-il entraîner une résurgence d'autres maladies que celles directement ciblées mais que le cuivre permet de contenir en étant associé à d'autres

¹⁶ L'analyse des controverses, au sens sociologique du terme, autour de l'utilisation du cuivre ne fait pas l'objet de la présente expertise.

¹⁷ On peut s'attendre à de possibles restrictions supplémentaires de la dose autorisée à l'issue du prochain réexamen des conditions d'approbation de la substance active au niveau européen voire une interdiction comme l'ont fait par exemple, comme déjà mentionné, les Pays-Bas et le Danemark, entraînant par ailleurs de la distorsion de concurrence entre les États-membres ; des demandes de nouvelles AMM ayant été déposées pour des PPP à base de cuivre dans d'autres pays. Tamm et al. (2022) soulignent à travers une enquête réalisée dans 12 pays européens la variabilité entre pays et entre cultures concernant à la fois le nombre d'utilisations autorisées et le nombre d'utilisations réelles des fongicides au cuivre.

¹⁸ En effet, la réglementation européenne sur le cuivre en tant que substance active (RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2018/1981 DE LA COMMISSION) ne concerne que les PPP à base de cuivre. Toutefois, une évolution de cette réglementation peut inciter à des restrictions d'usage des MFSC imposées par des cahiers des charges (en particulier en agriculture biologique).

produits de traitement et/ou à des méthodes physiques de prophylaxie et/ou à des variétés résistantes ?

- Les freins et les leviers à la substitution des produits cupriques, déjà relevés dans un précédent rapport de l'INRAE (ESCo INRAE-ITAB, 2018¹⁹), nécessitent-ils d'être actualisés et précisés pour tenir compte de différences d'une alternative à une autre ou de différences entre les modes de production (AB vs agriculture conventionnelle) ?

En plus des enjeux socio-économiques qui sous-tendent le retrait éventuel du cuivre, des implications fortes existent concernant les méthodes à mettre en œuvre et les données à recueillir en vue de conduire une évaluation des impacts socio-économiques engendrés par un tel scénario :

- D'une manière générale, même si cela n'est pas propre au cuivre, l'adoption d'alternatives (non chimiques en particulier) aux produits phytosanitaires ne repose pas uniquement sur une logique de remplacement d'une substance par une autre, mais sur une approche systémique qui implique la combinaison de différentes méthodes dans une logique de changements de pratiques agricoles, de modifications des itinéraires techniques et de re-conception des systèmes de culture. L'analyse de tels systèmes re-conçus nécessite toutefois de disposer de données factuelles solides (dont la disponibilité dépend directement des combinaisons de méthodes envisagées) et de mettre en œuvre des méthodes complexes incluant une palette de paramètres beaucoup plus large allant des choix de cultures aux choix de société en associant tous les acteurs concernés dans une démarche prospective ;
- Les informations techniques sur les alternatives émergentes sont parcellaires, notamment en raison de leur stade précoce de développement. Le niveau de preuve quant à leur efficacité pour lutter contre la maladie en conditions réelles est parfois insuffisant voire inexistant, et leurs impacts en termes de toxicité et d'écotoxicité sont souvent documentés de manière très embryonnaire ;
- Les coûts de mise en œuvre des alternatives au cuivre sont difficiles à renseigner, en particulier quand il s'agit de combinaisons de méthodes au sein d'itinéraires techniques de production qui importent pour protéger les cultures. C'est en particulier le cas pour des combinaisons incluant des 'prospects', solutions en cours de développement mais n'ayant pas encore fait l'objet de mise sur le marché ni d'expérimentation systémique, pour lesquelles certaines données sur les coûts de mise en œuvre d'alternatives (isolées ou combinées) ne sont pas publiquement disponibles et requièrent un travail d'investigation de fond pour être collectées ou estimées ;
- Les gains ou pertes de rendement agricole en volume et/ou en qualité sont difficiles à estimer dans le cas où des combinaisons d'alternatives pressenties mais n'ayant pas fait l'objet d'expérimentation en champ sont considérées.

Le présent rapport ne prétend pas répondre de manière exhaustive à toutes ces questions, mais s'inscrit directement dans le contexte des enjeux qu'elles soulèvent.

Le GT en charge du traitement de cette auto-saisine considère qu'une évaluation complète des impacts socio-économiques de la limitation de l'utilisation ou le retrait du cuivre sur les filières serait idéalement nécessaire pour pouvoir pleinement appréhender les conséquences d'une éventuelle évolution de la réglementation sur le cuivre. Toutefois, les difficultés liées à la mobilisation de données exploitables ont

¹⁹ Andrivon D., Bardin M., Bertrand C., Brun L., Daire X., Decognet V., Fabre F., Gary C., Grenier A.S., Montarry J., Nicot P., Reignault P. et Tamm L. 2018. Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques? INRAE, 185 p.

représenté une limite forte pour le GT pour conduire cette évaluation. Par conséquent, du fait des enjeux importants, complexes et multidimensionnels de la transition qu'impliquerait la limitation de l'utilisation ou le retrait du cuivre pour de nombreuses filières agricoles, et du fait des incertitudes multiples concernant les données mobilisables pour en évaluer précisément les impacts socio-économiques, le travail du GT a d'abord consisté en un exercice méthodologique exploratoire visant à proposer une méthode spécifique, avec des étapes et des indicateurs utiles pour conduire une telle évaluation. Cette méthode a permis de construire puis d'évaluer d'un point de vue technico-économique différents scénarios de substitution alternatifs pour plusieurs cultures sélectionnées et d'analyser leurs implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales. La nécessité de mettre en perspective les résultats de l'évaluation d'un « jeu de possibles » réalisé dans le cadre de cette expertise demeure une préoccupation forte qui n'a cessé de sous-tendre le travail du GT. C'est pourquoi le GT rappelle que les résultats de l'évaluation doivent être interprétés avec précaution, en gardant à l'esprit les conditions d'exercice dans lesquelles elle s'est réalisée et les hypothèses sur lesquelles elle se fonde.

3 Méthodologie de l'expertise

3.1 Démarche générale

La démarche adoptée par le GT pour la réalisation de l'expertise est présentée dans la figure ci-après. Elle consiste en trois étapes :

- 1) la définition du périmètre de l'évaluation de la substitution du cuivre par des combinaisons d'alternatives chimiques et non chimiques ;
- 2) l'analyse des impacts socio-économiques de la substitution du cuivre pour une sélection de combinaison d'alternatives, qui tient compte d'une part, de l'efficacité technico-économique des combinaisons d'alternatives et d'autre part, de leurs implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales ;
- 3) l'analyse des freins et leviers à l'adoption des alternatives incluses dans les scénarios de substitution.

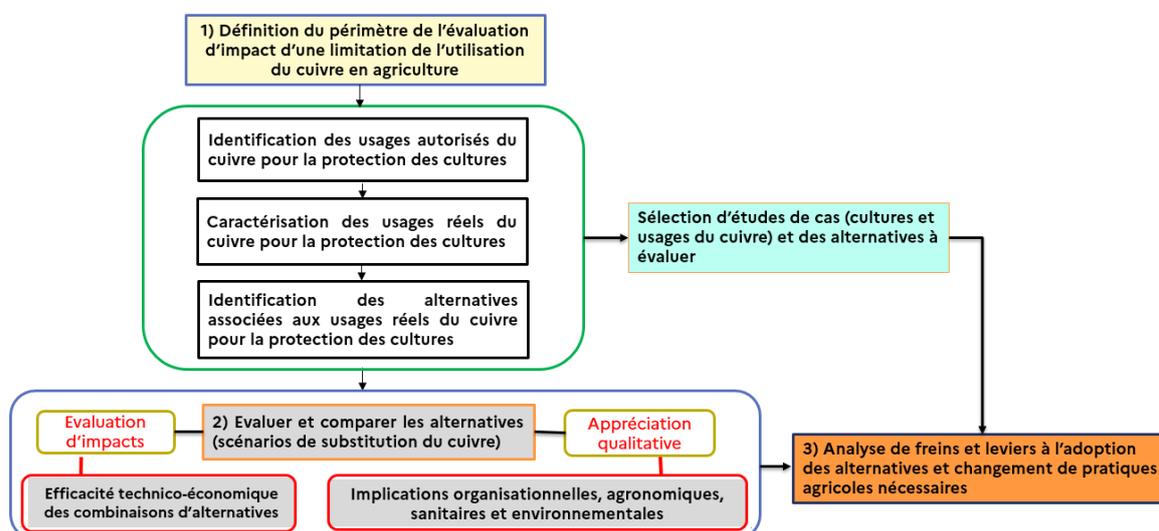


Figure 1 : Démarche du GT pour la réalisation de l'expertise

L'analyse des impacts socio-économiques réalisée par le GT comprend :

- une évaluation quantitative des impacts technico-économiques de la limitation ou du retrait du cuivre en agriculture, à travers la construction de scénarios de substitution ;
- une appréciation qualitative des implications organisationnelles, agronomiques, environnementales et sanitaires de ces scénarios.

De ce fait, la démarche méthodologique générale d'évaluation des impacts technico-économiques adoptée par le GT a consisté en une évaluation comparée :

- des coûts de mise en œuvre de combinaisons d'alternatives ;
- des différentiels de protection et de rendements pour différents scénarios de substitution par rapport à une situation de référence (correspondant au scénario actuel). Le GT définit la substitution comme « **le remplacement (partiel ou total) d'une substance par une méthode (chimique ou non chimique) ou substance ou**

combinaisons de méthodes/substances permettant de réduire ou d'éviter l'emploi de la substance pour une fonction/usage donné » (cf. glossaire) ;

- des implications prévisibles ou attendues de la mise en œuvre de ces combinaisons d'alternatives sur le fonctionnement des exploitations agricoles (temps de travail, facilité de mise en œuvre), des filières (approvisionnements), mais aussi sur l'environnement et la santé humaine. Le GT a également pris en compte la durabilité des solutions envisagées (par exemple les risques de contournement ou de perte d'efficacité par évolution des populations parasitaires cibles).

L'approche retenue par le GT pour l'évaluation des impacts technico-économiques permet de mesurer *in fine* la différence de marge (en l'occurrence la marge sur le coût de protection²⁰) entre une pratique « standard » en place (définie comme la situation de référence) et de nouvelles pratiques (définies selon différents scénarios de limitation du cuivre). Pouvoir comparer la situation sans cuivre avec celle d'utilisation du cuivre repose sur l'existence de ces deux situations. Or précisément, dans le cas du cuivre, ce contrefactuel n'existe pas. Très vite, le GT a constaté que les données disponibles ne permettraient pas d'identifier les jumeaux statistiques nécessaires pour l'évaluation d'impacts par la méthode d'« effet de traitements » comme celle utilisée dans l'expertise sur le glyphosate en grandes cultures (Carpentier et al., 2020). De plus, compte tenu du calendrier de réexamen des demandes d'AMM qui suivra les négociations sur la réapprobation du cuivre fixé à fin 2025, **le GT s'est placé dans une approche de court terme d'applicabilité immédiate ou proche des alternatives étudiées et pour estimer les différences de marge correspondantes.**

De ce fait et compte tenu i) de la variabilité des conditions d'utilisation du cuivre entre cultures, régions ou systèmes de production ; ii) de la difficulté de disposer de données quantitatives et qualitatives consolidées ou représentatives de l'ensemble des situations sur des alternatives à l'efficacité technico-économique incertaine et iii) de l'absence d'un cadre méthodologique générique permettant d'évaluer des alternatives aux pesticides de synthèse, **le travail du GT a d'abord consisté en un exercice méthodologique exploratoire pour conduire une telle évaluation.** Pour préparer une telle évaluation, il a ainsi été nécessaire de :

- recenser les principaux usages du cuivre, en mettant en avant des « usages-types »** tenant compte des utilisations importantes de cuivre (dosages élevés et/ou grandes surfaces) et de certaines spécificités (culture annuelle ou pérenne, mode de production) qui induisent une dépendance plus ou moins forte au cuivre (section 3.2) ;
- recenser les alternatives au cuivre pour ces « usages-types »** en considérant dans un premier temps un éventail large d'alternatives documentées dans la littérature, possiblement caractérisées par des degrés divers de développement, puis dans un second temps, en n'en **retenant qu'un sous-ensemble pour l'évaluation**, à savoir les alternatives avec un minimum d'efficacité éprouvée sur le terrain (section 3.3) ;
- définir les scénarios de limitation de l'utilisation du cuivre** en envisageant un gradient entre le scénario actuel « standard » d'utilisation du cuivre (scénario de référence) et une situation de réduction de la dose de cuivre allant jusqu'à 100 % (retrait total du cuivre, section 3.4) ;
- coupler les scénarios et les combinaison(s) d'alternatives les plus judicieuses** en rapport au niveau d'exigence requis d'utilisation du cuivre dans le scénario considéré. Il en découle de tenir compte de combinaisons d'alternatives caractérisées par un degré de complexité croissant par rapport au scénario actuel²¹ (section 3.4) ;

²⁰ Voir Ugaglia (2009) pour la méthode de calcul.

²¹ En fonction de la spécificité des cultures, le nombre de scénarios pertinents peut ne pas être le même.

- v. **constituer le corpus de données nécessaires à l'évaluation**, en mobilisant en premier lieu les connaissances des membres du GT et la bibliographie scientifique et technique disponible. Cette construction a été complétée par des consultations ciblées d'experts extérieurs au GT pour obtenir des références souvent manquantes dans la littérature scientifique, mais pouvant être disponibles au sein des instituts techniques sans avoir fait l'objet d'une diffusion publique. Le recours aux experts n'entraîne pas toujours le même degré d'implication de leur part, selon que l'on cherche simplement à collecter, vérifier, compléter une donnée ou qu'on leur demande de se projeter sur une situation potentielle, voire à dégager un consensus. Renseigner certaines données chiffrées, ne serait-ce que pour établir un ordre de grandeur, peut nécessiter de faire appel à des dires d'experts (élicitation) ayant cumulé suffisamment de connaissances et d'expérience de terrain sur une culture pour fournir une mesure calibrée d'une grandeur d'intérêt. Toutefois, compte tenu de la dimension potentiellement subjective des informations fournies par les experts, le GT a considéré qu'il y avait un compromis à trouver entre la sollicitation d'experts qui disposent de connaissances fines sur le sujet et le fait qu'ils puissent être porteurs d'enjeux ou d'intérêts pouvant influencer les résultats (section 3.5) ;
- vi. **identifier les incertitudes entourant les données, leur nature et leur source** (section 3.5). L'incertitude peut en effet provenir :
- a) des paramètres et variables mesurés, en raison d'approximations empiriques, de la non-représentativité de certaines données et/ou du manque de données ;
 - b) des différents choix de modélisation possibles concernant les paramètres et la structure du modèle²². Ces choix peuvent refléter les décisions et les valeurs des parties prenantes (motivations, objectifs ou intérêts), ou bien refléter le périmètre du système évalué et la résolution temporelle ou spatiale adoptés par le GT ;
 - c) d'une incertitude structurelle, qui résulte du désaccord des experts. Par exemple, sur la question de savoir si le comportement des agriculteurs doit être purement basé sur la rationalité économique ou également inclure des aspects de santé environnementale et de santé humaine ; ou encore sur les ordres de grandeur voire les intervalles de variation fournis pour une même variable par différents experts d'une même filière ;
 - d) d'une incertitude inhérente aux systèmes complexes, liée à des phénomènes plus larges, tels que les résultats futurs des décisions humaines et les effets en cascade liés aux changements de pratiques agricoles, difficiles à anticiper.

Cet ensemble d'étapes méthodologiques s'est avéré indispensable en vue de répondre aux objectifs de l'auto-saisine. Une fois les informations rassemblées (données de la littérature et dires d'experts filières), **l'évaluation d'impacts technico-économiques** proprement dite a suivi plusieurs étapes (section 3.5) :

- i. **expliciter les hypothèses adoptées pour renseigner les différents paramètres nécessaires aux calculs technico-économiques** (zone géographique, occurrence des pressions parasitaires, stratégie de conduite d'une culture, rendement potentiel, perte de rendement sans et avec protection, coûts de mise en œuvre, prix de vente de la production) ;
- ii. **réaliser l'évaluation** à l'aide des données collectées et valider les résultats obtenus ;

²² Par exemple, approche consistant à comparer les résultats des exploitations utilisant différentes doses de cuivre à l'heure actuelle vs approche plus prospective considérant ce qui se passerait si on réduisait la dose autorisée de cuivre.

- iii. **conduire une analyse de sensibilité** et analyser les résultats directement issus des calculs technico-économiques en incluant une discussion sur les impacts agronomiques, organisationnels, sanitaires et environnementaux découlant de chaque scénario. Trois aspects sont particulièrement considérés : a) les effets de la substitution du cuivre sur l'organisation des exploitations agricoles et des filières concernées ; b) le profil en termes de toxicologie/écotoxicologie des alternatives incluses dans les combinaisons analysées ; c) les effets en termes de gestion de résistance des bioagresseurs et de durabilité des systèmes de lutte basés sur les gènes de résistance ;
- iv. **interpréter l'ensemble des résultats** et proposer une synthèse des tensions révélées par l'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre par des combinaisons d'alternatives, puis analyser (de manière qualitative) les implications sur les plans agronomique, organisationnel, sanitaire et environnemental de la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives étudiées.

3.2 Identification des usages du cuivre et des cas d'étude

3.2.1 Définition du périmètre de l'étude et usages d'intérêt

La première étape du travail a consisté à lister les usages actuels du cuivre en agriculture considérant les deux types de production : l'agriculture biologique (AB) et l'agriculture conventionnelle (notée AC dans la suite du document). La liste des usages actuels du cuivre pour l'AB et l'AC en France est établie sur la base du rapport d'AST de l'Anses et les données E-Phy pour les nouveaux usages autorisés et les usages retirés depuis 2022 (Anses, 2022). Le GT a souhaité adopter une vue aussi complète que possible des usages autorisés du cuivre, y compris de ceux pour lesquels il n'existe pas d'alternatives à l'heure actuelle ou pour lesquels cet usage est quantitativement limité. Cette liste initiale devait donc inclure tous les usages du cuivre autorisés/répertoriés en agriculture conventionnelle et biologique sur le territoire français.

Dans le cadre de l'expertise, la définition retenue d'un « usage » est le triplet : **culture*partie traitée*maladie cible**. Seuls les usages autorisés pour les produits de la gamme « professionnel » ont été considérés pour la sélection des usages d'intérêt. Les produits de la gamme « amateur » n'ont pas été pris en compte car ils sont difficiles à renseigner étant donné que leur utilisation ne fait pas l'objet de suivi à travers des bases de données.

Les « mésusages » de produits cupriques tels que l'utilisation d'engrais foliaires qui peuvent être utilisés de façon détournée pour réaliser des traitements phytosanitaires ne sont pas considérés dans l'évaluation. Pour autant, une évolution de la réglementation pourrait conduire à une augmentation de ces mésusages (cf. section 6). Les conditions d'utilisation des engrais foliaires à base de cuivre, qui ne sont pas autorisés pour les traitements phytosanitaires, ne seraient pas impactées par une évolution de la réglementation sur les produits phytosanitaires.

L'identification des usages du cuivre se base sur la littérature existante, en particulier le rapport 2022 de l'Anses sur la cartographie des utilisations du cuivre en agriculture biologique et conventionnelle et l'expertise collective INRAE-ITAB de 2018. La liste des usages identifiés à partir de ces travaux a été complétée sur la base des produits phytopharmaceutiques à base

de cuivre homologués référencés dans E-Phy²³ et du catalogue national des produits phytopharmaceutiques produit par la DGAI²⁴.

A la date du 28 avril 2023²⁵, il existe 61 produits phytopharmaceutiques homologués à base de cuivre pour un total de 84 usages autorisés. Un total de 51 produits sont autorisés pour des usages professionnels dont 40 sont utilisables en agriculture biologique (cf. annexe 2). Ces usages concernent plusieurs cultures ou groupes de cultures²⁶ en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle. Un grand nombre des cultures concernées par l'utilisation du cuivre sont des cultures horticoles (voir encadré 1). Les produits phytopharmaceutiques à base de cuivre sont homologués pour combattre plusieurs types de maladies. Les mildious en sont les principales, avec 17 usages autorisés contre ces maladies. Étant donné le nombre très important d'usages du cuivre à l'heure actuelle, le GT a ensuite fait le choix de sélectionner, parmi l'ensemble de ces usages, un nombre limité de cas d'étude pour évaluer les impacts d'une substitution du cuivre, selon une approche d'évaluation multicritère développée dans la section suivante.

Encadré 1 : Périmètre de l'horticulture

a. Catégories de cultures concernées

Selon la définition de Guibert et al. (2022), l'horticulture est une branche de l'agriculture qui concerne la production de fruits, des légumes et des plantes d'ornement. Les productions peuvent être divisées en deux catégories : les productions alimentaires et celles des plantes ornementales.

L'arboriculture fruitière comprend toutes les **cultures fruitières pluriannuelles** (arboriculture fruitière hormis la vigne). Les cultures maraîchères ou **cultures légumières** sont extrêmement diverses. Le classement des cultures légumières est organisé autour de cultures de référence couvrant des usages sur un ensemble d'espèces végétales biologiquement proches. En ce sens, sont intégrés dans les cultures maraîchères : le houblon, le maïs doux et les champignons. Les **cultures ornementales** comprennent les cultures d'arbres, arbustes, plantes de balcon, plantes d'intérieur. Sont prises également en considération les **cultures de Plantes à Parfum, Aromatiques, Médicinales et Condimentaires (PPAMC)**, les **cultures tropicales** (arboriculture fruitière et cultures légumières pratiquées dans les Outre-mer français), les **cultures porte-graines** qui comprennent les cultures de production de semences, y compris la production de plants de légumes et de plants de fraisiers. Ainsi, le GT a considéré ces **six types de culture** en horticulture (en gras dans le texte).

L'horticulture comprend donc des cultures annuelles et pluriannuelles. Certaines cultures sont produites de façon intensive sur des surfaces limitées (maraîchage) et peuvent représenter des produits à forte valeur ajoutée, en particulier quand elles sont destinées à des marchés internationaux (exemple des plantes à semences avec l'oignon).

²³ <https://ephy.anses.fr/>

²⁴ [Catalogue des usages phytopharmaceutiques | Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire](#)

²⁵ Date à laquelle les données ont été exportées de la base de données E-phy en ligne pour cette expertise.

²⁶ Un groupe de cultures désigne plusieurs cultures faisant partie d'une même famille et pour lesquelles est identifié un même usage de produits phytopharmaceutiques à base de cuivre (cf. encadré 1).

b. Portée d'usage et culture de référence

L'identification des usages du cuivre en horticulture est basée sur la logique de la portée d'usage de chaque culture et de son niveau de regroupement, décrite dans le Catalogue national des usages phytopharmaceutiques. On entend par « portée de l'usage » : la culture ou le groupe cultural identifié dans le libellé de l'usage ainsi que toutes les cultures ou groupes culturaux rattachés, et les cultures ou produits apparentés, autres produits auxquels s'appliquent les mêmes LMR tels que listés en partie B de l'annexe 1 du règlement (CE) n°396/2005 en vigueur » (Catalogue national des usages phytopharmaceutiques, 2023²⁷).

- Exemple 1 : pour l'usage lié à une culture, la portée de l'usage « Carotte*Trt.Part.Aer.*Champignons (pythiacées)» s'étend aux cultures de céleri rave, panais, raifort, topinambour, persil à grosse racine, salsifis.

- Exemple 2 : pour l'usage lié à un groupe agronomique de végétaux, la portée d'usage « Choux*Trt.Part.Aer.*Bactériose(s)» s'étend aux cultures choux feuillus, choux à inflorescences, choux pommés, choux rave. La notion de portée d'usage est particulièrement fréquente chez les cultures légumières et fruitières (haricot, salade, fruits à pépins, cucurbitacées...).

3.2.2 Sélection des cas d'étude

3.2.2.1 Principe de la méthode de sélection

Au vu du nombre d'usages (Culture(s)*Partie(s) traitée(s)*Bioagresseur(s)) concernés par les produits phytosanitaires à base de cuivre, l'expertise s'est concentrée sur des études de cas emblématiques (considérés comme « usages d'intérêt »), sélectionnés parmi la liste des usages actuels du cuivre. Pour identifier ces études de cas, le GT a privilégié une méthode multicritère. Celle-ci a permis de classer les différentes cultures concernées par les usages du cuivre en tenant compte d'une variété de critères qui traduisent un certain degré de dépendance au cuivre.

Le GT a opté pour une **méthode multicritère reposant sur une liste de critères organisés dans un tableau de bord**. Contrairement aux méthodes dites de *scoring* ou d'arbre de décision assez complexes qui impliquent de développer une structure hiérarchique, puis de noter et d'agréger les critères dans un cadre évaluatif afin d'éclairer la prise de décision pour sélectionner une option particulière parmi un ensemble d'options possibles, le « tableau de bord » est une méthode non agrégative assez simple à mettre en place pour ordonner des options (*ranking*). Pour chaque option, chaque critère retenu est évalué entre 0 et 1 et présenté dans un tableau. Pour une facilité de lecture et de hiérarchisation compte-tenu du nombre d'usages possibles, le GT a proposé d'ajouter un score final agrégeant de manière simple les scores de chaque critère.

Les critères utilisés dans le tableau de bord pour sélectionner les cas d'étude sont présentés ci-après (cf. Figure 2).

²⁷ [Catalogue des usages phytopharmaceutiques | Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire](#)

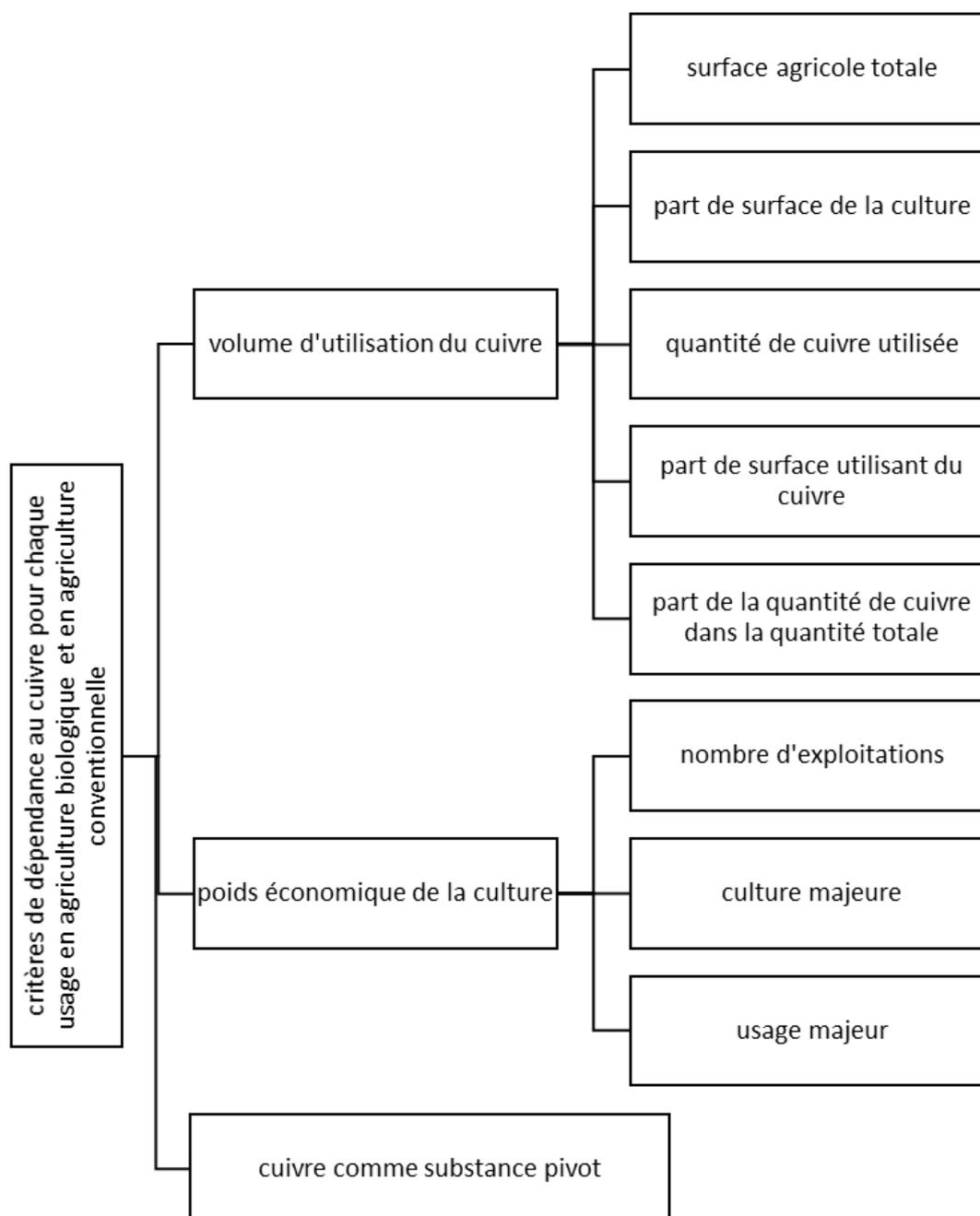


Figure 2 : Les 9 critères de dépendance au cuivre retenus par le GT

3.2.2.2 Critères de dépendance au cuivre

Le degré de dépendance au cuivre des différentes cultures selon le mode de production (agriculture biologique et conventionnelle) est appréhendé à l'aide de trois grandes familles de critères (cf. Figure 2) relatives au: i) volume d'utilisation du cuivre, ii) poids économique des cultures concernées par l'utilisation du cuivre (en termes de quantité et non pas de valeur) et, iii) statut d'usage mineur pour lequel le cuivre représente ou non une substance « pivot » (cf glossaire).

- Critères de dépendance relatifs au volume d'utilisation du cuivre

Cinq critères permettent d'apprécier le volume de cuivre utilisé pour les cultures concernées par les usages du cuivre. Il s'agit de :

- la **surface agricole totale de la culture** : le nombre d'hectares occupés par la culture pour l'année 2020. La surface agricole totale est obtenue à partir des données de la statistique agricole annuelle (SAA) 2020 (voir encadré 2). La superficie en agriculture biologique est obtenue pour chaque culture à partir des données renseignées par l'Agence bio pour l'année 2020 ;
- la **part de surface de la culture** : le rapport de la superficie de la culture divisée par la surface agricole utile (SAU). La SAU est celle de 2020 également obtenue à partir de la SAA 2020 ;
- la **quantité de cuivre utilisée par la culture** : la quantité totale de cuivre en tonne utilisée pour les traitements phytosanitaires tenant compte de la dose moyenne utilisée. Cette dose moyenne est différente selon qu'il s'agit de l'agriculture biologique ou l'agriculture conventionnelle. La quantité totale de cuivre utilisée par la culture pour les années des enquêtes pratiques culturales est obtenue à partir du rapport d'AST de l'Anses de 2022 sur la cartographie de l'utilisation du cuivre ;
- la **part de la surface de la culture utilisant du cuivre** : le rapport de la superficie totale de la culture utilisant du cuivre pour les traitements phytosanitaires divisée par la superficie totale de la culture. La superficie totale de la culture utilisant du cuivre pour les années des enquêtes pratiques culturales est obtenue à partir du rapport d'AST de l'Anses de 2022 ;
- la **part de la quantité de cuivre** : le rapport de la quantité de cuivre utilisée pour les traitements phytosanitaires pour la culture divisée par la quantité totale de cuivre vendue pour l'ensemble des cultures concernées par les usages du cuivre. La quantité totale de cuivre vendue entre 2015 et 2018 est obtenue à partir du rapport d'AST de l'Anses de 2022.

- Critères de dépendance relatifs au poids économique des cultures concernées par l'utilisation du cuivre

Trois critères permettent d'apprécier le poids économique des cultures concernées par l'utilisation du cuivre. Ces critères sont les suivants :

- le **nombre d'exploitations agricoles** : le nombre total d'exploitations sur lesquelles la culture concernée par l'utilisation du cuivre est déclarée. Le nombre d'exploitations provient du recensement agricole 2020 (Agreste)²⁸ ;
- la **culture majeure** : le GT retient la définition de la Commission européenne qui considère qu'une culture est majeure si « *la consommation de la denrée produite est supérieure à 7,5 g par personne et par jour ET si la surface cultivée est > 20 000 ha et/ou la production annuelle est > 400 000 t, OU si la surface cultivée est > 20 000 ha et la production annuelle est > 400 000 t* » (CGAAER n° 17080, 2021, cf. glossaire)²⁹ ;
- l'**usage majeur** : la définition du catalogue des produits phytopharmaceutiques est retenue. Dans le catalogue, le terme « usage majeur » est défini par

²⁸ [Recensement agricole 2020 | Agreste, la statistique agricole \(agriculture.gouv.fr\)](#)

²⁹ [CGAAER - Valoriser le dispositif de gestion des usages orphelins](#)

opposition au terme « usage mineur ». De plus, selon le catalogue, « *un usage est considéré comme mineur lorsqu'il est de faible importance, de surface limitée par rapport à la couverture de la culture ou ayant un caractère aléatoire (fréquence d'apparition et importance de la maladie concernée par l'usage)* »³⁰ (cf. glossaire). Il faut noter que tous les usages sont considérés comme mineurs sur les cultures mineures.

- Critères de dépendance relatifs au cuivre comme **substance pivot**

La situation du cuivre en tant que substance pivot permet d'identifier les **usages** pour lesquels des restrictions sur l'utilisation du cuivre pourraient avoir un impact significatif. Conformément à la définition de la Commission « usages orphelins » (CUO), une substance est dite « pivot » si elle est la seule autorisée pour un usage donné, ou bien si les autres substances actives autorisées n'apportent pas de protection jugée suffisante (CGAAER n° 17080, 2021). La CUO définit les usages orphelins pour le cuivre qui est considéré dans ce cas « substance pivot ».

Une fois les 9 critères définis, les données ont été collectées et renseignées pour chaque culture identifiée dans les différents groupes de culture et par mode de production (agriculture biologique, agriculture conventionnelle)³¹. De fait, le nombre total d'exploitations agricoles pour un groupe de cultures ne correspond pas à la somme des exploitations pour chacune des cultures étant donné qu'une exploitation peut produire plusieurs cultures. La culture avec le plus grand nombre d'exploitations est gardée comme référence du groupe pour ce critère.

Seules les données sur les surfaces développées (cf. Agreste, pour une espèce donnée, une même surface est comptabilisée autant de fois qu'il y a de récoltes de l'espèce sur la période considérée) sont disponibles pour les légumes et les fruits (cf. encadré 2).

Encadré 2 : Calcul du nombre d'exploitations et de la surface agricole pour les cultures concernées par l'utilisation du cuivre

En 2020, les mesures de lutte contre le COVID ont impacté la production de cultures ayant recours à la main-d'œuvre saisonnière (fermeture des frontières) et les cultures à rotation courte (premières semaines de confinement). Le type de culture a été maintenu, mais la récolte a été moindre. C'est pourquoi **le nombre d'exploitations** sur lesquelles la culture concernée est déclarée provient du Recensement agricole de 2020 (RA2020). Tous les dix ans, chaque exploitation agricole est interrogée sur les éléments de structure, dont la répartition des terres selon les cultures de l'année. Toutefois, la **surface agricole totale de la culture** pour l'année 2020 est obtenue à partir des données de la statistique agricole annuelle (SAA) de 2020 (Agreste³²), indicateur synthétique agrégeant un ensemble d'informations disponibles sur un sujet donné.

Pour les cultures maraîchages ou autres cultures à cycle court, la surface correspond à la superficie développée : la superficie est comptée autant de fois qu'elle a porté la culture pendant l'année.

Pour les cultures annuelles, une parcelle peut être occupée par un seul type de culture, deux types de cultures simultanément (cultures associées) ou deux types de cultures

³⁰ info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2023-508

³¹ Pour les critères « usage majeur », « culture majeure » et « cuivre comme substance pivot », le GT fait l'hypothèse que l'information disponible concerne à la fois l'agriculture biologique et l'agriculture conventionnelle.

³² SAA 2020 rebasée - 2021 définitive : cd2022-15_SAA_RésultatsFranceentière2020-2021.xlsx

successivement (cultures successives). Dans ces cas, la SAA retient la culture principale, c'est-à-dire celle dont la production a la plus grande valeur.

La superficie en agriculture conventionnelle est la différence entre la surface agricole totale de la culture et la surface en agriculture biologique. La surface en agriculture biologique pour chacune des cultures est obtenue à partir des données de l'Agence bio pour l'année 2020.

3.2.2.3 Hierarchisation des usages du cuivre pour les cultures concernées

Pour évaluer les critères, il a été nécessaire de formater chacun d'entre eux pour le traiter soit comme une variable catégorielle binaire (usage majeur/usage majeur/cuivre pivot), soit comme une variable quantitative (par exemple : nombre d'exploitations concernées). Les données issues de la statistique agricole ont permis de renseigner les valeurs (cf. encadré 2). S'agissant des variables quantitatives (discrètes ou continues), la médiane a été calculée pour servir de valeur seuil et permettre de discrétiser la variable, tout en prenant garde de traiter séparément l'agriculture biologique et l'agriculture conventionnelle.

Ensuite, pour chaque critère, un score a été attribué selon les règles de décision suivantes :

- pour les trois variables binaires (usage majeur, culture majeure, cuivre « substance pivot ») : la note de 1 est attribuée pour un « oui » et la note de 0 pour un « non » ;
- pour les autres variables : la note est attribuée par rapport à la valeur de la médiane³³. Chaque critère obtient un score de 1 pour une valeur supérieure ou égale à la médiane, de 0 si strictement inférieure à la médiane, de 0,5 si la culture ne remplit que partiellement les conditions (ce qui peut être le cas si l'on tient compte de la localisation géographique de la culture par exemple).

Il y a par exemple 6 629 exploitations agricoles comptabilisées dans la production de cerises en conventionnel. La médiane pour ce critère se situant à 1 569, le cerisier obtient la note de 1 pour ce critère.

S'agissant de la pondération entre les critères, le GT a fait le choix de ne pas donner plus de poids à certains critères (part de surface utilisant du cuivre, cuivre comme substance pivot) car cela pénaliserait certaines cultures plus que d'autres en fonction du système de pondération utilisé³⁴.

Finalement, pour chaque culture, un score final (compris entre 0 et 9) est calculé sur la base des notes individuelles obtenues sur chacun des 9 critères, en les additionnant simplement pour pouvoir classer les usages du tableau de bord (*ranking*). Le nombre de critères avec des données manquantes a également été utilisé pour classer les cultures.

3.2.3 Liste des cas d'étude retenus

Le classement des cultures obtenu à partir des critères sélectionnés par le GT est présenté en annexe 3. Ce classement est en phase avec la littérature sur les cultures les plus concernées par l'utilisation du cuivre (INRAE-ITAB, 2018 ; Anses, 2022).

³³ Il s'agit d'une méthode classique qui permet de transformer différents critères (quantitatifs et qualitatifs) en critères semi-quantitatifs.

³⁴ Le poids attribué à un critère pourrait faire augmenter ou diminuer le rang occupé par une culture dans le classement obtenu.

Compte tenu du temps imparti pour réaliser le travail requis pour répondre à l'auto-saisine, et du nombre encore important de cas pertinents identifiés après la sélection et la hiérarchisation réalisées par le GT, les cultures et mode de production suivants ont été retenus pour la suite de l'évaluation. Il s'agit des cultures avec un usage intensif du cuivre :

- **Pomme de terre (AB) ;**
- **Vigne (AB et AC) ;**
- **Pommier (AB et AC).**

Si l'on tient compte de la superficie totale, de la part de surface et des doses moyennes de cuivre, les trois cultures sélectionnées par le GT représentent à elles seules près de 60 % de la quantité totale de cuivre vendue sur l'année 2018 selon le rapport de l'Anses sur la cartographie du cuivre (Anses, 2022). Le pommier est sélectionné pour l'horticulture et comme culture de référence utilisée pour le regroupement intermédiaire (niveau B) des « fruits à pépins » compte tenu de sa part dans la quantité totale de cuivre utilisée en horticulture (cf. encadré 3 ci-dessous).

Pour chacune des cultures sélectionnées par le GT, le cuivre est utilisé pour combattre plusieurs maladies (cf. annexe 2). Les réflexions sur l'identification des alternatives nécessiteraient de considérer ces maladies séparément (par exemple le mildiou et le black rot pour la vigne ou la maladie de la tavelure et du chancre pour la culture du pommier). Compte tenu du temps nécessaire et des données disponibles, les travaux du GT se sont concentrés (pour chaque culture sélectionnée) sur les principaux usages du cuivre pour chaque culture, à savoir :

- **le mildiou de la pomme de terre : Pomme de terre*Trt.Part.Aer*Mildiou(s)**
- **le mildiou de la vigne : Vigne*Trt.Part.Aer*Mildiou(s)**
- **la tavelure du pommier : Pommier*Trt.Part.Aer*Tavelure(s)**

Le mildiou de la vigne et le mildiou de la pomme de terre sont les principales maladies cibles des traitements au cuivre. Le GT a retenu pour l'analyse le traitement de la tavelure en culture de pommes à couteau étant donné l'impact de la maladie plus importante pour ce type de production par rapport à la culture de pommes pour la transformation (cf. encadré 3). D'autres situations pour lesquelles des restrictions de l'utilisation du cuivre pourraient avoir des impacts (autres maladies cibles pour les cultures analysées, usages orphelins selon la définition de la CUO, etc.) sont discutées dans le chapitre 6 du rapport.

Encadré 3 : La tavelure du pommier

La tavelure est une maladie fongique, causée par le champignon *Venturia inaequalis* (Bowen et al., 2011). Cette maladie est favorisée par un climat humide au moment du débourrement au printemps (éclosion des bourgeons), avec la production des ascospores (spores), leur projection et dispersion par la pluie et le vent (infection primaire). En été, la production, la projection et la dispersion de conidies conduit à une infection secondaire. Elle se développe sur le feuillage et sur les pommes, causant parfois la mortalité des arbres-hôtes et la réduction significative (jusqu'à 100 %) de la qualité et de la production de pommes en l'absence de moyens de lutte (principalement les traitements fongicides à base de cuivre). Cette maladie

sévit également occasionnant des pertes durant la période post-récolte des pommes. Dans le principal bassin de production de la pomme, cette maladie est la principale cible des traitements fongiques à base de cuivre (ainsi que le chancre européen), avec une efficacité avérée. Ces produits phytosanitaires disposent à ce jour d'une autorisation de mise sur le marché pour tout le groupe cultural des « cultures fruitières à pépins » (cf. tableau ci-dessous).

Regroupements intermédiaires pour les cultures fruitières à pépins

Niveau A : culture	Niveau B : Regroupement intermédiaire	Niveau C : Filière
Pommier	Fruits à pépins	Cultures fruitières/Arboriculture
Poirier		
Nashi		
Cognassier		
Nèfles		
Pommette		

Actuellement, les variétés de pommes à couteau les plus cultivées en France, telles que les variétés Golden Delicious, Gala et Granny, sont particulièrement sensibles aux maladies fongiques (Agreste Primeurs n°323, 2015³⁵). Certaines variétés de pommes sont labellisées, par exemple la Golden delicious des Alpes de Hautes Durance (Label Rouge) et la pomme du Limousin (AOP). D'autres sont destinées au marché de l'exportation, par exemple la Granny (FranceAgriMer, Nouvelles des Réseaux des marchés, La Pomme en 2022-2023³⁶). En effet, le choix des variétés se fait en général en fonction de la demande des distributeurs et consommateurs. Le résultat attendu d'un système de culture de pommes à couteau est l'absence de tavelure sur fruit (moins de 5 % pour la transformation). L'indicateur de fréquence de traitements phytosanitaires (IFT) moyen d'une culture de pommier en agriculture biologique circuit court est de 7,2 (Fiche DEPHY ARF 27863, 2014³⁷).

3.3 Identification des alternatives chimiques et non chimiques au cuivre

Le GT a mené une réflexion sur la définition appropriée du terme « alternative » dans le cadre de l'expertise. Pour le besoin de l'évaluation, la définition adoptée par le GT prend en compte des aspects tels que la fonction et l'usage de la méthode/substance ou la combinaison de

³⁵ [Pratiques phytosanitaires en arboriculture: Des traitements phytosanitaires dans les vergers de pommiers variables selon les bassins de production|Agreste, la statistique agricole](#)

³⁶ [Le marché de la pomme en 2022-2023 \(franceagrimer.fr\)](#)

³⁷ [DEPHY SCEP AR Pomme ARF27863 \(ecophytopic.fr\)](#)

méthodes/substances en question. Pour qu'une alternative soit considérée comme telle, la fonction et l'usage doivent être les mêmes que pour le cuivre³⁸.

Pour rester le plus large possible, la définition n'intègre pas des considérations sur les impacts sanitaires, environnementaux ou économiques de l'alternative. En revanche, ces différents aspects ont été considérés comme des critères pour la sélection de la liste définitive des alternatives à analyser pour l'évaluation des scénarios de substitution.

Pour rappel, dans le cadre de l'expertise, le GT a donc adopté comme définition d'une alternative : « **toute méthode/substance ou combinaisons de méthodes/substances permettant de réduire ou d'éviter l'emploi de la substance (cuivre) pour une fonction ou un usage donné** ». Dans cette définition, la fonction censée être remplie par l'alternative (ex : lutter contre le mildiou) est plus large que l'usage qui se réfère à la fois à une maladie/organisme nuisible (exemple mildiou), une plante (exemple : vigne) et un organe (exemple : feuille, racine, graines, ...).

3.3.1 Principes généraux de la démarche adoptée

3.3.1.1 Identification et caractérisation des alternatives

Un travail de recensement des alternatives a été réalisé par le GT, qui s'est appuyé sur la littérature scientifique et la littérature grise afin d'inventorier les alternatives chimiques et non chimiques, déjà utilisées ou expérimentées (ou en voie de l'être) et à différents stades de développement, qui peuvent être associées aux usages-types retenus pour l'étude. Le GT a pris le parti de ne pas exclure *a priori* des alternatives avec des profils de dangers peu favorables pour l'environnement ou la santé car, à moins d'être interdites, elles font partie des méthodes de lutte disponibles aux choix des agriculteurs et pourraient, en cas de retrait du cuivre, représenter des « pis-aller » de transition. Le GT considère que les impacts technico-économiques d'une telle trajectoire, qui serait peu soutenable du point de vue environnemental ou sanitaire, doivent néanmoins être explicités et être renseignés quantitativement dans un but de complétude de l'analyse et afin de donner à voir au décideur les potentielles conséquences non désirables d'une substitution du cuivre dans les conditions actuelles du modèle agricole.

L'identification des alternatives pouvant être utilisées pour réduire/remplacer l'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre pour les différents cas d'étude s'est très largement basée sur l'analyse faite dans le cadre du travail d'expertise scientifique collective INRAE-ITAB (2018). Pour chacun des cas d'étude du GT, la liste des alternatives a été mise à jour à partir de différentes autres sources documentaires. En ce sens, ont été consultés³⁹ :

- des publications scientifiques récentes sur les alternatives au cuivre ;
- la base de données E-Phy ;
- différents documents techniques dont les fiches sur les substances de bases publiées par l'ITAB⁴⁰ ;

³⁸ Le GT a discuté également des possibilités de substitution qui vont au-delà de la définition adoptée dans le cadre de cette évaluation (cf. chapitre 6)

³⁹ Voir les annexes 4,5 et 6 pour la liste des sources consultées dans le cadre de l'identification des alternatives au cuivre.

⁴⁰ [Fiches substances de base | Substances \(itab.asso.fr\)](https://www.itab.asso.fr/)

- des rapports d'activités du « Groupe tavelure national » animé par le CTIFL, documents techniques accessibles *via* les sites internet de différents instituts techniques agricoles et associations horticoles ;
- des documents de référence (ex : les fiches 'control strategies' et 'Endure best practices', accessibles *via* le site Euroblight⁴¹) ;
- des publications accessibles *via* le site du projet Co-free (Stratégies innovantes pour les systèmes d'agriculture biologique et à faibles apports en cuivre - Projet UE - 7e PCRD – 2012 à 2016⁴²).

En plus des ressources documentaires, des experts scientifiques ayant une expérience de terrain sur la culture de pommier ont été consultés.

Les listes des alternatives identifiées par le GT pour les usages retenus (mildiou de la vigne, mildiou de la pomme de terre et tavelure de la pomme) par mode de production (biologique et/ou conventionnelle) sont présentées en annexe (6, 7 et 8). Ces alternatives sont regroupées en différentes familles de méthodes de lutte, dont certaines sont inspirées du rapport sur les néonicotinoïdes de l'Anses (Anses, 2018) :

- lutte chimique (autres pesticides de synthèse) ;
- lutte à partir de préparations naturelles à propriété antifongique ;
- lutte biologique basée sur des agents microbiens (micro-organismes ou macro-organismes) ;
- lutte génétique (variétés résistantes) ;
- lutte physiologique par stimulation des défenses des plantes (SDP) ;
- méthodes physiques ;
- mesures de prophylaxie.

Compte tenu du contexte temporel dans lequel se situe le présent rapport (objectif d'applicabilité immédiate ou proche, l'horizon étant le réexamen – prévu en 2025 - de l'autorisation phytosanitaire du cuivre), il a été décidé de ne retenir parmi la gamme d'alternatives à considérer pour l'évaluation d'impacts uniquement celles :

- 1) ayant montré lors d'expérimentations scientifiques un niveau minimum d'efficacité pour réduire la sévérité de la maladie ;
- 2) disponibles sur le marché ou en cours de développement ;
- 3) utilisables en agriculture biologique (pour les cas d'étude concernant le mode de production biologique)- excluant par exemple les phosphonates qui ne sont pas autorisés en agriculture biologique car issus de la chimie de synthèse.

Selon le cas d'étude, le GT considère l'utilisation des outils d'aide à la décision (OAD) comme des méthodes permettant de gérer les interventions afin d'optimiser en particulier les doses de cuivre apportées. En ce sens, ces outils sont considérés comme faisant partie des « méthodes et alternatives » pour réduire ou éviter l'utilisation du cuivre.

⁴¹ [Best Practice \(au.dk\)](#)

⁴² [Innovative strategies for copper-free low input and organic farming systems | CO-FREE | Project | Fact sheet | FP7 | CORDIS | European Commission \(europa.eu\)](#)

3.3.1.1.1 Alternatives au cuivre contre le mildiou de la pomme de terre en AB

Pour la protection des cultures biologiques de pomme de terre contre le mildiou (agent pathogène *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), quatre groupes d'alternatives ont été retenus :

- Lutte génétique exploitant la résistance variétale, complète mais peu durable (gènes majeurs) ou partielle (résistance quantitative) ;
- Méthodes prophylactiques visant notamment la réduction des sources d'inoculum primaire et des infections précoces (utilisation de plant certifié, bâchage systématique des tas de déchets aux abords des parcelles...) ;
- Méthodes agronomiques de déploiement des résistances variétales, en particulier l'utilisation de mélanges variétaux ;
- Utilisation d'OAD mobilisables par les producteurs pour prévoir les périodes de risque et cibler les dates d'intervention dans des scénarios conservant des emplois de cuivre, à dose actuelle ou réduite.

Il n'existe actuellement pas sur le marché de méthodes de biocontrôle *stricto sensu* utilisables en agriculture biologique contre le mildiou de la pomme de terre, et le GT n'a pas connaissance de projets de mise sur le marché de telles méthodes dans un futur proche pour cet usage, et ce même si des travaux expérimentaux d'évaluation de prospects sont régulièrement conduits.

Par ailleurs, exploiter des solutions de diversification à l'échelle supra parcellaire (mosaïques paysagères) ou pluriannuelles (rotations longues des cultures) n'a pas été inclus dans la liste des alternatives possibles, car ces leviers d'actions ne présentent qu'une faible efficacité pour lutter contre la principale cible du cuivre en culture de pomme de terre, à savoir l'agent du mildiou *Phytophthora infestans*. Ainsi, Skelsey et al. (2010) montrent qu'il faudrait un espacement d'au moins 16 km entre 'patches' de cultures de pomme de terre de 6,4 km*6,4 km pour éviter les contaminations croisées entre patches pour ce parasite. Un tel maillage spatial serait très difficile à mettre en œuvre, car il dépend des décisions d'une multitude d'acteurs alors même que les cultures de pomme de terre tendent 1) à se concentrer en bassins de production proches des centres industriels de conditionnement ou de transformation, et 2) à concerner des proportions importantes des surfaces des exploitations productrices pour maximiser le retour sur investissement lié à l'achat de matériel spécifique nécessaire à la culture (planteuses, arracheuses, buteuses, installations de stockage réfrigéré). Les mêmes auteurs montrent par ailleurs qu'une diversification variétale des résistances à l'échelle parcellaire (mélange variétal) est toujours plus efficace qu'une diversification à l'échelle paysagère (cultures en mosaïques) pour limiter les épidémies de mildiou.

3.3.1.1.2 Alternatives au cuivre pour la lutte contre le mildiou de la vigne en AB et AC

Pour la protection de la vigne contre le mildiou en agriculture biologique et conventionnelle, les alternatives (regroupées en méthode de lutte) suivantes ont été identifiées :

- Lutte chimique : Plusieurs substances de synthèse actives contre le mildiou de la vigne sont actuellement utilisables par les viticulteurs, même si leur nombre tend à diminuer. A l'instar du cuivre, certaines substances possèdent une action multi-site (folpel, dithianon) et ne sont pas concernées par les phénomènes de résistance. Ces deux substances sont actuellement classées CMR. Toutes les autres substances sont concernées par les phénomènes de résistance. L'occurrence actuelle des souches résistantes dans le vignoble est variable selon les substances. Pour certaines d'entre

elles, la fréquence de souches résistantes est élevée rendant l'efficacité de la substance insuffisante dans certaines situations⁴³. Toutes ces substances sont interdites en agriculture biologique.

- Lutte à partir de préparations naturelles biocides : De très nombreuses substances naturelles sont étudiées pour leurs effets biocides envers le mildiou de la vigne. Il s'agit majoritairement d'extraits de plantes et d'huiles essentielles. Certaines substances sont classées réglementairement comme substances de base. L'huile essentielle d'orange douce dispose d'une AMM contre le mildiou de la vigne. Ces substances sont utilisables en agriculture biologique. De très nombreuses substances sont en cours d'étude et ont seulement montré des efficacités au laboratoire en conditions contrôlées.
- Lutte biologique basée sur des agents microbiens : Plusieurs agents microbiens sont testés pour leur efficacité vis-à-vis du mildiou. Cependant, seuls *Bacillus amyloliquefaciens* FZB24 et *Bacillus subtilis* font l'objet d'une AMM.
- Lutte génétique : Avec la quasi-disparition des variétés dites « hybrides » du vignoble français dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, la lutte génétique n'était jusqu'à récemment pas mobilisée contre le mildiou de la vigne. L'aboutissement de nouveaux programmes de création variétale a permis, à partir de 2017, l'inscription et le classement en France de nouvelles variétés de vigne possédant des résistances élevées au mildiou. Ces variétés sont actuellement autorisées pour produire des vins sans IG et sont inscrites dans les cahiers des charges de nombreux vins IGP. Dans les AOP qui les ont intégrées à leur cahier des charges en tant que variété d'intérêt à des fins d'adaptation (VIFA), elles peuvent être utilisées à titre expérimental, avec des surfaces très restreintes (5 % maximum de la surface d'une exploitation, 10 % des assemblages). En effet, si les variétés actuellement disponibles possèdent des caractéristiques agronomiques intéressantes, elles ne présentent pas les caractéristiques organoleptiques comparables aux variétés actuelles. D'autres programmes sont en cours afin de créer des variétés plus adaptées aux objectifs de production. Les premières obtentions ne sont pas attendues avant 2030 (Delière et al., 2017). En 2023, seulement 2 300 ha de ces nouvelles variétés résistantes sont plantés, soit 0,3 % des 750 000 ha du vignoble français.
- Lutte physiologique par stimulation des défenses des plantes : De nombreuses méthodes visent à stimuler les défenses de la vigne afin d'obtenir une efficacité contre les infections de mildiou. Ces actions ont été démontrées pour plusieurs préparations naturelles dont certaines possèdent un usage « Stimulation de défense des plantes – maladies ». Certains produits de synthèse (fosétyl-Al, disodium phosphonate et phosphonate de potassium) possèdent une action de stimulation de défense des plantes, un usage contre le mildiou de la vigne et leur utilisation est en progression dans le vignoble. Ils font partie de la liste des produits de biocontrôle mais ne sont pas autorisés en agriculture biologique. L'application d'ultra-violet au champ afin de stimuler les défenses est en cours d'évaluation.
- Méthodes physiques : Les méthodes culturales de type ébourgeonnage, épamprage ou effeuillage consistent à agir sur la canopée afin de modifier son microclimat ainsi que la quantité d'organes sensibles au mildiou. Elles sont largement utilisées dans le vignoble et montrent une efficacité limitée sur l'épidémie, mais permettent en outre d'améliorer l'efficacité de produits de protection (meilleure pénétration). L'action sur le

⁴³ [2-Notetechnique_commune_vigne2023_V2.pdf \(vignevin.com\)](#)

stock d'inoculum (élimination des formes de conservation hivernale de l'agent pathogène) est actuellement en cours d'étude. Si elle semble prometteuse pour un agent pathogène biotrophe obligatoire, son efficacité pratique n'est pas démontrée et les modalités de mise en œuvre restent à mettre au point. Enfin, des méthodes de couverture automatique des rangs de vigne sont actuellement en cours de mise au point. Elles montrent une bonne efficacité vis à vis du mildiou mais se heurtent encore à des problématiques de coûts et de déploiement à large échelle.

- Enfin, plusieurs OAD permettent d'estimer les niveaux de risque mildiou au vignoble. Ils sont largement utilisés pour optimiser le positionnement des produits de protection ainsi que les doses employées.

3.3.1.1.3 Alternatives au cuivre contre la tavelure du pommier en agriculture biologique et conventionnelle

Pour la protection du pommier contre la tavelure en agriculture biologique et conventionnelle, les alternatives suivantes ont été identifiées :

- Lutte chimique :
 - Les fongicides de synthèse sont actifs contre la tavelure du pommier. A l'instar du cuivre, certaines molécules ont une action multi-site à large spectre (dithianon, captane) et ne sont donc pas concernées par les phénomènes de résistance du champignon *V. inaequalis*. Ces fongicides sont actuellement classés CMR. Ils sont tous interdits en agriculture biologique.
 - Les substances naturelles (SN) (substances de base autorisées par la réglementation) ont une efficacité partielle pour lutter contre la tavelure du pommier. Certaines ont un effet biocide sur le champignon *V. inaequalis*. Il s'agit de substance de base comme l'hydrogénocarbonate de potassium (appelé aussi bicarbonate de potassium) et majoritairement des extraits de plantes. L'extrait de prêle (*Equisetum arvense*) et d'écorce de saule (*Salix spp.*) sont autorisés en France pour lutter contre la tavelure. Ces substances sont utilisables en agriculture biologique.
 - Les produits phytopharmaceutiques de biocontrôle qui ont une AMM pour lutter contre la tavelure du pommier sont très diversifiés : substances chimiques (soufre, hydrogénocarbonate de potassium, silicate d'aluminium, phosphonates de potassium...), microorganismes (*Bacillus subtilis*, souche IAB/BS03, *Bacillus amyloliquefaciens* souche QST 713), extraits d'algues marines (laminarine). Ces substances ont soit un effet biocide sur le champignon *V. inaequalis*, soit stimule les défenses des plantes (SDP) comme la laminarine. Le polysulfure de calcium (CURATIO) est utilisé pour lutter contre la tavelure et son efficacité est avérée, mais il ne dispose pas d'une AMM, seulement d'une dérogation de 120 jours, au titre de l'Article 53 du règlement (CE) 1107/2009, délivrée depuis plusieurs années par le ministère en charge de l'agriculture. Toutes ces substances sont utilisables en pomiculture AB, sauf les phosphonates.

Lutte génétique : Plusieurs gènes de résistance ont été identifiés chez le pommier pour lutter contre la tavelure. La résistance peut être complète (gènes spécifiques) ou partielle (résistance quantitative). De nouvelles approches sont en cours d'étude comme le pyramidage de plus d'un gène de résistance pour assurer une résistance

durable (Gessler et al., 2011 ; Cova et al., 2015, Luo et al., 2020 ; Patocchi et al., 2020 ; Khan et al., 2022 ; Švara et al., 2024).

- Des mesures de prophylaxie généralisées, afin de limiter au maximum les sources d'inoculum primaire dans les vergers (dégradation de la litière de feuilles en automne/hiver pour limiter les risques de contamination primaire la saison suivante).
- Des méthodes physiques, afin de limiter les projections des spores du champignon *V. inaequalis* par la pluie et l'humectation du feuillage propice au développement de la tavelure (bâche anti-pluie, système d'irrigation goutte à goutte).
- Des approches agroécologiques de gestion des vergers, en particulier avec l'utilisation de mélanges variétaux (variétés sensibles/variétés tolérantes ou résistantes) encore en expérimentation à ce jour (Brun et al., 2007, Costes, 2020, Projet Z, Simon et al., 2022).
- L'utilisation d'OAD déjà déployés dans la surveillance des vergers, visant à estimer les niveaux de risques de contamination primaire de tavelure et à optimiser le positionnement des traitements phytosanitaires à base de cuivre et les doses appliquées (par exemple le modèle RIM-Pro, Bulletin de Santé du végétal, Région Centre-Val de Loire).

Le GT se plaçant dans une approche de court terme (cf. section 3.3.1), certaines familles d'alternatives sont envisageables uniquement dans les situations de la rénovation de vergers de pommiers (mélanges variétaux, choix variétal).

3.3.1.2 Critères de sélection des alternatives

Une fois les alternatives recensées pour chaque usage retenu, le GT a identifié une liste de critères techniques, économiques, sanitaires et environnementaux permettant de les comparer (cf. Figure 3).

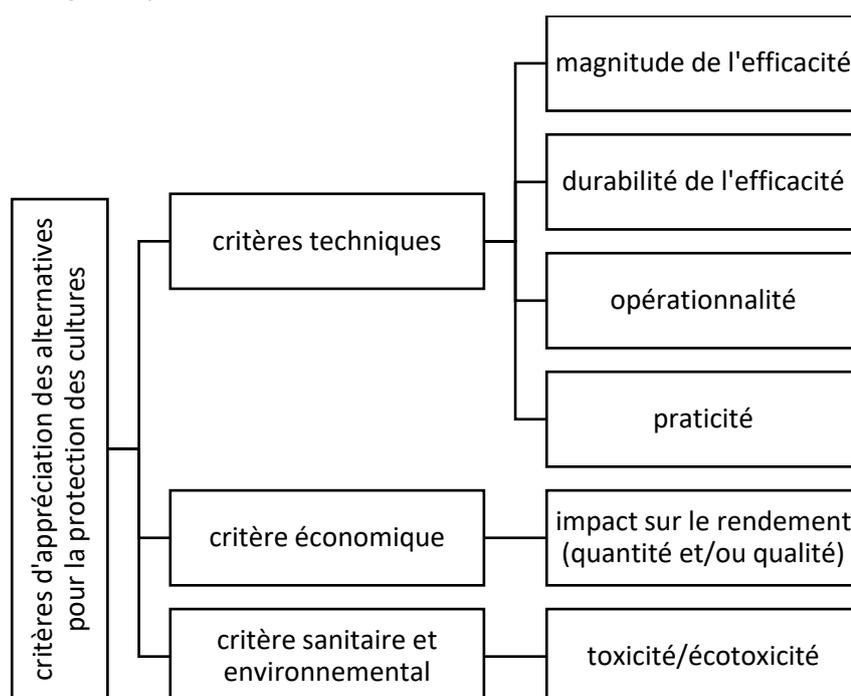


Figure 3 : Critères d'appréciation des alternatives retenues par le GT

- Les 4 critères techniques retenus sont les suivants :
 - la **magnitude de l'efficacité** se définit comme la capacité de l'alternative à réduire l'intensité et/ou la fréquence des dégâts infligés par les organismes nuisibles à la culture ciblée (Anses 2018, TOME 1) ;
 - la **durabilité de l'efficacité** de l'alternative tient compte du risque d'apparition de résistance ou de contournement du mécanisme de régulation des organismes nuisibles (Anses 2018, TOME 1) ;
 - l'**opérationnalité** de l'alternative considère le niveau de disponibilité d'une technique en fonction de sa mise au point, de sa validation au champ et éventuellement de son autorisation de mise sur le marché (AMM) ou de son inscription aux Catalogues des variétés dans le cas de la lutte génétique (Anses 2018, TOME 1) ;
 - la **praticité de la mise en œuvre** indique la facilité de mise en œuvre de l'alternative, en fonction notamment du matériel, du nombre de traitements ou d'interventions, du temps de travail et de la technicité nécessaires (Anses 2018, TOME 1).
- Le GT retient l'**impact de l'alternative sur le rendement agricole** en tant que critère économique. L'impact de l'alternative prend en compte les conséquences de la méthode sur le rendement en quantité (tonnes de pertes) et en qualité (perte de valeur du produit) en l'absence de maladie ;
- Pour le critère concernant les implications sanitaires et environnementales des alternatives, c'est le profil de **toxicité et d'écotoxicité** de l'alternative qui est retenu. Trois niveaux sont utilisés pour juger de ce profil : toxicité ou écotoxicité « majeure » pour les substances classées CMR (cancérogène, mutagène et reprotoxique) ou les substances chimiques classées « préoccupantes » selon la réglementation en vigueur⁴⁴ ; « négligeable ou nulle » pour les produits de biocontrôle, les substances de base, les méthodes non chimiques, et « significative » pour toute autre catégorie de produit/substance⁴⁵.

3.3.1.3 Classement des alternatives

Dans la même optique que celle suivie pour classer les usages du cuivre, le GT a retenu une méthode multicritère avec tableau de bord pour classer les alternatives.

Pour chacun des 6 critères, les experts ont attribué une note entre 1 et 3 (cf. Tableau 1 ci-dessous). Pour ce faire, le GT a mobilisé différentes sources d'information (dossiers d'homologation des substances, littérature, expertise des membres du GT). Afin de ne pas exclure ou risquer de sous-estimer des alternatives difficiles à renseigner sur certains critères, le GT a ajouté une modalité « Nd » (non documenté) pour précisément tenir compte de ce désavantage. Le GT considère donc que les données non documentées ne doivent pas être éliminatoires pour tenter de réaliser l'évaluation des impacts technico-économiques.

⁴⁴ [Classification des PPP – R4P \(r4p-inra.fr\)](#)

⁴⁵ Par exemple, des substances de synthèse non classées CMR ou préoccupantes.

Tableau 1 : Liste des critères d'appréciation des alternatives et scores de notation

Critères	Notation	Sources de données
Magnitude de l'efficacité de la méthode	Nd = non documentée 1 = efficacité potentielle nécessitant des mesures complémentaires 2 = efficacité prouvée mais insuffisante 3 = efficace en soi	- Dossier d'homologation - Littérature scientifique et grise - Experts du GT
Durabilité de l'efficacité de la méthode	Nd = non documentée 1 = risque élevé d'apparition de résistance 2 = risque faible à modéré 3 = risque nul à quasi nul	- Dossier d'homologation - Littérature scientifique et grise - Experts du GT
Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Nd = non documenté 1 = majeur 2 = significatif 3 = négligeable	- Littérature scientifique et grise - Experts du GT
Toxicité et écotoxicité	Nd = non documentée 1 = majeure 2 = significative 3 = négligeable ou nulle	- Tableau redevance pollution diffuse - Rapport Anses, 2022
Opérationnalité de la méthode	Nd = non documentée 1 = stade recherche et développement 2 = en application quelque part dans le monde 3 = déjà en application en France	- Littérature scientifique et grise - Experts du GT
Praticité de la mise en œuvre	Nd = non documentée 1 = avec ajustement à moyen long terme 2 = avec ajustement à court terme 3 = sans ajustement	- Littérature scientifique et grise - Experts du GT

Le GT a également proposé le calcul d'un score final pour chaque alternative. Suivant cette démarche, chaque alternative a obtenu un score sur un total de points possibles tenant compte le cas échéant des données manquantes. Par exemple, pour l'alternative de l'huile essentielle de citronnelle en viticulture, seuls 3 des critères ont pu être renseignés, la note a donc été une note sur 9 (3 points maximum x 3 critères). Toutefois, pour la plupart des alternatives, chaque critère a pu être renseigné de sorte que la note maximale était de 18 en sommant les notes obtenues aux 6 critères. Ensuite, un classement a été établi entre les alternatives en divisant

la note obtenue par le nombre maximum de points, ce qui normalise la note dans un intervalle entre 0 et 1. Les alternatives ont finalement été classées par ordre décroissant (de 1 à 0).

Il est important de noter que le classement ainsi obtenu des alternatives ne permet pas de répondre à un enjeu lié à la manière plus ou moins restrictive dont on envisage la substitution du cuivre.

La démarche du GT a consisté à prendre en compte des combinaisons d'alternatives telles que :

- dans chaque famille d'alternatives, les alternatives les plus hautes dans le classement sont privilégiées ;
- les alternatives ont des modes d'action complémentaires entre elles ;
- les alternatives ont montré lors d'expérimentations scientifiques une efficacité avérée pour réduire la sévérité de la maladie et dont la disponibilité est contrainte par l'horizon temporel de court terme retenu dans l'étude.

Pour chacune des cultures spécifiques examinées (vigne, pomme de terre AB et pommier), ces considérations seront précisées (cf. section 3.4).

3.3.1.3.1 Classement des alternatives pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique

Dans le cadre de la protection contre le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique, ce sont les méthodes physiques (gestion des tas de déchets, destruction des repousses dans les parcelles voisines) qui arrivent en première position. Comme pour les OAD, ces alternatives obtiennent une note de 18/18 pour les 6 critères évalués (cf. Tableau 2). Les substances et préparations naturelles et les variétés résistantes sont pénalisées par leur efficacité (magnitude et/ou durabilité) évaluée plus faible que celle des méthodes physiques.

Certaines alternatives identifiées par le GT contre le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique ne sont pas encore déployées sur le terrain. Ces alternatives (grisées dans le Tableau 2 ci-dessous) obtiennent une faible notation compte tenu des données manquantes car elles sont peu documentées.

Tableau 2 : Classement des alternatives pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique

Substance / méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
Outils d'aide à la décision	Outils d'aide à la décision	3	3	3	3	3	3	1,00
Gestion des tas de déchets (destruction, bâchage), destruction des repousses dans parcelles voisines	Méthodes physiques	3	3	3	3	3	3	1,00
Préparations à base d'huile essentielle d'agrumes	Substance / Préparation naturelle	2	3	3	3	3	3	0,94
Utilisation de plant certifié	Méthodes physiques	2	3	3	3	3	3	0,94
Prêle (Equisetum arvense), Extrait d'écorce de saule (Salix spp. Cortex), Ortie (Urtica spp.), Ortie (Urtica spp.), Lécithines, Hydrogénocarbonate de sodium, Lactosérum/petit lait, Lait de vache, Chlorure de sodium, Fructose, Saccharose	Substance / Préparation naturelle	1	3	3	3	3	3	0,89

Substance / méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
Variétés inscrites en France	Variétés résistantes à résistance spécifique	3	1	3	3	3	3	0,89
Variétés inscrites en France	Variétés résistantes à résistance quantitative	2	2	3	3	3	3	0,89
Variétés classées en France	Mélanges variétaux	2	2	3	2	2	3	0,78
<i>Extrait de yucca - saponines - allicines, extrait de sauge officinale (Salvia officinalis) - dérivés de lutéoline et d'ac. rosmarinique (phénols), extraits de réglisse (Glycyrrhiza glabra) - flavonoïdes, extrait de margousier (Melia azedarach, huile végétale Natur'l oléo® (Brésil)</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	1	3	Nd	1	3	Nd	0,67
<i>Lipopeptides bactériens (surfactines; iturines, fengycines)</i>	<i>Agents microbiens</i>	1	3	Nd	1	3	Nd	0,67

Substance / méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
<i>Traitement à l'ozone pour inhibition germination des spores</i>	<i>Méthodes physiques</i>	1	Nd	Nd	1	1	Nd	0,33

Note : les alternatives en police grisée sont peu documentées (ou potentielles sans AMM) avec des cellules notées « Nd » ; les cellules notées « Nd » ne sont pas comptabilisées dans le calcul du rang (ex : le nombre total de points obtenu par la méthode physique « traitement à l'ozone pour l'inhibition de la germination des spores » (dernière ligne du tableau) est de 3 sur 9 possibles, ce qui donne un rang de 0,33) ; la réglementation concernant certaines substances actives identifiées comme alternatives au cuivre peut évoluer au cours du traitement de l'expertise.

3.3.1.3.2 Classement des alternatives pour lutter contre le mildiou de la vigne en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle

A l'issue du classement réalisé par le GT, les substances et préparations naturelles et les substances de synthèse arrivent en première position derrière les OAD qui ont obtenu la note maximale de 18/18 pour les 6 critères évalués étant donné leur spécificité (cf. Tableau 3). Les OAD sont considérés comme étant complémentaires aux alternatives. Ils permettent d'augmenter l'efficacité des méthodes de lutte.

Plusieurs alternatives identifiées par le GT ne sont pas encore déployées sur le terrain. Ces alternatives (grisées dans le tableau 3 ci-dessus) obtiennent une faible notation compte tenu des données manquantes car elles sont peu documentées.

3.3.1.3.3 Classement des alternatives pour lutter contre la tavelure du pommier en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle

Contre la tavelure du pommier, les alternatives avec les scores les plus élevés sont des substances chimiques (silicate d'aluminium, phosphonates de potassium) avec un score de 16/18 pour les 6 critères évalués (cf. Tableau 4). Les substances naturelles (laminarine extraits de plantes) et les produits de biocontrôle à base d'agents microbiens sont mieux classés que les fongicides de synthèse, en raison de leur moins grande toxicité. Les variétés résistantes, les méthodes physiques et les OAD sont les alternatives les moins bien classées. Cela s'explique par le fait que les stratégies de lutte génétique chez le pommier contre la tavelure reposent principalement sur l'utilisation de quelques gènes majeurs de résistance Vf, déjà contournés par de nouveaux pathotypes de *Venturia inaequalis* (Gessler & Pertot, 2012). En ce qui concerne les méthodes physiques, leur mise en œuvre se heurte à différentes problématiques (détaillées dans la section 3.3.1.1.3), ce qui fait que leur efficacité, praticité et opérationnalité sont encore débattues (Infos CTIFL N°351, 2019⁴⁶). Enfin, contrairement à la viticulture et à la culture de pomme de terre biologique, les OAD sont moins bien classés car les modèles utilisés pour lutter contre la tavelure du pommier ne sont pas encore totalement fiables pour détecter les projections en fin de contaminations primaires (BSV Arboriculture N°24 Bilan, 2022⁴⁷).

Certaines alternatives identifiées par le GT contre la tavelure du pommier ne sont pas encore déployées sur le terrain. Ces alternatives (grisées dans le Tableau 4 ci-dessus) obtiennent une faible notation, compte tenu des données manquantes, car elles sont peu documentées.

⁴⁶ [INFOS CTIFL 351 infos_ctifl_351 - CTIFL](#)

⁴⁷ [BSV arboriculture n°24 du 15 septembre 2022 | DRIAAF Île-de-France \(agriculture.gouv.fr\)](#)

Tableau 3 : Classement des alternatives pour lutter contre le mildiou de la vigne

Substance / méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
Outil d'aide à la décision	Outils d'aide à la décision	3	3	3	3	3	3	1,00
Préparations à base d'huile essentielle d'agrumes, ABE-IT-56, COS-OGA, Cerevisane, Laminarine	Substance / Préparation naturelle	2	3	3	3	3	3	0,94
Bacillus amyloliquefaciens FZB24, Bacillus subtilis	Agents microbiens	2	3	3	3	3	3	0,94
Dissodium phosphonate, Phosphonate de potassium, Fosétyl	Substance de synthèse	2	3	3	3	3	3	0,94
Prêle (Equisetum arvense), Extrait d'écorce de saule (Salix spp. Cortex), Ortie (Urtica spp.), Lécithines, Hydrogénocarbonate de sodium, Lactosérum/petit lait, Lait de vache, Chlorure de sodium, Fructose, Saccharose, Chitosane	Substance / Préparation naturelle	1	3	3	3	3	3	0,89
Dithianon, folpel, metirame	Substances de synthèse action multi-site	3	3	3	3	3	1	0,89
Pratiques en vert (effeuillage partiel précoce, ébourgeonnage, épamprage)	Méthodes physiques	2	3	3	3	2	3	0,89

Substance / méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
Cyazofamide, azoxystrobine, pyraclostrobine, amétoctadine, bentiavalicarbe, mandipropamide, valifénalate, oxathiapiproline, béalaxyl-M, métalaxyl-M, zoxamide	Substances de synthèse action uniste	3	1	3	3	3	2	0,83
Amisulbrom, diméthomorphe, iprovalicarbe, cymoxanil, fluopicolide	Substances de synthèse action uniste	3	1	3	3	3	1	0,78
Couverture de la vigne (Vitetunnel)	Méthodes physiques	3	3	3	1	1	3	0,78
Variétés classées en France	Variétés résistantes à résistance spécifique	3	1	2	3	2	3	0,78
Application d'UV sur la vigne, Ramassage des feuilles /élimination inoculum	Méthodes physiques	1	3	3	1	1	3	0,67
<i>Extrait d'ail, Extrait de tronc et de racine de vigne</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	1	Nd	3	1	3	Nd	0,67
<i>Streptomyces viridosporus ou de Trichoderma harzianum</i>	<i>Agents microbiens</i>	1	3	Nd	1	3	Nd	0,67
<i>Extrait de yucca - saponines - allïcines, extrait de sauge officinale (Salvia officinalis) -</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	1	Nd	Nd	1	3	Nd	0,56

Substance / méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
<i>dérivés de lutéoline et d'acide rosmarinique (phénols), extrait de réglisse (Glycyrrhiza glabra) - Flavonoïdes, extrait de margousier (Melia azedarach, huile végétale Natur'l oléo® (Brésil), Extrait d'écorce de magnolia, HE de citronnelle, nitrure de silicium, Tagatose</i>								
<i>Lipoptides bactériens (surfactines; iturines, fengycines), Ochrobactrum sp</i>	<i>Agents microbiens</i>	1	Nd	Nd	1	3	Nd	0,56

Note : les alternatives en police grisée sont peu documentées (ou potentielles sans AMM) avec des cellules notées « Nd » ; les cellules notées « Nd » ne sont pas comptabilisées dans le calcul du rang (ex : le nombre total de points obtenu par des agents microbiens « *lipoptides bactériens* » (dernière ligne du tableau) est de 4 sur 9 possibles, ce qui donne un rang de 0,56) ; la réglementation concernant certaines substances actives identifiées comme alternatives au cuivre peut évoluer au cours du traitement de l'expertise.

Tableau 4 : Classement des alternatives pour lutter contre la tavelure du pommier

Substance / Méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
Silicate d'aluminium, Phosphonates de potassium	Substance chimique	2	3	3	3	3	3	0,94
Hydrogénocarbonate de potassium (ou bicarbonate de potassium), Polysulfure de calcium (bouillie sulfo-calcique, BSC, - dérogatoire)	Substance naturelle	2	3	3	3	3	3	0,94
Dithianon, captane ...	Substance de synthèse	3	3	3	3	3	1	0,89
Laminarine (glucane extrait d'algue brunes, <i>Laminaria digitata</i>), Extrait de prêle (<i>Equisetum arvense</i>), de saule (<i>Salix sp.</i>), Harpine (protéine bactérienne)	Substance naturelle	1	3	3	3	3	3	0,89
<i>Bacillus subtilis</i> souche IAB/BS03, <i>Bacillus subtilis</i> souche QST 713	Agent microbien	1	3	3	3	3	3	0,89
Variétés inscrites en France	Variété résistante à résistance spécifique	3	1	3	3	3	3	0,89
Soufre	Substance chimique	2	3	2	3	3	3	0,89
Variétés inscrites en France	Variété résistante à résistance quantitative ou avec pyramidage	2	1	3	3	3	3	0,83
Mesures de prophylaxie	Méthodes physiques	3	3	3	2	1	3	0,83

Substance / Méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
Variétés inscrites en France	Mélanges variétaux (1 rang sur 2)	2	2	3	3	2	3	0,83
Outils d'aide à la décision (Plateformes RIMPro, Öko-SIMPHYT...)	OAD	2	3	1	2	3	3	0,78
Système de culture de bûchage	Méthodes physiques	3	2	2	2	2	3	0,78
<i>Huile de colza, Extrait de feuille de réglisse, Extrait de Yucca schidigera, Extrait d'Abies sibirica, Graines de Camelia oleifera + Chenopodium quinoa, Noix de coco, Extrait de Salvia officinalis, Huile d'arbre à thé, Parois cellulaires de Saccharomyces cerevisia, Argiles, Carvacrol, acide gallique, coumarine, Carbonate acide de potassium, Moringa oleifera Leaf Extracts</i>	Substance naturelle	1	3	Nd	1	3	3	0,73
<i>Huile essentielle de thym (Thymus vulgaris), Huile essentielle de sarriette (Satiujera hortensis)</i>	Substance naturelle	1	3	Nd	1	3	2	0,67
<i>Lysobacter capsici AZ78, Cladosporium cladosporioides R406, Cladosporium cladosporioides R406,</i>	Agent microbien	1	3	Nd	1	3	Nd	0,67

Substance / Méthode	Catégorie	Magnitude de l'efficacité de la méthode	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Impact négatif sur le rendement (quantité et/ou qualité)	Opérationnalité de la méthode	Praticité de la mise en œuvre	Toxicité et écotoxicité	Rang
<i>Cladosporium cladosporioides H39</i>								

Note : les alternatives en police grisée sont peu documentées (ou potentielles sans AMM) avec des cellules notées « Nd » ; les cellules notées « Nd » ne sont pas comptabilisées dans le calcul du rang (ex : le nombre total de points obtenu par des substances naturelles telles que l'huile essentielle de thym et l'huile essentielle de sarriette (dernière ligne du tableau) est de 10 sur 15 possibles, ce qui donne un rang de 0,67) ; la réglementation concernant certaines substances actives identifiées comme alternatives au cuivre peut évoluer au cours du traitement de l'expertise

3.4 Construction des scénarios de substitution du cuivre

Dans une optique d'évaluation des impacts technico-économiques, il est apparu important de pouvoir tester différents scénarios de substitution qui associaient à la fois un objectif sur la dose de cuivre autorisée (annuelle ou avec lissage) et les moyens pour l'atteindre. Le GT a ainsi opté pour une approche par scénario qui correspond plutôt à un scénario exploratoire par opposition à un scénario anticipatif, en référence à la méthode de l'EEA, 2001⁴⁸. Puisque le GT s'est fixé comme objectif d'estimer les effets à court terme d'un durcissement réglementaire sur l'usage du cuivre, le GT est amené à examiner un scénario de référence correspondant au maintien du *statu quo*, à comparer à des scénarios de politique d'intervention correspondant à des réductions jusqu'à 100 % de la dose de cuivre actuellement autorisée. Ces éléments sont détaillés dans la suite du rapport. Les termes « scénarios de substitution », « scénarios alternatifs » et « scénarios de réduction (ou limitation)/retrait du cuivre » sont utilisés de manière équivalente.

3.4.1 Définition des scénarios de limitations d'usage ou de retrait du cuivre

Pour définir un scénario, le GT a d'abord discuté un volet « réglementaire » qui imposerait un certain degré de restriction de la quantité de cuivre pour la protection des plantes. Puis, le GT a intégré un volet « combinaison d'alternatives » à mettre en rapport avec le degré plus ou moins élevé de re-conception du système de production des cultures que nécessiterait l'exigence réglementaire.

- Gradient de limitation de la dose maximale de cuivre applicable par hectare et par an

Le GT a d'abord défini les scénarios de limitation de l'utilisation du cuivre en envisageant un gradient de limitation d'utilisation du cuivre entre la situation actuelle (scénario de référence, *statu quo* - avec dose maximale actuellement autorisée de cuivre de 4 kg/ha/an lissée sur 7 ans) et une situation de réduction de la dose de cuivre allant jusqu'à 100 % (retrait total du cuivre dit « scénario zéro cuivre »), en passant par un scénario intermédiaire fixant 50 % de la dose maximale actuelle (« scénario demi cuivre » avec une dose maximale autorisée (2 kg/ha/an) sans possibilité de lissage). A ce stade, pour faciliter l'évaluation des scénarios, la possibilité de lissage permettant aux agriculteurs de moduler les quantités de cuivre en fonction de la pression interannuelle des maladies n'est pas prise en compte.

- Correspondance entre les scénarios de réduction/retrait du cuivre et des combinaisons d'alternatives représentant différents degrés de rupture

Partant des doses maximales autorisées dans chaque scénario défini, le GT a identifié des combinaisons d'alternatives susceptibles d'atteindre le niveau visé de réduction des doses. Le niveau de protection qu'offre chaque alternative individuellement est plus faible que celui apporté par le cuivre. Cependant, des combinaisons d'alternatives (en particulier celles

⁴⁸ Un scénario exploratoire part du présent et explore les tendances futures tandis qu'un scénario anticipatif commence par une vision déterminée du futur (plus ou moins optimiste) et étudie à rebours la manière dont ce futur pourrait émerger (EEA, 2001).

fondées sur l'emploi de variétés résistantes) pourraient atteindre des niveaux d'efficacité équivalents à celui du cuivre (INRAE-ITAB, 2018). Le GT a donc considéré que l'évaluation des impacts technico-économiques ne peut se faire que sur la base d'une combinatoire d'alternatives permettant d'atteindre une efficacité suffisante tout en réduisant l'usage des substances controversées (ici le cuivre). Ces combinaisons rendent également compte du besoin, inclus dans le champ de l'évaluation, de développer des innovations systémiques cohérentes qui favorisent la transition (Jacquet et al., 2022). En effet, une telle approche systémique repose sur la combinaison de différentes méthodes dans une logique de changements de pratiques agricoles, de modifications des itinéraires techniques et de re-conception des systèmes de cultures. Dans cette logique, il ne s'agit donc pas d'additionner les niveaux d'efficacité individuels des différentes alternatives qui pourraient être combinées, mais bien de considérer l'efficacité des combinaisons, ainsi que leurs impacts technico-économiques, sanitaires et environnementaux.

Le GT a en outre considéré que, plus le scénario est ambitieux en termes de niveau de réduction d'emploi du cuivre, plus les combinaisons d'alternatives à mettre en place pour respecter la dose cible présenteront un niveau de complexité élevé de mise en œuvre et donc un degré de rupture important par rapport à la situation actuelle.

Toutefois, compte tenu de l'horizon temporel considéré pour l'analyse (court terme) :

i) le GT considère que le degré de rupture se fait sur les scénarios « demi cuivre » et « zéro cuivre » ;

ii) compte tenu du calendrier de réexamen des demandes d'AMM pour le cuivre, fixé à fin 2025, et de certaines contraintes liées à la disponibilité des données, le GT s'est intéressé exclusivement à des scénarios alternatifs possibles dans le court terme, c'est-à-dire mobilisant des méthodes ou leviers d'ores et déjà disponibles sur le marché, pour réduire/remplacer les produits phytosanitaires à base de cuivre en agriculture biologique et conventionnelle. Cependant, le GT souligne également que la réussite des alternatives au cuivre peut nécessiter un profond changement des systèmes agricoles (itinéraires techniques, associations de cultures...) et agroalimentaires (partage de la valeur, rapport au consommateur...), et donc des développements technologiques ou techniques supplémentaires (par exemple la finalisation du développement d'alternatives potentielles actuellement au stade de la R&D, mais non disponibles sur le marché). Ces changements de système n'ayant pu faire l'objet d'une évaluation par le GT dans le temps imparti pour l'expertise, l'opportunité de les analyser est discutée dans le chapitre 6 du rapport.

De plus, compte tenu des opportunités différentes de mise en place de certaines alternatives en fonction de la culture et de son caractère pérenne ou annuel, le nombre de scénarios à évaluer pourra varier selon la culture étudiée. Ces scénarios sont présentés en détail dans la suite du rapport.

3.4.2 Scénarios de substitution pour la vigne

Pour la construction des différents scénarios, plusieurs alternatives ont été exclues parmi celles identifiées :

- Les alternatives ayant une faible opérationnalité ou praticité : certaines des préparations naturelles qui ne sont qu'à un stade d'évaluation préliminaire et n'ont en outre pas démontré d'efficacité significative au vignoble. La couverture de la vigne et

l'application d'ultra-violet demandent des équipements très spécifiques qui ne sont pas considérées comme déployables à large échelle sur le court terme ;

- L'usage des variétés résistantes, compte tenu du taux de renouvellement du vignoble et de l'impossibilité réglementaire actuelle de pouvoir les déployer à court terme sur une très grande partie du vignoble (restrictions AOP).

Certaines alternatives comme l'utilisation d'OAD ou les pratiques de taille en vert (épamprage, ébourgeonnage, etc.) sont aujourd'hui largement mises en œuvre dans le vignoble. Elles sont donc considérées comme parties intégrantes de toutes les configurations évaluées.

Les alternatives sélectionnées pour la construction des scénarios se limitent donc à l'usage de produits de biocontrôle (certains étant utilisables en agriculture biologique, d'autres non), de préparations naturelles peu préoccupantes, de substances de base et à l'utilisation de fongicides de synthèse non présents sur la liste biocontrôle. Le positionnement de ces applications peut être piloté à l'aide des OAD disponibles. L'utilisation de telles alternatives n'engendre donc pas de modifications profondes du système de culture viticole et constituent les pratiques qui peuvent être mises en œuvre à court terme en cas de modification de la réglementation de l'usage du cuivre.

Le tableau 5 ci-dessous présente les scénarios de substitution du cuivre contre le mildiou en viticulture et combinaisons d'alternatives associées.

Tableau 5 : Scénarios de réduction/retrait du cuivre en viticulture contre le mildiou

	Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>	
AB	- PPP à base de cuivre - Produits liste biocontrôle - Extraits de plantes	- PPP à base de cuivre - Produits liste biocontrôle - extraits de plantes	- Produits liste biocontrôle - Extraits de plantes	
AC	- PPP à base de cuivre - Fongicides de synthèse (hors biocontrôle) - Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates)	- PPP à base de cuivre - Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates)	- Fongicides de synthèse (hors biocontrôle) - Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates)	- Phosphonates - Biocontrôle (hors phosphonates)

Note : agriculture biologique (AB), agriculture conventionnelle (AC), produit phytopharmaceutique (PPP)

3.4.3 Scénarios de substitution pour la pomme de terre biologique

Dans le cas de la pomme de terre biologique, le scénario de référence inclut : une variété sensible protégée par des applications de cuivre, sans mobilisation de méthodes prophylactiques particulières ou d'OAD pour le pilotage des interventions.

Dans le scénario « demi cuivre », la réduction de l'utilisation du cuivre est compensée par le recours à des variétés résistantes cultivées pures, achetées sous forme de plants certifiés, et

par l'utilisation d'un OAD (type Mileos®) permettant de positionner les applications de cuivre lors des périodes de plus fort risque de contamination. Les résistances variétales utilisables peuvent appartenir à deux grands types, tous les deux disponibles dans des variétés actuelles (Wastie, 1991) :

- soit des résistances « totales » ou « majeures », fondées sur des gènes (dits R) gouvernant la reconnaissance entre l'hôte et le parasite, et amenant la plante à sacrifier les cellules en contact immédiat avec le parasite dès le début de l'infection. Ces résistances, lorsqu'elles sont efficaces (c'est-à-dire en présence de souches dites « avirulentes » du parasite), se traduisent par une absence quasi complète de symptômes, à l'exception de très petites zones nécrosées aux points d'infection, sans effet sur le rendement et qui bloquent toute possibilité d'invasion des tissus de l'hôte par le parasite et toute possibilité pour celui-ci de se nourrir et de se reproduire aux dépens de son hôte. Ces résistances suivent le modèle génétique « gène pour gène » de Flor (1971), et peuvent donc être contournées par l'apparition de souches dites 'virulentes' que l'hôte ne reconnaît plus, et qui peuvent alors infecter les variétés porteuses des gènes R correspondants. Elles sont donc peu durables dans le temps, les contournements survenant généralement dans les 3 à 5 ans suivant le déploiement sur des surfaces conséquentes (quelques dizaines à quelques centaines d'hectare) des variétés porteuses des gènes de résistance (voir par exemple Pilet et al., 2005 pour le cas du gène R2 en France) ;
- soit des résistances « partielles » ou « quantitatives », qui agissent essentiellement en ralentissant une ou plusieurs des étapes du cycle biologique du parasite une fois l'infection réalisée. Ces résistances n'évitent pas l'infection, ni donc la survenue de symptômes ; elles freinent cependant la progression du parasite dans la plante et ralentissent les infections secondaires, et donc la progression globale de l'épidémie.

Étant donné que les diverses formes de résistance variétale ont pour effet de réduire plus ou moins considérablement la pression de la maladie, il semble raisonnable de penser que ces variétés pourraient permettre de réduire de moitié les doses de cuivre appliquées dans le scénario actuel sans impact notable sur le rendement. Ceci suppose toutefois une application judicieuse des quantités de cuivre restant disponibles, d'où l'utilisation de l'OAD pour les positionner au mieux par rapport aux périodes à risque élevé de contamination. De telles stratégies ont d'ailleurs été expérimentées au champ, avec un succès important (Ritchie et al., 2017).

Pour le scénario zéro cuivre, les combinaisons reposent sur l'utilisation de variétés résistantes, cultivées pures (variante 1) ou en association avec d'autres variétés soit résistantes, soit sensibles (variante 2), et de méthodes prophylactiques destinées à réduire la quantité d'inoculum survivant à proximité des parcelles et responsables des premières contaminations : élimination ou bâchage des « tas de déchets » (empilement à proximité des parcelles des écarts de tri, tubercules pourris ou coupés, terre et cailloux), élimination des repousses, etc...

La variante 2 « mélange variétal » comportant un déploiement des variétés non pas pures mais en mélange dans la parcelle (rangs alternés ou mélange au hasard) est destinée à renforcer la durabilité des résistances, mais aussi leur efficacité (Andriveau et al., 2003). Ces mélanges variétaux, qui fonctionnent en réduisant la densité d'hôtes sensibles, en limitant le transfert d'inoculum entre plantes (diminution de la quantité d'inoculum produite dans la parcelle du fait de la présence d'hôtes résistants) et en induisant des réactions de défense

croisées (Clin et al, 2021 ; 2022), fonctionnent d'autant mieux que la pression de la maladie est plus faible (Pilet et al, 2006). Ils permettent également de produire sans cuivre une certaine quantité de variétés sensibles, à bonne valeur marchande, ce qui ne serait pas possible si ces variétés étaient cultivées pures.

Le recours à un OAD n'est pas inclus dans ces deux variantes 1 et 2 du scénario 'zéro cuivre', fondées uniquement sur la prévention des infections primaires et la limitation des risques de propagation du mildiou *via* des barrières écologiques (variétés résistantes, mélanges variétaux) et qui n'incluent aucune intervention en cours de culture pilotable par OAD. Cet outil de prévision du risque, destiné à optimiser les applications phytosanitaires en culture, est donc de fait inutile dans ces scénarios. Le scénario « demi cuivre » peut donc être considéré comme un scénario agro-écologique mixte (recours à la fois à des méthodes non chimiques et chimiques), alors que les deux variantes du scénario « zéro cuivre » peuvent être vues comme des itinéraires basés en totalité sur l'exploitation de leviers agro-écologiques.

Le tableau 6 ci-dessous présente les scénarios de substitution du cuivre contre le mildiou pour la pomme de terre biologique et les combinaisons d'alternatives associées.

Tableau 6 : Scénarios de réduction/retrait du cuivre pour la pomme de terre biologique contre le mildiou

Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénarios « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>	
		<i>Variante 1</i>	<i>Variante 2</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Variété sensible - PPP à base de cuivre - Pilotage avec OAD 	<ul style="list-style-type: none"> - Variété résistante au mildiou - prophylaxie inoculum primaire (gestion déchets et repousses; plant certifié) - PPP à base de cuivre (si nécessaire) - Pilotage avec OAD 	<ul style="list-style-type: none"> - Variété résistante au mildiou - Prophylaxie inoculum primaire (gestion déchets et repousses; plants certifiés) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mélange variétal (sensibles et résistantes au mildiou) - Prophylaxie inoculum primaire (gestion déchets et repousses; plants certifiés)

Note : outil d'aide à la décision (OAD), produit phytopharmaceutique (PPP)

3.4.4 Scénarios de substitution pour le pommier

Pour la pomiculture et la définition du contenu des trois scénarios (« actuel », « demi cuivre », « zéro cuivre »), le GT a maintenu la distinction entre agriculture conventionnelle (AC) et biologique (AB). Les alternatives ont été sélectionnées selon l'approche du réseau DEPHY Ferme pour élaborer des systèmes de culture multi-performants.

Dans le scénario actuel, en AC ou en AB, le portefeuille commun d'alternatives se compose de produits cupriques, d'OAD, de mesures prophylactiques, et de variétés sensibles. Les arboriculteurs en AB peuvent utiliser en outre des biocontrôles, Stimulateurs de Défense des

Plantes et des substances naturelles (extraits de plantes), tandis que les arboriculteurs en AC ont recours aux fongicides de synthèse et aux phosphonates.

Dans le scénario « demi cuivre », pour compléter la palette d'alternatives déjà en place, l'AB pourrait davantage recourir à des méthodes physiques (notamment bâche anti-pluie) pour compenser la moindre utilisation de cuivre autorisée, généraliser les méthodes prophylactiques, appliquer des biostimulants pour renforcer la capacité des plantes à gérer les stress, et recourir à des mélanges variétaux et des variétés résistantes. En AC, le traitement avec des SDP et des substances naturelles (SN) apparaît dans la liste des alternatives envisageables, là encore en complément des alternatives déjà communément adoptées. L'intérêt de traitements à doses réduites de cuivre, combinés à l'utilisation d'autres techniques de lutte, a été démontré depuis plusieurs années dans le cadre des activités du réseau DEPHY (Plan Ecophyto, Fiche DEPHY ARF 27863, 2014).

Dans le scénario « zéro cuivre », le degré de rupture du système de production est plus important avec le retrait total du cuivre. Il est basé sur une approche agroécologique avec la mise en place progressive de vergers avec une plus grande diversité génétique lors de leur renouvellement. Cultiver ensemble des variétés résistantes ou tolérantes avec des variétés sensibles à la tavelure peut limiter le développement des épidémies et limiter les pertes de rendement des variétés sensibles (Parisi et al. 2013 ; Stewart et al, 2023). C'est pourquoi, bien que ce type d'alternatives soit encore à ce jour au stade expérimental, le GT a retenu comme alternative pertinente le mélange au sein de la parcelle (un rang sur deux) de 50 % de variétés résistantes ou tolérantes à la tavelure et de 50% de variétés sensibles (cultivées actuellement), avec l'objectif de maintenir un niveau de rendement et de qualité des fruits et renforcer la durabilité et l'efficacité des résistances aux maladies ciblées (Hartman et al., 2000). Le principe du mélange variétal dans les vergers de pommiers est déjà utilisé dans le but de favoriser la pollinisation. En outre, le projet Z a été initié pour tester sur 15 ans des vergers avec une grande biodiversité d'espèces (plusieurs espèces de variétés fruitières et des plantes de services) (Projet Z sur 15 ans, Simon et al., 2022) pour viser le « zéro pesticide ».

Le Tableau 7 ci-dessous présente les scénarios de substitution du cuivre contre la tavelure du pommier et les combinaisons d'alternatives associées.

Tableau 7 : Scénarios de réduction/retrait du cuivre en pomiculture contre la tavelure

	Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>
AB	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Pilotage avec OAD - Biocontrôles, SDP, SN - Mesures prophylactiques généralisées - Variétés sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure 	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Pilotage avec OAD - Biocontrôles, SDP, SN et biostimulants - Mesures prophylactiques généralisés - Mélanges variétaux (sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure) - Mesures physiques (bâches anti-pluie) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotage avec OAD - Biocontrôles, SDP, SN, biostimulants - Mesures prophylactiques généralisées - Mélanges variétaux (sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure) - Mesures physiques (bâches anti-pluie) - Adaptation du système d'irrigation (pour éviter l'aspersion et l'humectation du feuillage)
AC	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Fongicides de synthèse - Pilotage avec OAD - Mesures prophylactiques - Variétés sensibles à la tavelure 	<ul style="list-style-type: none"> - PPP à base de cuivre - Fongicides de synthèse - Pilotage avec OAD - Mesures prophylactiques - Variétés sensibles à la tavelure - Biocontrôles, SDP, SN, biostimulants 	<ul style="list-style-type: none"> - Fongicides de synthèse - Pilotage avec OAD - Mesures physiques (bâches anti-pluie) - Mesures prophylactiques généralisée - Biocontrôles, SDP, SN, biostimulants - Mélanges variétaux (sensibles/tolérantes/résistantes à la tavelure)

Note : agriculture biologique (AB), agriculture conventionnelle (AC), outil d'aide à la décision (OAD), stimulateur des défenses des plantes (SDP), substance naturelle (SN), produit phytopharmaceutique (PPP)

3.5 Méthode d'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre

3.5.1 Définition des indicateurs technico-économiques

Le GT a réalisé une évaluation des scénarios basée sur des indicateurs technico-économiques. L'objectif est, en se plaçant à l'échelle d'une exploitation agricole (et non d'une filière), de calculer *in fine* l'écart de marge sur coût de protection obtenu en cas de changement de pratique occasionné par une modification de l'autorisation d'utilisation du cuivre (modalités d'utilisation précisées dans les scénarios « demi cuivre » ou « zéro cuivre »). Une telle évaluation a nécessité de définir des indicateurs de rendement, de coût de protection et de marge sur coût de protection.

3.5.1.1. Indicateurs de rendement

La première information essentielle au calcul de l'impact technico-économique des scénarios est le rendement. Le GT a travaillé à partir de 4 indicateurs de rendement (cf. glossaire et Figure 4). Le **rendement de référence** correspond à un rendement théorique qui pourrait être obtenu en l'absence d'épidémie et donc de dommage (et donc ne nécessitant pas de protection). En viticulture, compte-tenu de l'écrêtement des rendements dans les cahiers des charges des indications géographiques (AOP, IGP), le rendement de référence sera nommé « rendement objectif » et correspondra au rendement maximum qu'il est possible de produire dans le cadre du cahier des charges. Le **rendement sans protection** correspond quant à lui au rendement en présence d'épidémie alors qu'aucune protection n'est appliquée sur les cultures. Dans le scénario « actuel », le **rendement « actuel »** correspond au rendement obtenu dans la situation actuelle avec utilisation des produits de synthèse ou non pour prévenir ou traiter une épidémie. Enfin, le GT calcule un **rendement pour chacun des scénarios alternatifs** dans lesquels des combinaisons d'alternatives au cuivre sont mobilisées pour prévenir ou traiter une épidémie.

A partir du rendement de référence, il est possible de calculer, au sein de chaque scénario, la perte de rendement qui résulte de la différence entre ce rendement de référence (ou rendement objectif pour le cas de la viticulture) et le rendement obtenu dans le scénario « actuel » ou dans un scénario alternatif (« demi cuivre » ou « zéro cuivre »).

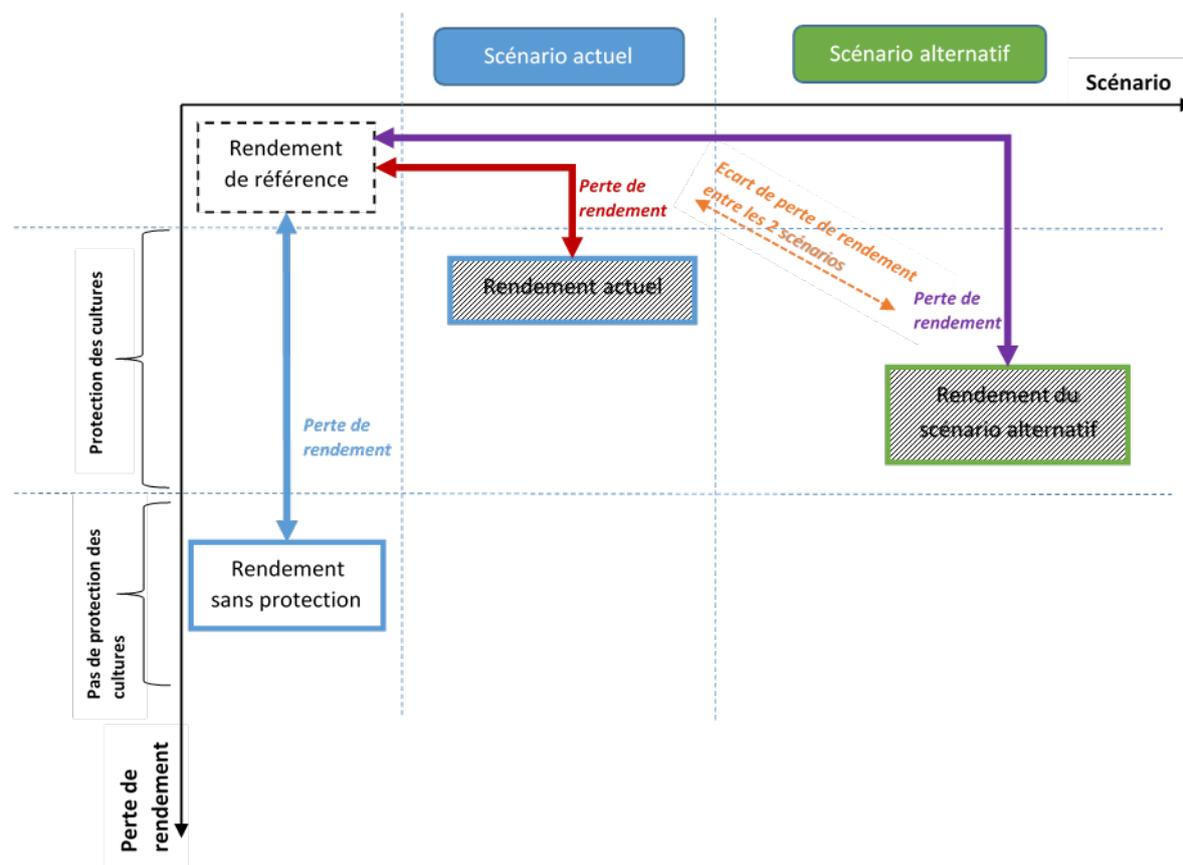


Figure 4 : Schéma résumant les notions de rendement utilisées dans le rapport

Pour évaluer les pertes de rendement, deux autres indicateurs ont été mobilisés :

- la pression phytosanitaire, plus ou moins importante, et plus ou moins fréquente, qui permet de connaître l'intensité et la récurrence de l'infestation (indicateur obtenu par élicitation de dires d'experts dans le cas de la viticulture et de la pomiculture, cf. *infra*) ;

- l'efficacité des produits ou méthodes de protection (actuels ou alternatifs) qui agissent pour prévenir et maîtriser les épidémies et ont donc un effet sur le rendement. L'indicateur d'efficacité permet de déterminer la variation de rendement au sein de chacun des scénarios.

Idéalement, la relation entre la méthode de protection et l'effet sur le rendement nécessite de disposer d'une fonction dose-réponse. Or, établir une telle relation est complexe car le rendement dépend d'une multitude de facteurs (conditions météorologiques, pratiques culturales, zones géographiques, etc.). Il est donc difficile d'évaluer ce qui relève des aléas externes de ce qui relève de l'hétérogénéité structurelle liée aux conditions de production. Il faudrait pouvoir contrôler ces facteurs pour pouvoir estimer l'effet propre au produit phytosanitaire ou aux alternatives. De telles données n'étant pas disponibles, le GT s'est donc appuyé sur des dires d'experts pour estimer d'une part la fréquence de différentes situations de pression du bioagresseur (faible, moyenne, élevée) et d'autre part l'efficacité de la protection pour obtenir l'impact sur le rendement des différentes méthodes de protection (cf. section 3.5.3).

Le GT a alors calculé les pertes moyennes de rendement pondérées par les niveaux de pression pour chaque scénario.

Il est enfin également possible de calculer des écarts de perte de rendement entre un scénario alternatif (« demi cuivre » ou « zéro cuivre ») et le scénario actuel tels que :

Ecart de perte de rendement = Perte de rendement scénario « alternatif » - Perte de rendement scénario « actuel »

3.5.1.2. Indicateurs de coûts de protection et de marges sur coût de protection

Le coût de la protection phytosanitaire

Le coût de la protection phytosanitaire est calculé en prenant en compte les charges directes concernant les facteurs de production consommés pour la protection des cultures à la suite de Ugaglia (2009). C'est en ce sens un coût de production partiel. Il comprend :

- le coût des intrants utilisés (pesticides de synthèse, autres produits de protection des plantes, mais aussi bâches, etc.) calculé en fonction des quantités utilisées et des prix des intrants,
- le coût de la main d'œuvre calculé en fonction du type de main d'œuvre et du temps de travail,
- le coût du matériel (tracteur par exemple) et des équipements mobilisés (pulvérisateur par exemple) en fonction du coût d'utilisation des matériels et équipements et du temps d'utilisation de ces matériels et équipements.

Ainsi C_i le coût de protection du scénario i est tel que : $C_i = \Sigma (\text{Coût intrants}, \text{Coût main d'œuvre}, \text{Coût d'utilisation du matériel})$.

Pour calculer un tel coût, il est nécessaire de connaître les quantités utilisées pour chacun de ces facteurs. En l'absence de données expérimentales, les coûts calculés sont des coûts standards à partir de données de référence pour les quantités et le prix des intrants (cf. 3.5.3.2).

Il est ensuite possible de calculer l'**écart ΔC** entre le coût de protection obtenu dans un scénario « alternatif » (« demi cuivre » ou « zéro cuivre ») et le coût de protection dans le scénario actuel tel que :

Ecart de coût de protection = Coût du scénario « alternatif » noté C_2 - Coût du scénario « actuel » noté C_1

$$\Delta C = C_2 - C_1$$

Enfin, s'agissant des coûts de mise en œuvre des différentes méthodes de protection, le GT a fait le choix d'exclure des calculs les coûts de transition (en particulier, les coûts d'apprentissage).

La marge sur le coût de la protection phytosanitaire

La marge sur le coût de la protection phytosanitaire (M) dans le scénario i est calculée comme suit :

Marge sur coût de protection $_i$ = Production en valeur $_i$ - Coût de la protection $_i$

$$M_i = Prod_i - C_i$$

avec Production en valeur $_i$ = Rendement $_i$ noté Q_i x Prix de vente noté P_i

$$Prod_i = Q_i \times P_i$$

Il est ensuite possible de calculer un **écart ΔM** entre la marge sur coût de protection obtenue dans un scénario alternatif et la marge réalisée dans le scénario actuel (à prix P_1 inchangé) :

Ecart de marge sur coût de protection = Marge du scénario « alternatif » - Marge du scénario « actuel »

$$\Delta M = M_2 - M_1 = (Q_2 P_1 - Q_1 P_1) - (C_2 - C_1) = \Delta Prod - \Delta C$$

La variation de coût et la variation de rendement (et donc du montant des ventes) contribuent à la différence de marge. Le GT a donc calculé la part que représente chacune de ces sources de variation dans l'écart de marge sur coût de la protection : $\Delta Prod/\Delta M$ et $\Delta C/\Delta M$.

L'augmentation de prix de vente nécessaire pour compenser l'écart de marge

Enfin, le GT calcule l'augmentation de prix (en %) qu'il faudrait envisager pour que l'écart de marge sur coût de protection entre deux scénarios soit nul. Pour cela, les éléments suivants sont considérés :

- dans le scénario actuel : le prix de vente P_1 , le rendement « actuel » Q_1 et le coût de la protection C_1 ;
- dans un scénario alternatif de substitution du cuivre, un prix de vente P_2 qui représente le nouveau prix qu'il faudrait établir pour que l'écart de marge sur coût de protection soit égal à zéro, le rendement du scénario alternatif Q_2 et le coût de la protection C_2 .

Le calcul du taux de variation du prix en % peut se faire de deux façons :

1. Chercher P_2 tel que l'écart de marge sur coût de la protection (au nouveau prix de vente P_2) soit nul.

Si Δ Marge sur coût de la protection = 0

Alors $P_1Q_1 - C_1 = P_2Q_2 - C_2$

et $P_2 = ((P_1Q_1 - C_1 + C_2)/Q_2)$

Dès lors, on peut calculer le taux de variation du prix de vente en % : $((P_2 - P_1)/P_1) * 100$.

2. Exprimer le taux de variation du prix directement à partir de l'écart de marge calculé à prix P_1 inchangé entre les deux scénarios :

$\Delta M = (P_1Q_2 - C_2) - (P_1Q_1 - C_1)$

Connaissant ΔM et sachant que le rendement du scénario alternatif est Q_2 , le ratio $\Delta M/Q_2$ exprime le montant que doit couvrir chaque unité produite pour compenser l'écart de marge. En divisant ce ratio par le prix P_1 de départ, on obtient le taux de variation du prix recherché (*100 pour l'exprimer en %) : $(\Delta M / Q_2 P_1) * 100$.

3.5.2 Hypothèses de travail adoptées pour l'évaluation technico-économique du retrait du cuivre

Dans le cas des maladies combattues par le cuivre, le GT considère qu'il convient d'évaluer : i) les coûts de mise en œuvre des alternatives au cuivre (seules ou en combinaison) et ; ii) les pertes de rendement agricole tenant compte de la quantité produite et, le cas échéant, de la qualité du produit pouvant influencer le prix de vente, le coût du tri des productions, etc.

Pour chaque triplet « **scénario x combinaison d'alternatives x niveau de pression** », il convient de déterminer :

- les modalités de la mise en œuvre appropriée de la combinaison d'alternative considérée de sorte à pouvoir calculer les coûts associés, en comparaison de la situation de référence ;
- la perte de rendement (voire de qualité) associée à la mise en œuvre appropriée de l'alternative considérée de sorte à évaluer les pertes dues à la maladie, en comparaison de la situation de référence.

Pour l'évaluation de marge sur coût de la protection, il convient de déterminer les prix de vente de la culture en fonction de la qualité de la production. Le GT considère différents types de marché en fonction de la culture concernée : le marché du frais pour la pomme de terre et la pomme et le marché du vin pour la viticulture. Ce marché est porté par différentes appellations et IGP et est très segmenté selon les cibles de consommateurs. Le GT utilise également différents prix de vente (« élevés » versus « bas ») tenant compte de la qualité et des variations annuelles.

3.5.3 Données mobilisées

3.5.3.1 Mobilisations de dires d'experts

Les données utilisées pour l'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre par les combinaisons d'alternatives identifiées par le GT proviennent principalement de dires d'experts filières externes au groupe de travail.

Dans **le cas de la pomme de terre biologique**, l'expert spécialiste de la culture au sein du GT a fourni la plupart des informations nécessaires pour l'évaluation. Des compléments ponctuels (coûts d'interventions spécifiques : bâchage prophylactique des tas de déchets, arrachage de mélanges variétaux à plusieurs machines, tri optique des récoltes) et des validations de données préalablement déterminées (ex : coût des applications de cuivre) ont été recueillis par mail auprès de deux experts d'Arvalis Institut du Végétal, dont les chiffres ont été mobilisés pour l'évaluation des scénarios correspondants. Ces deux experts ont également confirmé les estimations préalables concernant les applications de cuivre (doses, nombre d'applications, coûts des produits et des applications) et ont fourni des fourchettes réalistes permettant de cerner la variabilité existante entre situations sur ces critères.

Dans le cas de la vigne et du pommier, une élicitation complémentaire de dires d'experts extérieurs au GT a été réalisée étant donné l'absence de données, notamment sur l'efficacité des combinaisons d'alternatives dans les scénarios « demi cuivre » ou « zéro cuivre ». Un panel d'experts pour chaque culture a permis de renseigner les informations nécessaires pour l'évaluation des impacts des combinaisons d'alternatives sur le rendement des cultures.

La procédure d'élicitation des dires d'experts est adaptée de la méthode Delphi (EFSA, 2014). Elle a consisté en cinq étapes :

- a) Étape 1 : Sollicitation des experts ;
- b) Étape 2 : Réalisation d'un questionnaire pour collecter les informations nécessaires auprès des experts sollicités et ayant accepté de participer à l'élicitation ;
- c) Étape 3 : Briefing des experts sollicités sur l'objectif de l'élicitation et le contenu du questionnaire ;
- d) Étape 4 : Collecte des informations et synthèse des résultats de l'élicitation ;
- e) Étape 5 : Synthèse et validation, par les experts sollicités, des résultats de l'élicitation.

Chaque étape est détaillée dans la suite de la section.

a. Sollicitation des experts

Les experts ont été sollicités de manière à avoir une représentativité des différentes situations possibles pour la culture en question. Ils proviennent de différentes institutions (DGAI, chambres d'agriculture, instituts techniques, INRAE, conseillers privés...) qui interviennent dans l'expérimentation, la mise en œuvre des alternatives et/ou l'accompagnement des agriculteurs (cf. annexes 9 et 10).

Pour la **viticulture**, l'élicitation concerne deux principales zones viticoles, avec des situations contrastées en termes d'occurrence et de niveau de pression de mildiou. Il s'agit :

- des vignobles de la façade atlantique (Bordelais-Bergerac, Charentes), caractérisés par une pression mildiou récurrente ;

- des vignobles de l'Arc Méditerranéen (Languedoc-Roussillon, PACA), caractérisés par une pression mildiou en moyenne plus faible, plus tardive, mais avec des pressions des maladies plus fortes ponctuellement certaines années.

Pour la **pomiculture**, les experts sollicités pour l'élucation l'ont été de sorte à obtenir des informations représentatives pour l'ensemble des régions de production concernées par la tavelure.

Tous les experts sollicités n'ont pas participé à l'élucation, que ce soit pour la vigne ou pour le pommier. Sur les 16 experts sollicités pour la viticulture, seulement 12 experts ont participé à l'élucation : huit experts pour la façade atlantique et quatre experts pour l'arc méditerranéen (cf. annexe 7). Pour le pommier, 18 experts ont été sollicités, seuls 8 ont participé à l'élucation (cf. annexe 8).

b. Questionnaire de collecte

Pour l'évaluation des impacts technico-économiques, un questionnaire a permis de collecter des informations auprès des experts filières qui participent à l'élucation. Le questionnaire est constitué de quatre principales rubriques (cf. annexes 9 et 10).

- La première rubrique du questionnaire présente les combinaisons d'alternatives pour chacun des trois scénarios de substitution (« actuel », « demi cuivre » et « zéro cuivre ») définis par le GT. Les experts ont la possibilité de faire des commentaires sur les combinaisons d'alternatives et sur leur capacité à renseigner les informations demandées.
- La deuxième rubrique du questionnaire présente l'occurrence et l'intensité de la pression parasitaire dans la zone pour laquelle l'expert renseigne les informations. Il s'agit pour les experts de renseigner le nombre d'années sur les 10 dernières pour lesquelles le niveau de pression observé est : i) faible, ii) moyen ou iii) fort. Pour la **viticulture**, ces niveaux sont définis par l'intensité d'attaque sur grappes (% dégâts) estimée en l'absence de protection : moins de 10 %, entre 10 % et 50 % et plus de 50 %, respectivement pour une pression faible, moyenne, et élevée. Pour le **pommier**, ce sont les dégâts sur les feuilles et les fruits (limités, significatifs et importants) qui permettent aux experts d'apprécier les niveaux de pression.
- La troisième rubrique du questionnaire présente les stratégies en termes de produits utilisés et de nombre de traitements qu'implique telle ou telle combinaison d'alternatives. Certaines cellules du tableau sont par conséquent bloquées pour tous les produits/alternatives qui, par hypothèse du GT, sont exclus du scénario.
- La quatrième rubrique du questionnaire présente, pour chaque scénario, l'efficacité de la (ou des) combinaison(s) d'alternatives en termes de pourcentage de perte par rapport au rendement de référence (soit le rendement objectif pour la viticulture, cf. section 3.5.1).

Pour la **viticulture**, les mêmes informations sont demandées pour les deux zones (façade atlantique et arc méditerranéen). L'outil Limesurvey⁴⁹ a été utilisé pour mettre en ligne le questionnaire pour la viticulture afin de faciliter le traitement des informations fournies par les experts.

[Créez un Questionnaire — Questionnaires en Ligne Gratuits \(limesurvey.org\)](https://limesurvey.org)

Pour la **pomiculture**, deux rubriques supplémentaires, en option, permettent de collecter des informations nécessaires à l'évaluation de l'efficacité technico-économique des combinaisons d'alternatives (cf. annexe 10).

- La cinquième rubrique permet de caractériser certains coûts liés à la mise œuvre des combinaisons d'alternatives évaluées.
- La sixième rubrique permet de caractériser les types de verger pour obtenir des informations sur le rendement de référence en fonction des variétés cultivées.

Pour toutes les informations fournies, il est demandé aux experts de renseigner le degré de confiance et de laisser des commentaires.

c. Briefing des experts

Des séances de briefing ont été organisées pour informer les experts concernant : i) l'objectif de l'expertise, ii) l'objectif de l'élicitation et, iii) le contenu du questionnaire pour la collecte des informations recherchées.

Les questionnaires sont envoyés aux experts qui ont accepté de participer à l'élicitation suite aux séances de briefing. Pour le questionnaire en ligne, un identifiant a été attribué à chaque expert afin d'assurer l'anonymat des réponses.

d. Collecte des informations et synthèse des résultats de l'élicitation

Lors du remplissage du questionnaire par les experts, des échanges ont eu lieu en bilatéral afin d'apporter des éléments de clarification supplémentaires sur certaines informations à renseigner dans certaines rubriques. Les questionnaires ont été remplis individuellement, ce qui permet de s'affranchir des effets de groupe.

Pour la viticulture, un total de 12 questionnaires ont été remplis : 8 pour la zone atlantique et 4 pour la zone méditerranéenne. Un des experts a rempli le questionnaire pour les deux zones. Deux experts ont souhaité remplir ensemble (sous un seul identifiant) le questionnaire car faisant partie de la même institution et intervenant dans un même projet sur la viticulture.

Pour la pomiculture, un total de 7 questionnaires ont été remplis. Deux experts ont rempli le même questionnaire. Un même identifiant leur a été attribué.

Suite à la réception des questionnaires, des échanges ont eu lieu avec certains experts pour clarifier et/ou modifier certaines informations renseignées.

- Des experts ont renseigné des valeurs en dehors des intervalles fixés pour les pertes de rendement. Ces experts ont été contactés et ont confirmé que ces valeurs pouvaient être ramenées aux bornes supérieures des intervalles définis par le GT ;
- Certains experts ont renseigné des valeurs pour des alternatives qui ne sont pas incluses dans les stratégies de protection (combinaisons d'alternatives) définies par le GT. Par souci d'homogénéité, ces informations ne sont pas prises en compte dans les calculs (synthèse des résultats).
- Des experts ont renseigné des pourcentages d'efficacité des combinaisons d'alternatives. Les valeurs ont été modifiées en termes de pertes de rendement évitées qui correspondent à l'inverse de l'efficacité.
- Des experts ont renseigné des valeurs (ex : doses de cuivre) avec des unités différentes. Les valeurs ont été converties afin d'homogénéiser les données.
- Des experts ont renseigné des intervalles au lieu d'une valeur moyenne pour les informations concernant la caractérisation des combinaisons d'alternatives et pour les

pertes de rendement. Les valeurs moyennes sur ces intervalles ont été utilisées pour les calculs dans la synthèse des résultats de l'élicitation. Cependant, dans certains cas, en particulier dans le cadre de l'élicitation pour la pomiculture, les bornes supérieures ont été retenues pour le nombre de passages et les bornes inférieures pour le nombre de traitements avec un type de produit afin de s'assurer que le nombre de traitements total soit toujours inférieur ou égal à la somme des traitements avec les différents produits.

Certains experts n'ont pas rempli le questionnaire pour toutes les combinaisons d'alternatives. Pour un expert donné, seules les combinaisons d'alternatives pour lesquelles toutes les informations ont été renseignées ont été prises en compte dans la synthèse des résultats de l'élicitation.

Une synthèse des résultats de l'élicitation a été réalisée par le GT après le traitement des données. Les informations collectées ont été traitées avec les logiciels R et Excel.

e. Validation de la synthèse des résultats de l'élicitation

La synthèse anonymisée des résultats a été envoyée aux experts avec la possibilité de : i) commenter les écarts par rapport aux valeurs moyennes calculées et, ii) modifier les informations renseignées s'ils le jugeaient nécessaire. Toute proposition de modification devait être justifiée.

Les experts ont alors confirmé les informations qu'ils ont renseignées individuellement au regard des résultats de l'élicitation. Ils ont en outre tous validé la synthèse des résultats.

3.5.3.2 Autres sources de données mobilisées

a. Données concernant les coûts de mise en œuvre des alternatives

Les sources de données utilisées sont les suivantes :

- données de littérature : « le coût des fournitures en **viticulture** et œnologie » (IFV, 2020) pour les produits phytosanitaires ; le coût des produits à base d'extraits de plantes provient de publications (rapports d'expertise) dans le cadre de certains projets européens (ex : projet Coppereplace) ;
- données du réseau DEPHY Ferme : pour déterminer le coût des produits, les données du réseau DEPHY Ferme viticulture ont été mobilisées⁵⁰ pour identifier le nom des spécialités les plus utilisées. Les 10 spécialités les plus utilisées ont été sélectionnées pour calculer les coûts moyens des produits dans le calcul des impacts. Pour le cuivre, un prix moyen du gramme de cuivre a été calculé. Pour les autres produits de biocontrôle ou de synthèse, la dose homologuée a été prise en compte dans le calcul du prix ;
- barème de la grille de salaire minimal applicable au niveau national (coût horaire de la main d'œuvre agricole en fonction de sa qualification/compétences et des responsabilités qui lui sont confiées) pour le coût de la main d'œuvre ;

⁵⁰ [DEPHY FERME network's low input winegrowing systems: performances and traceability - Data INRAE](#)

- barème d'entraide et celui du BCMA (Bureau de coordination du machinisme agricole) : pour le coût d'un passage pour le matériel et la traction (coût d'utilisation en heures/ha).

Les coûts retenus pour les différents types de produits utilisés en viticulture sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Coûts par type de produits utilisés contre le mildiou en viticulture AB et AC et contre la tavelure en pomiculture AB et AC

Produits	Coût (€/ha)	Dose (litre/ha)
Biocontrôle	32,71	1,63
Phosphonate	38,1	3,7
Extraits de plantes	23,63	2,22
Fongicides de synthèse hors biocontrôle	51,13	3,23

L'évaluation du coût des traitements en **pomiculture** reprend les coûts par hectare utilisés pour la viticulture tant pour les produits que pour l'utilisation du matériel et le recours à la main-d'œuvre (Tableau 8). Les coûts spécifiques à la pomiculture sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Coûts pour mesures prophylactiques et physiques contre la tavelure en pomiculture AB et AC

Type de mesures	Coût (€/ha)
Mesures prophylactiques	
Broyage des feuilles (€/ha)	70
Epannage d'urée (€/ha)	30
Mesures physiques	
Enfouissement des feuilles (€/ha)	545
Bâches anti-pluie (€/ha)	2 230

L'implantation de variétés résistantes est supposée faite lors du renouvellement du verger au taux de 3 % par an, en mélange avec des variétés sensibles, à raison d'un rang sur deux. La valorisation porte sur un hectare nouvellement planté avec un prix d'achat de 10 € pour les plants de variétés conventionnelles et 15 € pour les plants de variétés biologiques, pour une densité de 1 600 arbres en AC et 1 250 arbres en AB. Le coût des arbres est amorti sur 25 ans, durée moyenne d'un verger. L'hétérogénéité de données sur ces prix (très variables selon les pépiniéristes) a conduit le GT à faire une simulation avec les prix de 10 et 15 €.

Il est à noter que les OAD ne représentent pas de coûts supplémentaires puisqu'ils sont déjà utilisés dans le scénario actuel. L'évaluation du coût des scénarios porte sur les différences par rapport au scénario actuel. Ainsi, les OAD ne sont pas valorisés dans les scénarios « demi-cuivre » et « zéro cuivre ». De même, les coûts d'arrachage et de plantation des arbres ne sont pas intégrés puisque l'implantation de variétés résistantes se fait lors du renouvellement des parcelles qui nécessite déjà ces opérations. Seul le coût des plants est pris en compte.

L'épandage d'urée ne nécessitant pas de matériel spécifique, le coût intègre l'utilisation d'un pulvérisateur, de l'urée ainsi que le carburant et la main d'œuvre pour une intervention d'une durée estimée à une heure par an.

Le coût d'enfouissement des feuilles a été évalué sur la base de l'achat d'un matériel spécifique au prix de 10 000 €, amorti sur 10 ans, augmenté du coût en carburant et en main d'œuvre pour une utilisation de 2h30 par hectare, sur l'année (à partir des données issues des experts élicités).

Le coût des bâches anti-pluie est évalué sur la base d'un prix d'achat de 15 000 € par hectare (installation comprise), amorti sur 10 ans, augmenté du coût en carburant et en main d'œuvre pour l'ouverture et la fermeture des bâches une fois par an, mobilisant plusieurs personnes, soit un équivalent en emploi à temps plein de 25 heures par manœuvre, sur l'année (à partir des données issues des experts élicités).

Les données sur les coûts et les valeurs retenues pour chaque facteur de production (intrants, main d'œuvre, matériel et équipement) sont présentées dans l'annexe 11.

b. Données concernant les prix de vente des produits des cultures

Pour renseigner les prix de vente des produits des cultures, différentes sources de données ont été utilisées. Certaines données sur les prix de vente de produits par les producteurs proviennent de bases de données en ligne. Les données de FranceAgriMer sont utilisées⁵¹ : le prix moyen de vente par les producteurs est utilisé **pour la pomme de terre biologique** : 800 € la tonne.

Pour la viticulture, le prix de vente considéré est celui d'une bouteille de vin, différencié selon la gamme de vin (référéncé sur la segmentation des vins de Bordeaux) : 3 €, 5 €, 10 € et 20 € par bouteille.

Pour la pomiculture, le prix moyen à l'expédition sur les 12 derniers mois (Juin 2023 à mai 2024) est utilisé **pour la pomme à couteau, variété Golden delicious**⁵² : 1665 €/tonne en AB et 1304 €/tonne en AC.

3.5.4 Méthodes de calcul pour l'estimation de l'efficacité technico-économique

Pour **la pomme de terre biologique**, deux estimations ont été réalisées dans le cas du scénario « zéro cuivre » avec mélanges variétaux, pour prendre en compte la nécessité de séparer les variétés pour la commercialisation :

- i. la première estimation considère l'utilisation de deux machines pour l'arrachage des pommes de terre dans le scénario « zéro cuivre » avec mélange de variétés sensibles et résistantes cultivées en bandes ou en rangs alternés ;
- ii. la deuxième estimation considère l'utilisation d'une seule machine pour l'arrachage mais avec un trieur optique pour la séparation des tubercules après arrachage. Cette méthode fonctionnerait pour un mélange 'au hasard' des plantes dans la parcelle, sous réserve que les variétés soient aisément distinguables sur des critères de couleur de peau (la forme des tubercules n'étant en général pas suffisamment différente entre variétés pour permettre une efficacité totale de leur séparation par un trieur optique sur la base de ce seul critère).

⁵¹ [Saisie nom produit - RNM \(franceagrimer.fr\)](https://www.franceagrimer.fr)

⁵² Les données de FranceAgriMer ne permettent pas d'avoir un prix aux producteurs pour l'agriculture biologique.

Les coûts de ces deux techniques sont différents.

L'analyse de sensibilité considère une variation des pertes de rendement de 10 % pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de 20 % pour le scénario « zéro cuivre » pour les deux variantes 1 et 2 retenues (variétés résistantes seules et mélange de variétés sensibles et résistantes, cf. section 3.4.3). Les calculs avec ces pourcentages de variation permettent d'attribuer des bornes (inférieure et supérieure) aux valeurs moyennes (cf. annexe 12a et 12b).

Pour **la viticulture**, les estimations ont été réalisées pour des vins tranquilles (les vins spiritueux et les vins effervescents ne sont pas considérés) tenant compte de différents rendements objectifs :

- i. un vin en Appellation d'Origine Protégée (AOP) avec un rendement objectif de 50 hl/ha ;
- ii. un vin en Indication Géographique Protégée (IGP) avec un rendement objectif de 80 hl/ha.

Ici, le GT fait l'hypothèse que la qualité récoltée est la même et que seul le rendement (en tonne/ha) peut diminuer à travers les scénarios étudiés.

Pour une analyse de sensibilité, quatre niveaux de prix par bouteille différents en fonction de la gamme de produit sont considérés pour chacun des deux types de vins. Les estimations ont également été réalisées pour chacune des deux régions (zone atlantique, arc méditerranéen) et tenant compte de niveaux de pression pour avoir une moyenne pondérée.

Pour la pomiculture, les estimations ont été réalisées en considérant la variété de pomme Golden delicious, car selon la SAA (Agreste), en 2020, cette variété représentait 28 % de la surface en pommes et 24 % du volume de production en France. Le prix moyen à l'expédition sur les 12 derniers mois (juin 2023 à mai 2024)³³ est utilisé pour les deux types de production AC et AB, ce qui peut conduire à une surestimation de la production en valeur, payée au producteur.

3.6 Méthode d'analyse qualitative des implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre

Au-delà des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre par des alternatives ou combinaisons d'alternatives, le GT s'est intéressé aux autres implications de cette substitution, d'ordre organisationnel, agronomique, sanitaire et environnemental.

Sur le plan organisationnel, le GT a analysé les implications de la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives évaluées en termes d'organisation du travail pour les agriculteurs et pour d'autres acteurs de la filière comme les coopératives.

Sur le plan agronomique, le GT a analysé également la capacité des alternatives à gérer la résistance des bioagresseurs et à garantir la durabilité des systèmes agricoles basés sur les variétés résistantes.

Sur le plan sanitaire (au sens de la santé humaine) et environnemental, le GT a analysé les profils de toxicité et d'écotoxicité et la capacité à émettre des gaz à effet de serre (GES) des différentes alternatives (chimiques et non chimiques) retenues dans les scénarios de substitution construits ainsi que leur effet sur la qualité du paysage.

Cette analyse est fondée sur les compétences des experts du GT et la littérature scientifique et grise. Compte tenu du peu de données disponibles actuellement pour réaliser cette analyse et des compétences composant le GT (pas d'évaluateur de risque ni de toxicologue ou écotoxicologue notamment), ainsi que du temps prévu pour réaliser l'expertise, l'analyse de ces implications a été conduite de manière qualitative (cf. section 4.2).

4 Impacts technico-économiques et implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre

Comme mentionné *supra*, l'analyse des impacts socio-économiques réalisée par le GT comprend :

- une évaluation quantitative des impacts technico-économiques de la limitation ou du retrait du cuivre en agriculture (dont les résultats sont présentés ci-après en section 4.1) ;
- une appréciation qualitative des implications agronomiques, organisationnelles, sanitaires et environnementales (dont les résultats sont présentés ci-après en section 4.2).

4.1 Résultats de l'évaluation des impacts technico-économiques

L'évaluation quantitative des impacts technico-économiques se base sur un ensemble d'hypothèses présentées en section 3.5. Le GT souligne que les résultats présentés ci-après ne font que traduire des ordres de grandeur obtenus sur la base de ces hypothèses. De plus, pour éviter de donner une interprétation trop étroite à ces résultats quantifiés, il est essentiel de les mettre en regard des autres implications d'ordre agronomique, organisationnel, sanitaire et environnemental qui, dans cet exercice exploratoire, ont fait l'objet d'une analyse qualitative.

4.1.1 Cas de la pomme de terre biologique

4.1.1.1 Principaux résultats

Sur la base de l'observation des niveaux de pressions du mildiou enregistrées au cours de ces dix dernières années, le niveau de pression du mildiou dans les principales régions de culture de pomme de terre biologique est estimé :

- avec une probabilité de 0,2 (2 années sur 10) pour une pression faible ;
- avec une probabilité de 0,6 (6 années sur 10) pour une pression moyenne ;
- avec une probabilité de 0,2 (2 années sur 10) pour une pression forte.

Les résultats des calculs technico-économiques réalisés à partir de ces hypothèses initiales et pondérés par les niveaux de pression pour les différents scénarios sont présentés ci-dessous.

Concernant l'impact de la substitution sur les rendements, les résultats de l'évaluation montrent que tous les scénarios alternatifs sont moins efficaces économiquement que le standard actuel avec du cuivre conduisant, systématiquement, à des pertes moyennes de rendement (Tableau 10). Sur le plan agronomique, si le scénario « demi cuivre » permet de contrôler le mildiou de manière comparable au scénario « actuel » (perte de rendement évitée équivalente - Bangemann et al., 2014), les combinaisons d'alternatives dans le scénario « zéro

cuivre » ne permettent pas de garantir une absence complète de pertes supplémentaires (par rapport au niveau actuel). Dans le cadre des scénarios « zéro cuivre », la différence de rendement par rapport au scénario « actuel » est la plus élevée (-5 t/ha) avec des variétés résistantes cultivées pures étant donné que la résistance variétale seule ne permet pas d'assurer une absence de perte, en particulier en pression de maladie moyenne ou forte. Le mélange de variétés résistantes et sensibles réduit ce niveau de perte (-2,5 t/ha) par rapport au scénario actuel du fait de l'efficacité épidémiologique du mélange pour limiter la progression épidémique (voir par exemple Pilet et al., (2006)). Ce bénéfice épidémiologique des mélanges pourrait être maximisé en n'y incluant que des variétés résistantes pour éviter le contournement de la résistance. Toutefois, le GT considère dans le scénario « zéro cuivre » des mélanges de variétés sensibles et résistantes du fait de la présence de débouchés commerciaux spécifiques aux variétés sensibles à bonne valeur gustative et culinaire. La production de ces variétés résistantes serait quasi impossible en conditions biologiques sans cuivre (pertes de rendement élevées, en particulier en conditions de pression mildiou moyenne ou forte).

Tableau 10 : Pertes de rendement (tonnes/hectare) estimées en culture de pomme de terre biologique selon les scénarios

	Fréquence pression	Scénario actuel (100% VS)	Scénario « demi cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (50% VR + 50% VS)
Rendement sans dommage (t/ha)		40	40	40	40
Perte de rendement (t/ha)					
<i>En pression faible (t/ha)</i>	0,2	0	0	5	2,5
<i>En pression moyenne (t/ha)</i>	0,6	5	5	10	7,5
<i>En pression élevée (t/ha)</i>	0,2	15	15	20	17,5
Perte moyenne de rendement (t/ha)		6	6	11	8,5

Note : VR : variétés résistantes au mildiou ; VS : variétés sensibles ; les pertes de rendement sont calculées par rapport au rendement sans dommage (rendement de référence) qui est de 40 tonnes/ha quel que soit le scénario.

Lecture : en pression faible (20% des cas), la perte de rendement est nulle dans le cas des scénarios « actuel » et « demi cuivre » mais s'élève à 5 tonnes/ha pour le scénario « zéro cuivre » en culture de VR pures et à 2,5 tonnes/ha en mélange de VR et VS.

Concernant l'impact de la substitution sur les coûts de protection, les variations de coûts liés à la mise en place des combinaisons d'alternatives sont surtout dues à l'utilisation des variétés résistantes, plus coûteuses (2,3 €/kg) que les variétés sensibles (2 €/kg). En effet, les variétés résistantes sont encore protégées juridiquement contrairement aux variétés sensibles qui sont, pour la plupart, dans le domaine public. Ce surcoût lié à l'utilisation des variétés résistantes n'est pas entièrement compensé par les coûts évités en raison de la moindre application de cuivre et dont le montant économisé est estimé en moyenne à 177 €/ha (353€/ha - 176€/ha) dans le scénario « demi cuivre » et à 353 €/ha (353 €/ha - 0 €/ha) dans le scénario « zéro cuivre » (cf. Tableau 11). En effet, le cuivre est une matière active très peu coûteuse (42 €/ha en moyenne par traitement incluant le coût de pulvérisation). Dans les scénarios « zéro cuivre », le surcoût de mise en œuvre est lié à la prophylaxie (bâchage des tas de déchets à proximité des parcelles), et dans le cas de cultures de variétés en mélange aux opérations

supplémentaires imposées par la nécessité de séparer les variétés après récolte. Là encore, ces variations de coûts ne sont que (très) partiellement compensées par les économies de coûts liées aux non-applications de cuivre (produits, passage et abonnement OAD).

Tableau 11 : Estimation des coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en culture de pomme de terre biologique selon les scénarios de substitution

	Scénario actuel (100% VS)	Scénario « demi cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (50% VR + 50% VS)	Scénario « zéro cuivre* » (50% VR + 50% VS)
Nombre de traitements					
<i>En pression faible</i>	6	3	0	0	0
<i>En pression moyenne</i>	8	4	0	0	0
<i>En pression élevée</i>	12	6	0	0	0
Nombre moyen de traitements	8	4	0	0	0
Coût protection chimique (€/ha)					
<i>En pression faible</i>	252	126	0	0	0
<i>En pression moyenne</i>	336	168	0	0	0
<i>En pression élevée</i>	504	252	0	0	0
Coût moyen protection chimique (€/ha)	353	176	0	0	0
Autres coûts protection (€/ha)					
Coût des plants	3500	4025	4025	3763	3763
<i>Part des plants résistants</i>	0	1	1	0,5	0,5
Coût abonnement OAD	100	100	0	0	0
Coût du bâchage	0	300	300	300	300
Coût de la 2ème arracheuse	0	0	0	0	500
Coût du tri	0	0	0	100	0

Note : VR : variétés résistantes au mildiou ; VS : variétés sensibles ; OAD : outil d'aide à la décision ; *utilisation d'une deuxième arracheuse.

Lecture : en pression faible, on compte en moyenne 6 traitements avec des PPP à base de cuivre pour le scénario « actuel », 3 traitements pour le scénario « demi cuivre » et 0 pour les 2 variantes du scénario « zéro cuivre ».

L'écart de coût de protection par rapport au scénario « actuel » est de +649 €/ha pour le scénario « demi cuivre » avec mélange de variétés résistantes. Cet écart de coût est compris entre +210 et +610 €/ha pour les scénarios « zéro cuivre » avec les variétés résistantes cultivées seules ou en mélange avec des variétés sensibles (cf. Tableau 12).

Le résultat économique est essentiellement dépendant du niveau de perte estimée, les coûts de mise en œuvre des alternatives étant dans la plupart des cas sensiblement inférieurs à la valeur économique des pertes telles que mesurées par les écarts de marge sur coût de protection (Tableau 12).

La perte économique est limitée dans le cas du scénario « demi cuivre » (écart de marge égal à -649 €/ha), mais le passage à des scénarios « zéro cuivre » augmente très fortement ce niveau de perte économique, même si cette perte peut être réduite en complexifiant les

itinéraires techniques de production (utilisation de mélanges variétaux en plus de la résistance variétale). Il est important de noter que les pertes liées au retrait du cuivre se font sentir quel que soit le niveau de pression, que l'on raisonne dans le scénario « zéro cuivre, 100 % résistant » (en moyenne, écart de marge égal à -4372 €/ha et écart de perte de rendement égal à -5 t/ha) ou dans le scénario « zéro cuivre, 50 % résistant, 50 % sensible avec trieur optique » (en moyenne, écart de marge égal à -2210 €/ha et écart de perte de rendement égal à -2.5 t/ha).

Tableau 12 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en culture de pomme de terre biologique (dans le cas d'un prix de vente de la pomme de terre de 800€/tonne)

	Scénario « demi cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (50% VR + 50% VS)	Scénario « zéro cuivre* » (50% VR + 50% VS)
Ecart moyen de la production en valeur (€/ha) (A)	0	- 4 000	- 2 000	- 2 000
Ecart de coût de protection				
Protection avec cuivre, moyenne (€/ha)	-176	-353	-353	-353
Plants, résistance (€/ha)	+525	+525	+263	+263
OAD (€/ha)	0	-100	-100	-100
Bâchage (€/ha)	+300	+300	+300	+300
Deuxième arracheuse (€/ha)	0	0	0	+500
Tri (€/ha)	0	0	+100	0
Ecart de coût de protection (€/ha) (B)	+649	+372	+210	+610
Ecart de marge (€/ha) (A – B)	-649	-4372	-2210	-2610
Part liée aux pertes de rendement (%) $(A/(A - B))$	0%	91%	90%	77%
Part liée aux coûts de protection (%) $(B/(A - B))$	100%	9%	10%	23%
Augmentation de prix de vente nécessaire pour maintenir la marge (%)	2%	19%	9%	10%

Note : VR : variétés résistantes au mildiou ; VS : variétés sensibles ; *utilisation d'une deuxième arracheuse ; OAD : outil d'aide à la décision ; les écarts de rendement, de coût de protection et de marge sont calculés par rapport au scénario « actuel ».

Lecture : l'écart entre le rendement obtenu dans le scénario « demi cuivre » et celui du scénario « actuel » est nul ; cet écart est estimé à -4000 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » avec des VR cultivées pures et le scénario actuel et à -2000 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » avec mélanges de VR et VS et le scénario actuel.

4.1.1.2 Éléments d'interprétation

Les résultats de l'évaluation technico-économique montrent qu'il est difficile d'atteindre une performance similaire à celle du scénario de référence (situation actuelle) dans les deux autres types de configuration (« demi cuivre » ou « zéro cuivre »), en particulier dans les zones à forte pression de mildiou (régions côtières de la façade atlantique, par exemple) dans les conditions actuelles de production. Ceci est dû à deux ensembles de facteurs : d'une part, une efficacité instantanée moindre des méthodes alternatives mises en œuvre (à l'exception de la résistance variétale *via* des gènes majeurs, dont la limite principale est la durabilité

relativement faible en cas de déploiement généralisé) ; d'autre part, le coût supérieur de leur mise en œuvre par rapport aux applications, très peu onéreuses, de produits cupriques.

Si l'on ajoute à ces deux observations le fait que le choix variétal est souvent contraint pour les producteurs, une grande partie des productions étant réalisée sous contrats avec des acteurs d'aval qui sont prescripteurs de ce choix et qui le basent non sur des performances agronomiques mais sur des caractéristiques d'utilisation (forme, aspect des tubercules, qualité gustative, etc...), on aboutit à une situation classique de verrouillage technologique similaire à celle décrite par Vanloqueren et Baret (2008) pour les céréales à paille⁵³. Par ailleurs, le GT rappelle que :

- Les scénarios testés sont des 'moyennes', qui sont en pratique déclinables en de nombreuses variantes (par exemple : utilisations de variétés complètement ou partiellement résistantes, ce qui modifierait forcément l'estimation des pertes), mais qui n'ont pu être explorées ici en détail. Ils pourraient également être complexifiés selon les modes de commercialisation (par exemple vente directe à la ferme, qui n'impliquerait aucun surcoût de tri /séparation des variétés en cas de cultures de mélanges variétaux, vs vente *via* les circuits classiques de commercialisation de détail ou de gros, qui imposent un étiquetage précis des variétés et donc un tri préalable au conditionnement). De ce fait, une analyse de sensibilité plus fine que celle qui a pu être réalisée (cf. annexe 12a et 12b) mériterait une étude complémentaire pour mieux préciser les différences de performance économique entre les scénarios étudiés selon les choix d'itinéraires, les régions considérées et les attentes des filières ou des acteurs ;
- Il n'a pas été possible de tester des scénarios de simple substitution du cuivre par des produits alternatifs (biocides naturels ou biocontrôle), car ceux-ci ne sont pas disponibles sur le marché et/ou autorisés en agriculture biologique. C'est un handicap important par rapport à d'autres filières. De ce fait, tous les scénarios envisagés impliquent des ruptures stratégiques assez fortes (notamment dans le choix variétal) par rapport au standard actuel, et supposent une gestion concertée au niveau de l'ensemble de la filière.

L'absence d'innovations adaptées dans le domaine du biocontrôle contre le mildiou de la pomme de terre est aujourd'hui un facteur majeur de blocage dans des dynamiques de diminution des usages du cuivre. *P. infestans*, du fait de son potentiel épidémique très fort et son développement en conditions majoritairement humides (qui limite la persistance sur la plante des produits appliqués), reste une cible difficile pour des méthodes de biocontrôle. Beaucoup de développements dans ce sens ont été tentés (cf. par exemple le programme MilPomBio ; Ménil et al., 2019), mais aucun n'a, à ce jour, débouché sur des applications commerciales, et celles-ci semblent encore élusives, ou à tout le moins lointaines.

Toutefois, l'utilisation de variétés résistantes apporte des possibilités importantes pour faire évoluer cette situation. Des expérimentations en conditions de pression mildiou faible à modérée montrent en effet que la seule résistance variétale peut protéger les cultures de manière efficace, sans apport extérieur de pesticides (cupriques ou autres). Compte tenu du

⁵³ Voir Conti et al. (2021) pour une revue systématique des situations de résistance au changement dans les systèmes agro-alimentaires.

potentiel d'adaptation des populations pathogènes à ces formes de résistance, leur utilisation généralisée supposerait trois prérequis :

- 1) une identification dès l'inscription des gènes et QTL de résistance présents dans les variétés disponibles sur le marché ;
- 2) une surveillance active des populations pathogènes, *via* des dispositifs adaptés d'épidémiologie-surveillance et/ou des réseaux d'observatoires, dont certains sont déjà en place (*cf.* d'une part les travaux d'épidémiologie-surveillance et de typage des populations de *P. infestans* sur le territoire, conduits en France de manière systématique depuis 2013 *via* un réseau multi-acteurs (Andrivon *et al.*, 2016, 2017), et d'autre part les essais 'post-inscriptions' menés par Arvalis sur les principales variétés inscrites) ;
- 3) une gestion des résistances sous forme de 'biens communs', dans des dispositifs concertés de déploiement à l'échelle territoriale tels ceux ébauchés contre d'autres parasites (*cf.* projet Geconem par exemple)⁵⁴.

La réussite potentielle de tels dispositifs suppose une adhésion, et donc une implication de l'ensemble des acteurs des filières, et ne peut reposer sur les seuls producteurs. Elle implique à la fois une capacité à harmoniser des décisions de gestion à des échelles vastes (régions ou pays plutôt que parcelles ou exploitations agricoles) et un consentement à partager les surcoûts de mise en œuvre requis, qui n'ont pas vocation à être supportés par les seuls producteurs.

Le contexte de l'agriculture biologique est favorable à l'élaboration d'expérimentations, mais la gestion du problème du mildiou étant nécessairement territoriale, la question de la coexistence et du partage de décisions entre secteurs bio et conventionnels dans une stratégie commune et concertée ne pourra être éludée.

Synthèse des résultats de l'évaluation des impacts technico-économiques pour la pomme de terre biologique

Sur le plan agronomique, et dans les conditions actuelles d'organisation du modèle agricole, tous les scénarios alternatifs de substitution du cuivre étudiés par le GT sont moins efficaces que le scénario « actuel » d'utilisation du cuivre, avec des pertes moyennes systématiques de rendement. Si le scénario « demi cuivre » permet de contrôler le mildiou de manière comparable au scénario « actuel » avec des pertes de rendement évitées équivalentes, les combinaisons d'alternatives dans les scénarios « zéro cuivre » ne permettent pas de garantir une absence de pertes par rapport au niveau actuel (*i.e.*, par rapport aux conditions et réglementations actuelles sur l'utilisation du cuivre). En dépit de leur efficacité avérée contre le mildiou de la pomme de terre, les variétés résistantes incluses dans les scénarios alternatifs ne permettraient pas à elles seules d'assurer une absence de perte, estimée entre 2,5 et 5 t/ha en pression de maladie moyenne ou forte par rapport au scénario « actuel », dans le cas d'un retrait total du cuivre.

Sur le plan économique, les écarts de marge calculées sont très variables (-649 €/ha pour le scénario « demi cuivre » et entre -2210 et -4372 €/ha pour certains scénarios « zéro cuivre »). La perte est limitée pour le scénario « demi cuivre » avec une absence de perte de rendement et des surcoûts maîtrisés, rendant ce scénario économiquement envisageable. Les pertes élevées des scénarios « zéro cuivre »

⁵⁴ [Projet Geconem : Gestion collective - Archive ouverte HAL](#)

sont essentiellement liées aux pertes de rendement occasionnées par l'utilisation de combinaisons d'alternatives. Les surcoûts de mise en œuvre des alternatives occupent une très faible part de la variation de la perte totale (moins de 10 %), sauf pour le scénario « demi cuivre », avec un niveau d'efficacité équivalent à celui de la situation de référence (scénario « actuel »), pour lequel les coûts supplémentaires de protection représentent 100 % des pertes économiques. Le cuivre étant une substance active très peu coûteuse, les pertes économiques ne sont que (très) partiellement compensées par les économies associées à sa non-utilisation.

Compte tenu de ces pertes potentielles liées à la substitution du cuivre en culture de pomme de terre AB, le GT estime qu'une augmentation du prix de vente de la production entre 2 % et 19 % pourrait être nécessaire pour préserver la marge des producteurs dans les conditions actuelles de production.

De ces estimations technico-économiques, le GT conclut qu'il est difficile d'atteindre une performance similaire à celle du scénario actuel dans les deux autres types de configuration (« demi cuivre » ou « zéro cuivre ») en culture de pomme de terre biologique, en particulier dans les zones à forte pression de mildiou (régions côtières de la façade atlantique par exemple) dans les conditions actuelles de production agricole. Toutefois, les variétés résistantes apparaissent comme une solution prometteuse, et même indispensable, pour réduire les pertes en cas de restriction supplémentaire par rapport à la dose de cuivre actuellement autorisée en culture de pomme de terre biologique. Cependant, leur déploiement nécessite des adaptations, une implication de l'ensemble des acteurs des filières et une gestion territorialisée impliquant à la fois les secteurs de l'agriculture biologique et conventionnelle.

Le GT souligne que les impacts technico-économiques des alternatives au cuivre en pomme de terre biologique doivent être considérés au regard de leurs potentielles implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales analysées en section 4.2.

4.1.2 Cas de la vigne

4.1.2.1 Résultats de l'élicitation des dires d'experts

Les résultats de l'élicitation des dires d'experts sont présentés dans les tableaux 13, 14, 15 et 16 ci-dessous. Concernant les données renseignées par les experts filières, le niveau de confiance varie entre faible à très élevé (sûr)⁵⁵. Le niveau de confiance est généralement plus faible lorsqu'il s'agit du scénario « zéro cuivre » qui représente une situation généralement non expérimentée sur le terrain selon les experts filières.

⁵⁵ A noter que certaines experts filières n'ont pas souhaité renseigner des données pour des combinaisons d'alternatives pour lesquelles ils jugent trop faible leur niveau de confiance.

Tableau 13 : Statistiques des réponses des experts en viticulture AB pour la zone atlantique

Scénario	Pression	N	Occurrence (en année)	Degré de confiance sur occurrence	Perte de récolte (%)	Degré de confiance sur perte de récolte	Nombre passages pulvérisateur	Nombre traitements cuivre	Dose cuivre (g/ha)	Nombre traitements biocontrôle	Nombre traitements extraits plantes	Nombre traitements phosphonates	Nombre traitements fongicides de synthèse
Actuel	A-Faible	7	2 (0-4)	Faible-Sûr	1 (0-10)	Elevé-Elevé	8 (2-13)	8 (2-13)	226 (171-312)	1 (0-3)	2 (0-4)	0 (0-0)	0 (0-0)
	B-Moyenne	7	4 (3-5)	Faible-Sûr	6 (0-20)	Elevé-Sûr	12 (8-15)	12 (8-15)	279 (240-300)	3 (2-5)	3 (0-7)	0 (0-0)	0 (0-0)
	C-Forte	7	4 (2-5)	Faible-Sûr	22 (0-40)	Moyen-Sûr	17 (13-22)	17 (13-22)	258 (133-350)	5 (2-10)	4 (0-10)	0 (0-0)	0 (0-0)
Demi Cuivre	A-Faible	7	2 (0-4)	Faible-Sûr	2 (0-10)	Elevé-Sûr	8 (2-13)	8 (2-13)	160 (100-200)	2 (0-5)	4 (0-6)	0 (0-0)	0 (0-0)
	B-Moyenne	7	4 (3-5)	Faible-Sûr	18 (0-50)	Moyen-Sûr	12 (8-15)	12 (8-15)	167 (120-250)	5 (2-8)	5 (0-10)	0 (0-0)	0 (0-0)
	C-Forte	7	4 (2-5)	Faible-Sûr	64 (30-100)	Moyen-Sûr	16 (12-18)	16 (12-18)	156 (120-200)	8 (2-15)	7 (0-14)	0 (0-0)	0 (0-0)
Zéro Cuivre	A-Faible	6	2 (0-4)	Faible-Sûr	7 (1-10)	Moyen-Sûr	10 (5-15)	0 (0-0)	0 (0-0)	6 (2-12)	8 (0-15)	0 (0-0)	0 (0-0)
	B-Moyenne	6	4 (3-5)	Faible-Sûr	40 (30-50)	Faible-Sûr	14 (10-20)	0 (0-0)	0 (0-0)	10 (5-24)	11 (0-24)	0 (0-0)	0 (0-0)
	C-Forte	6	4 (2-5)	Faible-Sûr	87 (50-100)	Faible-Elevé	17 (9-30)	0 (0-0)	0 (0-0)	10 (5-30)	14 (0-30)	0 (0-0)	0 (0-0)

Note : Valeurs moyennes (minimum et maximum entre parenthèses sous les moyennes). Pour les colonnes « Confiance Occurrence » et « Confiance perte de récolte », les niveaux minimum et maximum déclarés par les experts sont reportés.

Lecture : en AB, pour le scénario actuel et un niveau de pression mildiou faible, la perte moyenne de récolte est estimée à 1 %. Un total de 8 passages de pulvérisateur ont été effectués pour les traitements (8 traitements à base de cuivre, 1 avec des biocontrôles hors phosphonates et avec des extraits de plantes). Lors d'un passage, plusieurs traitements peuvent être combinés (contenant du cuivre et un autre type de produit). La dose moyenne de cuivre métal par traitement est de 226 grammes par hectare. Ces données ont été calculées à partir des réponses de 7 experts qui ont déclaré un degré de confiance élevé à sûr pour les pertes de rendement et faible à sûr pour l'occurrence de pression, qui correspond à la probabilité du niveau de pression tavelure considéré.

Tableau 14 : Statistiques des réponses des experts en viticulture conventionnelle pour la zone atlantique

Scénario	Pression	N	Occurrence (en année)	Degré de confiance sur occurrence	Perte de récolte (%)	Degré de confiance sur perte de récolte	Nombre passages pulvérisateur	Nombre traitements cuivre	Dose cuivre (g/ha)	Nombre traitements biocontrôle	Nombre traitements extraits plantes	Nombre traitements phosphonates	Nombre traitements fongicides de synthèse
Actuel	A-Faible	6	2 (1-4)	Faible-Sûr	1 (0-5)	Elevé-Elevé	6 (2-8)	3 (1-4)	342 (200-500)	0 (0-1)	0 (0-0)	2 (0-3)	3 (1-5)
	B-Moyenne	6	4 (3-5)	Faible-Sûr	3 (0-7)	Moyen-Sûr	8 (6-10)	4 (2-5)	350 (200-500)	1 (0-2)	0 (0-0)	4 (2-5)	5 (2-7)
	C-Forte	6	4 (2-5)	Faible-Sûr	10 (5-15)	Moyen-Sûr	11 (9-13)	4 (2-6)	312 (250-400)	1 (0-4)	0 (0-0)	5 (3-7)	7 (5-9)
Demi Cuivre	A-Faible	5	2 (1-4)	Faible-Sûr	3 (0-10)	Moyen-Elevé	7 (2-10)	5 (1-8)	230 (100-400)	1 (0-3)	0 (0-0)	3 (0-5)	0 (0-0)
	B-Moyenne	5	4 (3-5)	Faible-Sûr	15 (0-50)	Moyen-Sûr	10 (8-12)	8 (5-12)	190 (100-300)	2 (0-5)	0 (0-0)	5 (3-8)	0 (0-0)
	C-Forte	5	4 (2-5)	Faible-Sûr	47 (15-90)	Moyen-Sûr	15 (12-18)	13 (6-15)	131 (125-140)	3 (0-6)	0 (0-0)	6 (4-8)	0 (0-0)
Zéro Cuivre avec Fongicide	A-Faible	5	2 (1-4)	Faible-Sûr	1 (0-5)	Elevé-Sûr	6 (2-8)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	2 (1-3)	5 (1-7)
	B-Moyenne	5	4 (3-5)	Faible-Sûr	3 (0-10)	Moyen-Sûr	8 (6-10)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-5)	0 (0-0)	4 (2-5)	8 (3-10)
	C-Forte	5	4 (2-5)	Faible-Sûr	10 (5-20)	Moyen-Sûr	10 (8-12)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-4)	0 (0-0)	4 (3-7)	9 (8-11)
Zéro Cuivre sans Fongicide	A-Faible	5	2 (1-4)	Faible-Sûr	4 (0-10)	Moyen-Sûr	8 (4-10)	0 (0-0)	0 (0-0)	4 (0-10)	0 (0-0)	5 (0-8)	0 (0-0)
	B-Moyenne	5	4 (3-5)	Faible-Sûr	26 (10-50)	Faible-Sûr	11 (9-12)	0 (0-0)	0 (0-0)	7 (4-12)	0 (0-0)	6 (4-8)	0 (0-0)
	C-Forte	0	4 (2-5)	Faible-Sûr	70 (50-100)	Faible-Sûr	13 (10-15)	0 (0-0)	0 (0-0)	8 (3-15)	0 (0-0)	7 (5-10)	0 (0-0)

Note : Valeurs moyennes (minimum et maximum entre parenthèses sous les moyennes). Pour les colonnes « Confiance Occurrence » et « Confiance perte de récolte », les niveaux minimum et maximum déclarés par les experts sont reportés.

Lecture : en agriculture conventionnelle en zone atlantique, pour le scénario actuel et un niveau de pression mildiou faible, la perte moyenne de récolte est estimée à 1 %. Un total de 6 passages de pulvérisateur ont été effectués pour les traitements (3 traitements à base de cuivre, 2 avec des phosphonates et 3 avec des fongicides de synthèse). Lors d'un passage, plusieurs traitements peuvent être combinés (contenant du cuivre et un autre type de produit). La dose moyenne de cuivre métal par traitement est de 342 grammes par hectare. Ces données ont été calculées à partir des réponses de 6 experts qui ont déclaré un degré de confiance élevé à sûr pour les pertes de rendement et faible à sûr pour l'occurrence de pression, qui correspond à la probabilité du niveau de pression tavelure considéré.

Tableau 15 : Statistiques des réponses des experts en viticulture AB pour la zone méditerranéenne

Scénario	Pression	N	Occurrence (en année)	Degré de confiance sur occurrence	Perte de récolte (%)	Degré de confiance sur perte de récolte	Nombre passages pulvérisateur	Nombre traitements cuivre	Dose cuivre (g/ha)	Nombre traitements biocontrôle	Nombre traitements extraits plantes	Nombre traitements phosphonates	Nombre traitements fongicides de synthèse
Actuel	A-Faible	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	0 (0-0)	Elevé-Sûr	4 (1-6)	3 (1-6)	255 (200-320)	1 (0-2)	0 (0-1)	0 (0-0)	0 (0-0)
	B-Moyenne	4	4 (3-6)	Faible-Sûr	8 (0-10)	Moyen-Sûr	7 (5-8)	6 (3-8)	388 (300-450)	2 (0-5)	1 (0-2)	0 (0-0)	0 (0-0)
	C-Forte	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	33 (20-40)	Moyen-Sûr	14 (10-22)	13 (8-22)	395 (180-500)	4 (0-10)	1 (0-2)	0 (0-0)	0 (0-0)
Demi Cuivre	A-Faible	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	5 (0-20)	Elevé-Sûr	5 (1-8)	4 (1-6)	178 (150-200)	2 (0-2)	1 (0-2)	0 (0-0)	0 (0-0)
	B-Moyenne	4	4 (3-6)	Faible-Sûr	18 (0-25)	Moyen-Sûr	8 (6-10)	6 (3-8)	244 (200-300)	4 (0-8)	2 (0-4)	0 (0-0)	0 (0-0)
	C-Forte	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	60 (20-100)	Faible-Sûr	13 (12-15)	12 (12-13)	269 (160-500)	6 (0-15)	3 (0-8)	0 (0-0)	0 (0-0)
Zéro Cuivre	A-Faible	3	3 (2-5)	Faible-Sûr	5 (0-10)	Sûr-Sûr	6 (4-8)	0 (0-0)	0 (0-0)	5 (2-8)	2 (0-4)	0 (0-0)	0 (0-0)
	B-Moyenne	3	3 (3-4)	Faible-Sûr	43 (30-50)	Faible-Sûr	10 (7-12)	0 (0-0)	0 (0-0)	10 (7-12)	4 (0-6)	0 (0-0)	0 (0-0)
	C-Forte	3	3 (2-5)	Faible-Sûr	90 (80-100)	Faible-Elevé	12 (9-15)	0 (0-0)	0 (0-0)	11 (10-12)	4 (0-8)	0 (0-0)	0 (0-0)

Note : Valeurs moyennes (minimum et maximum entre parenthèses sous les moyennes. Pour les colonnes « Confiance Occurrence » et « Confiance perte de récolte », les niveaux minimum et maximum déclarés par les experts sont reportés

Lecture : en AB en zone méditerranéenne, pour le scénario actuel et un niveau de pression mildiou faible, la perte moyenne de récolte est estimée à 0 %. Un total de 4 passages de pulvérisateur ont été effectués pour les traitements (3 traitements à base de cuivre, 1 avec des biocontrôles hors phosphonates). Lors d'un passage, plusieurs traitements peuvent être combinés (contenant du cuivre et un autre type de produit). La dose moyenne de cuivre métal par traitement est de 255 grammes par hectare. Ces données ont été calculées à partir des réponses de 4 experts qui ont déclaré un degré de confiance élevé à sûr pour les pertes de rendement et faible à sûr pour l'occurrence de pression, qui correspond à la probabilité du niveau de pression tavelure considéré.

Tableau 16 : Statistiques des réponses des experts en viticulture conventionnelle pour la zone méditerranéenne

Scénario	Pression	N	Occurrence (en année)	Degré de confiance sur occurrence	Perte de récolte (%)	Degré de confiance sur perte de récolte	Nombre passages pulvérisateur	Nombre traitements cuivre	Dose cuivre (g/ha)	Nombre traitements biocontrôle	Nombre traitements extraits plantes	Nombre traitements phosphonates	Nombre traitements fongicides de synthèse
Actuel	A-Faible	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	0 (0-0)	Elevé-Sûr	3 (1-5)	1 (0-2)	315 (160-400)	0 (0-1)	0 (0-0)	1 (0-1)	2 (1-4)
	B-Moyenne	4	4 (3-6)	Faible-Sûr	3 (0-10)	Moyen-Sûr	6 (6-7)	2 (2-3)	463 (400-600)	1 (0-2)	0 (0-0)	2 (1-3)	4 (2-6)
	C-Forte	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	15 (10-30)	Moyen-Sûr	10 (8-11)	2 (1-2)	375 (150-500)	1 (0-4)	0 (0-0)	2 (1-3)	7 (5-10)
Demi Cuivre	A-Faible	3	3 (2-5)	Faible-Sûr	0 (0-0)	Elevé-Sûr	4 (1-6)	2 (0-6)	200 (0-400)	1 (0-4)	0 (0-0)	3 (0-6)	0 (0-0)
	B-Moyenne	3	3 (3-4)	Faible-Sûr	17 (0-25)	Faible-Sûr	8 (7-8)	6 (4-8)	333 (250-450)	1 (0-2)	0 (0-0)	5 (3-8)	0 (0-0)
	C-Forte	3	3 (2-5)	Faible-Sûr	70 (50-90)	Faible-Elevé	14 (10-18)	12 (10-15)	211 (133-250)	1 (0-4)	0 (0-0)	7 (5-10)	0 (0-0)
Zéro Cuivre avec Fongicide	A-Faible	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	0 (0-0)	Elevé-Sûr	3 (1-4)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-2)	0 (0-0)	1 (0-2)	3 (1-4)
	B-Moyenne	4	4 (3-6)	Faible-Sûr	3 (0-10)	Faible-Sûr	6 (6-6)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-2)	0 (0-0)	1 (0-3)	5 (3-6)
	C-Forte	4	3 (2-5)	Faible-Sûr	15 (10-30)	Moyen-Sûr	9 (8-11)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-4)	0 (0-0)	1 (0-3)	9 (8-10)
Zéro Cuivre sans Fongicide	A-Faible	3	3 (2-5)	Faible-Sûr	3 (0-10)	Sûr-Sûr	5 (4-6)	0 (0-0)	0 (0-0)	3 (0-4)	0 (0-0)	3 (0-6)	0 (0-0)
	B-Moyenne	3	3 (3-4)	Faible-Sûr	30 (10-50)	Faible-Sûr	9 (7-12)	0 (0-0)	0 (0-0)	6 (1-8)	0 (0-0)	6 (4-8)	0 (0-0)
	C-Forte	3	3 (2-5)	Faible-Sûr	88 (75-100)	Faible-Elevé	10 (8-12)	0 (0-0)	0 (0-0)	8 (3-10)	0 (0-0)	7 (5-10)	0 (0-0)

Note : Valeurs moyennes (minimum et maximum entre parenthèses sous les moyennes. Pour les colonnes « Confiance Occurrence » et « Confiance perte de récolte », les niveaux minimum et maximum déclarés par les experts sont reportés

Lecture : en agriculture conventionnelle en zone méditerranéenne, pour le scénario actuel et un niveau de pression mildiou faible, la perte moyenne de récolte est estimée à 0 %. Un total de 3 passages de pulvérisateur ont été effectués pour les traitements (1 traitements à base de cuivre, 1 avec des phosphonates et 2 avec des fongicides de synthèse). Lors d'un passage, plusieurs traitements peuvent être combinés (contenant du cuivre et un autre type de produit). La dose moyenne de cuivre métal par traitement est de 315 grammes par hectare. Ces données ont été calculées à partir des réponses de 6 experts qui ont déclaré un degré de confiance élevé à sûr pour les pertes de rendement et faible à sûr pour l'occurrence de pression, qui correspond à la probabilité du niveau de pression tavelure considéré.

- **Pression mildiou**

Sur la base des niveaux de pressions du mildiou observés par les experts filières au cours de ces dix dernières années, le niveau de pression du mildiou dans les vignobles de la façade atlantique est estimé :

- avec une probabilité de 0,2 (2 années sur 10) pour une pression faible ;
- avec une probabilité de 0,4 (4 années sur 10) pour une pression moyenne ;
- avec une probabilité de 0,4 (4 années sur 10) pour une pression forte.

Dans les vignobles méditerranéens, le niveau de pression est estimé :

- avec une probabilité de 0,3 (3 années sur 10) pour une pression faible ;
- avec une probabilité de 0,4 (4 années sur 10) pour une pression moyenne ;
- avec une probabilité de 0,3 (3 années sur 10) pour une pression forte.

Les résultats des calculs technico-économiques réalisés à partir de ces hypothèses initiales et pondérés par les niveaux de pression pour les différents scénarios sont présentés ci-dessous.

- **Mise en œuvre des alternatives**

En **viticulture conventionnelle**, la mise en œuvre des alternatives entraîne une augmentation du nombre de passages pour les stratégies sans fongicide de synthèse par rapport au scénario « actuel » (Tableaux 14 et 16 : +17 % en pression faible à +36 % en pression élevée pour le scénario « demi cuivre » en zone atlantique ; +33 % en pression faible à +40 % en pression élevée pour le scénario « demi-cuivre » en zone méditerranéenne ; +33% en pression faible pour le scénario « zéro cuivre » et +18 % en pression élevée pour ce même scénario « zéro cuivre » en zone atlantique ; +66 % en pression faible pour le scénario « zéro cuivre » en zone méditerranéenne mais pas de modification en pression élevée dans ce même scénario « zéro cuivre » en zone méditerranéenne en raison d'un nombre initial de passages déjà haut. Aucune augmentation du nombre de passages n'est notée pour le scénario « zéro cuivre » avec fongicides de synthèse dans les deux zones de production.

Pour les scénarios sans fongicide de synthèse, on note une augmentation du nombre de traitements avec des produits de biocontrôle et des phosphonates (Tableaux 14 et 16) dans les deux zones de production. Pour les scénarios avec fongicides de synthèse, on note également une augmentation du nombre de traitements avec ces fongicides (+28 % à +67 % en zone atlantique et +25 % à +50 % en zone méditerranée selon les situations de pression parasitaire) (Tableaux 14 et 16).

Enfin, tenant compte du nombre total de passages pour les scénarios « demi cuivre » sans fongicide de synthèse, on observe une augmentation de la quantité de cuivre utilisée par rapport à la situation actuelle (Tableaux 14 et 16), variable selon la zone viticole et la pression parasitaire, mais pouvant aller jusqu'à un doublement de la dose appliquée en raison du nombre de passages plus élevé.

En **viticulture AB**, l'augmentation du nombre de passages est beaucoup plus faible et observée surtout pour le scénario « zéro cuivre » (0 % à +20 % en zone atlantique et +43 % à +50 % en zone méditerranéenne) (Tableaux 13 et 15). En zone méditerranéenne, on observe même une diminution du nombre de traitements passant de 14 à 12 en situation de pression forte.

Que ce soit en AB ou en viticulture conventionnelle, l'augmentation du nombre de passages est principalement notée pour les niveaux de pression faible à moyenne, le nombre de passages étant initialement déjà élevé en cas de pression forte. Ces évolutions s'accompagnent d'une augmentation du nombre de traitements avec des produits de biocontrôle et des extraits de plantes. Pour les scénarios « demi cuivre », on observe une diminution de la dose de cuivre utilisée par traitement par rapport à la situation actuelle, selon la zone viticole et la pression parasitaire. Cette diminution peut être comprise entre 28 % (en AB en pression moyenne en zone méditerranéenne) et 58 % (en agriculture conventionnelle en pression forte en zone atlantique) (Tableaux 14 et 16).

- **Niveaux de rendement**

Quels que soient la zone viticole et le scénario de substitution étudié, la mise en œuvre des alternatives entraîne des pertes de récolte supérieures au scénario actuel sauf dans le cas de pression faible du mildiou (Tableaux 13, 14, 15 et 16).

Dans la situation actuelle (scénario « actuel ») pour la **viticulture conventionnelle**, les pertes de récolte sont négligeables en pression faible à moyenne mais sont estimées à 10 % (en zone atlantique) à 15 % (en zone méditerranéenne) en cas de pression forte. Pour le scénario « demi cuivre », on observe une augmentation très légère des pertes de récolte en pression moyenne (15 % en zone atlantique à 17 % en zone méditerranéenne) mais qui s'accroissent en pression forte (47 % en zone atlantique à 70 % en zone méditerranéenne). Le scénario sans cuivre et sans fongicides de synthèse ne montre qu'une très faible augmentation des pertes de récolte en pression faible, mais des pertes beaucoup plus importantes en cas de pression moyenne (26 % en zone atlantique à 30 % en zone méditerranéenne) et forte (70 % en zone atlantique à 88 % en zone méditerranéenne). Avec le maintien des fongicides de synthèse, le scénario zéro cuivre n'entraîne aucune augmentation des pertes de récolte.

En **viticulture AB**, la maîtrise du mildiou en cas de pression forte est déjà délicate, avec des pertes de récolte estimées à plus de 22 % (en zone atlantique) à 33 % (en zone méditerranéenne). Si les pertes de récolte restent relativement limitées en cas de pression faible, elles augmentent très fortement en cas de pressions moyenne et forte. Pour le scénario « zéro cuivre », les pertes de récolte sont estimées à 90 % en cas de pression forte en zone méditerranéenne contre 70 % en zone atlantique.

Comparé à l'évaluation réalisée pour la pomme de terre biologique présenté avant, il est à noter qu'il y a ici une différence importante avec le cas de la vigne en agriculture biologique, pour laquelle les effets du retrait du cuivre sont contenus en faible pression, mais deviennent importants en pression moyenne et très élevés en cas de pression forte du mildiou. Le GT impute ces écarts aux différences entre les moyens de lutte mobilisés dans ces deux cultures (essentiellement biocontrôle dans le cas de la vigne, essentiellement résistance variétale dans celui de la pomme de terre biologique) (cf. section 4.1.1.1).

Compte-tenu des nombreuses configurations que le GT a retenu pour la viticulture, le cas d'un vignoble avec AOP avec un rendement objectif de 50 hl/ha est présenté plus en détails dans les tableaux 17 et 18. Les résultats pour un vignoble avec IGP avec un niveau de rendement de 80 hl/ha sont présentés en annexe 13. Par ailleurs, ces résultats sont calculés en considérant un niveau de pression moyen (moyenne pondérée par l'occurrence des pressions présentées dans la première colonne des tableaux 13, 14, 15 et 16).

Tableau 17 : Pertes de rendement estimées en viticulture AB selon les scénarios (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha) et les zones de production

		Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>
Zone atlantique	Rendement objectif (hl/ha)	50	50	50
	Perte moyenne de rendement (hl/ha)	6	17	26
Zone méditerranéenne	Rendement objectif (hl/ha)	50	50	50
	Perte moyenne de rendement (hl/ha)	6	13	23

Note: les pertes moyennes de rendement sont calculées à partir des données renseignées à dire d'expert.

Lecture : en zone atlantique, la perte moyenne de rendement est estimée à 6 hl/ha dans le scénario « actuel », à 17 hl/ha dans le scénario « demi-cuivre » et à 26 hl/ha dans le scénario « zéro cuivre ».

Tableau 18 : Pertes de rendement estimées en viticulture conventionnelle selon les scénarios (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha) et les zones de production

		Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>	
				<i>avec fongicides de synthèse</i>	<i>sans fongicides de synthèse</i>
Zone atlantique	Rendement objectif (hl/ha)	50	50	50	50
	Perte moyenne de rendement (hl/ha)	3	12	3	19
Zone méditerranéenne	Rendement objectif (hl/ha)	50	50	50	50
	Perte moyenne de rendement (hl/ha)	3	14	3	20

Note : les pertes moyennes de rendement sont calculées à partir des données renseignées à dire d'expert.

Lecture : en zone atlantique, la perte moyenne de rendement est estimée à 3 hl/ha dans le scénario « actuel », à 12hl/ha dans le scénario « demi-cuivre », à 3hl/ha dans le scénario « zéro cuivre avec fongicides de synthèse » et à 19 hl/ha dans le scénario « zéro cuivre sans fongicide de synthèse ».

Sur le plan agronomique, on constate que seul le scénario « zéro cuivre » avec fongicides de synthèse utilisés en remplacement du cuivre (en viticulture conventionnelle donc) offre un niveau de protection équivalent avec absence de pertes par rapport à la situation actuelle (Tableau 18). Dans tous les autres cas, on observe des pertes supplémentaires

potentiellement plus importantes en zone atlantique qu'en zone méditerranéenne en AB (de 11 à 20 hl/ha en zone atlantique et de 7 à 17 hl/ha en zone méditerranéenne, cf. Tableau 17) et l'inverse en viticulture conventionnelle (de 10 à 16 hl/ha en zone atlantique et de 12 à 18 hl/ha en zone méditerranéenne, cf. Tableau 18). En viticulture conventionnelle, les pertes sont par ailleurs plus importantes dans le scénario « zéro cuivre » sans fongicide que dans le scénario « demi cuivre » (Tableau 18).

4.1.2.2 Résultats économiques de la substitution du cuivre en viticulture

L'analyse de l'impact économique de chaque scénario (coût de la protection et marge sur coût de la protection), calculé à partir des données d'itinéraires de protection phytosanitaire (nombre de passages, produits utilisés, pratiques alternatives) et des rendements associés obtenus par l'élicitation de dires d'experts, est présentée ci-dessous.

- **Le coût de la protection du vignoble dans les différents scénarios**

Pour les différents scénarios (« demi cuivre » et « zéro cuivre »), on observe en moyenne un surcoût de la protection phytosanitaire quel que soit le niveau de pression (cf. annexe 13). L'augmentation des coûts est liée aussi bien à l'augmentation du nombre de passages (pressions faible et moyenne surtout) qu'au coût des produits appliqués pour les scénarios alternatifs qui est supérieur au coût du cuivre. On observe également une dispersion plus grande des coûts de protection du vignoble lors de la réduction ou de la suppression du cuivre des itinéraires techniques. En **zone atlantique**, on observe des coûts supérieurs en moyenne à ceux du scénario AB actuel si on supprime totalement le cuivre (scénario « zéro cuivre »). En **zone méditerranéenne**, c'est moins visible et le coût de la protection est globalement légèrement inférieur à celui de la zone atlantique. Le coût de la protection du vignoble augmente également avec la pression parasitaire. C'est notamment très visible en zone méditerranéenne pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre » en agriculture AB ainsi que pour les scénarios « demi cuivre sans fongicide » et « zéro cuivre avec fongicides » en viticulture conventionnelle.

Les résultats économiques présentés dans les tableaux 19 et 20 présentent le détail du cas où le niveau de rendement objectif est de 50 hl/ha pour un prix de vente de 5 € la bouteille. Les résultats pour un niveau de rendement de 80 hl/ha et différents niveaux de prix de vente (3 €, 5 €, 10 € et 20 € par bouteille) sont présentés en annexe 13.

Les données d'entrée retenues pour les calculs des coûts présentés dans les tableaux Tableau 19 et Tableau 20, sont indiqués dans le Tableau 8 en section 3.5.3.

En **viticulture AB**, on observe une augmentation importante du coût de la protection phytosanitaire notamment pour le scénario « zéro cuivre », augmentation due au coût des produits de substitution beaucoup plus élevé que le cuivre (+302 €/ha en zone atlantique et +216 €/ha en zone méditerranéenne, cf. Tableau 19). Pour le scénario « demi cuivre », les variations de coût sont plus modérées (+54 €/ha en zone atlantique et +74 €/ha en zone méditerranéenne). En **viticulture conventionnelle**, la situation est différente. En zone atlantique, c'est le scénario « zéro cuivre avec fongicides de synthèse » qui présente le surcoût le plus élevé (+68 €/ha), alors qu'en zone méditerranéenne, c'est le scénario « zéro cuivre sans fongicide de synthèse » (+93 €/ha) (Tableau 20). En outre, le scénario « demi cuivre » permet une économie de 99 €/ha en zone atlantique. Les autres configurations se traduisent par des surcoûts, mais sans commune mesure avec les surcoûts mis en évidence en AB (les

surcoûts en agriculture conventionnelle peuvent être compris entre 3 et 93 €/ha en zone méditerranéenne).

Pour la **viticulture AB** comme pour la viticulture conventionnelle, c'est le coût de mise en œuvre des alternatives plus élevé par rapport au coût d'utilisation des produits phytosanitaires à base de cuivre qui explique les différences de coût entre les différents scénarios.

Tableau 19 : Coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en viticulture AB selon les scénarios de substitution et les zones de production (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha)

		Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>
Zone atlantique	Pulvérisation			
	<i>Nombre de passages</i>	13	13	14
	<i>Coût pulvérisation (€/ha)</i>	316	312	341
	<i>Coût Main d'œuvre (€/ha)</i>	103	102	111
	Coût Produits (€/ha)			
	<i>Cuivre</i>	130	77	0
	<i>Biocontrôle</i>	121	184	300
	<i>Phosphonate</i>	0	0	0
	<i>Extraits de plantes</i>	78	128	273
	<i>Produits conventionnels</i>	0	0	0
	Coût total Produits (€/ha)	329	389	573
	Coûts de protection (€/ha)	748	803	1025
Zone méditerranéenne	Pulvérisation			
	<i>Nombre de passages</i>	8	9	9
	<i>Coût pulvérisation (€/ha)</i>	192	208	220
	<i>Coût Main d'œuvre (€/ha)</i>	63	68	72
	Coût Produits (€/ha)			
	<i>Cuivre</i>	96	69	0
	<i>Biocontrôle</i>	70	122	284
	<i>Phosphonate</i>	0	0	0
	<i>Extraits de plantes</i>	12	40	74
	<i>Produits conventionnels</i>	0	0	0
	Coût total Produits (€/ha)	178	231	358
	Coûts de protection (€/ha)	433	507	650

Lecture : pour la zone atlantique, on compte en moyenne 13 passages avec un pulvérisateur pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre », et 14 passages pour le scénario « zéro cuivre ».

Tableau 20 : Coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en viticulture conventionnelle selon les scénarios de substitution et les zones de production (cas d'un rendement objectif de 50hl/ha)

		Scénario « Actuel » <i>Réglementation en vigueur</i>	Scénario « Demi cuivre » <i>Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)</i>	Scénario « Zéro cuivre » <i>Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)</i>	
				<i>avec fongicides de synthèse</i>	<i>sans fongicides de synthèse</i>
Zone atlantique	Pulvérisation				
	<i>Nombre de passages</i>	9	11	9	11
	<i>Coût pulvérisation (€/ha)</i>	211	267	207	264
	<i>Coût Main d'œuvre (€/ha)</i>	69	87	68	86
	Coût Produits (€/ha)				
	<i>Cuivre</i>	46	58	0	0
	<i>Biocontrôle</i>	25	73	30	219
	<i>Phosphonate</i>	148	189	135	237
	<i>Extraits de plantes</i>	0	0	0	0
	<i>Produits conventionnels</i>	273	0	399	0
	Coût total Produits (€/ha)	492	320	564	456
	Coûts de protection (€/ha)	772	674	839	806
Zone méditerranéenne	Pulvérisation				
	<i>Nombre de passages</i>	6	9	6	8
	<i>Coût pulvérisation (€/ha)</i>	153	205	148	192
	<i>Coût Main d'œuvre (€/ha)</i>	50	67	48	63
	Coût Produits (€/ha)				
	<i>Cuivre</i>	27	59	0	0
	<i>Biocontrôle</i>	28	36	27	174
	<i>Phosphonate</i>	55	178	42	195
	<i>Extraits de plantes</i>	0	0	0	0
	<i>Produits conventionnels</i>	219	0	268	0
	Coût total Produits (€/ha)	329	273	337	369
	Coûts de protection (€/ha)	532	545	533	624

Lecture : pour la zone atlantique, on compte en moyenne 9 passages avec un pulvérisateur pour le scénario « actuel », 11 passages pour le scénario « demi cuivre », 9 passages pour le scénario « zéro cuivre » avec fongicides de synthèse et 11 passages pour le scénario « zéro cuivre » sans fongicides de synthèse.

- **Écarts de marges sur le coût de la protection du vignoble**

En viticulture AB, quelle que soit la région, la Figure 5 montre des écarts de marge qui augmentent avec la suppression du cuivre. Plus on substitue le cuivre, plus l'écart de marge est important quelle que soit l'alternative considérée (en particulier, l'écart de marge sans cuivre est supérieur à l'écart de marge en scénario « demi cuivre »). En viticulture conventionnelle, seul le scénario « zéro cuivre avec fongicides de synthèse » affiche une

marge comparable au scénario « actuel ». Les écarts de marge pour le scénario « demi cuivre » sont plus importants sans fongicide de synthèse et encore plus lorsque le cuivre est totalement supprimé (scénario « zéro cuivre sans fongicide de synthèse »). Cela tendrait à montrer que la réduction des doses de cuivre n'est économiquement viable que si les fongicides de synthèse sont considérés comme des alternatives au cuivre. Autrement dit, sans cuivre, seuls les fongicides de synthèse permettent de maintenir le niveau de marge dans les conditions actuelles de production. Plus les rendements objectifs sont élevés (50 ou 80 hl/ha) et plus les prix de vente de la bouteille sont élevés (3 €, 5 €, 10 € ou 20 €), plus les différences de marge entre un scénario alternatif (« demi cuivre » ou « zéro cuivre ») et le scénario « actuel » s'accroissent.



Légende : En colonne, la zone géographique ; en ligne, deux niveaux de rendement (50 et 80 hl/ha) et quatre niveaux de prix par bouteille (3 €, 5 €, 10 € et 20 €).

Figure 5 : Écart de marge sur coût de protection par rapport au scénario « actuel » pour la viticulture AB (orange) et conventionnelle (mauve) selon les scénarios de substitution

Les tableaux 21 et 22 font état de l'impact économique de la substitution du cuivre dans le cas d'un vignoble poursuivant un objectif de rendement de 50 hl/ha et un prix de vente de 5 €/bouteille dans un contexte de niveau moyen de pression parasitaire. Les résultats pour un niveau de rendement de 80 hl/ha et différents niveaux de prix (3 €, 5 €, 10 € et 20 € par bouteille) sont présentés en annexe 13.

Dans cet exemple, en viticulture AB comme en viticulture conventionnelle, et en zone atlantique comme en zone méditerranéenne, les différences de marges observées sont d'abord dues aux pertes de rendement (et donc à la production en valeur) plutôt qu'aux variations de coûts observées plus haut. Ainsi, plus de 95 % de la perte de marge est due aux pertes de rendement. Dans le scénario « demi cuivre » en viticulture conventionnelle, la part de la perte de rendement dans la perte de marge atteint 102% dans la zone atlantique à cause de la réduction des coûts de protection par rapport au scénario « actuel » (cf. Tableau 22).

Tableau 21 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en vigne AB (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha et prix de vente de 5 €/bouteille)

		Scénario « Demi cuivre »	Scénario « Zéro cuivre »
		Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)	Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)
Zone atlantique	Ecart moyen de la production en valeur (€/ha) (A)	-7 242	-13 600
	Ecart de coûts de protection (€/ha) (B)	+54	+302
	Ecart de marge (€/ha) (A – B)	-7 296	-13 902
	<i>Part liée aux pertes de rendement (%) (A/(A – B))</i>	99%	98%
	<i>Part liée aux coûts de protection (%) (B/(A – B))</i>	1%	2%
	Augmentation du prix de la bouteille nécessaire pour maintenir la marge (%)	33%	87%
Zone méditerranéenne	Ecart moyen de la production en valeur (€/ha) (A)	-4 583	-11 120
	Ecart de coûts de protection (€/ha) (B)	+74	+216
	Ecart de marge (€/ha) (A – B)	- 4 657	-11 336
	<i>Part liée aux pertes de rendement (%) (A/(A – B))</i>	98%	98%
	<i>Part liée aux coûts de protection (%) (B/(A – B))</i>	2%	2%
	Augmentation du prix de la bouteille nécessaire pour maintenir la marge (%)	19%	63%

Note : les écarts de production en valeur, de coûts de protection, de marge sur coûts de protection et l'augmentation de prix sont calculés par rapport au scénario « actuel ».

Lecture : en zone atlantique, l'écart entre la production en valeur obtenue dans le scénario « demi cuivre » et celle du scénario « actuel » est estimé à -7 242€/ha. Cet écart est estimé à -13 600/ha entre le scénario « zéro cuivre » et le scénario actuel. En zone atlantique, l'écart entre le coût de protection obtenu dans le scénario « demi cuivre » et celui du scénario « actuel » est estimé à +54 €/ha.

Tableau 22 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en viticulture conventionnelle (cas d'un rendement objectif de 50 hl/ha et prix de vente de 5 €/bouteille)

		Scénario « Demi cuivre » Dose maximale autorisée (2kg/ha/an)	Scénario « Zéro cuivre » Dose maximale autorisée (0kg/ha/an)	
			avec fongicides de synthèse	sans fongicides de synthèse
Zone atlantique	Ecart moyen de la production en valeur (€/ha) (A)	-6 458	-25	-10 911
	Ecart de coûts de protection (€/ha) (B)	-99	+68	+34
	Ecart de marge (€/ha) (A – B)	-6 359	-93	-10 945
	<i>Part liée aux pertes de rendement (%) (A/(A – B))</i>	102%	27%	100%
	<i>Part liée aux coûts de protection (%) (B/(A – B))</i>	-2%	73%	0%
	Augmentation du prix de la bouteille nécessaire pour maintenir la marge (%)	25%	0%	53%
Zone méditerranéenne	Ecart moyen de la production en valeur (€/ha) (A)	-7 796	0	-11 685
	Ecart de coûts de protection (€/ha) (B)	+14	+3	+93
	Ecart de marge (€/ha) (A – B)	-7 810	-3	-11 778
	<i>Part liée aux pertes de rendement (%) (A/(A – B))</i>	100%	0%	99%
	<i>Part liée aux coûts de protection (%) (B/(A – B))</i>	0%	100%	1%
	Augmentation du prix de la bouteille nécessaire pour maintenir la marge (%)	33%	0%	59%

Note : les écarts de production en valeur, de coûts de protection, de marge sur coûts de protection et l'augmentation de prix sont calculés par rapport au scénario « actuel » ;

Lecture : en zone atlantique, l'écart entre la production en valeur obtenue dans le scénario « demi cuivre » et celle du scénario « actuel » est estimé à -6 458€/ha. Cet écart est estimé à -25€/ha entre le scénario « zéro cuivre » avec fongicides de synthèse et le scénario actuel et à -10 911€/ha entre le scénario « zéro cuivre » sans fongicides de synthèse et le scénario actuel. En zone atlantique, l'écart entre le coût de protection obtenu dans le scénario « demi cuivre » et celui du scénario « actuel » est estimé à -99€/ha (traduisant une économie de coûts) tandis que l'écart entre le coût de protection obtenu dans le scénario « zéro cuivre » avec fongicides de synthèse et celui du scénario « actuel » est estimé à +68€/ha contre +34€/ha sans fongicides de synthèse (traduisant un surcoût).

Pour maintenir les résultats économiques du scénario « actuel », une augmentation du prix de la bouteille est nécessaire, pouvant aller, pour la viticulture AB, de +33 % à +87 % en zone atlantique, et de +19 % à +63 % en zone méditerranéenne (cf. Tableau 21) pour conserver la même marge. Pour la viticulture conventionnelle (cf. Tableau 22), l'augmentation du prix de la bouteille qui serait nécessaire en zone atlantique varie de +25 % à +53 % selon les scénarios et en zone méditerranéenne la hausse du prix est relativement contenue entre +33% et +59%. **Seul le scénario « zéro cuivre avec fongicides de synthèse » en conventionnel n'entraîne pas de différence de marge et permettrait de maintenir les résultats**

économiques. Pour les autres scénarios, les nécessaires augmentations de prix de la bouteille pour maintenir les résultats économiques des exploitations viticoles, dans les conditions actuelles de production, ne semblent pas compatibles avec le marché du vin, notamment dans un contexte de crise et de diminution de la consommation (Schirmer, 2004).

4.1.2.3 Éléments d'interprétation

Les résultats de l'évaluation économique montrent que les scénarios de forte réduction et de retrait de l'usage du cuivre entraînent des performances inférieures (hors scénario « zéro cuivre avec fongicides de synthèse ») à celles de la situation actuelle. Ces performances sont particulièrement dégradées en viticulture AB ou en viticulture conventionnelle sans fongicide de synthèse. Ainsi, dans le cas d'un retrait total du cuivre, seul le maintien des fongicides de synthèse permet de maintenir les performances du scénario actuel en viticulture conventionnelle. Ces dégradations de la performance économique sont principalement liées aux pertes de récoltes dans des situations de pression parasitaire moyenne et forte et, dans une moindre mesure, à l'augmentation des coûts de protection. Du fait d'un régime de pluies plus important, les vignobles de la façade atlantique sont plus fréquemment soumis aux fortes pressions de mildiou. L'évolution de l'occurrence de ces fortes pressions parasitaires face au changement climatique reste incertaine (Francesca et al., 2006 ; Zito et al., 2018).

Les résultats sur la performance technico-économique sont liés à une trop faible efficacité actuelle des alternatives au cuivre disponibles en viticulture. Si de nombreuses substances alternatives montrent des efficacités vis-à-vis du mildiou, celles-ci sont toujours partielles et inférieures aux produits phytosanitaires cupriques actuels⁵⁶. En outre, les efficacités sont souvent très variables, avec des déterminants mal connus. Elles sont ainsi toujours recommandées en association avec des doses réduites de fongicides, dont le cuivre. Si les outils d'aide à la décision (OAD) actuels sont relativement performants pour appuyer la décision de traitements fongicides, ils ne sont pas forcément pertinents pour les substances présentant des modes d'action différents, en particulier ceux liés à la stimulation de défense des plantes.

Les résultats montrent également que, pour une même stratégie, les performances technico-économiques sont plus dégradées en viticulture AB qu'en viticulture conventionnelle. En effet, les produits de la famille des phosphonates, présentant des efficacités certes partielles mais relativement régulières, ne sont pas autorisés par le règlement européen de l'agriculture biologique⁵⁷.

L'impact du scénario « demi cuivre » a été évalué avec une quantité maximale de 2 kg de cuivre par ha/an. Il est probable qu'un lissage interannuel (par exemple 14 kg de cuivre par hectare sur sept ans) permettrait d'améliorer significativement l'efficacité de ce scénario, en autorisant des quantités de cuivre supérieures dans le cas de pression forte⁵⁸.

Enfin, les performances des différents scénarios testés ne représentent que des moyennes. En effet, plusieurs facteurs peuvent influencer l'efficacité des stratégies de protection pour un même niveau de pression parasitaire locale. On peut citer entre autres (i) les cépages qui possèdent des sensibilités différentes au mildiou ; (ii) la variabilité spatiale des précipitations, la topographie ou encore le type de sol ; (iii) la qualité de pulvérisation, liée au réglage de

⁵⁶ [Centre de ressources Cuivre | Ecophytopic](#)

⁵⁷ RÈGLEMENT (UE) 2018/848 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques

⁵⁸ Le GT n'a pas considéré le lissage dans le cadre du scénario « demi cuivre ».

l'appareil, mais également aux conditions d'application ; (iv) la capacité matérielle et humaine à pouvoir intervenir rapidement sur l'ensemble des parcelles nécessitant une application qui peut être fortement variable selon les exploitations agricoles.

Synthèse des résultats de l'évaluation des impacts technico-économiques pour la vigne

L'évaluation de l'impact des scénarios de substitution du cuivre en viticulture montre que les scénarios de forte réduction et de retrait de la substance entraînent des performances technico-économiques inférieures à celles de la situation actuelle, que ce soit en viticulture AB ou en viticulture conventionnelle, dans les conditions actuelles de production.

Sur le plan agronomique, et sur la base de l'élicitation des dires d'experts filière, l'évaluation montre des pertes de rendement supérieures pour les différents scénarios de substitution du cuivre par rapport à la situation actuelle, sauf en cas d'utilisation de fongicides de synthèse (pour le scénario « zéro cuivre »). En effet, sans les produits phytosanitaires à base de cuivre, seuls les fongicides de synthèse permettent de maintenir le niveau de production. Les pertes sont en moyenne plus élevées en viticulture AB pour laquelle les alternatives avec un niveau d'efficacité proche de celui du cuivre (fongicides de synthèse, phosphonates) ne sont pas autorisées. Ces pertes de rendement supplémentaires en AB sont potentiellement plus importantes en zone atlantique (+40 % en moyenne) qu'en zone méditerranéenne (+34 % en moyenne) du fait du niveau de pression plus important.

Sur le plan économique, les écarts de marge sur coûts de protection entre les différents scénarios et la situation actuelle sont essentiellement dus à des pertes de rendement associées aux différents niveaux de pression et à l'efficacité des alternatives qui ne permettent pas d'atteindre des niveaux de rendement équivalents dans les conditions actuelles de production. Toutefois, le coût de la protection phytosanitaire est en moyenne plus élevé par rapport à la situation actuelle quel que soit le niveau de pression. L'augmentation des coûts est liée aussi bien à l'augmentation du nombre de passages de produits (surtout dans les cas de pressions faible et moyenne) qu'au coût des produits appliqués pour les scénarios alternatifs qui est supérieur au coût du cuivre. Les pertes économiques dépendent du niveau de valorisation du vin (prix de vente de la bouteille) et du rendement objectif. La situation est plus problématique en viticulture AB, notamment pour le scénario « zéro cuivre » où les écarts de marge sur protection par rapport à la situation actuelle sont importants (jusqu'à près de 14 000 €/ha (13 902) en zone Atlantique pour un vin valorisé à 5 € la bouteille par exemple).

Compte tenu de ces pertes potentielles liées à la substitution du cuivre, le GT estime qu'une augmentation de prix de vente de la production entre 16 et 49 % pourrait être nécessaire pour préserver la marge des producteurs dans les conditions actuelles de production. Cette augmentation dépend de la valorisation (prix) de la bouteille de vin.

Le GT note que d'autres facteurs non pris en compte dans l'évaluation (sensibilité des cépages⁵⁹, qualité de la pulvérisation, capacité matérielle et humaine, etc.)

⁵⁹ La question des cépages résistants est discutée dans le chapitre 6.

pourraient influencer la performance technico-économique des stratégies des combinaisons d'alternatives étudiées. Des stratégies de protection mobilisant des leviers plus en rupture par rapport aux pratiques actuelles pourraient également conduire à des résultats différents.

Le GT souligne également que les impacts technico-économiques des alternatives au cuivre en viticulture biologique et conventionnelle doivent être considérés au regard de leurs potentielles implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales analysées en section 4.2.

4.1.3 Cas de la pomiculture

4.1.3.1 Résultats de l'élicitation des dires d'experts de la filière pomme

Les résultats de l'élicitation des dires d'experts sont présentés dans les tableaux 23 et 24 et sont présentés ci-dessous.

- **Pression tavelure**

Sur la base des estimations des niveaux de pressions de tavelure, par les experts élicités, au cours de ces dix dernières années :

- la probabilité d'avoir une pression faible est estimée à 0,4 (4 années sur 10),
- la probabilité d'avoir une pression moyenne est estimée à 0,3 (3 années sur 10)
- la probabilité d'avoir une pression forte est estimée à 0,3 (3 années sur 10) .

Ces niveaux de pressions dépendent du bassin de production, ce qui explique la grande variabilité des réponses des experts élicités (cf. « occurrence » Tableaux 23 et 24). La probabilité de pression tavelure forte est plus élevée en régions océaniques. Toutefois, les résultats ne peuvent pas être distingués selon les différentes régions comme cela a été fait pour la viticulture, en raison d'un nombre de réponses trop faible (entre 5 et 7).

Le niveau de confiance déclaré par les experts élicités est élevé à sûr pour la plupart des scénarios. En revanche, pour le scénario « zéro cuivre » en AB, le niveau de confiance est faible à élevé. Deux experts n'ont pas souhaité répondre en raison de l'absence de données en situation de forte pression tavelure.

Tableau 23 : Statistiques des réponses des experts en pomiculture AB

Scénario	Niveau de pression	Nombre de réponses	Nombre de traitements							Dose moyenne de cuivre métal par traitement (en g/ha)	Degré de confiance sur traitements	Perte de récolte (%)	Degré de confiance sur perte de récolte	Occurrence (en année)	Degré de confiance sur occurrence
			Nombre total passages	Cuivre	Biocontrôle hors phosphonates	Extraits de plante	Phosphonates	Fongicides de synthèse	Bioestimulants						
Actuel	A-Faible	7	14 (8-18)	9 (5-15)	8 (4-13)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	200 (150-250)	Moyen-Sûr	3 (0-10)	Elevé-Sûr	4 (1-9)	Elevé-Sûr
	B-Moyenne	7	18 (10-22)	11 (8-16)	11 (6-15)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	200 (150-250)	Moyen-Sûr	8 (0-20)	Elevé-Sûr	3 (1-6)	Elevé-Sûr
	C-Forte	6	23 (12-29)	14 (10-17)	16 (7-22)	1 (0-3)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-0)	200 (200-200)	Moyen-Sûr	18 (10-30)	Elevé-Sûr	3 (0-7)	Elevé-Sûr
Demi-cuivre	A-Faible	7	14 (6-20)	7 (3-10)	9 (6-13)	1 (0-5)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-5)	186 (100-201)	Moyen-Elevé	7 (0-25)	Elevé-Sûr	4 (1-9)	Elevé-Sûr
	B-Moyenne	7	19 (10-26)	9 (5-14)	14 (10-18)	1 (0-9)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-9)	183 (80-200)	Faible-Sûr	27 (5-80)	Elevé-Sûr	3 (1-6)	Elevé-Sûr
	C-Forte	6	23 (10-30)	10 (7-10)	17 (10-20)	1 (0-5)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-5)	200 (200-200)	Faible-Elevé	50 (20-100)	Moyen-Sûr	3 (0-7)	Elevé-Sûr
Zéro cuivre	A-Faible	6	17 (12-24)	0 (0-0)	17 (10-24)	2 (0-10)	0 (0-0)	0 (0-0)	2 (0-10)	0 (0-0)	Faible-Elevé	27 (10-50)	Moyen-Elevé	4 (1-9)	Elevé-Sûr
	B-Moyenne	6	22 (14-26)	0 (0-0)	21 (14-25)	3 (0-9)	0 (0-0)	0 (0-0)	4 (0-9)	0 (0-0)	Faible-Elevé	51 (0,2-100)	Faible-Elevé	3 (1-6)	Elevé-Sûr
	C-Forte	4	28 (16-34)	0 (0-0)	25 (16-30)	3 (0-5)	0 (0-0)	0 (0-0)	4 (0-10)	0 (0-0)	Faible-Elevé	83 (70-100)	Faible-Elevé	3 (0-7)	Elevé-Sûr

Note : Valeurs moyennes (minimum et maximum entre parenthèses sous les moyennes).

Lecture : en AB, pour le scénario actuel et un niveau de pression tavelure faible, la perte moyenne de récolte est estimée à 3%. Un total de 14 passages de pulvérisateur ont été effectués pour les traitements (9 traitements à base de cuivre et 8 avec des biocontrôles hors phosphonates). Lors d'un passage, plusieurs traitements peuvent être combinés (contenant du cuivre et un autre type de produit, soufre par exemple). La dose moyenne de cuivre métal par traitement est de 200 grammes par hectare. Ces données ont été calculées à partir des réponses de 7 experts qui ont déclaré un degré de confiance élevé à sûr pour les pertes de rendement, ainsi que pour le nombre de traitements et l'occurrence, qui correspond à la probabilité du niveau de pression tavelure considéré.

Tableau 24 : Statistiques des réponses des experts en pomiculture conventionnelle

Scénario	Niveau de pression	Nombre de réponses	Nombre de traitements							Dose moyenne de cuivre métal par traitement (en g/ha)	Degré de confiance sur traitements	Perte de récolte (%)	Pegré de confiance sur perte de récolte	Occurrence (en année)	Degré de confiance sur occurrence
			Nombre total passages	Cuivre	Biocontrôle hors phosphonates	Extraits de plante	Phosphonates	Fongicides de synthèse	Biostimulants						
Actuel	A-Faible	5	13 (10-20)	2 (2-4)	0 (0-0)	0 (0-0)	1 (0-2)	11 (8-17)	0 (0-0)	360 (200-1000)	Elevé-Sûr	1 (0-2)	Elevé-Sûr	4 (1-9)	Elevé-Sûr
	B-Moyenne	5	19 (15-25)	3 (2-4)	0 (0-0)	0 (0-0)	2 (0-5)	14 (12-20)	0 (0-0)	360 (200-1000)	Moyen-Sûr	3 (0-5)	Elevé-Sûr	3 (1-6)	Elevé-Sûr
	C-Forte	5	24 (18-30)	4 (2-5)	0 (0-0)	0 (0-0)	2 (0-4)	18 (16-27)	0 (0-0)	360 (200-1000)	Elevé-Sûr	8 (5-10)	Elevé-Sûr	3 (0-7)	Elevé-Sûr
Demi-cuivre	A-Faible	5	13 (10-20)	2 (2-4)	2 (0-4)	0 (0-0)	1 (0-2)	11 (7-17)	0 (0-0)	260 (200-500)	Elevé-Sûr	1 (0-5)	Elevé-Sûr	4 (1-9)	Elevé-Sûr
	B-Moyenne	5	19 (15-25)	3 (2-4)	4 (0-8)	0 (0-0)	2 (0-3)	14 (12-20)	0 (0-0)	260 (200-500)	Elevé-Sûr	6 (0-15)	Elevé-Sûr	3 (1-6)	Elevé-Sûr
	C-Forte	5	23 (18-30)	5 (2-10)	3 (0-8)	0 (0-0)	2 (0-4)	18 (16-27)	0 (0-0)	260 (200-500)	Moyen-Sûr	16 (5-45)	Elevé-Sûr	3 (0-7)	Elevé-Sûr
Zéro cuivre	A-Faible	5	13 (10-20)	0 (0-0)	2 (0-4)	0 (0-0)	1 (0-2)	11 (8-17)	0 (0-0)	0 (0-0)	Elevé-Sûr	2 (0-5)	Elevé-Sûr	4 (1-9)	Elevé-Sûr
	B-Moyenne	5	19 (15-25)	0 (0-0)	4 (0-8)	0 (0-0)	2 (0-5)	16 (13-20)	0 (0-0)	0 (0-0)	Moyen-Sûr	8 (0-25)	Moyen-Sûr	3 (1-6)	Elevé-Sûr
	C-Forte	5	23 (16-30)	0 (0-0)	4 (0-10)	0 (0-0)	2 (0-4)	19 (16-27)	0 (0-0)	0 (0-0)	Elevé-Sûr	21 (5-70)	Elevé-Sûr	3 (0-7)	Elevé-Sûr

Note : Valeurs moyennes (minimum et maximum entre parenthèses sous les moyennes).

Lecture : en agriculture conventionnelle, pour le scénario actuel et un niveau de pression tavelure faible, la perte moyenne de récolte est estimée à 1%. Un total de 13 passages de pulvérisateur ont été effectués pour les traitements (2 traitements à base de cuivre et 1 avec des phosphonates et 11 avec des fongicides de synthèse). Lors d'un passage, plusieurs traitements peuvent être combinés (contenant du cuivre et un autre type de produit, soufre par exemple). La dose moyenne de cuivre métal par traitement est de 360 grammes par hectare. Ces données ont été calculées à partir des réponses de 5 experts qui ont déclaré un degré de confiance élevé à sûr pour les pertes de rendement, ainsi que pour le nombre de traitements et l'occurrence, qui correspond à la probabilité du niveau de pression tavelure considéré.

- **Mise en œuvre des alternatives**

En pomiculture AC et AB, la mise en œuvre des alternatives n'aurait que **peu d'effet sur le nombre total moyen de passages de pulvérisateur** par rapport au scénario actuel, sauf en AB « zéro cuivre ». En effet, en pomiculture AB pour le scénario « zéro cuivre », le nombre de passages augmente de +23 %, +21 %, +18 % pour une pression tavelure respectivement faible, moyenne, élevée (cf. tableaux 23 et 24). En revanche, pour le scénario « demi cuivre », cette augmentation du nombre total de passages serait faible (+3%).

En pomiculture AC, le changement de scénario « demi cuivre » ou « zéro cuivre » ne s'accompagne d'aucune augmentation du nombre de passages, même en situation de pression tavelure forte.

En revanche, **la nature des traitements** évolue dans les scénarios « demi cuivre » et « zéro cuivre » vers des traitements de biocontrôle en pomiculture AC ou AB avec des fongicides de synthèse en AC.

- **En pomiculture AC**, la réduction du nombre de traitements avec du cuivre a tendance à augmenter le nombre de traitements avec des fongicides de synthèse de +4 %, +11 %, +5 % selon le niveau de pression faible, moyen ou élevé. De plus, selon le niveau de pression tavelure, les agriculteurs introduisent 2 à 4 traitements de produits de biocontrôle sans phosphonates, pour les scénarios « demi cuivre » et « zéro cuivre », en comparaison avec le scénario actuel (Tableau 24).
- **En pomiculture AB**, la réduction du nombre de traitements avec du cuivre conduirait les agriculteurs à augmenter de façon importante les produits de biocontrôle autorisés en AB, ainsi que les substances naturelles à base d'extraits de plantes et les biostimulants. Ainsi, le nombre de traitements en biocontrôle hors phosphonates augmenterait de +14 %, +26 % et +9 % en « demi cuivre » et doublerait en « zéro cuivre » (Tableau 23). A noter qu'en pression élevée dans le scénario « zéro cuivre », l'augmentation n'est que de +58 %, certains traitements étant abandonnés lorsque la récolte est trop compromise.

La variabilité des réponses des experts élicités est forte, notamment pour le scénario « demi-cuivre », sachant que les données pour le scénario « zéro cuivre » en pression forte porte sur 4 réponses uniquement.

- **Niveaux de rendement**

La synthèse des résultats est présentée dans les tableaux 25 (pomiculture AC) et 26 (pomiculture AB) ci-dessous.

Pour rappel, ces données sont estimées par les experts élicités sur la base d'un rendement de référence de 38 t/ha quel que soit le scénario considéré en AB et d'un rendement de référence en pomiculture AC de 56 t/ha dans les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de 53 t/ha en « zéro cuivre ».

En pomiculture dans le scénario « actuel », la tavelure en situation de pression élevée est assez bien maîtrisée en AB comme en AC avec une perte de rendement moyenne de 3 t/ha et de 2 t/ha, respectivement. Ces pertes s'élèvent à 5t/ha en AC et à 7 t/ha en AB en situation de pression forte en tavelure.

Dans le scénario « demi cuivre », les pertes de rendement sont plus élevées en AB qu'en AC avec respectivement 9 t/ha et 4 t/ha. L'écart s'accroît dans le scénario « zéro cuivre » avec une perte de rendement moyenne de 5t/ha en AC et de 19 t/ha en AB. En situation de pression

élevée, ces pertes atteignent 11 t/ha en AC et 32 t/ha en AB. Ces valeurs moyennes ont été calculées à partir des réponses données par les experts élicités. Pour les calculs, les pourcentages ont été exprimés en tonnes par hectare sur la base d'un rendement de référence de 38 t/ha quel que soit le scénario considéré en AB et d'un rendement de référence en pomiculture AC de 56 t/ha dans les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de 53 t/ha en « zéro cuivre ».

Tableau 25 : Pertes de rendement estimées en pomiculture conventionnelle (AC) selon les scénarios

	Fréquence pression	Scénario actuel (100% VS)	Scénario « demi cuivre » (100% VS)	Scénario « zéro cuivre » (50% VS + 50% VR/T)
Rendement sans dommage (t/ha)		56	56	53
Perte de rendement (t/ha)				
<i>En pression faible (t/ha)</i>	0,4	0,3	1	1
<i>En pression moyenne (t/ha)</i>	0,3	2	3	4
<i>En pression élevée (t/ha)</i>	0,3	5	9	11
Perte moyenne de rendement (t/ha)		2	4	5

Note : VS : variétés sensibles ; VR/T : variétés résistantes/tolérantes à la tavelure.

Lecture : les pertes de rendement sont calculées par rapport au rendement de référence, ici le rendement sans dommage qui est de 56 tonnes/ha dans les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de 53 tonnes /ha dans le scénario « zéro cuivre » ; en pression faible, la perte de rendement est de 0,3 tonne/ha dans le scénario « actuel », de 1 tonne/ha dans le scénario « demi cuivre » et dans le scénario « zéro cuivre ». La perte moyenne de rendement a été pondérée par les occurrences de pression tavelure et calculée par rapport au rendement sans dommage.

Tableau 26 : Pertes de rendement estimées en pomiculture biologique (AB) selon les scénarios

	Fréquence pression	Scénario « actuel » (50% VS + 50% VR/T)	Scénario « demi cuivre » (50% VS + 50% VR/T)	Scénario « zéro cuivre » (50% VS + 50% VR/T)
Rendement sans dommage (t/ha)		38	38	38
Perte de rendement (t/ha)				
En pression faible (t/ha)	0,4	1	3	10
En pression moyenne (t/ha)	0,3	3	10	19
En pression élevée (t/ha)	0,3	7	19	32
Perte moyenne de rendement (t/ha)		3	9	19

Note : VS : variétés sensibles ; VR/T : variétés résistantes/tolérantes à la tavelure.

Lecture : les pertes de rendement sont calculées par rapport au rendement de référence, ici le rendement sans dommage qui est de 38 tonnes/ha quel que soit le scénario ; en pression faible, la perte de rendement est estimée être de 1 tonne/ha dans le scénario « actuel », 3 tonnes/ha dans le scénario « demi cuivre » et de 10 tonnes/ha dans le scénario « zéro cuivre ». La perte moyenne de rendement a été pondérée par les occurrences de pression tavelure et calculée par rapport au rendement sans dommage.

- **En situation de pression tavelure faible**, en **pomiculture AC**, la perte en scénario « actuel » est très limitée (0,3 tonne/ha). Le recours aux fongicides de synthèse limite la perte de récolte à environ 1 t/ha quel que soit le scénario (soit moins de 2 % d'écart de perte par rapport au scénario « actuel »). En **pomiculture AB**, l'écart de perte de récolte est également limité dans le scénario « demi cuivre » (2 t/ha, soit environ 5 % d'écart de perte par rapport au scénario « actuel »), en revanche elle s'élève, dans le scénario « zéro cuivre », à 9 t/ha (soit 24 % d'écart de perte de récolte).
- **En situation de pression tavelure moyenne**, quel que soit le scénario de substitution considéré, la mise en œuvre des alternatives entraîne des dommages aux récoltes supérieurs au scénario « actuel ». En **pomiculture AC**, l'écart de perte de récolte, par rapport au scénario « actuel », est de 1 t/ha en « demi cuivre » et de 2 t/ha en « zéro cuivre » (respectivement environ 2 % et 4 % d'écart de perte de récolte). En **pomiculture AB**, l'écart de perte de récolte, par rapport au scénario « actuel », est de 7 t/ha en « demi cuivre » et de 17 t/ha en « zéro cuivre » (respectivement environ 19 % et 45 % d'écart de perte de récolte).
- **En situation de pression tavelure élevée**, quel que soit le scénario de substitution considéré, la mise en œuvre des alternatives entraîne des dommages aux récoltes très supérieurs au scénario « actuel ». En **pomiculture AC**, l'écart de perte de récolte, par rapport au scénario « actuel », est de 4 t/ha en « demi cuivre » et de 6 t/ha en « zéro cuivre » (respectivement environ 8 % et 13 % d'écart de perte de récolte). En **pomiculture AB**, l'écart de perte de récolte, par rapport au scénario actuel, est considérable avec 12 t/ha en « demi cuivre » et 25 t/ha en « zéro cuivre » (respectivement environ 32 % et 64 % d'écart de perte de récolte).

Les écarts de perte moyenne de rendement par rapport au scénario « actuel » (dernière ligne des tableaux 25 et 26) sont systématiquement plus importants en pomiculture AB et dans le scénario « zéro cuivre » (environ 40%). Dans le scénario « demi cuivre » l'écart par rapport au scénario « actuel » ne dépasse pas 5 % en pomiculture AC et reste en deçà de 16 % en AB.

Le niveau de confiance déclaré par les experts élicités pour estimer les pertes de rendement dans les scénarios est élevé sauf pour le scénario « zéro cuivre » en agriculture biologique (cf. Tableaux 23 et 24). En effet, dans ce cas, le niveau de confiance est faible car il s'agit de situations non expérimentées sur le terrain.

4.1.3.2 Résultats économiques de la substitution du cuivre en pomiculture

Les estimations technico-économiques ont été réalisées à partir de ces hypothèses initiales pour les différents scénarios retenus par le GT.

Les résultats montrent que l'ensemble des scénarios alternatifs sont moins efficaces techniquement que le scénario « actuel » (cf. Tableaux 25 et 26). Sur le plan agronomique, le scénario « demi cuivre » permettrait de maîtriser la perte de rendement due à la tavelure de manière similaire au scénario de référence « actuel », uniquement en situation de faible pression tavelure. D'après les experts élicités, le scénario « zéro cuivre » ne permettrait pas de maintenir les rendements actuels, même au prix d'efforts significatifs pour cultiver autrement les vergers. En situation de pression tavelure forte, il faudrait s'attendre à une forte diminution de la production de pommes à couteau, notamment en agriculture biologique. En effet, les pertes de rendement sont très élevées en conditions de pression tavelure moyenne ou forte (respectivement 11t/ha et 32 t/ha en pression forte, cf. Tableaux 25 et 26). Il faut

rappeler que ces résultats économiques ne prennent pas en compte les pertes qui pourraient être dues au développement d'autres maladies maîtrisées par le cuivre, telles que celles du feuillage ou le chancre qui entraîne la mort de l'arbre.

Les coûts calculés, liés à la mise en place des combinaisons d'alternatives dans les différents scénarios retenus par le GT, sont essentiellement dus aux investissements à mettre en place pour lutter contre les contaminations et assurer la prophylaxie (cf. Tableaux 27 et 28). Le coût dû à la re-conception des vergers avec des variétés résistantes reste limité dans ces estimations puisque le GT a supposé une introduction des variétés résistantes à l'occasion du renouvellement des vergers. Il n'est pas concevable de remplacer la totalité d'un verger à court terme puisqu'un nouveau verger nécessite plusieurs années avant d'entrer en production. De plus, les variétés sensibles restent aujourd'hui les plus demandées par les distributeurs.

Tableau 27 : Estimation des coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre la tavelure en pomiculture AC selon les scénarios de substitution

	Scénario « actuel » (50% VS + 50% VR/T)	Scénario « demi cuivre » (50% VS + 50% VR/T)	Scénario « zéro cuivre » (50% VS + 50% VR/T)
Nombre de traitements			
En pression faible	13	13	13
En pression moyenne	19	19	19
En pression élevée	24	23	23
Nombre moyen de traitements	17	18	17
Coût des traitements (€/ha)			
En pression faible	522	578	537
En pression moyenne	726	856	878
En pression élevée	907	1 060	1 042
Coût moyen des traitements (€/ha)	685	789	774
Autres coûts protection (€/ha)			
Coût des plants	19	19	24
<i>Part des plants résistants</i>	0	0	0,50
Coût du bâchage anti-pluie (€/ha)	0	0	2 229
Coût broyage feuilles (€/ha)	0	70	70
Coût enfouissement feuilles (€/ha)	0	545	545
Coût épandage urée (€/ha)	0	33	33
Somme des coûts protection (€/ha)	704	1 456	3 675

Note : VS : variétés sensibles ; VR/T : variétés résistantes/tolérantes à la tavelure ; les coûts sont partiels car ils n'intègrent que les coûts impactés par le changement de scénario. Les OAD, présents dans tous les scénarios, ne sont pas comptés ici (cf. section 3.5).

Lecture : en pression faible, on compte en moyenne 13 passages avec un pulvérisateur pour les scénarios « actuel », « demi cuivre » et « zéro cuivre ».

Tableau 28 : Estimation des coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre la tavelure en pomiculture AB selon les scénarios de substitution

	Scénario « actuel »	Scénario « demi cuivre »	Scénario « zéro cuivre »
	(50% VS + 50% VR)	(50% VS + 50% VR/T)	(50% VS + 50% VR/T)
Nombre de traitements			
En pression faible	14	14	17
En pression moyenne	18	19	22
En pression élevée	23	23	28
Nombre moyen de traitements	18	18	21
Coût des traitements (€/ha)			
En pression faible	565	633	882
En pression moyenne	756	930	1 143
En pression élevée	1 028	1 055	1 327
Coût moyen des traitements (€/ha)	744	835	1 078
Autres coûts protection (€/ha)			
Coût des plants (€/ha)	19	19	19
<i>Part des plants résistants</i>	0,50	0,50	0,50
Coût du bâchage anti-pluie (€/ha)	0	2 229	2 229
Coût broyage feuilles (€/ha)	0	70	70
Coût enfouissement feuilles (€/ha)	0	545	545
Somme des coûts protection (€/ha)	763	3 698	3 941

Note : VS : variétés sensibles ; VR/T : variétés résistantes/tolérantes à la tavelure ; les coûts sont partiels car ils n'intègrent que les coûts impactés par le changement de scénario. Les OAD, présents dans tous les scénarios, ne sont pas comptés ici (cf. section 3.5).

Lecture : en pression faible, on compte en moyenne 14 passages avec un pulvérisateur pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et 17 passages pour le scénario « zéro cuivre ».

L'écart de coût (par rapport au scénario « actuel ») lié à la mise en œuvre des alternatives n'est pas compensé par la réduction des coûts liés aux applications de cuivre notamment dans le scénario « zéro cuivre » (Tableaux 29 et 30). Le prix des produits à base de cuivre est très variable, mais de façon générale, ils sont moins coûteux que les alternatives considérées dans les scénarios en agriculture conventionnelle comme en agriculture biologique). Si les mesures prophylactiques telles que le broyage et l'enfouissement des feuilles ou l'épandage d'urée doublent quasiment le coût de protection, l'installation de bâches anti-pluie multiplie par cinq le coût. De plus, certains bassins de production, soumis au vent qui risque d'abîmer les bâches, ne peuvent utiliser cette alternative.

En termes de pertes économiques, on observe un écart de marge sur coût de protection entre le scénario « demi cuivre » et le scénario « actuel » de l'ordre de -2 914€/ha pour la pomiculture AC et de -6 409€/ha entre le scénario « zéro cuivre » et le scénario actuel. Environ 74 % de cet écart de marge est liée aux pertes de rendement dans le scénario « demi cuivre » et cette part est de 54 % dans le scénario « zéro cuivre ». En effet, la moindre efficacité des protections alternatives entraîne une diminution du rendement et donc une réduction des recettes. Pour compenser les pertes de récoltes, il faudrait augmenter le prix de vente de 4 % en « demi cuivre » et de 10 % en « zéro cuivre » (Tableau 29).

Tableau 29 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas de la tavelure en pomiculture conventionnelle

	Scénario « demi cuivre » (50% VS + 50% VR/T)	Scénario « zéro cuivre » (50% VS + 50% VR/T)
Ecart moyen de production en valeur (€/ha) (A)	-2 162	-3 438
Ecart de coût de protection		
Coût moyen des traitements (€/ha)	+104	+89
Coût des plants	0	+5
Coût du bâchage anti-pluie (€/ha)	0	+2 229
Coût broyage feuilles (€/ha)	+70	+70
Coût enfouissement feuilles (€/ha)	+545	+545
Coût épandage urée (€/ha)	+33	+33
Ecart de coût de protection (€/ha) (B)	+752	+2 971
Ecart de marge (€/ha) (A – B)	-2 914	-6 409
Part liée aux pertes de rendement (%) (A/(A – B))	74%	54%
Part liée aux coûts de protection (%) (B/(A – B))	26%	46%
Augmentation de prix de vente nécessaire pour compenser les pertes (%)	+4%	+10%

Note : VS : variétés sensibles ; VR/T : variétés résistantes/tolérantes à la tavelure.

Lecture : l'écart de production en valeur entre le scénario « demi cuivre » avec mélange de VS et VR/T (1 rang sur deux) et le scénario « actuel » est estimé à -2162 €/ha et à -3438 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » et le scénario « actuel ».

Tableau 30 : Écarts de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas de la tavelure en pomiculture biologique

	Scénario « demi cuivre » (50% VS + 50% VR/T)	Scénario « zéro cuivre » (50% VS + 50% VR/T)
Ecart moyen de production en valeur (€/ha) (A)	-10 068	-25 706
Ecart de coût de protection		
Coût moyen des traitements (€/ha)	+91	+334
Coût des plants	0	0
Coût du bâchage anti-pluie (€/ha)	+2 229	+2 229
coût broyage feuilles (€/ha)	+70	+70
coût enfouissement feuilles (€/ha)	+545	+545
Ecart de coût de protection (€/ha) (B)	+2 935	+3 178
Ecart de marge (€/ha) (A – B)	-13 003	-28 884
Part liée aux pertes de rendement (%) (A/(A – B))	77%	89%
Part liée aux coûts de protection (%) (B/(A – B))	23%	11%
Augmentation de prix de vente nécessaire pour compenser les pertes (%)	+27%	+88%

Note : VS : variétés sensibles ; VR/T : variétés résistantes/tolérantes à la tavelure.

Lecture : l'écart de production en valeur entre le scénario « demi cuivre » avec mélange de VS et VR/T (1 rang sur deux) et le scénario « actuel » est estimé à -10068 €/ha et à -25706 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » et le scénario « actuel ».

En pomiculture AB, la situation est beaucoup plus préoccupante puisque l'écart de marge sur coût de protection s'élève à près de -13 000€/ha dans le scénario « demi cuivre » et à -28 880€/ha dans le scénario « zéro cuivre », par rapport au scénario « actuel ». A nouveau, les pertes de rendement expliquent pour une grande part cet écart de marge (77% dans le scénario « demi cuivre » et 89% dans le scénario « zéro cuivre »). Pour compenser les pertes de récoltes, il faudrait augmenter le prix de vente de 27 % en « demi cuivre » et de 88 % en zéro cuivre.

4.1.2.4 Éléments d'interprétation

Les résultats de l'analyse technico-économique en pomiculture montrent que les scénarios de réduction et de retrait de l'usage du cuivre entraînent des performances inférieures à celles du scénario « actuel » (de référence). Ces performances sont particulièrement dégradées en pomiculture AB par rapport à la pomiculture AC, en raison de l'interdiction de certaines alternatives efficaces pour lutter contre la tavelure (fongicides de synthèse et phosphonates). La dégradation de la performance technico-économique est principalement liée aux pertes de récolte potentielles dans des situations de pression parasitaire moyenne et forte et à l'augmentation des coûts de protection.

Il est important de noter que ces résultats sont très dépendants du niveau de pression de la tavelure qui est lié au risque de contamination primaire (corrélé au stock de spores restant en fin de saison précédente) et du risque de contamination secondaire, notamment pour les variétés de pomme tardives. La pression tavelure est plus élevée sous climat océanique, avec des printemps doux et humides dans les vergers de la façade atlantique⁶⁰. Le changement climatique tend à allonger la période des contaminations primaires de la tavelure⁶¹. L'évaluation de la pression tavelure dépend également de la gestion de ce risque par les arboriculteurs. La pression est plus faible quand l'IFT est plus élevé ou lorsque les traitements phytosanitaires sont réalisés plus longtemps dans la saison

De plus, ces résultats reposent sur une hypothèse forte qui a consisté à raisonner sur un seul usage en pomiculture : la lutte contre la tavelure. Or la tavelure n'est pas la seule maladie à affecter la production de pommes, et pour laquelle l'usage du cuivre bénéficie d'une AMM. Dans certains bassins de production, le cuivre est également utilisé pour la gestion de la maladie du chancre en fin d'hiver, pour laquelle aucune alternative au cuivre efficace n'est connue à ce jour. Or, cette maladie occasionne une perte de fond (mortalité des arbres) en plus d'une perte de récolte. Lors de la plantation, le chancre limite la croissance des arbres puis peut les faire mourir dès la seconde année directement ou indirectement avec le développement de ravageurs secondaires (zeuzère, scolytes et xylébores). La plupart des variétés cultivées sont sensibles à cette maladie (Belchard, Gala...). En situation de pression de tavelure élevée, le scénario « demi cuivre » serait inefficace pour lutter contre les deux maladies. D'autres maladies traitées avec le cuivre (bactérioses, maladies du feuillage) n'ont pas non plus été considérées pour réaliser cette évaluation technico-économique. Or, elles pourraient entraîner des pertes non négligeables en cas de réduction ou de retrait total du cuivre. En outre, les traitements au cuivre réalisés aujourd'hui ont aussi un effet sur des maladies secondaires qui pourraient émerger lors de la mise en œuvre du scénario « zéro cuivre ». Les résidus de cuivre préviennent aussi les pertes de fruits dues au développement

⁶⁰ [Pomme - Biologie, épidémiologie \(inra.fr\)](#)

⁶¹ [Tavelure du pommier : comment le changement climatique complique la protection des vergers | Réussir fruits & légumes \(reussir.fr\)](#)

de la tavelure en post-récolte. La perte de récolte pour chaque scénario, avec réduction ou retrait du cuivre, est donc sous-estimée.

Lors de la procédure d'élicitation, plusieurs commentaires ont été formulés sur l'efficacité des stratégies de protection proposées dans les scénarios :

- Les outils d'aide à la décision (OAD) actuels sont assez performants pour appuyer la décision de traitements fongicides classiques. Certains arboriculteurs possèdent des OAD qu'ils utilisent pour piloter la gestion du risque tavelure. D'autres disposent d'un conseil technique ou consultent le Bulletin de Santé Végétal (BSV)⁶² pour faire le suivi des pressions tavelure (et autres bio-agresseurs). Ils peuvent ainsi adapter le programme phytosanitaire en fonction du risque de pression tavelure notamment aux stades-clés précoces (B à C-C3 – D). La stratégie de lutte des contaminations secondaires est décidée en fonction du nombre de contaminations, du niveau de la pluviométrie et de la sortie du nombre de feuilles. En revanche, ils n'ont pas encore été calibrés pour les substances présentant des modes d'action différents, tels que certains biocontrôles (SDP) ou les substances naturelles.
- Les mesures de prophylaxie contribuent très efficacement à réduire la pression tavelure. Par exemple, le broyage des feuilles sur le rang permet de réduire efficacement l'inoculum de *V. inaequalis* en automne limitant ainsi le niveau de pression tavelure à la saison suivante. Cependant, peu d'arboriculteurs broient ou enfouissent les feuilles car le matériel est spécifique et onéreux. Ces pratiques sont beaucoup plus déployées en pomiculture AB qu'en AC (qui peut utiliser la lutte chimique très efficace avec des fongicides de synthèse). Les mesures de prophylaxie dépendent aussi de la capacité humaine et matérielle à pouvoir intervenir rapidement et au moment propice sur l'ensemble du verger et de la gestion territoriale du risque tavelure. L'application d'urée (uniquement autorisée en pomiculture AC), très efficace pour dégrader les feuilles tombées au sol en fin de saison pour limiter les contaminations primaires de tavelure pour la saison suivante, pourrait aggraver la maladie du chancre.
- Les mesures physiques envisagées avec l'installation de bâche anti-pluie présentent certains avantages pour diminuer les IFT ciblant la tavelure. Toutefois, si le verger est bâché en permanence, la qualité des fruits peut être affectée (décoloration). L'installation de ces structures est onéreuse et le temps de bâchage et débâchage est chronophage et onéreux en main-d'œuvre, ce qui n'incite pas à leur utilisation systématique. Elle est difficilement envisageable dans des régions soumises fréquemment à des vents violents.
- La culture des variétés de pomme résistantes à la tavelure est actuellement peu répandue, car le choix des variétés est conditionné par celui des acheteurs et consommateurs (qui préfèrent les variétés sensibles à la tavelure et au chancre : Belchard, Golden delicious, Pink Lady...). Les variétés résistantes ou tolérantes sont plutôt produites sur les exploitations agricoles de petite et moyenne taille. En outre, les résistances monogéniques ont été récemment contournées par certaines souches de *V. inaequalis*. La recherche sur de nouvelles résistances et la gestion de leur durabilité doit se poursuivre. La culture en mélange pourrait être une solution pour assurer la

⁶² Les BSV ont été mis en place dans le cadre du plan Ecophyto (Bulletins de santé du végétal | Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire). Avant eux, existaient les Avertissements Agricoles qui faisaient aussi le bilan. Par ailleurs, la tavelure fait l'objet d'un suivi hebdomadaire de l'évolution de la maladie sous un pilotage du CTIFL.

durabilité des résistances et poursuivre en partie la production de variétés sensibles. Ce mode de culture est actuellement utilisé pour améliorer la pollinisation croisée dans les vergers. Des recherches sont encore en cours pour évaluer les avantages et les inconvénients de ce mode de culture. La mise en œuvre de ces scénarios (culture en mélange de variétés sensibles et résistantes ou tolérantes) est complexe pour les arboriculteurs et suppose une gestion concertée au niveau de l'ensemble de la filière.

Par ailleurs, le GT rappelle que :

- Les scénarios de réduction ou de retrait du cuivre testés sont des 'moyennes', déclinables en de nombreuses variantes qui n'ont pu être explorées (niveau de pression tavelure variable selon les bassins de production, type d'exploitation agricole, rendement potentiel, densités de plantation, choix des variétés résistantes ou tolérantes, mise en œuvre de la culture en mélange, des mesures de prophylaxie etc.). Selon le mode de commercialisation (circuit court, exportation, industrie), l'évaluation technico-économique est complexifiée. Une analyse de sensibilité nécessiterait une étude complémentaire pour mieux préciser les limites de variations des écarts de performance économique selon les choix de stratégie de protection, les bassins de production considérés et les attentes des filières ou des acteurs (avec plus ou moins de tolérance par rapport aux dégâts) ;
- Le scénario « zéro cuivre » est le plus difficile à évaluer car il s'agit de combinaisons d'alternatives qui n'ont pas été expérimentées sur le terrain.
- A ce jour, la simple substitution des produits phytopharmaceutiques cupriques par des produits alternatifs (biocides naturels ou biocontrôle) n'est pas immédiatement envisageable selon les experts filières, car ils ont toujours une moindre efficacité pour lutter contre la tavelure. Plusieurs substances chimiques alternatives montrent des efficacités vis-à-vis de la tavelure, mais leur efficacité est toujours partielle par rapport aux produits phytopharmaceutiques cupriques actuellement utilisés. En outre, les efficacités sont souvent très variables, avec des déterminants mal connus (cas des SDP). Actuellement, ces substances sont systématiquement utilisées en association avec des doses réduites de produits phytopharmaceutiques cupriques. Ceci a conduit le GT à envisager des scénarios avec des ruptures stratégiques fortes par rapport au scénario actuel (notamment le choix variétal et la culture en mélange).

L'évaluation du scénario « demi cuivre » avec une quantité maximale de 2 kg de cuivre par ha/an n'a pas pris en compte la possibilité de lissage interannuel (par exemple 14 kg de cuivre par hectare sur sept ans). Sous la réglementation en vigueur, le principe de lissage interannuel permet d'étaler les traitements avec certains produits sur plusieurs années, permettant d'utiliser des doses de cuivre supérieures pour faire face aux années avec des pics de pression élevée de tavelure.

Synthèse des résultats de l'évaluation des impacts technico-économiques pour la pomme

Les résultats de l'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre en pomiculture montrent que dans l'ensemble les différents scénarios alternatifs analysés présentent une efficacité moindre par rapport au scénario actuel.

Sur le plan agronomique, l'évaluation réalisée sur la base de l'élucidation des dires d'experts filière montre des pertes de rendement supérieures pour les différents

scénarios de substitution du cuivre par rapport à la situation actuelle. Si le scénario « demi cuivre » peut permettre de réduire les pertes de rendement dues à la tavelure en pression faible de manière similaire au scénario de référence « actuel », le scénario « zéro cuivre » ne permettrait pas de maintenir les rendements actuels, même au prix d'efforts significatifs pour cultiver autrement les vergers, dans les conditions actuelles de production. En situation de pression tavelure forte, le GT estime qu'on pourrait s'attendre à une diminution moyenne de la production de pommes à couteau entre 3 et 19 t/ha en AB et entre 2 et 5 t/ha en agriculture conventionnelle.

Sur le plan économique, la mise en place des combinaisons d'alternatives dans les différents scénarios retenus par le GT entraîne des coûts supplémentaires, qui sont essentiellement dus à la re-conception des vergers avec des variétés résistantes couplées à des investissements pour limiter les contaminations et assurer la prophylaxie. Cependant, les résultats économiques sont essentiellement dépendants du niveau de perte estimée. Les écarts de marge sur coût de protection sont plus élevés en AB (estimées à près de -13 000 €/ha pour le scénario « demi cuivre » et -28 880 €/ha pour un scénario « zéro cuivre ») qu'en agriculture conventionnelle (estimées à -2 914 €/ha pour le scénario « demi cuivre » et environ -6 409 €/ha pour le scénario « zéro cuivre »). Dans ces pertes économiques, la part liée à la diminution du rendement est estimée à au moins 54 % quel que soit le scénario de substitution considéré. Compte tenu de ces pertes, le GT estime qu'une augmentation de prix de vente de la production entre 4 % et plus de 88 % pourrait être nécessaire pour préserver la marge des arboriculteurs dans les conditions actuelles de production.

Les résultats de l'évaluation technico-économique montrent que la réduction ou l'arrêt des usages de produits phytosanitaires à base de cuivre pourrait avoir des conséquences non négligeables en termes de pertes de rendement en quantité et qualité, de coûts supplémentaires de mise en œuvre des alternatives et de pertes de marge pour la filière pomme. Le GT souligne que d'autres bioagresseurs cibles du cuivre comme ceux à l'origine des maladies du chancre (non considérés dans cette évaluation) pourraient faire évoluer ces impacts à la hausse.

Le GT souligne que les impacts technico-économiques des alternatives au cuivre en pomiculture doivent être considérés au regard de leurs potentielles implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires, environnementales analysées en section 4.2.

4.2 Implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre

4.2.1 Implications sur l'organisation du travail et sur les filières concernées des alternatives évaluées

4.2.1.1 Cas de la pomme de terre biologique

- *A l'échelle de l'exploitation agricole*

Les alternatives proposées sont globalement peu impactantes en termes d'organisation du travail, à deux exceptions près :

- la mise en œuvre d'une prophylaxie systématique dans les scénarios « zéro cuivre » voire « demi cuivre », par bâchage des tas de déchets. Cette opération n'est pas mécanisable, et implique un travail assez ardu pour la mise en place puis l'enlèvement des bâches, à des périodes (hiver/début du printemps pour le bâchage) où ce travail peut être assez pénible. Elle requiert par ailleurs une main d'œuvre assez abondante, car il est peu envisageable de bâcher seul un tas de déchets de pomme de terre de plusieurs dizaines de tonnes, sauf à y consacrer de nombreuses heures ;
- la gestion de mélanges variétaux, que ce soit dans le cas de rangs alternés - impliquant une organisation de la plantation et de l'arrachage contraignantes – ou dans le cas de mélanges au hasard sur le rang – essentiellement alors pour les opérations de tri.

Les autres alternatives (utilisation de variétés résistantes et/ou d'OAD) sont sans impact négatif sur l'organisation du travail sur l'exploitation ; elles peuvent avoir un impact positif en diminuant le nombre de passages de pulvérisateur sur la saison de culture, en particulier en pressions faible ou moyenne. Ceci est un gain de temps souvent bienvenu à une époque de l'année où les exploitations productrices de pomme de terre, qui cultivent également d'autres productions végétales, sont dans des périodes de pics d'activité (moissons, déchaumage, implantations de couverts intermédiaires, interventions culturales sur d'autres cultures sarclées comme la betterave ou les plantes maraîchères par exemple, etc...).

- *A l'échelle de la filière pomme de terre biologique*

Les scénarios proposés reposent pour une part importante sur un changement majeur dans le choix variétal, pour aller de variétés anciennes bien établies et à bonne valeur d'utilisation vers des variétés plus récentes, possédant un meilleur niveau de résistance au mildiou mais moins bien connues des producteurs mais aussi des utilisateurs finaux. Ce changement suppose donc un effort conjoint d'adaptation de la filière dans son ensemble à une rotation variétale bien plus rapide que par le passé et à une diversité variétale supérieure.

Par ailleurs, une part importante des productions de pomme de terre biologique étant localisée en zone océanique (Bretagne, Hauts de France et Centre-Val de Loire)⁶³, les pertes de rendement par rapport à la pratique actuelle dans les scénarios alternatifs pourraient induire des tensions en termes d'approvisionnement des acteurs aval de marché (conditionneurs et distributeurs), potentiellement problématiques pour satisfaire à la fois la demande intérieure

⁶³[La France, premier exportateur mondial de pommes de terre \(tema-agriculture-terroirs.fr\)](https://tema-agriculture-terroirs.fr)

(fluctuante en fonction de l'inflation et des niveaux de prix) mais aussi la demande à l'export. Cette remarque s'applique également à la production de plant bio, pour lequel la demande reste forte⁶⁴ en particulier depuis l'obligation pour les producteurs de pomme de terre de consommation biologique d'utiliser du plant bio.

Un point mériterait une analyse complémentaire, pour laquelle le GT ne disposait pas d'éléments suffisants : c'est celui de la localisation (ou délocalisation) géographique des productions. Au cours des dernières années, la France a vu sa production de pomme de terre biologique augmenter, en partie à la faveur de l'implantation sur notre territoire d'acteurs étrangers venus bénéficier de la qualité sanitaire du territoire mais aussi de la possibilité d'emploi du cuivre pour les applications phytosanitaires, emploi interdit dans leurs pays d'origine⁶⁵. Toutefois, si l'emploi du cuivre était fortement limité voire banni en France, une partie de l'avantage compétitif du territoire français pour ces opérateurs tomberait. Il est même possible que des acteurs français cherchent alors eux-mêmes à produire ailleurs que sur le territoire national. Il est difficile d'évaluer de manière satisfaisante ces effets sur la production nationale de pomme de terre bio, mais de tels impacts potentiels ne peuvent être exclus.

A une échelle plus large, les pertes de rendement et/ou les surcoûts de production, observés dans les divers scénarios alternatifs analysés pour la pomme de terre biologique pourraient entraîner une perte de compétitivité de la filière bio française par rapport à des concurrents étrangers (notamment non communautaires), du fait :

- d'une diminution (parfois substantielle) des volumes produits à surface égale ;
- d'un renchérissement des coûts de production ;
- d'une difficulté majeure à produire de manière rentable sans cuivre dans certaines régions (façade océanique par exemple) dont le climat est favorable au parasite et génère donc des pressions en moyenne plus fortes.

On pourrait dès lors assister, comme aux Pays-Bas, à une évolution des productions biologiques de pomme de terre en France, à savoir une baisse marquée des surfaces, une délocalisation vers des pays à moindre risque climatique (bassin méditerranéen par exemple) et un accroissement des importations nettes (Lammerts van Bueren et al., 2008).

4.2.1.2 Cas de la viticulture

- *A l'échelle de l'exploitation agricole*

Même si les résultats de l'élicitation des experts ne représentent que des moyennes, il apparaît que les pertes de récoltes engendrées par la mise en œuvre des alternatives peuvent être très importantes en situations de fortes pressions parasitaires. La récurrence de ces fortes pressions dans certains bassins viticoles peut engendrer des risques sur la pérennité des exploitations qui ne pourraient pas maintenir leurs marges, dans un contexte qui est déjà celui du dépérissement du vignoble et de difficultés pour atteindre les rendements objectifs (PNDV, 2016)⁶⁶.

En outre, l'impact est évalué uniquement sous l'angle des pertes de récoltes quantitatives. Or, le mildiou présente également un impact sur la qualité du vin : les attaques foliaires peuvent perturber la maturation des raisins (Jermini et al., 2010) et la vendange partiellement attaquée

⁶⁴ [La pomme de terre bio en France : un marché en pleine croissance ! \(plant-pommesdeterre.fr\)](https://www.plant-pommesdeterre.fr)

⁶⁵ [Market leader in innovative potato varieties | Agrico \(agricopotatoes.com\)](https://www.agricopotatoes.com/); France › HZPC

⁶⁶ [Plan National Dépérissement du Vignoble \(plan-deperissement-vigne.fr\)](https://www.plan-deperissement-vigne.fr/)

par le mildiou entraîne des défauts organoleptiques dans les vins (Poitou et al, 2021). L'impact du mildiou sur les feuilles peut être particulièrement important sur les plantations en perturbant la mise en réserve et donc l'installation des jeunes plants.

Les alternatives qui ont fait l'objet de l'évaluation ne remettent pas en cause profondément les systèmes de culture et l'organisation du travail (substitution plutôt que re-conception). Elles consistent en effet à remplacer le cuivre par d'autres produits appliqués selon les mêmes modalités. Un point de vigilance est néanmoins à noter sur l'impact de l'augmentation du nombre de passages qu'entraîne l'utilisation de ces alternatives sur l'organisation du travail sur les exploitations. Les périodes de risque mildiou correspondent en effet à d'autres pics de travaux de la vigne - travaux en vert (épamprage, ébourgeonnage, levage) et travaux de gestion du sol - et l'augmentation du nombre de passages peut générer d'importantes concurrences de chantier. Par ailleurs, une augmentation du nombre de passages peut nécessiter des besoins en main d'œuvre et en équipement supérieurs afin de conserver la capacité à appliquer rapidement les produits.

- *A l'échelle de la filière vigne*

Les résultats de l'évaluation montrent que les exploitations en AB seraient particulièrement impactées par une réduction importante de l'usage du cuivre et *a fortiori* par le retrait total du cuivre. Dans certaines situations agro-climatiques, où la pression mildiou est récurrente, il deviendrait difficile de pouvoir maintenir durablement une certification Agriculture Biologique. Dans le cas d'un retrait total du cuivre, le scénario le plus probable d'après les résultats présentés est celui d'une substitution directe par des fongicides de synthèse non autorisés en AB, ce qui impliquerait des déconversions massives en viticulture AB pour des raisons techniques et réglementaires, interrompant la dynamique positive de la filière en termes de pourcentage d'exploitations et de surfaces en AB (RA 2020).

Plus globalement à l'échelle de la filière viticole, les pertes de rendement et/ou les surcoûts de production observés dans les scénarios analysés pourraient entraîner une perte de compétitivité de la filière des vins AB en France par rapport à des concurrents étrangers (pays du Nouveau Monde notamment) à cause :

- d'une diminution parfois importante des volumes produits à surface égale dans un contexte (i) de dépérissement du vignoble (diminution des rendements, difficulté à atteindre les rendements objectifs et mortalité parfois précoce des ceps) et (ii) d'arrachage des vignes dans certaines régions (-10 000 ha à Bordeaux (zone atlantique) en 2024 et un plan qui devrait être étendu à l'échelle nationale) ;
- d'une augmentation des coûts de production déjà élevés notamment en contexte de viticulture de qualité ;
- d'une difficulté pour produire sans cuivre dans certaines régions (façade atlantique où le climat est favorable au mildiou lié à la température et à l'humidité avec des pressions en moyenne plus élevées) ;
- d'une perte de surfaces patrimoniales en cas de disparition d'exploitations et/ou d'arrachage de parcelles de vigne (conditionnalité des aides à l'engagement de non-replantation pendant 30 années) avec des conséquences probables sur les prix du foncier agricole (valeur des terres viticoles), sur les retombées pour le développement local (perte de richesses créées localement, impôts locaux) et sur la structure des paysages (oenotourisme).

4.2.1.3 Cas de la pomiculture

- *A l'échelle de l'exploitation agricole*

Les résultats de l'évaluation technico-économique de la substitution du cuivre par les combinaisons d'alternatives montrent que les impacts sur les plans agronomique et économique peuvent être assez considérables selon les scénarios de réduction ou de retrait du cuivre. La mise en œuvre des alternatives entraînerait des coûts supplémentaires pour l'exploitation agricole sans pouvoir garantir un niveau de rendement équivalent à la situation actuelle en agriculture conventionnelle, et surtout en agriculture biologique. Sans compensation, les pertes économiques qui résulteraient de la substitution du cuivre impacteraient le niveau de revenu des agriculteurs, ce qui ajouterait des difficultés supplémentaires pour pouvoir innover dans l'objectif d'une réduction des pesticides problématiques pour la santé et l'environnement et des intrants chimiques en général.

Aucun impact négatif sur l'organisation du travail au sein de l'exploitation agricole n'a été identifié pour les alternatives comme l'utilisation de variétés résistantes et des OAD. Au contraire, elles pourraient permettre un gain de temps avec une diminution du nombre de passages de pulvérisateur en situation de faible pression tavelure.

Toutefois, certaines alternatives comme la généralisation des mesures de prophylaxie indispensables dans le scénario « zéro cuivre » ou le bâchage des vergers, peuvent avoir des impacts sur l'organisation du travail sur l'exploitation agricole. La mise en œuvre de ces alternatives mobilise une plus grande quantité de main-d'œuvre qui doit être comblée soit par l'augmentation du temps de travail de l'agriculteur, soit par de la main-d'œuvre salariée supplémentaire. Le nombre de passages supplémentaires nécessaires avec des produits moins efficaces que le cuivre augmenterait aussi le besoin en main-d'œuvre et entraînerait des coûts supplémentaires (matériels, carburant, etc.).

Enfin, la mise en place des mélanges variétaux en rangs alternés remettent en cause profondément les systèmes de cultures actuels (re-conception) et pourrait avoir un impact sur l'organisation du travail pour la protection des vergers contre d'autres bio-agresseurs, potentiellement l'organisation des récoltes non synchrones, de tri éventuel des différentes variétés, changements qui pourrait s'avérer complexe et contraignants pour l'arboriculteur.

La récurrence de pression tavelure élevée dans certains bassins de productions soulève des questions sur la pérennité des exploitations agricoles qui seraient confrontées à des pertes économiques insoutenables (>50%) dans un contexte des vergers français déjà en crise depuis les années 90 (baisse du nombre d'arboriculteurs et des superficies de vergers, réduction des potentiels de production et perte de compétitivité des vergers français).

- *A l'échelle de la filière pomme à couteau*

Les scénarios avec réduction ou retrait du cuivre reposent pour une part importante sur un changement majeur dans le choix de variétés plus résistantes ou tolérantes à la tavelure (et autres maladies) mais moins connues des arboriculteurs et des utilisateurs finaux. Ce changement suppose donc un effort d'adaptation conjoint de la filière dans son ensemble pour adopter 1) une diversité variétale et 2) une tolérance à des dégâts sur fruit qui seront supérieurs à ceux mesurés actuellement (Holb et al., 2017).

Une part importante des productions de pomme à couteau est localisée sur la façade océanique (Pays de Loire, Val de Loire) qui est plus fréquemment soumise à des niveaux de pression tavelure élevés. La perte de volumes de pommes avec la mise en place des scénarios

de réduction ou retrait du cuivre pourrait induire des tensions en termes d'approvisionnement des acteurs en aval du marché (conditionneurs, distributeurs) et des demandes. Les résultats de l'évaluation montrent que les exploitations produisant des pommes en AB seraient particulièrement impactées par une réduction importante de l'usage du cuivre et *a fortiori* par le retrait total du cuivre dans ces bassins de productions.

Les pertes de rendement et/ou les surcoûts de production aggraveront la perte de compétitivité de la filière pomme française, par rapport à des concurrents étrangers (notamment non communautaires) qui continueraient à utiliser du cuivre et/ou ayant un prix de revient plus faible. En l'état actuel de la moindre efficacité des alternatives disponibles sur le marché pour remplacer le cuivre, la perte de compétitivité des filières françaises pourrait conduire à une délocalisation d'une partie de la production dans des pays où les produits phytopharmaceutiques à base de cuivre sont autorisés et/ou les coûts de production sont plus faibles. La conséquence pourrait être une perte de surfaces patrimoniales en cas de disparition d'exploitations agricoles et/ou de non renouvellement des vergers. Les retombées sur le prix du foncier agricole, sur le développement local (pertes de richesse) et sur la structure des paysages sont à envisager.

Tous ces points mériteraient une étude complémentaire pour confirmer cette analyse.

4.2.2 Implications agronomiques des stratégies de lutte alternative sur la gestion de résistances des bioagresseurs et des hôtes

4.2.2.1 Pomme de terre biologique

Les scénarios alternatifs analysés dans ce rapport dépendent très largement de la disponibilité, de l'efficacité et du déploiement de variétés à niveau élevé ou très élevé de résistance au mildiou. Comme indiqué plus haut (section 3.4.3), ces résistances sont de deux types :

- des résistances spécifiques dépendant de gènes majeurs et gouvernant la reconnaissance du pathogène par l'hôte ;
- des résistances quantitatives jouant sur les différents paramètres du cycle épidémique (période de latence – donc temps de génération ; production de spores – donc taux de multiplication du parasite ; vitesse d'extension des symptômes).

Les résistances spécifiques sont notoirement vulnérables à des contournements par des souches dites virulentes de l'agent pathogène, du fait de mutations dans les gènes codant les molécules utilisées par l'hôte pour la reconnaissance. Le contournement est d'autant plus rapide qu'un même gène de résistance est utilisé massivement dans le temps et dans l'espace. L'exemple du gène R2 en France est emblématique de ce type de situation (Pilet et al. 2005). La solution réside dans l'utilisation d'un éventail de gènes aussi diversifié que possible, dans un déploiement maîtrisé à toutes les échelles spatiales (de la parcelle au paysage et à la région épidémique, en l'occurrence l'Europe) appuyé par des dispositifs d'épidémiologie-vigilance permettant de détecter très rapidement les souches pathogènes virulentes. L'emploi de mélanges variétaux est également un moyen efficace de limiter les risques de contournement de résistance (voir par exemple Clin et al. 2021, 2022). Enfin, une séparation plus nette entre variétés utilisées en bio et en conventionnel réduirait également le risque de contournement des résistances des variétés 'biologiques', mais le marché est aujourd'hui trop restreint pour

que les obtenteurs favorisent une telle segmentation qui ne pourrait en pratique venir que des autres acteurs de la filière (producteurs, utilisateurs).

Actuellement, il existe au catalogue français un nombre relativement important (plus de 30) de variétés possédant des gènes majeurs de résistance encore efficaces, mais il est probable que la plupart de ces variétés portent en fait un ou quelques gènes identiques. La base de diversité génétique immédiatement mobilisable est donc plus réduite que le nombre de variétés résistantes inscrites, ce qui impose une gestion fine de ces gènes *via* le déploiement. D'autres sources de résistances sont en cours d'exploitation, mais le processus de création variétale et d'inscription, puis de diffusion des variétés de pomme de terre est long (plus de 15 ans). Ce délai pourrait sans doute être raccourci si les technologies d'édition des génomes, désormais disponibles, étaient autorisées, mais il est probable que la filière biologique serait réticente à utiliser des variétés créées *via* ces technologies⁶⁷ (cf. chapitre 5). Les dispositifs d'épidémiologie-vigilance sont par ailleurs en place, au niveau national comme européen, *via* le réseau Euroblight⁶⁸.

Les résistances quantitatives sont réputées moins vulnérables au contournement rapide, du fait de la multiplicité des déterminants génétiques (QTL) impliqués. Toutefois, des phénomènes d'adaptation des populations pathogènes lors de l'usage prolongé des mêmes variétés est possible (Andrivon *et al.*, 2007). La règle de diversification variétale s'applique donc également dans ce cas pour limiter le risque. Par ailleurs, ces variétés sont utilisables et efficaces dans des mélanges variétaux (Andrivon *et al.*, 2003 ; Pilet *et al.*, 2006), susceptibles de réduire le risque d'adaptation rapide des populations parasitaires.

Si le cuivre est essentiellement utilisé contre le mildiou, il a également une activité sur d'autres parasites foliaires, dont les diverses espèces d'*Alternaria* (en particulier *A. solani* et *A. alternata*) responsables de nécroses foliaires et parfois tuberculaires. L'alternariose est une maladie importante en conditions continentales, peu favorables au mildiou ; elle est également favorisée par des carences azotées, fréquentes en fin de cycle en production biologique. Il est donc possible qu'une réduction ou un retrait du cuivre induise une incidence et une sévérité plus marquée de l'alternariose. Ce risque est toutefois relativement limité dans les conditions françaises, où les pertes de rendement attribuées à l'alternariose sont généralement considérées aujourd'hui comme négligeables (données Arvalis).

4.2.2.1 Cas de la vigne

En viticulture conventionnelle, le scénario « zéro cuivre avec fongicides de synthèse » peut avoir des impacts importants sur la gestion des résistances du mildiou aux fongicides. En effet, tous les fongicides dits « unisites » sont soumis à des risques de développement de populations de mildiou résistantes, compromettant fortement leur efficacité dans la pratique. Pour certaines substances actives, ces résistances sont largement répandues dans le vignoble et sont en émergence pour d'autres. Afin de préserver leur efficacité et limiter l'évolution des populations, toutes ces substances actives sont recommandées en association avec des molécules dites « multi-sites ». Seules trois substances actives multi-sites font actuellement l'objet d'usage contre le mildiou : le folpel, le dithianon et le cuivre. Le folpel et le dithianon sont classés CMR et menacés de retrait. Ainsi, le retrait de toutes les molécules multi-sites risque d'engendrer rapidement une baisse d'efficacité des substances actives

⁶⁷ Voir rapport de l'Anses sur les NTG (Anses, 2023)

⁶⁸ [EuroBlight \(au.dk\)](http://EuroBlight.au.dk)

restantes. Ainsi, la stratégie « zéro cuivre avec fongicides de synthèse » risque de voir son efficacité fortement diminuer sauf à maintenir les autres substances multi-sites.

Outre le mildiou, le cuivre possède un usage contre la nécrose bactérienne de la vigne, actuellement très peu répandue dans le vignoble. Les risques d'extension de cette problématique en cas de retrait du cuivre ne sont pas évalués.

4.2.2.2 Cas de la pomiculture

Le scénario « zéro cuivre » en agriculture conventionnelle, qui inclut l'utilisation de fongicides de synthèse, peut compromettre à terme leur efficacité pour la gestion de la tavelure car les populations de *V. inaequalis* peuvent évoluer en développant des résistances à ces fongicides (Bowen et al., 2012). Généralement, les fongicides de synthèse sont utilisés en complément des traitements avec des produits cupriques afin de préserver leur efficacité. Or, dans le cas de ce scénario, leur nombre augmenterait et l'alternance avec les produits cupriques ne seraient plus permise. En outre, les fongicides de synthèse multi-sites autorisés pour la culture de pomme en AC pour lutter contre la tavelure sont menacés de retrait (dithianon). Cela risque de renforcer la baisse d'efficacité des substances actives restantes. Par conséquent, le scénario « zéro cuivre » en pomiculture conventionnelle risque de voir rapidement diminuer son efficacité.

Les scénarios de réduction ou retrait du cuivre reposent sur le déploiement et l'efficacité de variétés résistantes ou tolérantes à la tavelure. Les résistances spécifiques dépendant de gènes majeurs sont vulnérables au contournement. Dans le cas de la tavelure du pommier, la résistance d'un gène unique (Rvi6, Vf) a déjà été contournée et cela est fréquemment observée dans les vergers européens. Sur 18 gènes de résistance actuellement connus, 11 gènes n'offrent déjà plus de protection génétique contre la tavelure (Furmanczyk et al., 2022). D'autres approches très prometteuses sont en cours d'étude et pourraient être utilisées pour la sélection de nouvelles variétés de pommier. La sélection de variétés avec une faible sensibilité à plusieurs maladies basée sur des gènes de tolérance quantitative réputés moins vulnérables au contournement (multiplicité des déterminants génétiques, QTL) et le pyramidage de plusieurs gènes de résistances à la tavelure (Švara et al., 2024). Le projet VINQUEST, initié en 2009, fournit 10 années de données issues de la recherche de 24 partenaires (14 pays) qui enrichissent les connaissances sur les gènes de résistance les plus prometteurs pour la sélection de cultivars dotés d'une résistance durable à la tavelure du pommier (Patcholi et al., 2020).

Outre la tavelure, le cuivre possède un usage contre d'autres maladies comme le chancre, répandu dans certains bassins de production (Pays de Loire par exemple). Le risque d'extension de cette maladie dans les vergers en cas de retrait du cuivre n'a pas été évalué dans cette étude.

4.2.3 Implications sanitaires et environnementales des alternatives évaluées

Comme indiqué en section 3.6, le GT a analysé les profils de toxicité et d'écotoxicité des différentes alternatives (chimiques et non chimiques) retenues dans les scénarios de substitution construits ainsi que leur capacité à générer des gaz à effet de serre et leur impact

sur la qualité du paysage. Sur cette base, le GT a mené une analyse qualitative des implications sanitaires et environnementales des alternatives évaluées.

Dans les scénarios de substitution du cuivre, différentes méthodes de lutte entrent dans les combinaisons d'alternatives. La substitution du cuivre pourrait avoir des implications sur la santé humaine et l'environnement selon les alternatives considérées par le GT dans les combinaisons. Les profils de toxicité des différentes alternatives incluses dans les scénarios de substitution sont présentés dans l'annexe 13.

Sur le plan de la santé humaine, certaines alternatives (les substances de synthèse en particulier) sont susceptibles de provoquer le cancer (amisulbrom, folpel, valifenalate) (EFSA, 2009). D'autres molécules présentent une toxicité aiguë et sont susceptibles de nuire à la fertilité ou au fœtus (cymoxanil⁶⁹ et fluopicolide). Par conséquent, l'utilisation de ces molécules pour certaines classées candidates à la substitution serait plus dangereuse pour la santé humaine que le cuivre.

En général, les produits de biocontrôle tels que les huiles essentielles (huile de girofle, huile de menthe, huile d'orange) présentent également des niveaux de toxicité plus élevés pour la santé humaine que le cuivre. Ils peuvent provoquer une allergie cutanée et peuvent être mortels en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires (ex : huile de menthe verte)⁷⁰.

Sur le plan environnemental, la quasi-totalité des alternatives sont toxiques en particulier pour les organismes aquatiques sauf certaines huiles (huile de colza, huiles de paraffine) ou extraits de plantes (extrait d'ail). La toxicité de certains produits de biocontrôle est également moins sévère que celle du cuivre. Toutefois, la faible efficacité de certaines alternatives peut conduire à un plus grand nombre de passages avec des machines spécialisées pour traiter qui, en cas de motorisation thermique, contribueraient -entre autres- à une augmentation de l'utilisation de carburant et *in fine* des émissions de gaz à effet de serre (GES).

D'autres alternatives comme les méthodes physiques (ex : bâchage des tas de déchets et bâches anti-pluie) ou l'utilisation de plusieurs machines, par exemple pour l'arrachage de la pomme de terre biologique, dans le cas des mélanges de variétés pourraient également augmenter l'utilisation de carburant et par conséquent les émissions de GES.

Tenant compte des profils de risque des alternatives chimiques et non chimiques, les implications sanitaires et environnementales des scénarios de substitution du cuivre sont différentes selon les cas d'étude.

4.2.3.1 Cas de la pomme de terre biologique

Aucune des alternatives proposées n'implique l'emploi de méthodes à impact toxicologique ou écotoxicologique aigu, puisque toutes reposent sur des variétés résistantes (seules ou en mélange), des méthodes prophylactiques (bâchage des tas de déchets) ou l'emploi d'outils numériques (OAD), mais pas sur des apports de préparations ou molécules xénobiotiques. Leur seul impact environnemental potentiel négatif est lié à l'emploi de bâches plastiques pour la prophylaxie, avec un impact carbone pour leur production (matériau dérivé de la pétrochimie) et un risque de diffusion environnementale de microplastiques lors de la

⁶⁹ En cours d'expertise, l'approbation de cette substance active a été retirée le 20/05/2024.

⁷⁰ [Les huiles essentielles sont-elles toxiques? | Les huiles essentielles sont-elles dangereuses? | Centre Antipoisons Belge](#)

dégradation progressive de ces bâches. Ce risque est actuellement géré *via* les filières de recyclage des bâches en fin de vie ; il peut également être supprimé par l'emploi de bâches biodégradables⁷¹, toutefois plus coûteuses et de durée de vie plus limitée.

4.2.3.2 Cas de la vigne

Les alternatives qui ont fait l'objet de l'évaluation sont soit des substances de base (au sens réglementaire), soit des produits inscrits sur la liste des produits de biocontrôle (établie par le ministère français chargé de l'agriculture) qui ne présentent pas d'impacts toxicologiques et écotoxicologiques aigus majeurs. Dans le cadre du scénario « zéro cuivre avec fongicides de synthèse », le report de l'utilisation du cuivre sur d'autres substances actives à profil moins favorable peut avoir des impacts sanitaires.

L'augmentation du nombre de passages nécessaires suite à l'utilisation des alternatives entraîne également une hausse de la consommation de carburant qui pourrait contribuer à une augmentation des émissions de GES.

4.2.3.3 Cas du pommier

Dans le cas de la lutte contre la tavelure du pommier, les alternatives proposées dans les scénarios sont l'emploi de méthodes (utilisation des OAD, choix de variétés résistantes/tolérantes), de produits phytosanitaires inscrits sur la liste des biocontrôles (établie par le ministère français chargé de l'agriculture), et de substances naturelles à impact toxicologique ou écotoxicologique nul à faible.

Leur impact environnemental négatif est lié à l'augmentation du nombre de passages en champ (l'augmentation du nombre de traitements et mise en œuvre des mesures de prophylaxie) et à l'emploi de bâches plastiques. Cela conduirait inévitablement à l'augmentation de l'empreinte carbone des systèmes de culture et à une pollution avec des microplastiques issus de la dégradation progressive des bâches.

En outre, dans le système d'agriculture conventionnelle, les scénarios impliquent l'augmentation de l'emploi de fongicides de synthèse classées CMR (ex : dithianon, captane) à impact toxicologique ou écotoxicologique aigu qui sont très défavorables pour la santé humaine et l'environnement.

Synthèse des implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives au cuivre

En plus des impacts technico-économiques, la mise en œuvre d'alternatives, qu'il s'agisse de l'utilisation de substances chimiques autres que le cuivre, des produits de biocontrôle, des variétés résistantes ou de la prophylaxie généralisée, est susceptible d'avoir des implications sur les plans organisationnel (pour les exploitations et pour les filières plus généralement), agronomique, sanitaire et environnemental.

⁷¹ <https://fermedebalon.com/bache-biodegradable-agricole/>

Sur le plan organisationnel, d'une manière générale, la mise en œuvre des alternatives pourrait entraîner une augmentation du besoin en équipements et en main-d'œuvre ainsi qu'en temps de travail nécessaire pour lutter contre les bioagresseurs du fait du nombre de passages pour assurer un minimum d'efficacité de ces alternatives. De plus, l'utilisation de certaines alternatives (les variétés résistantes en particulier) suppose un effort conjoint d'adaptation de la filière dans son ensemble à une rotation variétale bien plus rapide que par le passé et à une diversité variétale supérieure. A une échelle plus large, les pertes de rendement et/ou les surcoûts de production, observés dans les divers scénarios alternatifs analysés pourraient entraîner une perte de compétitivité en particulier de la filière bio française par rapport à des concurrents étrangers (notamment non communautaires). Cette situation pourrait conduire à des problèmes d'approvisionnement et à des choix de localisation (ou délocalisation) géographique des productions, notamment pour la pomme de terre biologique. L'efficacité et la disponibilité de certaines molécules de synthèse en agriculture conventionnelle pourraient inciter à des déconversions en AB (dans les situations agro-climatiques où la pression des bioagresseurs est récurrente) pour des raisons techniques et réglementaires, interrompant ainsi la dynamique de la filière en termes de pourcentage d'exploitations et de surfaces en AB.

Sur le plan agronomique, les scénarios alternatifs analysés dans ce rapport dépendent très largement de la disponibilité, de l'efficacité et du déploiement de variétés à niveau élevé ou très élevé de résistance au mildiou (pomme de terre) ou à la tavelure (pommier). Cependant, la préservation des gènes de résistance (spécifiques et quantitatives) nécessite des modes de gestion bien spécifiques notamment à travers : i) des dispositifs d'épidémiologie-vigilance permettant de détecter très rapidement les souches pathogènes virulentes ; ii) l'emploi de mélanges variétaux pour limiter les risques de contournement de résistance ; et iii) une séparation plus nette entre variétés utilisées en AB et en conventionnel pour réduire le risque de contournement des résistances des variétés biologiques. Outre le mildiou et la tavelure, le cuivre possède des usages contre d'autres maladies (la nécrose bactérienne de la vigne, les chancres du pommier, l'alternariose de la pomme de terre etc.). Ainsi, l'interdiction d'utilisation du cuivre en AB et en agriculture conventionnelle risque d'aggraver les problèmes liés à ces bioagresseurs. De plus, le retrait de toutes les molécules multi-sites (y compris le cuivre) risque d'engendrer rapidement une baisse d'efficacité des substances actives restantes face à la résistance des bioagresseurs.

Sur les plans sanitaire et environnemental, le GT a analysé les implications de la mise en œuvre des alternatives évaluées sur la base de leur profil de toxicité et d'écotoxicité. Il en résulte que la substitution du cuivre pourrait avoir des implications sur la santé humaine et l'environnement selon les alternatives considérées par le GT dans les combinaisons évaluées.

Sur le plan de la santé humaine, le cuivre présente des propriétés cytotoxiques (notamment) et certains composés du cuivre présentent des propriétés de toxicité aiguë par voie orale (cf. annexe 14). Ainsi, la réduction de l'utilisation du cuivre pourrait s'accompagner de bénéfices sanitaires. Toutefois, certaines des alternatives au cuivre présentent aussi des dangers pour la santé humaine et leur utilisation pourrait alors ne pas s'accompagner de bénéfices pour la santé. Même en l'absence de toxicité pour la santé humaine, certaines alternatives (prophylaxie généralisée,

passage répété avec des produits peu efficaces, etc.) pourraient avoir des conséquences potentielles sur la santé parce que leur mise en œuvre nécessite plus de main d'œuvre, ce qui pourrait faire augmenter le temps de travail des agriculteurs.

Sur le plan environnemental, et à l'exception des fongicides de synthèse encore utilisables en agriculture conventionnelle, la quasi-totalité des alternatives incluses dans les scénarios étudiés présente un risque environnemental limité et dans certains cas, nul : c'est le cas en particulier des variétés résistantes, des méthodes de prophylaxie et de la plupart des solutions de biocontrôle. La généralisation de leur emploi, en substitution partielle ou totale des apports actuels de cuivre (voire de fongicides de synthèse), devrait donc s'accompagner de bénéfices environnementaux de court et moyen termes (qui restent à documenter précisément, ce qui ne relevait pas des missions du GT). L'un de ces bénéfices, et non des moindres puisqu'il concerne directement les effets néfastes du cuivre sur l'environnement (le cuivre étant classé substance candidate à la substitution du fait de sa persistance et de sa toxicité pour la biodiversité des sols et les eaux souterraines – cf. section 1.1 et chapitre 2), est qu'en limitant les apports de cuivre, l'emploi d'alternatives non ou peu écotoxiques devrait *a minima* stabiliser, et à terme contribuer à faire décroître, les quantités de cuivre stockées dans les sols (en partie biodisponibles) et dans les eaux. En revanche, certaines alternatives ne présentent pas de profil environnemental favorable (en particulier des molécules de synthèse autorisées en agriculture conventionnelle) ; leur utilisation en remplacement du cuivre ne s'accompagnerait pas de bénéfices environnementaux et pourrait même accroître les dommages causés à l'environnement. De plus, l'augmentation du nombre de passages nécessaires avec des alternatives moins efficaces peut entraîner une hausse de la consommation de carburant qui pourrait contribuer à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES). D'autres alternatives comme les méthodes physiques (ex : bâchage des tas de déchets et bâches anti-pluie) ou l'utilisation de plusieurs machines (ex : pour l'arrachage de la pomme de terre biologique, dans le cas des mélanges de variétés) pourraient également contribuer à l'augmentation des émissions de GES, des micro-plastiques dans l'environnement ainsi qu'une détérioration de la qualité du paysage.

5 Analyse des freins et leviers à l'adoption des alternatives au cuivre

De nombreuses recherches sont menées sur les alternatives aux produits phytosanitaires en général et au cuivre en particulier, notamment sur les variétés résistantes, le biocontrôle, et les pratiques agronomiques permettant de limiter les épidémies en amont. En termes d'approches, les études socio-économiques associées sont rares et souvent concentrées sur le volet technique voire technico-économique (coûts-valorisation) et la diffusion de ces innovations reste limitée. Si la rentabilité économique est une information indispensable à la prise de décision des agriculteurs, il existe d'autres freins et leviers à l'adoption des alternatives au cuivre. C'est ce constat qui avait motivé l'Expertise Collective *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ?* (INRAE-ITAB) en 2018. C'est pourquoi, en complément de l'évaluation proposée dans la section précédente, le GT a réalisé une revue de la littérature sur le sujet avec pour point de départ le travail bibliographique mené pour l'ESCo INRAE-ITAB en 2018, travail qui a été mis à jour et complété pour mettre en évidence les leviers et les freins à une réduction de l'utilisation du cuivre pour les modèles de culture choisis par le GT.

5.1 Méthode

5.1.1 Critères de recherche

L'analyse des freins et des leviers à l'adoption d'alternatives au cuivre est tout d'abord basée sur une synthèse des publications scientifiques internationales référencées dans les bases de données internationales *via* une recherche systématique. Celle-ci a ensuite été complétée par une recherche de proche en proche qui a permis une sélection pertinente de rapports, documents de projets, actes de conférences, et autres documents issus d'organisations professionnelles, ainsi que par des documents recommandés par les experts du GT afin de faire bénéficier ce rapport de la littérature grise disponible et d'identifier les intuitions à éventuellement confirmer dans de futures études.

La recherche bibliographique a donc d'abord été conduite de manière systématique en reprenant la méthode de l'ESCo INRAE-ITAB (2018) sur une période plus étendue (2000-2023). La zone géographique a été limitée à la France et à l'Europe pour rester dans le contexte de l'évaluation de l'autosaisine. La recherche a également été restreinte aux modèles de cultures choisis grâce à la méthode multicritère mobilisée pour identifier les scénarios à évaluer (pomme de terre, pommier, vigne). Les alternatives concernées par la revue de la littérature ont été restreintes aux alternatives sélectionnées par le GT (cf. section 3.3) et aux alternatives mentionnées dans l'ESCo INRAE-ITAB (2018).

L'ensemble documentaire a été construit à partir de requêtes dans le Web of Science (WoS) sur le champ "Topic", avec une recherche simultanée dans les mots du titre, du résumé, des mots-clés et des auteurs (générés automatiquement par le WoS à partir des titres des références bibliographiques des articles). Les équations utilisées sont celles utilisées dans le cadre de l'ESCo INRAE-ITAB (2018) pour les cultures et alternatives concernées par le présent rapport (cf. INRAE-ITAB, 2018). Comme pour le rapport de l'ESCo INRAE-ITAB (2018), seules les références jugées pertinentes ont été retenues, *i.e.* ont été exclues toutes

les références issues de la recherche par équations thématiques qui ne traitaient pas du sujet des freins et leviers mais ne faisaient que citer ces mots-clés. Compte-tenu des restrictions appliquées pour le présent rapport (géographiques, cultures, alternatives retenues), le nombre de nouvelles références identifiées est également limité, ce qui a conduit le GT à compléter cette recherche comme indiqué plus haut. Le corpus ne vise donc pas à l'exhaustivité mais à la pertinence des documents pour l'auto-saisine.

5.1.2 Sources bibliographiques

Le corpus est composé de 25 références issues de l'ESCo INRAE-ITAB 2018 (cf. annexe 15), du rapport et de la synthèse, complétées par des articles scientifiques, professionnels et des documents des projets Médée⁷², VINOVERT⁷³, VITIREV⁷⁴, COPPEREPLACE⁷⁵, CO-FREE⁷⁶ et du PPR VITAE⁷⁷.

5.2 Résultats de la revue de littérature

5.2.1 Les enseignements de l'ESCo INRAE-ITAB (2018)

5.2.1.1 Leviers techniques et agronomiques identifiés dans le rapport de l'ESCo INRAE-ITAB (2018)

Il est possible d'identifier dans le rapport différents leviers techniques à la réduction ou la suppression du cuivre, étape préalable à l'établissement de scénarios de substitution du cuivre, qui seront repris dans ce chapitre :

- les variétés résistantes. Les principales cultures pour lesquelles la résistance génétique a été étudiée sont le pommier, la pomme de terre, la tomate, la vigne et la laitue,
- le biocontrôle couplé à des Outils d'Aide à la Décision (OAD), dont l'efficacité technico-économique est difficile à évaluer en l'absence de données de référence,
- les pratiques culturales, mais de manière plus confidentielle.

- **La vigne**

Il s'agit sans doute de la situation la plus délicate des trois envisagées, du fait de la disponibilité d'un assez faible nombre de leviers alternatifs, dont certains (variétés résistantes par exemple) sont aussi difficiles à introduire rapidement, et plus encore à généraliser, au sein des systèmes. Notamment largement documentées en viticulture, la génétique offre pourtant des

⁷² [Projet MÉDÉE | Ecophytopic](#)

⁷³ [Accueil - Vinovert](#)

⁷⁴ [VitiREV : un projet de territoire pour la sortie des pesticides en viticulture - Santé Environnement Nouvelle-Aquitaine \(santeenvironnement-nouvelleaquitaine.fr\)](#)

⁷⁵ [Développement et mise en œuvre de nouvelles technologies, produits et stratégies visant à réduire l'application de cuivre dans les vignobles et à assainir les sols contaminés dans la région de SUDOE - Interreg Sudoe \(interreg-sudoe.eu\)](#)

⁷⁶ [Projet CO-FREE | Ecophytopic](#)

⁷⁷ [Cultiver la vigne sans pesticides : vers des socio-écosystèmes viticoles agroécologiques | vitae \(inrae.fr\)](#)

leviers variés à différentes échelles. Les sélectionneurs, qui créent les variétés, et les agriculteurs (et leurs organisations), qui les déploient, disposent chacun de plusieurs leviers d'actions pour gérer la durabilité des résistances : au niveau des sélectionneurs, *via* les gènes de résistance identifiés, les fonds génétiques, le pyramidage des variétés ; au niveau des agriculteurs ou de groupes d'agriculteurs, avec le choix des variétés, leur mode d'association en mélange ou mosaïque, les proportions relatives des variétés, leur disposition spatiale et les traitements phytosanitaires (Fabre et Alonso Ugaglia, 2024). Le levier génétique pose toutefois la question de la durabilité des résistances, de la qualité des vins produits (adaptation des variétés au produit) et du temps de renouvellement des vignobles. Les réductions de dose de cuivre sont également envisagées dans les prototypes proposés par le rapport de l'ESCo INRAE-ITAB (2018) en complément de produits à base de substances naturelles biocides et de SDP accompagnés d'OAD.

- **La pomme de terre**

L'intérêt agronomique des variétés résistantes de pomme de terre a été montré. Le rapport mentionne qu'il est en effet possible de réduire les doses et le nombre de traitements fongicides en utilisant des variétés les possédant. Toutefois, la distribution des facteurs de résistances correspondants dans les variétés commerciales de pomme de terre reste mal connue, tout comme la durabilité de certaines résistances. Le rapport pointe les défis de la sélection pour cette culture bien que la sélection pour la résistance semble une priorité secondaire pour les obtenteurs à la date du rapport. Plusieurs études pointent le fait que les variétés résistantes ne sont pas forcément bien adoptées et pas suffisamment cultivées (Andrivon, 2009 ; Forbes, 2012), alors même que d'autres montrent que les systèmes d'aide à la décision peuvent prendre en compte efficacement le niveau de résistance des variétés, et ainsi limiter le nombre de traitements chimiques (Bosco et al., 2009 ; Grunwald et al., 2002). D'autres leviers sont également mis en évidence comme les substances naturelles biocides, les SDP et la lutte microbiologique.

- **Le pommier**

Le rapport présente le cas du pommier comme celui pour lequel le plus grand nombre d'alternatives existe, situation qui devrait pouvoir permettre de supprimer tout recours au cuivre : variétés résistantes, mélanges variétaux, lutte microbiologique, pratiques de bâchage, taille et gestion de la litière, substances naturelles biocides et SDP associés à des OAD. Mais les options les plus efficaces (variétés résistantes, élimination des feuilles mortes) comme d'autres (bâchage) sont peu mises en œuvre. En pomiculture, les variétés résistantes ont été créées par croisement avec un pommier sauvage, avec une résistance basée sur la présence d'un seul gène de résistance qui a été contournée par de nouvelles souches virulentes de *V. inaequalis* responsable de la tavelure (Durel et al., 2007). Depuis, INRAE a développé de nouveaux programmes de recherche pour proposer des variétés avec des résistances plus durables. Ces programmes sont passés par une meilleure connaissance du pathogène d'une part et des bases génétiques de la résistance du pommier d'autre part. Un travail a été mené, comme en viticulture, pour assurer les conditions de leur utilisation optimale pour limiter les risques de leur contournement par de nouvelles souches du champignon *V. inaequalis*.

Deux autres leviers pour la pomiculture ont été identifiés dans le cadre du projet Co-Free : l'agroforesterie (Smith et al., 2014) et le biocontrôle (Köhl et al., 2015).

En conclusion, pour les différents cas d'étude, les leviers sont présentés dans le rapport de l'ESCo INRAE-ITAB (2018) et sont présentés en fonction de leur niveau de rupture selon la méthode Efficience Substitution Recomposition (ESR) proposé par Hill (1985), mais reste posée la question de leur disponibilité pour les différentes filières, de la possibilité de les

intégrer au sein de systèmes dont la démonstration d'efficacité peut être faite et de l'acceptabilité de ces alternatives par les producteurs et les consommateurs.

5.2.1.2 Freins et leviers à l'adoption d'alternatives au cuivre

La revue de la littérature effectuée dans l'ESCo INRAE-ITAB (2018) a permis d'avancer des premiers éléments sur l'acceptabilité des différents leviers (qualifiés d'innovations) et le déploiement de systèmes économes ou sans cuivre dans un chapitre dédié intitulé « *Des leviers et pratiques à leur insertion dans des systèmes intégrés de protection* » (p.154-166). C'est la partie 4.2 « *Stratégies d'acteurs, mise à disposition et acceptabilité des innovations* » qui fait la synthèse des freins et leviers à l'adoption de pratiques de réduction de l'utilisation du cuivre. On y distingue deux parties : une première intitulée « *Disposer de solutions techniques (méthodes alternatives, pratiques agronomiques) accessibles, intégrables et efficaces* » qui s'intéresse à l'évaluation et à la comparaison de systèmes, et une seconde intitulée « *Acceptabilité des innovations* » qui traite d'une part essentiellement des stratégies des acteurs industriels dans le cas du biocontrôle et d'autre part de l'acceptabilité de systèmes complexes pour le cas de l'agriculture biologique (Figure 6).

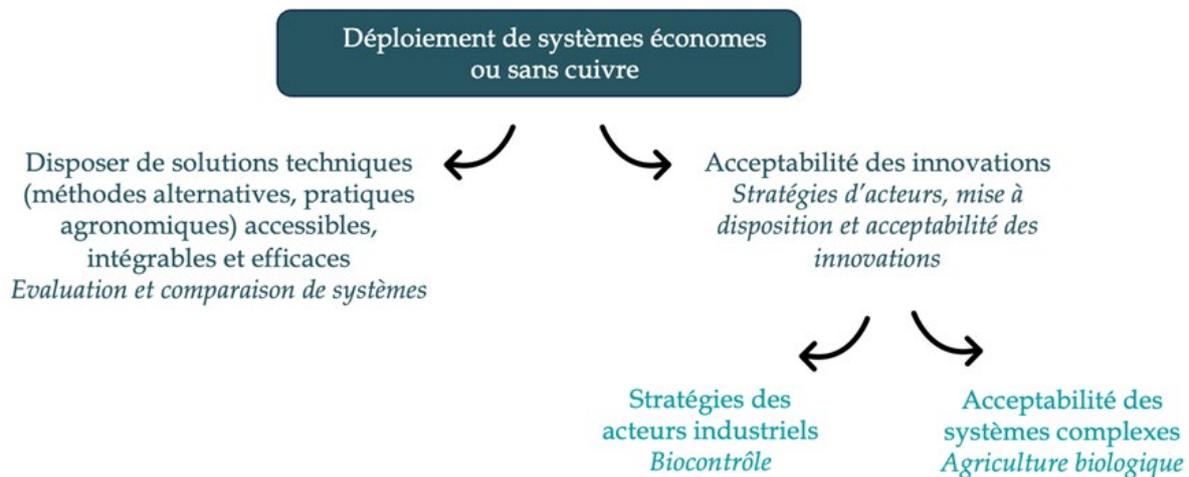


Figure 6 : Freins et leviers au déploiement de systèmes économes ou sans cuivre identifiés dans l'ESCo INRAE-ITAB (2018)

- **Stratégie des acteurs industriels et disponibilité des innovations**

Le rapport analyse les stratégies des acteurs industriels pour la mise sur le marché des innovations de biocontrôle comme levier essentiel pour la réduction de l'utilisation du cuivre. Il s'agit donc d'un levier technologique avec une innovation qui vient des firmes amont (innovation *top-down*). L'analyse est centrée sur les stratégies industrielles et la disponibilité de ces alternatives. Le rapport fait le constat d'une forte dynamique et d'un fort potentiel de développement de marché pour ces produits, notamment pour la vigne (1^{ère} culture cible), les légumes et les fruits, même si les travaux sont en général confidentiels pour des raisons de propriété intellectuelle. Les principaux résultats montrent que les petites entreprises aussi bien que les grands groupes industriels à l'amont sont des acteurs de la mise à disposition de ces produits. Mais dans tous les cas, l'innovation passe par les petites entreprises avec deux modèles identifiés, (i) des petites entreprises qui se positionnent sur de nouveaux produits

(marchés de niche prometteurs mais risqués) mais qui ont des capacités d'investissement limitées, et (ii) des « start-up » plus en lien avec les acteurs de la recherche-amont pour la phase de recherche, puis une absorption par les grands groupes pour la phase développement sur le marché.

- **Acceptabilité des innovations**

Cette partie porte sur l'innovation dans les exploitations. Elle montre d'une part l'importance des caractéristiques des agriculteurs et de leurs entreprises pouvant être plus ou moins favorables au processus d'innovation et d'autre part elle met l'accent sur l'importance de l'environnement économique, structurel et institutionnel de l'activité agricole. Les agriculteurs qui se convertissent à l'AB y sont présentés comme des innovateurs, *i.e.* des agriculteurs qui sont prêts, plus que les autres, à prendre des risques et à expérimenter de nouvelles pratiques, y compris en l'absence d'informations et de références (Padel, 2001), ce qui fait donc de la disponibilité de l'information un frein identifié pour le changement dans les exploitations conventionnelles. Au-delà du label, certaines caractéristiques des agriculteurs sont également identifiées comme plus favorables à l'innovation. Toutefois, Blonde et al. (2016) montrent au contraire qu'aucun profil particulier ne se dégage chez les viticulteurs expérimentateurs dont la fourchette des âges est large : viticulteurs en agriculture conventionnelle ou biologique, dans des exploitations de tailles variées, associés en cave coopérative ou vignerons indépendants.

- **Limites de l'étude**

Finalement, les références identifiées sont assez peu nombreuses (25) et portent en partie sur des inventions qui n'ont pas encore trouvé leur marché ou sur lesquelles peu de données (efficacité technique et économique) sont connues et disponibles du fait des problèmes de confidentialité ou de propriété intellectuelle. Si le rapport présente les leviers techniques et agronomiques longuement, les recherches présentées se concentrent la plupart du temps sur une seule innovation, et concernent principalement deux cultures : la pomme de terre et la vigne. Ces éléments ont donc conduit le GT à chercher à mettre à jour et à approfondir la recherche documentaire sur le sujet.

5.2.2 Freins et leviers au déploiement des variétés résistantes

Le GT s'est intéressé aux travaux complémentaires portant sur les freins et les leviers à la conception et/ou à l'adoption d'alternatives à l'emploi du cuivre, avec une approche en sciences humaines et sociales, et avec une attention particulière pour les stratégies et comportements des acteurs dans la diffusion des innovations clés pour le déploiement de ces systèmes. C'est en effet une dimension essentielle pour comprendre dans quelle mesure des résultats expérimentaux peuvent ou non passer rapidement dans la pratique agricole, et le type de mesures d'accompagnement susceptibles de favoriser ces transitions (INRAE-ITAB, 2018).

5.2.2.1 Variétés résistantes en viticulture

- **De l'importance du rapport coût-bénéfice des alternatives**

Des travaux en économie agricole montrent que les variétés résistantes en viticulture peuvent procurer de larges bénéfices économiques pour les producteurs de raisin en fonction de leur système de culture aux Etats-Unis (Fuller et al., 2014) en se concentrant sur les coûts et les bénéfices associés à leur utilisation (investissement à la plantation vs économies de protection du vignoble). La méthode pourrait être remobilisée pour le cas français. Les méthodes

d'économie comportementale telles que les expériences de choix ont été également mobilisées pour s'intéresser au consentement des viticulteurs à adopter des variétés résistantes aux Etats-Unis (Sambucci et al., 2019), en Suisse (Finger et al., 2023) et en France (Leduc et al., 2024). Ils montrent entre autres que les viticulteurs accordent une grande importance à la fois aux économies à réaliser sur le coût de la protection phytosanitaire et au nom donné à des variétés pour la commercialisation. Le cas Suisse (où le processus de diffusion des variétés résistantes est plus avancé qu'en France) montre que plus les viticulteurs sont proches des consommateurs finaux, plus ils plantent des variétés résistantes grâce à la valorisation qu'ils peuvent obtenir en communiquant directement et en informant les consommateurs au moment de la commercialisation (*story telling*). Par exemple, les producteurs qui commercialisent leurs produits en vente directe ont une part plus importante de leur vignoble planté en variétés résistantes (8-38 %) (Finger et al., 2023).

- **Valeur de l'information & déploiement des cépages résistants en viticulture**

Une autre série de freins et leviers peut être identifiée autour de la valeur de l'information, illustrée notamment par l'exemple des variétés résistantes. L'information, des consommateurs comme des producteurs, semble jouer un rôle important dans leur acceptation de ces variétés.

Concernant les consommateurs, Espinoza et al. (2018) montrent, dans une étude menée en économie expérimentale, que, sur un plan purement sensoriel, les consommateurs français ont des difficultés à accepter les vins issus de variétés résistantes. Toutefois, une communication ciblée sur leur impact, en termes environnemental et de santé (résidus), améliore significativement l'acceptabilité des vins issus de variétés résistantes dans l'évaluation des consommateurs (meilleur positionnement dans les évaluations qualitatives moyennes). En termes économiques, cela se traduit par une propension à payer des consommateurs et une part de marché plus importante prise sur les vins conventionnels. Toutefois, les vins conventionnels premium se maintiennent mieux que les vins issus de cépages résistants, en particulier lorsqu'ils sont accompagnés par une information (*story-telling*). Les vins issus de cépages résistants seraient donc plus à même de challenger des vins d'entrée de gamme. Le projet Médée (Appel à projet Ecophyto Leviers territoriaux, 2020-2024, coord. F. Fabre)⁷⁸ a également montré que les difficultés d'acceptation des consommateurs des vins issus de variétés résistantes (cas de la vente directe au magasin de producteurs) dépendent du niveau d'information des consommateurs : certains ne connaissent pas du tout ces variétés, d'autres tiennent beaucoup à la mention d'origine, quand d'autres indiquent un besoin d'information sur les étiquettes. L'étude a montré que le cépage n'est actuellement pas un critère de choix primordial, mais que les consommateurs sont ouverts à ces variétés bien qu'exigeants en termes d'informations. Quant aux technologies qui ont permis d'obtenir de telles variétés, les travaux d'Uddin et al. (2022 ; 2023) montrent pour le raisin de table aux États-Unis que les consommateurs acceptent beaucoup moins bien les technologies modernes d'édition de gènes⁷⁹ que les techniques d'hybridation conventionnelles.

En France, la connaissance et l'information autour des variétés résistantes, initialement confinées à quelques acteurs essentiellement scientifiques, se sont ouvertes et étendues depuis 2013 au sein du monde viticole (Blonde et al., 2016). En témoigne l'implication récente

⁷⁸ [Projet MÉDÉE | Ecophytopic](#)

⁷⁹ Les technologies modernes d'édition de gènes ou encore nouvelles techniques génomiques constituent un ensemble hétérogène de techniques de modification du génome, qui mettent en œuvre différents mécanismes (mutations, insertions/délétions, extinction de gènes, etc.). Certaines de ces techniques visent à modifier de façon précise et ciblée une séquence génétique (mutagenèse dirigée ou ciblée), offrant un champ d'application très large, notamment dans le domaine de la sélection variétale, qui soulèvent un ensemble de questions techniques, économiques et sociales (Anses, 2023).

des interprofessions et surtout la multiplication d'articles sur le sujet dans la presse professionnelle. En 2015, quelques dizaines de plantations expérimentales d'hybrides résistants existent en Languedoc, au sein d'instituts techniques ou dans des exploitations privées. Des projets à plus grande échelle ont été mis en œuvre par des caves coopératives, et par des domaines visant des segments différenciés de marché (marché de niche). La perception des innovations génétiques par les acteurs de la filière semble encore être liée à la tradition, alors même qu'il y a toujours eu des créations et innovations sur le matériel végétal en viticulture (avec notamment l'arrivée des porte-greffes permettant de lutter contre le phylloxéra à la fin du 19^{ème} siècle). Blonde et al. (2016) montrent que depuis lors, une image négative a pu être véhiculée sur les hybrides et qu'une possible confusion avec les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) est possible, même si les viticulteurs font pour la plupart du temps la différence. Il arrive toutefois qu'ils puissent craindre que leurs consommateurs n'acceptent pas bien ce type d'innovation génétique. Hochereau (2021) montre que, plus récemment, les pépiniéristes italiens ont déployé une stratégie marketing très agressive pour favoriser le déploiement des variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium. Ils ont développé une communication couplant résistance et qualité de ces variétés en faisant référence systématiquement au nom des cépages emblématiques dans les noms donnés à ces variétés, pour les faire bénéficier de la réputation internationale de ces derniers, et assurer leur commercialisation auprès des viticulteurs.

En lien avec l'importance de l'information pour le déploiement de ces variétés, l'observatoire Oscar (Observatoire national du déploiement des cépages résistants)⁸⁰ a été créé en 2017 pour mieux comprendre et connaître l'impact du déploiement des variétés résistantes de vigne en France. Il s'agit d'un dispositif participatif constitué d'un réseau de parcelles en production plantées par les viticulteurs avec des variétés résistantes INRAE ou européennes en classement temporaire ou définitif. Le déploiement des cépages résistants soulève de nouvelles questions autour de 3 enjeux principaux : la durabilité des résistances déployées et le risque de contournement entraînant une baisse d'efficacité de ces résistances, l'émergence de nouvelles maladies suite à la modification des pratiques de protection (diminution des intrants), les itinéraires techniques optimaux à mettre en place pour la conduite de ces cépages. L'observatoire a deux missions principales : (i) Organiser la surveillance collective du déploiement afin d'anticiper les risques liés à l'évolution des populations de mildiou et d'oïdium et à l'émergence de nouvelles problématiques sanitaires ; (ii) Organiser le partage d'expérience sur le comportement des cépages résistants dans différents systèmes de culture pour aider les viticulteurs à construire ces nouveaux itinéraires techniques.

- **Durabilité de la résistance variétale et trajectoires de déploiement**

La question de la durabilité des gènes de résistance et de leur gestion reste un enjeu central pour le déploiement de cette alternative. En effet, cultiver des variétés résistantes à grande échelle peut favoriser la sélection d'agents pathogènes capables de contourner les gènes de résistances aux maladies. Les gènes de résistance sont donc soumis à un risque de surexploitation pouvant mener à des contournements de résistance, et donc à une perte d'utilité pour tous les agriculteurs. Par ailleurs, les variétés résistantes sont librement disponibles auprès des agriculteurs voulant les cultiver. Difficile donc d'en exclure des utilisateurs potentiels. Les résistances des vignes peuvent être considérées comme des « communs » du fait de leur propriété de rivalité - et du risque de surexploitation qui en découle - et d'un accès libre à la ressource (Hannachi, 2021). Depuis les travaux d'Ostrom, il est reconnu que les biens communs peuvent être néanmoins gérés durablement par des acteurs

⁸⁰ [Observatoire national du déploiement des cépages résistants \(observatoire-cepages-resistants.fr\)](https://observatoire-cepages-resistants.fr)

locaux en situation de concurrence *via* des organisations collectives regroupées autour d'intérêts partagés et développant des stratégies et outils de gestion. C'est ce que le projet Médée a testé avec la cave coopérative de Buzet (47) à travers la co-construction de scénarios de déploiement à l'échelle du territoire de la coopérative, en comparant pour chaque scénario la durabilité de la résistance dans le temps, la maîtrise du mildiou, le nombre de traitements phytosanitaires appliqués et les bénéfices nets obtenus à l'échelle des parcelles, des producteurs et de la cave coopérative. Les travaux montrent l'intérêt d'une mobilisation collective (ici la coopérative, mais qui peut également passer par l'interprofession, les négociants, etc.), qui est nécessaire pour que les résistances variétales puissent devenir un facteur de durabilité et que les résistances soient préservées. Les modes de coordination horizontaux peuvent permettre de préserver les intérêts de chacun pour le bien collectif autour d'un objectif à partager sur un territoire (et ainsi éviter la tragédie des communs). Hochereau (2021) a également montré que les négociants ont déjà joué un rôle important pour la diffusion des hybrides dans le cas du phylloxéra. Des exemples de gestion de bien commun existent d'ailleurs pour d'autres cultures (comme le club Phoma pour le colza) (Hannachi, 2021). Des Living-lab, ou laboratoires d'innovation territoriale, déployés dans le cadre du programme VITIREV par exemple, en Nouvelle-Aquitaine, peuvent également être des territoires de projet collectif.

C'est la question de la coordination qui est posée ici, mais aussi celle des acteurs légitimes pour s'en saisir. Hannachi et Martinet (2019) pointent ainsi deux types de leviers essentiels : (i) des leviers pour faire émerger la coordination et faire en sorte que les parties prenantes se saisissent des enjeux à une échelle supérieure aux exploitations, ce qui nécessite de démontrer aux acteurs l'intérêt d'une gestion collective ; (ii) des leviers de coordination et d'ajustement pour piloter les paysages, basés sur des outils de décision collectifs.

- **Le cadre réglementaire entre incitation et frein au changement**

Blonde et al. (2016) soulignent que les agriculteurs, en étant plus sensibilisés et informés qu'avant sur les impacts de l'utilisation des pesticides, souhaitent réduire l'utilisation de produits phytosanitaires pour plusieurs raisons : protéger leur santé, celle de leur entourage, l'environnement ou encore à cause des lourdes contraintes réglementaires encadrant l'épandage (vêtements, local phytosanitaire). Les mesures gouvernementales adoptées dans le cadre du plan Ecophyto, initié en 2008 puis revu à plusieurs reprises, devaient pousser les agriculteurs à se diriger vers des alternatives à la lutte chimique, mais force est de constater que leur efficacité a été relative et critiquée (Guichard et al., 2017). Une autre contrainte pourrait peser à terme sur les exploitants : leur responsabilité face à la justice suite à un dépôt de plainte de leur salarié en cas de reconnaissance de maladies professionnelles liées aux pesticides. Mais, en viticulture par exemple, on observe une controverse autour de la réglementation des VIFA (Variétés d'Intérêt à des Fins d'Adaptation) qui permet de planter à titre expérimental et pour 10 ans des variétés résistantes – si elles sont inscrites au cahier des charges des indications géographiques telles que les AOC et les IGP - dans la limite de 5 % des surfaces d'une exploitation et de 10% des assemblages. D'un côté, cette réglementation autorise les viticulteurs engagés en viticulture sous signe de qualité de planter ces variétés, de l'autre, elle les limite en termes de surface plantée.

5.2.2.2 Variétés résistantes de pomme de terre

Une série de travaux développant des modèles de logique floue ou des modèles basés sur les agents, et couplant développement épidémiologique du mildiou et comportement décisionnel des acteurs, ont été développés récemment pour analyser les facteurs d'adoption des variétés

de pomme de terre résistantes au mildiou. Les premiers travaux ont montré que l'adoption de ces variétés est faible car elles ne possèdent pas toutes les qualités (productivité, valeur technologique, présentation) attendues par les producteurs et les autres acteurs des filières (Pacilly et al., 2016). De plus, l'intérêt des variétés résistantes décroît avec leur taux d'adoption, puisqu'une popularité croissante de ces variétés (c'est-à-dire une augmentation de la surface qu'elles occupent) augmente la probabilité de contournement de la résistance par l'agent pathogène cible (Pacilly et al., 2018) et donc diminue leur intérêt phytosanitaire. De ce fait, on observe à la fois une dynamique classique de « boom and bust » (augmentation rapide de la popularité d'une variété, suivi de son déclin plus rapide encore une fois le contournement effectif) et un report des producteurs vers d'autres modes de protection phytosanitaire (Pacilly et al., 2019). Ces travaux montrent aussi que, outre les données de performance observée par chaque producteur décisionnaire, les interactions entre acteurs (imitation, comparaison sociale) influencent également la prise de décision de chaque producteur, et rendent leur comportement hétérogène et complexe quant à l'adoption d'innovations (Pacilly et al., 2019). Néanmoins, une majorité des producteurs ayant initialement adopté la culture de variétés résistantes, avec ou sans apport additionnel de fongicides, revient à la production de variétés sensibles et à une protection exclusivement chimique dès que les résistances sont contournées - en général en quelques années pour les résistances spécifiques fondées sur les gènes majeurs (Pacilly et al., 2019). Ces études soulignent donc le fait que les deux moteurs de l'adoption, à savoir la satisfaction vis-à-vis du résultat constaté et le niveau de certitude quant à la performance future, rendent une adoption durable de variétés possédant des gènes majeurs de résistance très peu probable dans le temps, en particulier en l'absence de solutions chimiques complémentaires de protection. Les travaux évoqués ici ne se sont pas intéressés à des résistances quantitatives, moins efficaces mais réputées plus durables dans le temps. Il serait utile d'utiliser le même type de modélisation pour étudier l'acceptabilité par les producteurs de telles variétés dans des systèmes avec ou sans possibilité d'emploi du cuivre.

Le projet Co-free, en se penchant également sur l'adoption de variétés résistantes de pommes de terre (et de pommes) a montré que (Nuijten et al., 2018) :

- Pour faciliter l'introduction d'une nouvelle variété sur le marché, un besoin et un facteur d'attraction des consommateurs doivent être clairement identifiés ;
- Une introduction réussie d'une nouvelle variété implique un partage de critères communs entre producteurs, acheteurs, consommateurs. Toute la chaîne, du producteur au consommateur, doit être mobilisée ;
- L'utilisation de matériel végétal adapté peut permettre de produire des pommes de terre sans cuivre, mais cela implique un débouché économique réel, sans quoi le développement des nouvelles variétés ne pourra pas se poursuivre.

5.2.2.3 Variétés résistantes en pomiculture

Il existe peu de données sur les problèmes spécifiques rencontrés par les arboriculteurs de fruits en matière de protection des plantes, notamment en agriculture biologique, bien que des connaissances générales ont été acquises sur l'incidence des ravageurs et des maladies. Ces informations sont cruciales pour améliorer l'efficacité du transfert des connaissances vers les arboriculteurs et les conseillers et pour favoriser une adoption de pratiques innovantes. Dans le cadre du projet européen BIOFRUNET, à partir d'une enquête auprès de 150 professionnels (arboriculteurs et conseillers) impliqués dans la production de pommes et de poires, les travaux de recherche ont montré que peu de mesures favorisant le fonctionnement

de la biodiversité dans les vergers ont abouti à une large mise en œuvre dans toutes les régions (Furmanczyk et al., 2022).

La perception du risque par les professionnels dériverait des limites en ressources génétiques pour lutter contre la tavelure. Par ailleurs, la pression des grands marchés pour les variétés qui n'expriment pas de résistance ou ne présentent pas de robustesse contre ces agents pathogènes (par exemple, Golden Delicious ou Pink Lady) ainsi que la dégradation diffuse de la principale source de résistance génétique à la tavelure du pommier (Vf gen—Rvi6) augmentent les dommages dans les vergers à travers l'Europe. L'analyse des résultats de ce projet européen souligne la forte demande pour le développement de mesures qui seraient intégrées dans la stratégie générale de gestion du verger, comprenant la valorisation de la biodiversité fonctionnelle ou générale.

5.2.3 Freins et leviers à l'adoption des produits de biocontrôle

5.2.3.1 En viticulture

L'ESCo INRAE-ITAB (2018) pointait le manque de données de référence sur l'efficacité des méthodes de biocontrôle. Le projet européen Coppereplace (Interreg Sudoe), qui s'est terminé en 2023, a évalué en France (dans au moins deux régions différentes climatiquement), en Espagne et au Portugal, l'efficacité de produits de biocontrôle en cours d'homologation (*Equiset d'Ascenza, à base de prêle, Salix de Biovitis, issu d'osier, Limocide de Vivagro*⁸¹, *le Glucosei de Seipasa*) et de produits déjà commercialisés et qui pourraient permettre la réduction de l'utilisation du cuivre en viticulture. Différents protocoles ont été appliqués en conditions réelles dans les exploitations volontaires sur une parcelle : dose de cuivre pleine, dose de cuivre réduite (50 %) et une dose réduite de cuivre associée à différents produits de biocontrôle.

Avant toute chose, le projet a confirmé la grande disparité qu'il peut y avoir entre les régions viticoles. Des écarts se sont manifestés au niveau de l'impact du cuivre selon les types de sols et la pression du mildiou. Seule la région de Bordeaux a subi une pression forte durant les deux années d'essais. Cependant, en grandes parcelles de vigne, des résultats n'ont pu être exploités qu'à Bordeaux en 2021, faute de pression suffisante à Nîmes, Narbonne, en Espagne, et au Portugal. Seuls le saule (Salix®) et la prêle (Equisetum®) ont été évalués, ainsi qu'un outil de décision pour la réduction du volume de bouillie utilisé au cours des traitements et ce sur trois exploitations (Dosavina®). Au niveau technique, les conditions de pression parasitaire n'ont pas permis de faire preuve de l'efficacité des scénarios testés. Certains produits ne présentent finalement qu'un faible intérêt pour la réduction du cuivre, quand d'autres restent à améliorer. Une des conclusions soulignées par le projet montre que la formulation des produits est un des leviers importants pour permettre une réduction du cuivre à efficacité constante. La technique de la micro-encapsulation a notamment été mise en avant comme prometteuse, même si la poursuite de son développement est nécessaire pour améliorer son efficacité. Sans surprise, la qualité de pulvérisation et le positionnement des produits au bon moment ont été également identifiés comme des points décisifs pour parvenir à réduire l'utilisation du cuivre.

En termes économiques, un travail sur les marges (produit – coût phytosanitaire) réelles constatées dans les exploitations, complété par des simulations sur les pertes potentiellement

⁸¹ En cours d'expertise, le produit LIMOCIDE = ESSEN'CIEL s'est vu octroyer une AMM en France, en particulier sur vigne depuis le 06/12/2023.

associées aux différentes alternatives testées, a permis de montrer qu'il existe des surcoûts lors de la mise en œuvre du biocontrôle (coût des produits), mais que les marges sont surtout impactées par les rendements lorsque l'efficacité des produits n'est pas avérée. Les résultats vont ainsi dans le même sens que les résultats présentés dans la section précédente de ce rapport (cf. section 4.1).

Le projet a également permis de mettre en évidence un frein réglementaire. En effet, il est impossible de tester à grande échelle de nouveaux produits d'intérêt n'ayant pas obtenu l'homologation. Aucun des produits novateurs pressentis n'a pu être testé en grande parcelle en raison des difficultés d'obtention de dérogations en France et en Europe à moins de détruire l'ensemble de la récolte. À cela s'ajoute en agriculture biologique certifiée (label AB) le déclassement automatique de la récolte dans le cas d'une utilisation d'un intrant non référencé. En écho avec les disparités de résultats et de pression maladie observées sur les différents territoires du projet, les viticulteurs expérimentateurs mobilisés dans le cadre du projet ont notamment émis l'idée d'une réglementation de la réduction de l'utilisation du cuivre qui serait territorialisée en fonction des conditions pédo-climatiques de chaque région.

Le retour d'expérience des viticulteurs interrogés au cours du projet (parties prenantes du projet ou non) a permis de mettre en évidence un ressenti mitigé sur l'expérimentation menée en AB qui ne semble pas entraver leur volonté de réduire l'utilisation du cuivre. Il montre l'importance du processus d'expérimentation comme levier pour le déploiement de solutions alternatives en AB, avec la nécessité d'un processus d'apprentissage essai-erreur, dans un cadre accompagné et en disposant d'informations. Ils ont également exprimé une aversion certaine au risque de rendement (stratégies et décisions basées sur les quantités produites en contexte de dépérissement du vignoble), l'inutilité selon eux d'un nouveau signe différenciant sur les bouteilles (pas de premium) pour signaler les pratiques de réduction du cuivre aux consommateurs, l'importance des thématiques de la Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE) et de la santé des travailleurs comme levier incitatif au changement, un consentement à recevoir des aides pour engager le processus (effet d'aubaine qui représenterait toutefois un coût pour la collectivité) et un doute sur l'intérêt d'une assurance contre le mildiou qui ne serait pas assez rentable selon eux. Ils citent de manière alternative l'utilisation des stocks en guise d'assurance (stocks de bouteilles ou Volume Complémentaire Individuel délivré par l'INAO).

Si les solutions restent à consolider sur le plan technique, le projet Coppereplace a finalement réuni un consortium alliant acteurs de la recherche, de la profession et des agriculteurs, et a permis de mettre en place un réseau européen ayant pour objectif de fournir des éléments de discussion et de décision pour les pouvoirs publics.

5.2.3.2 En pomiculture

• **Les biocontrôles**

Les biocontrôles avec une AMM pour les fruits à pépins comme la pomme, sont de nature très variée : substances chimiques (soufre, hydrogénocarbonate de potassium, phosphonate...), des agents microbiens (*Bacillus subtilis*, souche IAB/BS03, *Bacillus amyloliquefaciens* souche QST 713), des extraits d'algues marines (laminarine).

Des résultats sont régulièrement publiés qui permettent de mieux comprendre les modes d'action des biocontrôles, ce qui facilite leur adoption. Par exemple, il a bien été montré que le phosphonate de potassium confère un taux de protection entre 40% et 75% contre la tavelure chez le pommier, en raison d'une activité biocide partielle (Gaucher et al., 2022). Des innovations sont régulièrement proposées. Dans le cadre du projet ANR ENFIN ! (2021-

2024)⁸², des travaux de recherche visent à offrir aux arboriculteurs un itinéraire technique de rupture en verger de pommier. Sur la base de deux inventions brevetées par l'INRAE⁸³, une solution de biocontrôle exploite la diversité du champignon *V. inaequalis*. Des souches non pathogènes sont capables de produire, en croisement avec les souches pathogènes, des descendants non pathogènes, voire stériles. La collaboration entre les acteurs de la recherche fondamentale et la recherche appliquée est un levier pour permettre la diffusion rapide de solutions auprès des arboriculteurs et de leurs conseillers.

En association avec les produits de biocontrôle, les biostimulants et certains extraits de plantes peuvent venir compléter la panoplie d'alternatives identifiées.

- **Les biostimulants** : Leur efficacité est encore largement controversée car les résultats positifs en condition contrôlée sont moyens à faibles sur le terrain. Les modes d'action sont encore largement méconnus et sont parfois similaires à certains produits appartenant à la catégorie des biocontrôles (SDP), ce qui crée de la confusion. L'adoption de ces solutions par les arboriculteurs est encore très faible. En aucun cas, elles ne contribuent actuellement à limiter les traitements au cuivre.
- **Les extraits de plantes** : Pour ce type de solutions, le défi majeur réside dans la disponibilité et dans la mise en marché de ces produits pour lesquels la standardisation de la ou des substance(s) active(s) est loin d'être évidente, et les contraintes réglementaires pour l'homologation représentent des barrières fortes (Infos CTIFL, 2018⁸⁴).

L'efficacité de ces solutions dépend essentiellement du climat de la région et ces produits sont susceptibles de causer des problèmes de phytotoxicité⁸⁵. Le projet EUFRUIT a montré que les arboriculteurs sont réticents à implémenter ces stratégies, pour des raisons économiques (Agroscope, Suisse ; Aarhus University, Danemark) (Infos CTIFL, 2018).

5.2.4 Freins et leviers à l'adoption de pratiques culturales alternatives au cuivre

Plusieurs techniques physiques permettent de limiter la survie de l'inoculum résiduel dans les parcelles (élimination des résidus de culture infectés, gestion des repousses...), d'empêcher son accès aux organes productifs (enfouissement, bâchage, sélection sanitaire des semences et plants) ou de limiter la germination de l'inoculum et la contamination des organes végétaux (bâches anti-pluie). Elles s'avèrent très efficaces, mais sont souvent contraignantes pour le producteur. La diversification spatiale et temporelle des variétés dans les parcelles (associations de variétés ou d'espèces pour freiner les infections secondaires), et l'organisation des paysages (mosaïques paysagères, successions culturales) sont importantes pour beaucoup de maladies épidémiques à grand rayon de dispersion, mais sont encore insuffisamment intégrées au sein de systèmes intégrés de protection des plantes

Si les évaluations de nouveaux produits ou préparations foisonnent actuellement, force est de constater que très peu d'outils d'accompagnement et de pilotage spécifiques sont aujourd'hui développés ou en cours de développement. C'est le cas pour la mise au point d'outils d'aide

⁸² [Projet ENFIN! | Ecophytopic](#)

⁸³ Brevet N° WO2021123698 - Méthode de bio-contrôle pour lutter contre la propagation des champignons oomycète - N° de demande internationale PCT/FR2020/052580. ; Documents de brevets associés FR3104905 EP4075983.

⁸⁴ [INFOS CTIFL 351 infos ctifl 351 - CTIFL](#)

⁸⁵ [b01pom13.pdf \(agrireseau.net\)](#)

à la décision (OAD) spécifiquement dédiés au biocontrôle (cf. *supra*), mais aussi pour l'évaluation de la réponse des génotypes végétaux à ces nouvelles préparations.

Par ailleurs, le niveau très partiel d'efficacité de la plupart des leviers impose de les insérer dans des stratégies intégrées de protection phytosanitaire, et non pas de les utiliser comme éléments isolés, individuellement substituables aux applications cupriques. Or il n'existe encore aujourd'hui que très peu de références et données scientifiquement évaluables sur des systèmes intégrés (y compris à dimension paysagère, comme l'agroforesterie) comme par exemple les travaux de Fouillet et al. (2022) mais qui ne portent pas spécifiquement sur le cas de la réduction du cuivre. Faute de disposer de modèles paramétrés de manière adéquate et suffisamment précise, la conception et l'évaluation de tels systèmes restent difficiles.

5.2.4.1 En pomme de terre

L'importance des méthodes prophylactiques visant à limiter ou détruire les sources d'inoculum primaire est bien documentée pour améliorer la lutte contre le mildiou de la pomme de terre. Ces méthodes sont simples (bâchage des tas de déchets et écarts de tri à proximité des parcelles, gestion des repousses), mais peu mises en œuvre en pratique, car les producteurs rechignent à y investir du temps alors qu'ils disposent de méthodes chimiques efficaces pour juguler les attaques en végétation. C'est pourquoi des mesures contraignantes (surveillance des sources d'inoculum, amendes pour les producteurs qui ne mettraient pas en œuvre la prophylaxie, voire destruction obligatoire des parcelles de production au-delà d'un taux donné de maladie) ont été imposées aux Pays Bas dans le cadre d'une gestion collective du risque mildiou (Lammerts van Bueren et al., 2008). A la connaissance du GT, aucun autre pays n'a pris des mesures similaires, ni n'a mis en place des actions réellement incitatives à l'adoption de la prophylaxie.

5.2.4.2 En pomiculture

Les bâches plastiques sont présentées comme prometteuses en termes de réduction de l'emploi de pesticides en général dans les vergers. D'un point de vue technique, les bâches plastiques ne sont pas encore prêtes pour une utilisation commerciale à grande échelle. En effet, il y a des inquiétudes concernant les effets indésirables sur le rendement et la qualité, l'incidence de maladies et ravageurs autres que ceux visés, ainsi que la mise en œuvre technique des systèmes. De plus, les bâches de protection des arbres fruitiers contre la pluie sont assez coûteuses (même si ce coût peut être atténué lorsqu'elles sont couplées à des filets anti-grêle et/ou anti-insectes, déjà largement utilisés), et peuvent être endommagées par des forts coups de vent. La couverture plastique nécessite une structure stable, capable de résister à des conditions venteuses, et la durée de vie d'une bâche plastique se limite à quelques années. Un autre aspect, qui joue surtout dans les régions touristiques, est l'impact visuel qu'ont les vergers recouverts de bâches plastiques sur le paysage (Infos CTIFL, 2018).

La composition et la configuration des habitats dans les paysages agricoles peuvent déterminer les dommages causés aux cultures par les ravageurs ou les agents pathogènes, soit en affectant directement la dynamique de leur population ou par des effets indirects sur leurs ennemis naturels (Etienne et al., 2023). Ainsi, les paysages avec une plus grande proportion de vergers favorisent une plus grande occurrence de la tavelure du pommier. Les résultats soulignent clairement l'importance de prendre en compte la quantité et la disposition spatiale des cultures hôtes des ravageurs et des pathogènes pour comprendre leurs niveaux d'infestation, ce qui appelle - comme pour la vigne qui est aussi une culture pérenne - à une gestion à l'échelle du paysage voire territoriale et donc collective de la distribution des vergers

dans les paysages afin de réduire les niveaux de pression en maladie et limiter l'emploi des pesticides et donc du cuivre dans les vergers.

Synthèse sur les freins et leviers à l'adoption des alternatives au cuivre

La revue de littérature réalisée par le GT a mis en évidence un certain nombre de freins et leviers à l'adoption des alternatives évaluées dans les cas d'étude du présent rapport. Ces freins et leviers identifiés concernent en particulier les variétés résistantes, les produits de biocontrôle et les pratiques culturales.

Concernant les variétés résistantes :

L'ESCo INRAE-ITAB (2018) avait mis en évidence - en plus du temps très long de la sélection - quatre points de blocage principaux que l'on peut considérer comme des freins à l'adoption d'alternatives au cuivre : i) des réserves techniques de la part des utilisateurs sur l'efficacité et la durabilité des alternatives proposées - le projet Co-Free soulignant toutefois que certains produits alternatifs pourraient contribuer à gérer les contournements de résistance ; ii) des réserves sur les compromis entre caractères agronomiques et résistance (qualité, productivité, etc.) ; iii) des conflits de valeur sur les procédés d'obtention et ; iv) des blocages dans les systèmes de recherche en amont et dans les systèmes de diffusion des innovations en aval.

La littérature distingue une multiplicité de déterminants à combiner (Hochereau, 2021) pour le déploiement des variétés résistantes. Ce déploiement nécessite de trouver un équilibre sur les performances technico-économiques à différentes échelles (agriculteurs, distributeurs, consommateurs) tout en préservant les objectifs de chacun autour d'un objectif partagé. Cela nécessite également de déployer une démarche visant à : i) sensibiliser et donner de la valeur à la gestion des résistances en passant d'une logique de rendement à une logique de marge comme cela a été fait pour le blé (Hochereau, 2021 ; ii) promouvoir des outils collectifs de gestion et de suivi des résistances pour assurer leur durabilité ; iii) s'appuyer sur des organisations collectives de gestion des résistances pour gérer des situations difficiles par la mise en place de collectifs de pilotage (leviers territoriaux).

Le déploiement des variétés résistantes nécessite également : i) des moyens en termes d'épidémiologie-surveillance en mobilisant des moyens pérennes et d'autres à moderniser (tests moléculaires, sciences participatives...) ; ii) une qualification fiable des résistances, y compris partielles ; iii) la définition de stratégies d'utilisation (modélisation, implication des acteurs...) ; iv) un suivi des variétés implantées par les agriculteurs (observatoires comme Oscar en viticulture).

Concernant les produits de biocontrôle :

La littérature souligne principalement des difficultés d'adoption liées à l'efficacité des produits de biocontrôle et des contraintes réglementaires liées à leur expérimentation sur le terrain. Elle montre également que le défi majeur réside dans la disponibilité et la mise sur le marché de ces produits pour lesquels la standardisation de la ou des substance(s) active(s) est loin d'être évidente, et les contraintes réglementaires pour

l'homologation représentent des barrières fortes. En effet, en France et en Europe, il est difficile de tester à grande échelle et sans dérogation à la destruction des récoltes de nouveaux produits d'intérêt dont la substance active n'est pas encore approuvée ou dont les conclusions de l'Efsa ne sont pas encore publiées. À cela s'ajoute en agriculture biologique certifiée (label AB) le déclassement automatique de la récolte dans le cas de l'utilisation d'un intrant non référencé.

Parmi les leviers identifiés, on peut distinguer dans la littérature : i) l'amélioration de la formulation des produits pour permettre une réduction du cuivre à efficacité constante ; ii) la qualité de pulvérisation et le positionnement des produits au bon moment pour optimiser l'utilisation du cuivre ; iii) l'adaptation du processus d'expérimentation avec la nécessité d'un processus d'apprentissage essai-erreur, dans un cadre accompagné et en disposant d'informations pour favoriser le déploiement de solutions alternatives.

Concernant les pratiques culturales :

Selon la littérature, plusieurs techniques physiques permettent de limiter la survie de l'inoculum résiduel dans les parcelles (élimination des résidus de culture infectés, gestion des repousses, etc.), d'empêcher son accès aux organes productifs (enfouissement, bâchage, sélection sanitaire des semences et plants) ou de limiter la germination de l'inoculum et la contamination des organes végétaux (bâches anti-pluie). Ces mesures s'avèrent très efficaces, mais sont peu utilisées du fait des investissements nécessaires souvent élevés pour les producteurs. D'autres méthodes plus simples (bâchage des tas de déchets et écarts de tri à proximité des parcelles, gestion des repousses) existent mais sont également peu mises en œuvre en pratique à cause d'un temps de travail plus élevé pour les agriculteurs, alors qu'ils disposent actuellement de méthodes chimiques efficaces pour juguler les attaques des bioagresseurs.

Néanmoins, le niveau très partiel d'efficacité de la plupart des leviers impose de les insérer dans des stratégies intégrées de protection phytosanitaire, et non pas de les utiliser comme éléments isolés, individuellement substituables aux applications cupriques. Cependant, il n'existe encore aujourd'hui que très peu de références et données scientifiquement évaluables sur des systèmes intégrés (y compris à dimension paysagère, comme l'agroforesterie) mais qui ne portent pas spécifiquement sur le cas de la réduction du cuivre. Faute de disposer de modèles paramétrés de manière adéquate et suffisamment précise, la conception et l'évaluation de tels systèmes restent difficiles.

6 Discussion : portée, incertitudes et limites de l'analyse

L'évaluation technico-économique menée ici répond à deux contraintes liées au **statut actuel du cuivre** tel qu'il est autorisé en agriculture biologique et conventionnelle : comme déjà mentionné, en tant que fongicides et bactéricides, les composés de cuivre ont été **réapprouvés** au titre du Règlement européen n°1107/2009 **jusqu'au 31/12/2025** ; les composés de cuivre sont **candidats à la substitution** du fait de leurs propriétés de persistance et de toxicité pour les organismes aquatiques (cf. règlement d'exécution (UE) 2018/1981 renouvelant l'approbation de la substance active « composés de cuivre » dont on envisage la substitution⁸⁶ ; fiche INERIS⁸⁷), ce qui se traduit par des restrictions sur la quantité totale de cuivre applicable.

La question de limiter davantage ou interdire l'utilisation des produits cupriques en agriculture à l'échéance 2025 justifie la présente auto-saisine qui s'est donc focalisée sur l'analyse des impacts technico-économiques pour les exploitations et les filières agricoles nationales et des enjeux associés à un éventuel durcissement de la réglementation à court terme. Dans ce cadre, et même si elle ne fournit qu'une analyse partielle de ces impacts, l'étude menée par le GT établit une estimation des variations de rendement et de coûts liées à l'utilisation d'alternatives au cuivre pour différentes cultures et pour différentes situations de pression phytosanitaire. Sont discutées, dans le présent chapitre, les incertitudes liées à certains points de l'expertise (cf. Tableau 31) et les choix opérés par le GT qui ont pu restreindre la portée de l'étude : le périmètre retenu, les alternatives étudiées, les scénarios évalués, les choix méthodologiques d'évaluation et les questions autour de la dynamique de la politique mise en œuvre.

⁸⁶ Cf. §12 « La Commission considère toutefois que les composés de cuivre sont des substances dont on envisage la substitution conformément à l'article 24 du règlement (CE) n° 1107/2009. Il s'agit en effet de substances persistantes et toxiques, respectivement selon les points 3.7.2.1 et 3.7.2.3 de l'annexe II du règlement (CE) n° 1107/2009. 1107/2009, étant donné que **leur demi-vie dans le sol est supérieure à 120 jours et que leur concentration sans effet observé à long terme pour les organismes aquatiques est inférieure à 0,01 milligramme par litre**. Les composés de cuivre satisfont donc à la condition établie à l'annexe II, point 4, deuxième tiret, du règlement (CE) ».

⁸⁷ [Cuivre \(7440-50-8\) | PSC \(ineris.fr\)](https://www.ineris.fr/fr/cuivre-7440-50-8)

Tableau 31 : Prise en compte des incertitudes

Volet de l'expertise	Partie concernée	Sur quel élément porte la source d'incertitude ?	Prise en compte de l'incertitude par le GT	Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise	
				Direction (sous-estimation, surestimation, non qualifiable)	Amplitude
Identification des usages du cuivre et des cas d'étude	Définition du périmètre de l'étude et usages d'intérêt	Exhaustivité des listes initiales	Discussion des usages non retenus par le GT	Non qualifiable	Faible
	Sélection des cas d'étude	Les critères de classement des usages	Le GT a utilisé plusieurs catégories de critères permettant de sélectionner les cas d'étude les plus problématiques.	Non qualifiable	Faible
Identification des alternatives chimiques et non chimiques	Liste initiale des alternatives	Exhaustivité des listes initiales	Le GT s'est basé sur rapport de l'ESCo INRAE-ITAB (2018) présentant une revue systématique de la littérature sur les alternatives au cuivre. Le GT a mis à jour cette revue pour des publications récentes par une recherche bibliographique de littérature scientifique et de littérature grise	Sous-estimation	Faible
	Sélection des alternatives Critères de sélection	Critères de sélection	Le GT a utilisé plusieurs catégories de critères en partant d'une liste préexistante (rapport Néonicotinoïdes, TOME 1, ANSES) et fait une classification des alternatives sur la base d'un tableau de bord permettant d'éviter de donner un poids subjectif aux différents critères. Le GT a discuté les alternatives non sélectionnées	Non qualifiable	Faible
Construction des scénarios de substitution	Définition des scénarios de limitation d'usage ou de retrait du cuivre par cas d'étude	Non prise en compte de la possibilité de lissage ?	Le GT a considéré différents niveaux de rupture tenant compte des évolutions possibles de la réglementation en vigueur	Non qualifiable	Faible
	Combinaisons d'alternatives par scénario et par cas d'étude	Choix des alternatives	Le GT a considéré certaines alternatives parmi celles arrivées en tête du classement réalisé pour chaque grande méthode de lutte.	Non qualifiable	Moyenne

Volet de l'expertise	Partie concernée	Sur quel élément porte la source d'incertitude ?	Prise en compte de l'incertitude par le GT	Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise	
				Direction (sous-estimation, surestimation, non qualifiable)	Amplitude
Evaluation des impacts technico-économiques	Données mobilisées	Dires d'experts	Analyse du niveau de confiance des experts filières dans les données qu'ils fournissent ? Le GT a discuté de l'hétérogénéité des informations recueillies à partir de méthodes d'élicitation de direx d'experts.	sous-estimation, surestimation	Faible
		Données de coûts de mise en place des alternatives et les prix	Le GT a confronté les informations à des direx d'experts filières. Des sources diverses	sous-estimation, surestimation	Faible
		Données de prix de la production	Le GT a analysé la sensibilité des résultats aux variations des prix	sous-estimation, surestimation	Faible
	Calcul de l'efficacité technico-économique	Pertes économiques liées à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives	Le GT a estimé des variations de coût et de perte de rendement en comparant les résultats des scénarios « demi cuivre » et « zéro cuivre » par rapport à la situation « actuelle » pour tenir compte des pertes économiques liées à la protection des cultures	Non qualifiable	Faible
Analyse des implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives	Analyse qualitative et discussion	Les diverses implications	Le GT a recommandé de considérer les implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales des alternatives et de mobiliser des méthodes pour pouvoir les évaluer	Non qualifiable	Faible
Analyses des freins et leviers à l'adoption des alternatives	Revue de littérature	Exhaustivité des publications	Le GT s'est basé sur le rapport de l'ESCO INRAE-ITAB (2018) présentant une revue systématique de la littérature sur les freins et leviers à l'adoption des alternatives au cuivre. Le GT a mis à jour cette revue par une recherche de publications récentes dans la littérature scientifique et dans la littérature grise	Sous-estimation	Faible

6.1 Périmètre d'étude

Si l'analyse initiale a inventorié l'ensemble des usages phytosanitaires du cuivre autorisés en France, les cas d'étude sur lesquels a porté le travail de construction et d'analyse de scénarios concernent :

- uniquement des usages fongicides (pas de bactérioses, maladies pour lesquelles il n'existe en général pas d'autre solution chimique que le cuivre) ;
- uniquement des usages majeurs (pas d'usages mineurs ou orphelins).

Ce choix vers des usages majeurs a été guidé, voire contraint, par deux considérations : le temps imparti pour réaliser l'étude, nécessitant de se concentrer sur les cas emblématiques de cultures sous la menace immédiate de restrictions du cuivre, et surtout, l'absence de données, voire d'alternatives identifiées pour les usages mineurs ou orphelins (ex : olivier, fraisier, cerisier). Les usages orphelins, bien que très directement impactés par une restriction des possibilités d'emploi du cuivre, n'ont ainsi pas été évalués dans le présent rapport, faute de scénario alternatif crédible. La liste des usages orphelins tels qu'identifiés par la Commission des Usages Orphelins (CUO)⁸⁸ du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire (MASA) est présentée en annexe 16 pour information. Une limitation ou retrait du cuivre pourrait avoir des conséquences significatives sur ces filières.

Ont également été exclus de l'étude les usages pour les jardiniers amateurs (gamme « amateur »), à la fois pour des questions d'accès difficile (voire impossible) aux données, mais aussi pour des questions de moindre pertinence par rapport aux usages professionnels sur lesquels porte l'éventuel durcissement réglementaire. On peut néanmoins logiquement supposer qu'une interdiction du cuivre en agriculture impliquerait une interdiction pour la gamme amateur.

Le cas de l'horticulture a été particulièrement délicat à traiter en raison du nombre étendu d'usages autorisés du cuivre dans ce périmètre. En France, la protection des productions de fruits et de légumes est très dépendante du cuivre, avec près de 29 types de culture différents. Les produits cupriques sont multi-usages (fongicide, bactéricide, protection des plaies occasionnés lors de greffage ou dues aux aléas climatiques comme la grêle). Dans les collectivités territoriales ultramarines françaises, les niveaux de pressions des bioagresseurs sont plus importants sous climat tropical. En conséquence, les productions fruitières et légumières dans ces territoires sont également très dépendantes de l'usage des produits cupriques. Le retrait du cuivre en horticulture signifie donc que certains usages seraient menacés potentiellement de devenir des usages orphelins ou mal pourvus d'un produit phytosanitaire bénéficiant d'une AMM, car le cuivre est bien souvent une substance pivot, notamment en agriculture biologique. Dès lors, la sélection de « cas représentatifs de l'horticulture » pour réaliser cette étude des impacts socio-économiques n'a pas été aisée. C'est tout l'intérêt de la méthodologie élaborée par le GT qui a permis de faire ressortir les « fruits à pépins » comme cas d'étude à privilégier dans le cadre de cette auto-saisine, avec le pommier comme modèle de nombreuses expérimentations. Il est cependant apparu que le sujet du retrait du cuivre en horticulture fait l'objet d'un nombre assez limité de publications scientifiques académiques accessibles. Il a fallu rechercher des données dans la littérature grise qui ne sont pas organisées dans des bases de données et qui ne sont pas

⁸⁸ [Valorisation du dispositif de gestion des usages orphelins | Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire](#)

systématiquement validées par un comité de lecture, ce qui a nécessité davantage de temps pour trouver des informations fiables et pertinentes pour cette étude. En amélioration génétique, des recherches de résistances à la tavelure ont eu un certain succès et plusieurs expérimentations visent à évaluer la résistance/tolérance des variétés et le contournement de ces résistances. Ce constat sur la faible disponibilité de données exploitables pour une évaluation socio-économique a conduit le GT à concentrer ses efforts sur l'usage Pommier*Trt.Part.Aer*Tavelure(s), pour la production de pomme à couteau.

En se focalisant sur les cas emblématiques de cultures sous la menace immédiate de restrictions du cuivre, le GT a produit une évaluation uniquement pour trois cultures (la vigne biologique et conventionnelle, la pomme de terre biologique et le pommier biologique et conventionnelle) laissant de côté toute une diversité d'autres cultures dépendantes du cuivre et donc potentiellement vulnérables en cas de retrait. Le GT considère cependant que ces trois cultures sont représentatives des **cultures faisant un usage important du cuivre**, du point de vue des quantités appliquées et des surfaces concernées. Pourraient également rentrer dans cette catégorie, l'ensemble des fruits à pépins (par exemple le poirier le prunier, le pêcher et l'abricotier en agriculture biologique et conventionnelle, cf. encadré 3).

Néanmoins, la seule considération des volumes de cuivre ne suffit pas à expliquer la dépendance à celui-ci. Le rapport Anses (2022) souligne ainsi l'importance des facteurs climatiques (ex : climat océanique vs climat méditerranéen), du type de maladie cible (ex : mildiou, tavelure, bactériose), du mode de production (ex : agriculture biologique vs agriculture conventionnelle, grande ou petite superficie, plein champ ou sous serre, mono ou polyculture), de l'existence ou non d'alternatives aux produits phytosanitaires à base de cuivre (ex : famille de méthode, stade de développement, mode d'action, substitut ou complément), de la pression réglementaire et sociétale (ex : restrictions légales des produits phytosanitaires, mesures de protection des riverains de zones agricoles) et du type d'engagement de la filière et/ou du territoire d'appartenance de la culture (ex : cahier des charges de l'agriculture biologique ou des appellations ; label « Terre Saine, communes sans pesticides »). Ces facteurs, en agissant en interactions les uns avec les autres, sont des éléments majeurs de mesure de la dépendance au cuivre des filières et/ou usages.

Le GT estime donc nécessaire de considérer d'autres types de cultures qui présentent des caractéristiques différentes d'utilisation du cuivre (non exclusivement liées aux quantités utilisées) et qui pourraient cependant se retrouver en situations d'impasse technique et/ou économique en cas de sortie du cuivre d'ici 2026. Ainsi, sur la base du rapport de l'ESCo INRAE-ITAB (2018), le GT a repéré trois autres groupes « types » de cultures⁸⁹ qui mériteraient une analyse plus poussée. Un groupe représentant les **cultures avec des parcelles de petite taille pratiquant la polyculture**, dont feraient notamment partie la culture de tomate-aubergine, la culture de carotte et la culture d'oignon-ail-échalote. Un groupe représentant les **cultures avec des produits agricoles de niche à haute valeur ajoutée**, qu'illustreraient la culture d'olivier et celle de fraisier. Le groupe des **usages orphelins**, n'ayant pas d'alternative au cuivre, serait par exemple illustré par la culture du cerisier. Le GT fait ainsi l'hypothèse que les problématiques et les conséquences socio-économiques dues aux restrictions éventuelles sur l'utilisation du cuivre pourraient être différentes selon le groupe « type » dans lequel se trouve le couple « culture X mode de production ». Le GT estime que réaliser une étude approfondie des différentes cultures et filières mentionnées ci-dessus permettrait d'analyser plus finement quels sont les facteurs aggravants qui se cumulent (climat

⁸⁹ Les cultures pour lesquelles le cuivre est autorisé mais très peu utilisé, comme c'est le cas pour le blé et le seigle (en AB ou en AC) et pour la pomme de terre en AC, ne sont pas proposées pour complément d'étude puisque ces usages du cuivre ne sont pas effectifs.

océanique + grande surface + manque de main d'œuvre + nombre réduit d'alternatives) ou au contraire les facteurs qui peuvent atténuer l'intensité du problème (ex : culture en plein champ vs sous serre pour le contrôle des maladies et des ravageurs).

Le GT souligne également que les **cultures dans les Outre-mer français** mériteraient une attention spéciale pour plusieurs raisons : isolement géographique, productions spécialisées et souvent destinées à l'export, conditions climatiques très fréquemment favorables aux attaques parasitaires fongiques ou bactériennes, structure des exploitations agricoles, etc. L'agriculture biologique est actuellement peu développée dans les Outre-mer français⁹⁰ et le retrait du cuivre, en limitant les possibilités de gestion des maladies des végétaux, serait susceptible de freiner son développement. Toutefois, là encore, une telle étude suppose l'accès à des données ou à des alternatives aujourd'hui éparses ou non disponibles.

Dans la présente étude, que ce soit pour la vigne, la pomme de terre biologique ou le pommier, une seule maladie cible a été considérée dans l'exercice d'évaluation - celle correspondant à l'usage autorisé ou majoritaire (mildiou pour vigne et pomme de terre, tavelure pour le pommier). Dès lors, il manque les usages contre d'autres bioagresseurs pourtant également cibles du cuivre (ex : black rot et bactériose en vigne, chancre pour le pommier). L'évaluation d'impact pour ces autres usages n'a pu être réalisée, car il n'y a pas d'alternative actuellement identifiée par le GT. Or, dans un contexte de baisse du nombre de substances multi-site disponibles, une évaluation complète devrait tenir compte du caractère multi-site du cuivre, dont le retrait entraînerait de fait une vulnérabilité des cultures sensibles à plusieurs bioagresseurs que le cuivre permet jusqu'à présent de gérer.

A cela s'ajoute le fait que le cuivre, associé à des substances actives uni-sites, entre dans la composition de produits utilisés en agriculture conventionnelle pour limiter le risque d'apparition de résistances. Par exemple, pour le mildiou, six usages sont concernés : vigne, pomme de terre, tomate, concombre, melon et oignon. Toutefois, la présente étude n'a pas intégré dans l'évaluation un tel risque combiné, qui dépend à la fois des risques inhérents à la substance active, des risques propres à la maladie, des risques agronomiques résultant des pratiques agricoles (rotation, nombre d'applications, dosage etc.) et des solutions alternatives pouvant être mises en place. Pour autant, ce rôle que joue le cuivre dans la prévention de l'apparition de résistances des bioagresseurs n'est pas à négliger, en particulier dans une perspective de long terme mettant en regard l'ensemble des risques et des bénéfices attendus en cas de retrait.

6.2 Alternatives étudiées

En se plaçant dans une optique de réduction voire de suppression de l'utilisation du cuivre comme fongicide à l'échéance fin 2025, le GT a retenu pour rappel un cadre d'évaluation des alternatives basé sur les lignes directrices suivantes (cf. section 3.3) :

- identification des alternatives par rapport à un usage (au sens du triplet « culture*partie traitée*maladie visée ») ;
- alternatives ayant fait l'objet d'expérimentations en champ, et disponibles ou proches de la commercialisation ;
- non exclusion *a priori* des alternatives avec des profils de dangers peu favorables pour l'environnement et/ou la santé humaine (par exemple, certains fongicides de

⁹⁰ [Délégation sénatoriale aux outre-mer : compte rendu de la semaine du 28 mars 2016 \(senat.fr\)](#)

- synthèse), car ces produits pourraient, en cas de retrait du cuivre, représenter des « solutions » à court terme pour les agriculteurs ;
- caractérisation des alternatives intégrant des critères techniques (magnitude de l'efficacité, durabilité de l'efficacité, opérationnalité, praticité), économiques (impact sur le rendement), sanitaires et environnementaux (toxicité et écotoxicité) permettant de les comparer ;
 - alternatives de protection des plantes étudiées en combinaison pour tenir compte de modes d'action complémentaires.

L'intérêt, mais aussi la limite, de ce cadre est d'utiliser des **hypothèses prudentes**, correspondant au cas le plus probable dans un horizon de court terme. Ceci amène d'une part, à inclure des cas défavorables dans les analyses, que ce soit en termes de risques accrus pour la santé des travailleurs, des consommateurs ou de l'environnement (par exemple *via* le report sur les fongicides de synthèse en cas d'interdiction du cuivre) ou en termes de faisabilité économique limitée (car perte de rendement et coût supplémentaire de protection en cas de remplacement du cuivre par des alternatives à l'efficacité technico-économique moindre et incertaine) ; d'autre part, à ne pas considérer des scénarios en très forte rupture, faute de disponibilité des leviers (et des données d'évaluation qui leur sont relatifs) que ces scénarios supposeraient.

En plus de ces lignes directrices communes à l'ensemble des cas d'étude, le GT a aussi fait des choix spécifiques au cas de la vigne, de la pomme de terre et du pommier. Ainsi, pour la vigne, l'étude repose sur une liste de méthodes alternatives déjà déployées, au moins à titre expérimental, et non celles prometteuses à plus long terme comme c'est le cas pour la résistance variétale⁹¹. Pour la pomme de terre, n'ont pas été prises en compte de potentielles solutions de biocontrôle et utilisables en AB, car de telles solutions n'existent pas sur le marché à l'heure actuelle.

L'intérêt de la filière viticole pour l'utilisation des variétés résistantes est récent. Il a abouti au classement et au déploiement de nouvelles variétés depuis moins de dix ans. Les résultats de différents projets montrent que l'utilisation de ces variétés permettrait une très forte réduction de l'usage des fongicides (Miclot et al., 2022) et serait pertinente pour construire des scénarios de limitation, voire d'abandon du cuivre. Néanmoins, un usage large de ces variétés se heurte à plusieurs écueils : les variétés actuellement disponibles ne possèdent pas les caractéristiques attendues pour la production actuelle de vin. Des programmes de sélection sont en cours afin de créer des variétés plus adaptées aux besoins des différents bassins viticoles mais les toutes premières variétés ne sont pas attendues avant 2030. Par ailleurs, la problématique de la durabilité des gènes de résistance déployés doit être prise en compte, particulièrement pour une culture pérenne. Des populations de mildiou contournant certains gènes de résistance déployés ont déjà été identifiées en Europe (Peressotti et al., 2010, Paineau et al., 2022) et l'utilisation à large échelle de ces variétés nécessite la mise en œuvre de mesures de gestion complémentaires, dont des traitements fongicides ainsi que la mise en place d'une surveillance active des populations de mildiou par un réseau d'épidémiologie-surveillance adapté (Guimier et al., 2019). Tous ces éléments s'inscrivent donc dans un temps long et nécessitent une mobilisation collective de la filière.

Les méthodes de prophylaxie, ciblant notamment la gestion de l'inoculum primaire, n'ont également pas été prises en compte dans l'évaluation pour la viticulture. Celles-ci font

⁹¹ Les mesures prophylactiques, mais aussi celles mobilisant les interactions entre l'holobionte de la vigne, le sol et les autres organismes, notamment à travers la mycorhization entre des champignons et les racines des plantes, ou encore les produits innovants de biocontrôle et autres solutions naturelles représentent trois voies de recherche prometteuses (VitiREV, 2023).

actuellement l'objet de recherches visant à évaluer leurs contributions potentielles à l'élaboration de stratégies à bas intrant⁹².

Les cas de la pomme de terre en AB et du pommier confirment que la création et le déploiement de variétés résistantes représentent une méthode de protection des plantes très intéressante pour limiter l'emploi du cuivre. Comme déjà évoqué plus haut, le délai nécessaire pour le développement de nouvelles variétés résistantes pourrait sans doute être raccourci si les technologies d'édition des génomes, désormais disponibles, étaient autorisées en France. Toutefois, il est acquis que la filière biologique serait réticente, voire totalement opposée, à utiliser des variétés créées *via* ces technologies (Anses, 2023 ; Andersen et al., 2015 ; Lammerts van Bueren et al., 2008). De plus, les exemples du pommier et de la pomme de terre montrent que, quelle que soit la production considérée (annuelle ou pérenne), il reste difficile de faire évoluer les choix variétaux uniquement sur la base des résistances. En effet, beaucoup d'autres caractéristiques variétales (dont les qualités technologiques, gustatives ou de présentation) sont cruciales dans ces choix, et difficilement gérables autrement que *via* les variétés. En outre, la confiance des producteurs quant à la performance ou la durabilité des résistances variétales proposées n'est pas très élevée, souvent en raison de cas antérieurs de contournements. Enfin, une forme d'inertie de la filière est liée aux donneurs d'ordres, qui décident du cahier des charges et de la variété qu'ils veulent faire produire. Même si les revendications environnementales prennent de l'importance, la rigidité des marchés calibrés en aval tend à freiner l'adoption de variétés résistantes en amont. S'agissant des méthodes de biocontrôle, ces dernières, en étant compatibles avec les pesticides chimiques, ne perturbent pas de façon radicale les itinéraires techniques de production en place. Là encore, le fait de considérer des alternatives disponibles à court terme restreint le nombre de solutions envisageables fondées par exemple sur la mise en œuvre de stratégies paysagères et collectives qui utilisent le biocontrôle avec d'autres pratiques agroécologiques.

Il n'est d'ailleurs pas toujours évident pour le GT de discerner quel mode d'action est privilégié, entre le biocontrôle, la fertilisation et la biostimulation. Ici le rôle joué par le secteur industriel du biocontrôle n'est pas à négliger. En effet, c'est un secteur largement dominé par les grandes firmes agrochimiques capables de diversifier leurs portefeuilles de produits et de réorienter leurs investissements en R&D (Guibert et al., 2022). Jacquet et al. (2022) soulignent que les modèles économiques actuellement utilisés par le secteur privé du biocontrôle sont basés sur la vente de grandes quantités de produits qui sont promus pour leur efficacité mesurable à court terme, leur compétitivité économique à court terme et leur simplicité d'utilisation. Ainsi, le référentiel utilisé par les praticiens pour évaluer les nouvelles substances reste fortement ancré dans le paradigme des pesticides chimiques basé sur "des caractéristiques qui ne correspondent pas à celles de la plupart des modes d'action du biocontrôle (par exemple, régulation à moyen ou long terme, prophylaxie) et qui ne favorisent pas la durabilité globale de ces méthodes". Par une sorte d'"isomorphisme", les chaînes de valeur et d'approvisionnement associées sont également organisées pour produire, distribuer et utiliser des pesticides chimiques, et non des produits et services de biocontrôle (Glare et al., 2012). Dès lors, ces modèles économiques tendent à réduire les manières d'utiliser le biocontrôle dans des systèmes de production plus en rupture.

Finalement, l'étude réalisée par le GT ne prend pas en compte les coûts de transition, impliquant des coûts d'apprentissage et des coûts de transaction, mais seulement les **coûts en utilisation maîtrisée** des alternatives. Or, les coûts de transition peuvent être importants

⁹² L'Agenda de Recherche VitiREV a identifié la prophylaxie comme l'un des axes prioritaires de recherche qui doit permettre de mieux comprendre l'assemblage de pratiques agroécologiques et le rôle que cet assemblage peut jouer en termes de services écosystémiques rendus par la biodiversité naturelle.

dès lors que le changement de routines par les professionnels pour protéger leurs cultures en préventif en diminuant voire en supprimant le recours au cuivre passe par la formation des agriculteurs et du personnel permanent ou saisonnier aux récentes innovations systémiques.

6.3 Scénarios évalués

Les scénarios construits et évalués lors du travail d'expertise reposent sur des choix contraignants mais assumés :

- un horizon volontairement « court termiste ». Les scénarios élaborés lors de ce travail mobilisent les alternatives aujourd'hui disponibles ou en voie de l'être, et non des 'prospects' en développement mais sans échéance claire d'arrivée sur le marché (cf. section 6.2). Ces 'prospects' existent et pourraient modifier et enrichir les scénarios considérés. Toutefois, les éléments d'évaluations économiques, toxicologiques/écotoxicologiques et de mise en œuvre manquent entièrement à leur sujet, rendant l'exercice d'évaluation *ex ante* uniquement fondé sur des hypothèses projectives, et non sur des éléments objectivés robustes ;
- retenir différents niveaux de rupture quant à l'utilisation du cuivre, y compris des objectifs *a priori* difficilement atteignables (zéro cuivre dans certains systèmes biologiques par exemple) ;
- prendre en compte de manière différenciée les niveaux de pression parasitaire, plutôt qu'une intensité « moyenne » ;
- enfin, faire des choix simplificateurs (calcul à l'échelle de l'exploitation plutôt que de la filière, et de l'année plutôt qu'une période pluriannuelle, ce qui ne permet pas d'envisager des stratégies de lissage dans le temps ou de variation progressive des coûts).

Dans les deux premiers scénarios étudiés parmi les trois (« actuel », « demi cuivre », « zéro cuivre »), le GT n'a pas considéré de possibilité de lissage de la quantité de cuivre (limite à 4 kg/ha/an ou 2 kg/ha/an selon le scénario). Or, cela peut être un paramètre d'ajustement important pour l'agriculteur pour lui permettre de gérer la variabilité intra et/ou interannuelle de la pression des maladies.

Dans le troisième scénario (« zéro cuivre »), une limite forte contraignant l'évaluation quantitative tient au fait qu'il n'existe pas de situation contrefactuelle. L'information requise pour renseigner le niveau de rendement ou le niveau des coûts des alternatives, qu'elles soient utilisées seules ou en combinaison, n'est pas disponible. Le calcul technico-économique s'est ainsi appuyé sur des dires d'expert qui, parfois, ont permis de révéler des écarts notables entre les réponses et d'autres fois ont abouti à des non réponses, certains experts considérant « impossible » le scénario de non recours au cuivre. Une analyse des incertitudes liées aux données recueillies auprès des experts ainsi que les méthodes utilisées par le GT pour diminuer l'effet sur les résultats est présentée (cf. Tableau 31).

L'étude telle que conduite par le GT en termes de scénarios exploratoires (un scénario de référence et deux scénarios réglementaires) permet de faire la « photographie » à la fin de l'année 2025 des impacts technico-économiques de la substitution du cuivre. Un autre exercice, plus prospectif voire prescriptif, aurait consisté à imaginer quels pourraient être les nouveaux futurs possibles et quel serait le scénario radical souhaitable. Il s'agirait notamment

de donner les conditions dans lesquelles ces scénarios seraient envisageables et quels seraient les verrous à lever, ce qui suppose de se placer dans une optique de long terme.

L'optique de court terme retenue ici néglige les **aspects dynamiques** qui impliquent que le prix et l'efficacité des alternatives ne sont pas statiques ou que leur adoption peut être fonction du renouvellement de la culture, possiblement différent si la culture est pérenne ou annuelle. De même, par rapport à la problématique d'accumulation et de concentration élevée du cuivre dans certains sols, directement liée aux traitements fongicides fréquents dans les zones humides (Ballabio et al., 2018), connaître voire quantifier l'augmentation de rendement due à une amélioration de la qualité du sol résultant de l'arrêt de l'utilisation du cuivre pourrait rentrer en ligne de compte dans une analyse dynamique et contribuer à estimer le bilan global de l'absence de cuivre pour la collectivité.

Le GT n'a pas analysé les alternatives du point de vue de leur acceptabilité par les agriculteurs et plus généralement par d'autres acteurs concernés car cette analyse n'entrait pas dans les missions du GT. Néanmoins, ce type d'analyse est d'intérêt et pourrait faire l'objet d'une étude spécifique pour tester la mise en pratique des scénarios évalués auprès des acteurs (cf. recommandation du GT, chapitre 7).

6.4 Choix méthodologiques d'évaluation

Le GT a privilégié une approche multicritère dans deux des étapes du travail : pour classer les différentes cultures en tenant compte d'une variété de critères traduisant un certain degré de dépendance au cuivre, puis pour classer les alternatives en fonction de critères techniques, économiques et de toxicité/écotoxicité. Un poids égal a été donné à chaque critère ; or, notamment pour le classement des alternatives, il est possible de considérer un autre système de pondération, qui pourrait être mieux adapté aux besoins d'une évaluation plus prescriptive ou normative.

Pour pallier l'absence de données, le GT a eu recours à une procédure d'élicitation de dires d'experts. Des experts extérieurs au GT ont donc été sollicités notamment sur l'efficacité des combinaisons d'alternatives dans les scénarios « demi cuivre » ou « zéro cuivre ». L'information sur les pertes de rendement attendues en cas de non recours au cuivre est apparue comme une donnée stratégique qui a reposé sur la légitimité des experts informateurs. Ces experts ont été approchés pour leurs connaissances précises des filières étudiées, connaissances indispensables pour pouvoir bénéficier d'informations fiables pour l'évaluation, dans ce contexte de défaut général de données. Au final, même s'il ne permet que de fournir des ordres de grandeur indicatifs, ce recours à l'élicitation de dires d'experts a été le moyen de réaliser le travail pour lequel le GT avait été mandaté. Ces ordres de grandeur restent d'intérêt pour refléter dans quelle(s) direction(s) iraient vraisemblablement à court terme les conséquences de la limitation ou du retrait du cuivre en agriculture dans les conditions actuelles du système agricole.

Par exemple, dans le cas du pommier, il n'existe pas de parcelle-verger type en pomme à couteau, en particulier pour le scénario « zéro cuivre ». Seuls des experts du domaine sont en mesure de fournir des estimations réalistes dans un contexte donné. L'approche statistique fournit des valeurs centrales (moyennes) qui ne rendent pas compte des impacts pour un bassin de production donné, mais plutôt à l'échelle nationale.

6.5 Questions autour de la dynamique de la politique mise en œuvre

Un éventuel retrait du cuivre à l'échéance 2025 est à replacer dans le contexte de potentiel retrait européen d'autres substances actives phytopharmaceutiques. L'enjeu est de réduire l'usage de certains produits phytopharmaceutiques, pour préserver la santé et l'environnement de tous, sans priver les agriculteurs des moyens de protéger leur culture.

Un autre enjeu est celui de la cohérence entre les dispositifs adoptés pour les composés de cuivre à usage fongicide et ceux adoptés pour les fertilisants, dont les biostimulants contenant du cuivre. En effet, en cas d'interdiction de cuivre pour les produits de protection des plantes, les cas de mésusages ou d'usages illégaux pourraient se multiplier.

Enfin, un enjeu concerne les données récoltées et mobilisées par les directions de l'Anses en charge de l'évaluation des dossiers de demande d'AMM (DEPR et DAMM). Certaines données d'essais issues des instituts techniques sont parfois utilisées dans le cadre de la procédure d'évaluation comparative. En revanche, dans les dossiers d'homologation, l'efficacité des produits n'est pas évaluée dans le cadre d'un itinéraire technique, d'où la difficulté de les mobiliser dans le cadre de l'expertise.

7 Conclusions et recommandations du GT

Tenant compte du statut réglementaire du cuivre en tant que substance candidate à la substitution, conformément à l'article 24 du règlement (CE) n° 1107/2009 sur les produits phytopharmaceutiques, le présent rapport avait pour objectif d'analyser les impacts socio-économiques d'une éventuelle limitation de son utilisation ou son retrait en agriculture biologique et conventionnelle à travers des scénarios de substitution du cuivre par des combinaisons d'alternatives chimiques et non chimiques. Par « **substitution** » le GT entend **le remplacement (partiel ou total) du cuivre par une méthode (chimique ou non chimique) ou substance ou une combinaison de méthodes/substances permettant de réduire ou d'éviter son emploi pour une fonction ou un usage donné**. Pour répondre aux questions de l'auto-saisine, le GT a i) construit des scénarios de substitution du cuivre (question 1), ii) analysé les impacts socio-économiques de la substitution du cuivre par certaines combinaisons d'alternatives (question 2) et iii) analysé des freins et des leviers à l'adoption des alternatives étudiées (question 3).

Les impacts socio-économiques des scénarios de substitution ont été analysés d'une part quantitativement pour ce qui concerne les impacts technico-économiques et, d'autre part, qualitativement pour ce qui concerne les implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales.

La conduite de cette étude a soulevé un certain nombre de défis et difficultés qui ont conduit le GT en charge de l'expertise à faire certains choix méthodologiques qu'il convient de rappeler pour la compréhension et l'interprétation des résultats de l'étude.

- **Concernant la méthodologie :**

- Etant donné le nombre important de cultures et d'usages agricoles concernés par l'utilisation du cuivre, et dans un but de faisabilité de l'analyse, l'étude s'est appuyée sur trois cas d'étude sélectionnés à partir de critères permettant d'identifier les situations qui seraient les plus problématiques en termes d'impacts technico-économiques (incluant des critères relatifs au volume d'utilisation du cuivre et au poids économique de la filière concernée), soit :
 - i. **le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique ;**
 - ii. **le mildiou de la vigne en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle ;**
 - iii. **la tavelure du pommier en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle.**
- Les scénarios de substitution du cuivre évalués ont été construits exclusivement dans une logique de court terme, en considérant des combinaisons d'alternatives d'ores et déjà disponibles sur le marché, sélectionnés *via* une démarche multicritère, incluant des critères techniques, économiques, sanitaires et environnementaux. Cependant, en plus du fait que la disponibilité des alternatives peut évoluer dans le temps, n'ont pas été considérées dans l'évaluation des impacts :
 - i. **les alternatives qui sont en cours de R&D** du fait du manque de données pour les évaluer ;
 - ii. **les alternatives qui impliquent un changement de système ou modèle agricole** du fait des difficultés pour les évaluer. Le GT rappelle que, même si cela n'est pas propre au cas du cuivre, l'adoption

- d'alternatives aux produits phytosanitaires ne repose pas sur une logique de remplacement d'une substance par une autre, mais sur une approche systémique qui permet de considérer la combinaison de différentes méthodes dans une logique de changements de pratiques agricoles, de modifications des itinéraires techniques et de re-conception des systèmes de culture. L'analyse technico-économique de tels systèmes re-conçus nécessite d'étendre considérablement l'approche par scénarios en incluant une palette de paramètres beaucoup plus large allant des choix de cultures aux choix de société en associant tous les acteurs concernés dans une démarche prospective. Le GT n'a pas conduit ce type d'analyse et n'a pas inclus les systèmes agricoles alternatifs dans ses choix de combinaisons (et propose des recommandations à ce sujet, cf. *infra*).
- Contrairement à l'évaluation des impacts technico-économiques de la substitution, **les implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales de la mise en œuvre des alternatives ont été analysées de manière qualitative** en soulignant certaines implications attendues de la substitution sur l'organisation des filières et pour la santé humaine et l'environnement sur la base des profils de toxicité et d'écotoxicité des alternatives en comparaison de celui du cuivre, de leur capacité à émettre des gaz à effet de serre et leur impact sur la qualité du paysage.
 - **Concernant les données disponibles pour l'évaluation des impacts technico-économiques, elles étaient dans l'ensemble peu nombreuses et peu accessibles. Le GT rappelle les limites associées suivantes :**
 - Il a été difficile de trouver des données permettant d'évaluer l'efficacité des combinaisons d'alternatives en conditions réelles de mise en œuvre, étant donné le **non-déploiement de certaines de ces combinaisons d'alternatives sur le terrain** ;
 - L'extrapolation des résultats de l'évaluation à l'ensemble des filières agricoles concernées par l'utilisation du cuivre a été rendue complexe du fait du manque de représentativité des données, étant donné la **variabilité des situations des cultures concernées en termes de pression des bioagresseurs et de dépendance à l'utilisation du cuivre** ;
 - En plus des données disponibles dans la littérature ou les bases de données consultées, le GT a fait appel à des dires d'experts des filières agricoles étudiées. Les informations obtenues par ce biais sont assez hétérogènes (variables selon les experts), compte tenu des **caractéristiques spécifiques des zones de production et de la subjectivité des experts** sur l'efficacité des combinaisons d'alternatives non testées sur le terrain ;
 - Il a été nécessaire pour le GT de faire des hypothèses plus ou moins fortes sur certains **coûts liés à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives du fait de données peu disponibles pour les renseigner** ;
 - Faute de données suffisantes, il a été quasiment impossible d'identifier des alternatives techniquement envisageables et disponibles, sur lesquelles se baser pour construire des scénarios alternatifs pour la plupart des **usages mineurs ou orphelins** - raison pour laquelle le GT a décidé de ne pas les inclure dans les cas retenus pour l'étude.

Du fait de ces difficultés, le GT rappelle que les résultats de l'évaluation doivent être interprétés avec précaution en gardant à l'esprit les conditions d'exercice dans lesquelles elle s'est réalisée et les hypothèses sur lesquelles elles se fondent.

7.1 Principales conclusions du GT

Au terme de ces travaux, le GT a pu dégager cinq groupes de conclusions, de portée générique ou spécifique, qui sont détaillés ci-après.

- ***La substitution du cuivre, un enjeu de portée différente selon les filières agricoles et les modes de production***

Les cas d'étude retenus concernent des productions agricoles à haute valeur ajoutée, reposant sur des espèces végétales annuelles ou pérennes et sur des organisations de filières spécifiques à chaque espèce ou débouché. Toutes existent en production conventionnelle et biologique, modes de production dans lesquels la place du cuivre est sensiblement différente mais est une composante importante des stratégies de protection reposant aujourd'hui quasi exclusivement sur l'application de produits phytosanitaires (dont les spécialités à base de cuivre). De telles stratégies de protection reposent quasi exclusivement sur le cuivre en agriculture biologique, alors que celui-ci vient en appoint en production conventionnelle où il supplémente et complète des programmes fondés pour une très large part sur des produits de synthèse.

Cette asymétrie de la dépendance au cuivre entre les productions biologiques et les productions conventionnelles explique aisément que l'enjeu de la substitution, totale ou partielle, de ces apports en cuivre soit lui aussi asymétrique : critique en production biologique, beaucoup plus marginal en production conventionnelle (au moins tant que les fongicides de synthèse resteront disponibles et diversifiés sur le marché). Cette asymétrie doit être prise en compte lors de toute décision impliquant une réduction des utilisations du cuivre, qui impacterait en premier lieu – et plus sévèrement – les productions biologiques que les productions conventionnelles, et pourrait donc aller à l'encontre des objectifs de développement de l'AB en France (cf. recommandations du GT *infra*).

Le GT souligne également les enjeux possibles pour certaines filières non étudiées dans ce rapport (compte tenu du délai et des données mobilisables) qui utilisent relativement peu de cuivre en tonnage du fait des superficies concernées mais pour lesquelles des restrictions d'utilisation du cuivre pourraient avoir des conséquences. En effet, pour certains usages, le cuivre serait la seule substance à avoir une efficacité approuvée, ce qui rendrait ces usages orphelins en cas de restrictions supplémentaires par rapport à la dose de cuivre actuellement autorisée (cf. chapitre 6).

- ***La substitution : techniquement envisageable, mais toujours agronomiquement difficile et souvent économiquement impactante pour les utilisateurs***

Dans chacun des types de production considérés, il s'est avéré possible de construire des scénarios alternatifs incluant un objectif de réduction significative, voire de suppression totale des apports en cuivre, sur la base de la disponibilité sur le marché actuel d'éléments de solutions alternatives et de la possibilité de les combiner au sein d'itinéraires de protection reconstruits. Cette observation est importante, car elle fournit une base de travail de moyen-long terme pour des systèmes conçus sur des bases différentes du paradigme actuellement

dominant, qui ne mobilise de fait qu'un seul des leviers potentiels (à savoir l'application de biocides). De ce point de vue, la substitution peut être considérée comme techniquement envisageable. Il faut néanmoins noter que, selon les filières, tout ou partie des alternatives potentielles (variétés résistantes et produits de biocontrôle en particulier) sont soit manquantes, soit ne répondent pas aux besoins actuels des filières (qualité insuffisante des produits transformés, impossibilité réglementaire de mise en œuvre, etc.), et que leur utilisation en pratique impliquerait donc des adaptations ou des poursuites de développement conséquentes.

De plus, l'analyse économique de ces scénarios alternatifs révèle des limites quant à la faisabilité d'une transition soutenable dans les conditions d'organisation et de fonctionnement actuel du modèle agricole français et européen sans mesures fortes d'accompagnement. Presque tous ces scénarios alternatifs se traduisent en effet par une baisse de la performance technico-économique des exploitations (très importantes pour certaines combinaisons dans le scénarios « zéro cuivre »), sous le double effet d'une augmentation des pertes de rendement et/ou de valeur produite (protection moins efficace que le niveau actuel) et d'une augmentation des coûts de protection (les alternatives étant généralement plus onéreuses que les applications de cuivre, très peu coûteuses).

Toutefois, certains scénarios de réduction des doses de cuivre (scénarios « demi-cuivre ») semblent économiquement envisageables pour certaines filières (pomme de terre biologique par exemple), sans perte de rendement et avec des surcoûts maîtrisés. Pour les autres, notamment les scénarios « zéro cuivre » évalués par le GT, encore plus complexes, plus coûteux et moins efficaces, les impacts technico-économiques sont élevés, notamment en agriculture biologique. Ces impacts pourraient ne pas être compatibles avec la pérennité économique de certaines exploitations, tout au moins à court/moyen terme et sans aide technique et financière significative. Ces scénarios se traduiraient probablement par un recours accru aux fongicides de synthèse pour les exploitations en agriculture conventionnelle et un risque de déconversion pour les exploitations en agriculture biologique.

- ***Des alternatives au profil environnemental et sanitaire globalement favorable, avec des bénéfices attendus à court et à long terme, mais dont l'évaluation complète reste ardue quant aux implications globales (y compris organisationnelles et agronomiques)***

Si une appréciation qualitative des bénéfices espérés de la réduction d'utilisation ou du retrait du cuivre en agriculture est possible, tant sur le plan organisationnel, environnemental, sanitaire, qu'agronomique, la présente étude n'a pas pu proposer de quantification, ce qui aurait été nécessaire pour pouvoir mettre ces bénéfices au regard des potentielles pertes économiques qu'occasionnerait la substitution. Ceci est dû en partie au fait que les données nécessaires à une telle évaluation sont souvent manquantes ou lacunaires, mais aussi au constat que, ces bénéfices résultant de combinaisons toujours mouvantes de leviers de gestion et de pressions parasites, une quantification supposerait le développement de modèles multicritères complexes, hors du champ et des compétences du collectif d'experts mobilisé pour l'expertise. Cela est également le cas pour les impacts de ces stratégies alternatives sur l'emploi et le travail, qui seront sans doute très variables selon les filières, les modes de production et les modèles économiques des exploitations concernées. C'est la raison pour laquelle l'étude fournit une appréciation qualitative de ces bénéfices (ou risques évités) attendus (cf. section 4.2).

- Sur le plan organisationnel, la substitution du cuivre par des alternatives pourrait avoir des impacts non négligeables non seulement pour les agriculteurs en termes de pertes de revenu potentielles mais également pour d'autres acteurs des filières concernées. La baisse de la production (en quantité et en qualité) à cause des pertes de rendement occasionnées pourraient provoquer des difficultés pour répondre à des cahiers des charges, des pertes de compétitivité sur les marchés nationaux ou à l'export, voire un risque de déconversion en agriculture biologique et/ou une délocalisation de la production dans des régions avec des contraintes réglementaires différentes. Ces diverses implications pourraient contribuer à alimenter les crises économiques auxquelles font face certaines filières agricoles concernées. Les répercussions des pertes de rendement induites par la substitution du cuivre (prix des produits sur les marchés finaux, importations, délocalisation de production, déconversion...) sont susceptibles d'être importantes et méritent d'être explorées plus en détail ;
- Sur le plan agronomique, la mobilisation des alternatives au cuivre étudiées et des combinaisons dans lesquelles elles doivent s'insérer pour atteindre une performance suffisante, induisent le plus souvent des perturbations notables dans les itinéraires techniques et, partant, dans les modes de fonctionnement des exploitations. Ceci pose la question des possibilités pour les producteurs agricoles de disposer d'une confiance sur leur soutenabilité de moyen et long terme. Cette visibilité fait souvent défaut - c'est d'ailleurs l'une des causes du faible taux de pénétration des variétés résistantes en cultures annuelles (Vanloqueren et Baret, 2008). La question se pose dans les mêmes termes pour toutes les « solutions fondées sur la nature », y compris le biocontrôle, car ces solutions mobilisent des processus physiologiques et écologiques auxquels les parasites sont plus ou moins susceptibles de s'adapter. Par ailleurs, l'efficacité d'un grand nombre de ces solutions dépend directement des caractéristiques de l'environnement biotique et abiotique (température par exemple) dans lequel elles sont déployées et mises en œuvre. Les fluctuations rapides de l'environnement que le monde connaît actuellement, et que le changement climatique ne fait qu'accentuer, mais aussi les changements globaux (dont la mondialisation des échanges - et des parasites) sont autant de facteurs d'incertitude sur la soutenabilité à moyen et long terme des options proposées ;
- Sur le plan de la santé humaine, le cuivre présente des propriétés cytotoxiques et certains composés du cuivre présentent des propriétés de toxicité aiguë par voie orale. Par conséquent, réduire l'utilisation du cuivre pourrait s'accompagner de bénéfices sanitaires. Toutefois, certaines des alternatives au cuivre présentent aussi des dangers pour la santé humaine et leur utilisation pourrait ne pas s'accompagner de bénéfices pour la santé. Au-delà de la toxicité de certaines alternatives, le GT souligne également des conséquences potentielles sur la santé que pourrait avoir la mise en œuvre de certaines alternatives (prophylaxie généralisée, passage répété avec des produits peu efficaces, etc.) qui nécessitent plus de main d'œuvre, ce qui pourrait faire augmenter le temps de travail des agriculteurs.

- Sur le plan environnemental, et à l'exception des produits phytosanitaires de synthèse encore utilisables en agriculture conventionnelle, la quasi-totalité des alternatives incluses dans les scénarios étudiés présente un risque environnemental limité et, dans certains cas, nul (cf. section 4.2.3) : c'est le cas en particulier des variétés résistantes, des méthodes de prophylaxie et de la plupart des solutions de biocontrôle. La généralisation de leur emploi, en substitution partielle ou totale des apports actuels de cuivre (voire de fongicides de synthèse) devrait donc s'accompagner de bénéfices environnementaux de court et moyen termes (qui restent à documenter précisément, ce qui ne relevait pas des missions du GT). L'un de ces bénéfices, et non des moindres puisqu'il concerne directement les effets néfastes du cuivre sur l'environnement (le cuivre étant classé substance candidate à la substitution du fait de sa persistance et de sa toxicité pour la biodiversité des sols et les eaux souterraines – cf. section 1.1 et chapitre 2), est qu'en limitant les apports de cuivre, l'emploi d'alternatives non ou peu écotoxiques devrait *a minima* stabiliser, et à terme contribuer à faire décroître, les quantités de cuivre stockées dans les sols (en partie biodisponibles) et dans les eaux. En revanche, certaines alternatives ne présentent pas de profil environnemental favorable (en particulier des substances actives de synthèse autorisées en agriculture conventionnelle) ; leur utilisation en remplacement du cuivre ne s'accompagnerait pas de bénéfices environnementaux et pourrait même accroître les dommages causés à l'environnement. Le GT note que le cuivre est parfois utilisé comme une alternative à ces substances actives qui, pour certaines, sont également classées candidates à la substitution du fait de leur profil de risque pour l'environnement et la santé humaine.

Le GT rappelle également qu'il n'a pas analysé les alternatives du point de vue de leur acceptabilité par les agriculteurs et plus généralement par d'autres acteurs concernés, car cette analyse n'entrait pas dans les missions du GT. Néanmoins, ce type d'analyse est d'intérêt et pourrait faire l'objet d'une étude spécifique pour tester la mise en pratique des scénarios évalués auprès des acteurs (cf. recommandation du GT *infra*).

- ***Une évaluation des impacts socio-économiques incomplète faute de données indispensables***

Comme déjà souligné, l'évaluation proposée dans ce rapport reste incomplète sur plusieurs points et ne couvre que partiellement la diversité des usages du cuivre et le (très vaste) champ des différentes dimensions soulevées par l'auto-saisine traitée. Ainsi, le GT a étudié trois filières végétales majeures, et seulement des maladies foliaires fongiques ; l'évaluation proposée est essentiellement technico-économique. : Les implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales et ont fait l'objet d'une analyse exclusivement qualitative.

La raison principale du caractère limité de cette évaluation, notamment dans sa dimension quantitative des impacts technico-économiques, tient au manque de données. Le GT insiste sur la difficulté de constituer des jeux de références utilisables sur nombre d'alternatives potentielles, tout particulièrement celles encore en développement et pour lesquelles ni les référentiels de performance agronomique en conditions réelles d'utilisation, ni les éléments de coûts de mise en œuvre, ni *a fortiori* les informations relatives aux conséquences (positives ou négatives) de cette mise en œuvre en termes de temps de travaux, d'équipement, de

modification des itinéraires culturels et donc de fonctionnement des exploitations, ne sont accessibles. C'est notamment la raison pour laquelle, comme déjà mentionné, il n'a pas été possible d'identifier des alternatives techniquement envisageables et disponibles pour la plupart des usages mineurs ou orphelins qui n'ont donc pas pu être inclus dans les cas retenus à étudier.

Ce manque de données consolidées, accessibles et mobilisables, n'est pas propre au cas du cuivre, mais s'applique à tous les cas de substitution de pesticides, voire d'autres intrants agricoles. L'augmentation rapide du besoin d'évaluations *ex ante* de scénarios possibles de substitution de nombreux intrants controversés devrait donc susciter un effort soutenu pour générer et documenter de telles bases de données, effort qui appelle des recommandations de la part du GT (cf. section 7.2).

- ***Des perspectives pour améliorer l'évaluation des impacts***

- *Des enjeux forts en matière d'innovation*

La performance agronomique et économique des scénarios de substitution dépend majoritairement de la disponibilité d'alternatives à fort effet sur le développement épidémique, comme par exemple la résistance variétale, ou potentiellement de nouvelles substances actives d'origine naturelle. Cette observation est cohérente avec le fait que, au moins dans les situations étudiées, l'essentiel des impacts économiques est dû aux variations de pertes de rendement/valeur des productions (production à haute valeur ajoutée), plus qu'aux coûts de mise en œuvre des alternatives. Dès lors, tant que les scénarios alternatifs ne seront pas au moins aussi efficaces pour le contrôle des épidémies que les scénarios actuels, des impacts négatifs (potentiellement réducteurs) pourraient être observés, et la substitution du cuivre resterait alors problématique sans un accompagnement majeur des agriculteurs.

- *Développement et mise sur le marché de leviers nouveaux*

Même s'il existe un certain nombre de produits alternatifs au cuivre sur le marché, le potentiel de développement reste assez grand. Le marché des produits de biocontrôle est assez prometteur pour proposer des solutions avec un meilleur niveau d'efficacité pour remplacer les molécules de synthèse. L'agriculture de précision et des méthodes de prophylaxie généralisée sont autant de solutions possibles qui pourraient permettre de se passer du cuivre, dans un avenir proche ou lointain, si l'efficacité de ces techniques et méthodes de lutte est avérée et que leur maîtrise soit suffisante pour en tirer les bénéfices. Ces nouveaux produits et nouvelles techniques sont autant de possibilités qui devraient être considérées dans les scénarios de substitution.

- *Poursuite des efforts sur des alternatives disponibles mais pas complètement satisfaisantes*

Les variétés résistantes ont montré un niveau de performance plutôt encourageant dans les scénarios évalués pour certaines cultures (pomme de terre par exemple) pour réduire les pertes en cas de substitution du cuivre. Toutefois, pour exploiter pleinement la résistance et surtout assurer leur durabilité, ces variétés ont généralement besoin d'un apport minimum en cuivre et/ou être associées à des variétés sensibles. Des contraintes supplémentaires s'imposent dans le cas des plantes pérennes comme la vigne ou le pommier dont le taux de

renouvellement assez lent nécessite plusieurs années pour changer de variétés. De plus, ces nouvelles variétés résistantes ne répondent pas forcément aux exigences du marché (consommateurs) ou des cahiers des charges imposées par la distribution aux agriculteurs. La prise en compte de ces contraintes liées à l'adoption des variétés est tout aussi importante dans l'évaluation de l'impact de la substitution.

- **Concernant les freins et leviers à l'adoption des alternatives**

De nombreux travaux sont encore en cours concernant les alternatives au cuivre. Elles laissent entrevoir et espérer la mise à disposition des filières, d'alternatives ou de scénarios intégrés en capacité de se substituer au cuivre. Les projets sont pluridisciplinaires car le déploiement des alternatives ne pourra se faire que si on en comprend mieux les impacts socio-économiques ainsi que les déterminants et les freins tout au long de la chaîne de valeur. Toutefois, des approches systémiques, plutôt que menées *alternative par alternative* comme c'est encore souvent le cas, seront nécessaires pour convaincre et assurer un niveau de production équivalent.

Les déséquilibres actuels dans la valorisation économique et commerciale des produits issus d'une agriculture sans cuivre nécessiteraient d'étudier les conditions d'un juste partage de la valeur au sein de l'ensemble des filières. Des travaux d'économie industrielle devraient analyser les comportements et les stratégies des entreprises dans le contexte de la transition agroécologique et de l'évolution des marchés de consommation. Des recherches sont nécessaires pour évaluer les ressorts de la création de valeur depuis le producteur jusqu'au consommateur selon les différents modes de distribution.

Des freins et leviers peuvent être identifiés en lien avec le fait de fournir des informations positives (favorables) sur les process utilisés et leurs bénéfiques, comme illustré notamment par l'exemple des variétés résistantes pour lesquelles certains cahiers des charges restent contraignants. Le type d'information diffusée aux consommateurs comme aux producteurs et la manière de la communiquer à travers des circuits directs de vente, devraient jouer un rôle important dans leur acceptabilité de ces variétés. Le collectif et le territoire - au-delà des aspects spatiaux et paysagers - seront également une composante essentielle du déploiement de ces variétés tant ils peuvent constituer des leviers prépondérants. Lequin et al. (2024) fournissent une synthèse des leviers issus des résultats des projets de l'appel Ecophyto-leviers territoriaux dans laquelle ils proposent une grille de lecture qui s'appuie sur le degré d'intégration territoriale pour qualifier les actions mises en œuvre et qui s'avère utile pour dresser le bilan des avancées conduites et mener des réflexions pour aller plus loin. Ils distinguent ainsi 5 leviers d'intégration territoriale croissante du degré 0 (chacun pour soi) au degré 4 (délégation : harmonisation entre les acteurs et une action portée par un tiers) en passant par les interactions (degré 1), la concertation (degré 2) où les agriculteurs mènent des actions collectives pour dégager des bénéfices communs et le multi-acteurs (degré 3) avec une interdépendance des acteurs du territoire pour conduire à l'action.

7.2 Recommandations du GT

Tenant compte des difficultés pour mener une évaluation complète de impacts socio-économiques de la substitution du cuivre par les combinaisons d'alternatives et sur la base des résultats de cette expertise, le GT fait les recommandations suivantes.

7.2.1 En matière de données et méthodes nécessaires pour l'évaluation des impacts socio-économiques

Pour poursuivre l'évaluation des impacts socio-économiques de la substitution du cuivre par les combinaisons d'alternatives à travers des scénarios, le GT recommande :

- **Concernant la méthodologie à adopter** : d'étendre l'approche par scénarios (considérant un panel d'alternatives qui entrent plutôt dans un processus de re-conception des systèmes ou de modèles agricoles) en incluant une palette de paramètres beaucoup plus large et multidimensionnelle pour en refléter la complexité et en associant tous les acteurs concernés. En ce sens, la méthodologie développée par le GT dans ce rapport peut déjà constituer une base solide pour construire ces différents scénarios et identifier les paramètres à évaluer. Au-delà de l'évaluation des impacts technico-économiques, il conviendrait également d'analyser les alternatives du point de vue de leur acceptabilité par les utilisateurs et plus généralement par d'autres groupes de population concernés (ce qui n'a pas été dans le mandat du GT), incluant les acteurs par exemple dans des phases de test de ces scénarios avec possiblement des alternatives non déployées sur le terrain. Ainsi, la décision impliquant des restrictions d'utilisations d'intrants chimiques (comme le cuivre) pourrait être éclairée des implications potentielles du point de vue agronomique, économique, social et environnemental ;
- **Concernant les données à mobiliser** : de collecter et mettre à disposition un certain nombre de données nécessaires pour l'évaluation des impacts socio-économiques. Les efforts à faire concernent deux types de données :
 - i. **Des données existantes mais non organisées** : les données existantes proviennent de sources variées (littérature scientifique et grise, dires d'experts, dossiers d'homologation, etc.) et ne sont pas toujours faciles d'accès. Des données existent, en particulier sur l'efficacité des alternatives, mais restent parfois confidentielles ou non publiées (par exemple données d'expérimentation) et non disponibles pour l'évaluation. La publication et la mise en réseau (dans des plateformes dédiées par exemple) des données sur différents aspects à tenir compte dans l'évaluation (ravageurs, pression, observation fine et régulière des symptômes par territoire, nombre de traitements en moyenne après épisode de contamination, structure des coûts de production, prix de vente, etc.) peut faciliter la réalisation de tels travaux ;
 - ii. **Des données non disponibles** : en l'absence de données en particulier sur des combinaisons d'alternatives dans un scénario zéro cuivre qui n'ont très rarement voire jamais été testées sur le terrain, les experts filières, de par leur connaissance des situations spécifiques de cultures, peuvent fournir des éléments d'information nécessaires pour l'évaluation. Toutefois, il convient de mobiliser des méthodes d'élicitation de dires d'experts adéquates afin que ces informations soient recueillies avec la plus grande transparence et indépendance. Dans l'idée d'une évaluation d'impact à plus long terme, tenant compte de la durabilité de la substitution, des réseaux de surveillance sont à mettre en place en particulier sur les variétés résistantes pour les cultures pérennes, mais aussi des produits de

biocontrôle, pour disposer des données suffisantes pour suivre et mieux comprendre les problèmes de contournement des résistances et évaluer l'efficacité dans la durée de ces variétés et des produits de biocontrôle innovants.

7.2.2 En matière de politiques publiques

En matière de politiques publiques, **si l'objectif est de promouvoir l'adoption d'alternatives**, le GT fait les recommandations suivantes :

- **Proposer des dispositifs permettant d'inciter et d'orienter les efforts** en matière de développement (et de son financement) sur les solutions à forte efficacité, en favorisant les acteurs du secteur qui les développent (créateurs de variétés ou d'OAD, méthodes innovantes en prophylaxie) plutôt que vers des solutions peu performantes ou trop complexes à mettre en œuvre ;
- **Accompagner** les acteurs agricoles, agriculteurs en particulier, dans la transition par des mesures fortes, adaptées aux territoires et usages, et qui puissent faire l'objet d'un suivi dans le temps :
 - Encourager et soutenir l'adoption d'alternatives présentant des bénéfices environnementaux et/ou sanitaires par rapport au cuivre et proscrire les alternatives plus (éco)toxiques ;
 - Proposer des mesures d'accompagnement pour aider les utilisateurs à faire face au coût de transition dans le cadre de l'adoption d'alternatives moins efficaces que le cuivre d'un point de vue technico-économique sur le court terme mais dont l'efficacité pourrait s'améliorer avec l'expérience des agriculteurs sur le moyen et le long terme ;
 - Diffuser la connaissance concernant les alternatives (techniques ou variétés anciennes ou nouvellement développées) et former des agriculteurs sur l'utilisation à travers des réseaux (ex : Fermes DEPHY) pour favoriser leur adoption et leur maîtrise, ce qui permettrait de réduire le coût de la transition.
- **Informers les acteurs (y compris les consommateurs)** sur les bénéfices et les implications organisationnelles, agronomiques, sanitaires et environnementales de restrictions de l'utilisation du cuivre afin de faire évoluer leurs consentements à payer pour les produits agricoles qui pourraient être plus onéreux en cas de substitution du cuivre (du fait de la répercussion des surcoûts de protection des cultures sur le prix final) ;
- Développer des moyens de partage du risque de pertes liées à l'adoption des alternatives afin de pallier l'effet assurantiel des traitements au cuivre. Cela peut passer notamment par des systèmes d'assurance récolte, la mutualisation, des contrats pluriannuels entre producteurs et acheteurs, etc ;
- Faire évoluer les accords interprofessionnels, les signes de qualité et les cahiers des charges adressés aux agriculteurs afin de développer des éventuelles marges de

manœuvre pour favoriser l'acceptation des productions (issues des variétés résistantes en particulier) qui ne respecteraient pas les normes actuelles en matière de qualité et de niveau de rendement fixés ;

- Prévoir des mécanismes pour anticiper et contrôler les effets de distorsion de concurrence susceptibles d'impacter les filières françaises les plus vulnérables (de l'agriculture biologique en particulier) en raison des différences relatives aux restrictions d'utilisation du cuivre selon les pays partenaires commerciaux.

7.2.3 En matière de recherche

Ce travail a mis en évidence la nécessité de développer et de poursuivre des recherches sur un ensemble de points en lien avec le développement des alternatives et l'évaluation de leur performance. En ce sens, le GT fait les recommandations suivantes :

- Développer des modèles de prévision des risques pour permettre de mieux gérer les traitements avec des produits à base de substances moins efficaces que le cuivre contre les bioagresseurs ;
- Maintenir l'effort de soutien des travaux de recherche en matière d'alternatives, allant de la substitution jusqu'à la re-conception des systèmes (diversification des systèmes culturaux, rotation de cultures, développement de variétés résistantes aux ravageurs et maladies, etc.), sur un ensemble élargi de cultures y compris des cultures mineures avec des usages orphelins et tenant compte des situations où la pression sanitaire est très forte ou permanente (par exemple dans certains territoires d'Outre-mer) ;
- Développer des analyses de cycle de vie et de soutenabilité environnementale, économique et sociale des alternatives et des systèmes alternatifs de protection, au regard de celles concernant le cuivre lui-même ;
- Développer des travaux de modélisation prédictive, intégrant des scénarios climatiques pour analyser les effets potentiels de la substitution de pesticides tels que le cuivre sur la qualité de l'environnement et la productivité des sols à long terme ;
- Développer la recherche sur des approches systémiques de maîtrise des bioagresseurs et de l'évaluation des impacts socio-économiques, environnementaux et sanitaires associés aux choix des alternatives ;
- Développer la recherche sur les leviers territoriaux en considérant le territoire comme un « construit social » porteur d'organisations collectives capables de promouvoir des changements de pratiques ;
- Pérenniser les projets de recherche structurants, pluridisciplinaires et offrant une comparaison pertinente entre zones agroclimatiques en Europe.

8 Bibliographie

8.1 Publications

- Andersen, Martin Marchman, Xavier Landes, Wen Xiang, Artem Anyshchenko, Janus Falhof, Jeppe Thulin Østerberg, Lene Irene Olsen, Anna Kristina Edenbrandt, Suzanne Elizabeth Vedel et Bo Jellesmark Thorsen. 2015. "Feasibility of new breeding techniques for organic farming." *Trends in Plant science* 20 (7): 426-434.
- Andrивon, Didier. 2009. "Plantes, parasites et pathologistes : de la compréhension des interactions à la gestion durable des résistances." *Cahiers Agricultures* 18 (6): 486-492 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2009.0338>.
- Andrивon, D., R. Corbière et R. Mabon. 2016. "Projet IPMBlight 2.0 : L'épidémiologie-surveillance pour une meilleure aide à la décision." *Potato Planet* 50: 76-79.
- Andrивon, D, J-M Lucas et D Ellisseche. 2003. "Development of natural late blight epidemics in pure and mixed plots of potato cultivars with different levels of partial resistance." *Plant Pathology* 52 (5): 586-594.
- Andrивon, D., R. Mabon, R. Corbière et C. Chatot. 2017. "Epidémiologie-surveillance : Enjeux actuels et acquis récents." *La pomme de terre française/ Hors-série*, avril 2017, 4-6.
- Andrивon D., Bardin M., Bertrand C., Brun L., Daire X., Decognet V., Fabre F., Gary C., Grenier A.S., Montarry J., Nicot P., Reignault P. et Tamm L. 2018. *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques?* INRAE, 185 p.
- Anses. 2018. *Demande d'avis relatif à « l'évaluation mettant en balance les risques et les bénéfices relatifs à d'autres produits phytopharmaceutiques autorisés ou des méthodes non chimiques de prévention ou de lutte pour les usages autorisés en France des produits phytopharmaceutiques comportant des néonicotinoïdes et des éventuels risques associés ».* (Saisine « 2016-SA-0057 – Alternatives aux néonicotinoïdes »). Avril 2018. 528 p.
- Anses. 2022. *Cartographie des utilisations des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre en France en considérant leur application en agriculture biologique et conventionnelle.* (saisine 2021-AUTO-0060). . (Maisons-Alfort), 133 p.
- Anses. 2023. *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux et des enjeux socio-économiques associés aux plantes obtenues au moyen de certaines nouvelles techniques génomiques.* (saisine 2021-SA-0019). Maisons-Alfort : Anses, 34.
- Authority, European Food Safety. 2014. "Guidance on Expert Knowledge Elicitation in Food and Feed Safety Risk Assessment." *EFSA Journal* 12 (6): 3734. <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3734>.
- Ballabio, Cristiano, Panos Panagos, Emanuele Lugato, Jen-How Huang, Alberto Orgiazzi, Arwyn Jones, Oihane Fernández-Ugalde, Pasquale Borrelli et Luca Montanarella. 2018. "Copper distribution in European topsoils: An assessment based on LUCAS soil survey." *Science of The Total Environment* 636: 282-298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.268>.
- Bangemann, Lars-Wilhelm, Andreas Westphal, Peter Zwerger, Klaus Sieling et Henning Kage. 2014. "Copper reducing strategies for late blight (*Phytophthora infestans*) control in organic potato (*Solanum tuberosum*) production." *Journal of Plant Diseases and Protection* 121: 105-116.
- Bosco, Leosane Cristina, Arno Bernardo Heldwein, Dionéia Daiane Pitol Lucas, Gustavo Trentin, Edenir Grimm et Luis Henrique Loose. 2009. "Forecasting system of late blight occurrence in susceptible and resistant potato clones/Sistema de previsão de ocorrência de requeima em clones de batata suscetíveis e resistentes." *Ciência Rural* 39 (4): 1024-1032.

- Bowen, Joanna K, Carl H Mesarich, Vincent GM Bus, Robert M Beresford, Kim M Plummer et Matthew D Templeton. 2011. "Venturia inaequalis: the causal agent of apple scab." *Molecular plant pathology* 12 (2): 105-122.
- Carpentier, A., A. Fadhuile, M. Roignant, M. Blanck, X. Reboud, F. Jacquet et C. Huyghe. 2020. *Alternatives au glyphosate en grandes cultures*.
- CGAAER. Février 2021 2021. *Valoriser le dispositif de gestion des usages orphelins*. CUO, MASA.
- Clin, Pauline, Frédéric Grognard, Didier Andrivon, Ludovic Mailleret et Frédéric M Hamelin. 2022. "Host mixtures for plant disease control: Benefits from pathogen selection and immune priming." *Evolutionary Applications* 15 (6): 967-975.
- Clin, Pauline, Frédéric Grognard, Ludovic Mailleret, Florence Val, Didier Andrivon et Frédéric M Hamelin. 2021. "Taking advantage of pathogen diversity and immune priming to minimize disease prevalence in host mixtures: a model." *Phytopathology*® 111 (7): 1219-1227.
- Conti, Costanza, Giacomo Zanella et Andy Hall. 2021. "Why are agri-food systems resistant to new directions of change? A systematic review." *Global Food Security* 31: 100576.
- Cova, Valentina, Pauline Lasserre-Zuber, Stefano Piazza, Alessandro Cestaro, Riccardo Velasco, Charles Eric Durel et Mickael Malnoy. 2015. "High-resolution genetic and physical map of the Rvi1 (Vg) apple scab resistance locus." *Molecular breeding* 35: 1-13.
- Deliere, Laurent, Christophe Schneider, Laurent Audeguin, Loïc Le Cunff, Rémy Cailliatte, Emilce Prado, Christine Onimus, Isabelle Demeaux, Soizic Guimier et Frédéric Fabre. 2017. "Cépages résistants : La vigne contre-attaque." *Phytoma* 708: 4.
- Durel, Charles Eric, Francois Laurens, Valérie Caffier, Bruno Le Cam et Natalia Sapoukhina. 2007. "Les apports de l'innovation variétale : Recherches menées pour améliorer la résistance du pommier à la tavelure." *Innovations Agronomiques* 1: 47-61.
- Dutartre S., Guériaux D., Larguier M. et Pinçonnet D. 2021. *Valoriser le dispositif de gestion des usages orphelins*. Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER).
- EEA. 2001. *Scenarios as tools for international environmental assessments*. (EC).
- EFSA. 2009. "Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance folpet." *EFSA Journal* 7 (8): 297r.
- EFSA. 2018. "Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance copper compounds copper(I), copper(II) variants namely copper hydroxide, copper oxychloride, tribasic copper sulfate, copper(I) oxide, Bordeaux mixture." *EFSA Journal* 16 (1): e05152.
- EFSA. 2023. "Re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources." *EFSA Journal* 21 (1): e07728.
- Espinoza, Alejandro Fuentes, Anne Hubert, Yann Raineau, Céline Franc et Éric Giraud-Héraud. 2018. "Resistant grape varieties and market acceptance: an evaluation based on experimental economics." *OENO one* 52 (3): 247-263.
- Etienne, Lucas, Adrien Rusch, Claire Lavigne, Esther Fouillet, Laurent Delière et Pierre Franck. 2023. "Less field-level insecticides, but not fungicides, in small perennial crop fields and landscapes with woodlands and organic farming." *Agricultural Systems* 204: 103553.
- Fabre, F. et A. Alonso-Ugaglia. 2024. " Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques." Carrefour de l'Innovation Agronomique – Ecophyto Recherche & Innovation 20 juin 2024
- Fan, Xiao-jing, Tahira Saleem et Hua-song Zou. 2022. "Copper resistance mechanisms in plant pathogenic bacteria."
- Fillol C, Oleko A, Gane J, Saoudi A et Zeghnoun A. 2021. *Imprégnation de la population française par le cuivre. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016*. (Saint-Maurice : Santé publique France), 31.
- Fillol C, Oleko A, Gane J, Saoudi A, Zeghnoun A. 2021. *Imprégnation de la population française par le cuivre. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016*. (Saint-Maurice : Santé publique France), 31.

- Finger, Robert, Lucca Zachmann et Chloe McCallum. 2023. "Short supply chains and the adoption of fungus-resistant grapevine varieties." *Applied Economic Perspectives and Policy* 45 (3): 1753-1775.
- Flor, Harold H. 1971. "Current status of the gene-for-gene concept." *Annual review of phytopathology* 9 (1): 275-296.
- Forbes, G. A. 2012. "Using Host Resistance to Manage Potato Late Blight with Particular Reference to Developing Countries." *Potato Research* 55 (3): 205-216.
- Fouillet, Esther, Laurent Delière, Nicolas Chartier, Nicolas Munier-Jolain, Sébastien Cortel, Bruno Rapidel et Anne Merot. 2022. "Reducing pesticide use in vineyards. Evidence from the analysis of the French DEPHY network." *European Journal of Agronomy* 136: 126503.
- Fuller, Kate Binzen, Julian M Alston et Olena S Sambucci. 2014. "The value of powdery mildew resistance in grapes: evidence from California." *Wine economics and policy* 3 (2): 90-107.
- Furmanczyk, Ewa M., Claude-Eric Parveaud, Maxime Jacquot, François Warlop, Jutta Kienzle, Markus Kelderer, Alfredo Mora Vargas, Michael Friedli, Clémence Boutry, Małgorzata Tartanus, Gerjan Brouwer et Eligio Malusà. 2022. "An Overview of Pest and Disease Occurrence in Organic Pome Fruit Orchards in Europe and on the Implementation of Practices for Their Control." *Agriculture* 12 (12): 2136.
- Gaucher, Matthieu, Christelle Heintz, Raphaël Cournol, Anthony Juillard, Cécile Bellevaux, Sébastien Cavaignac, Claude Coureau, Michel Giraud, Jean Le Maguet, Myriam Bérud, Emile Koké, Xavier Crété, Arnaud Lemarquand, Gilles Orain et Marie-Noëlle Brisset. 2022. "The Use of Potassium Phosphonate (KHP) for the Control of Major Apple Pests." *Plant Disease* 106 (12): 3166-3177.
- Gessler, Cesare et Ilaria Pertot. 2012. "Vf scab resistance of Malus." *Trees* 26 (1): 95-108.
- Giosuè, Simona, Francesco Nicola Tubiello, Andrea Rettori, Vittorio Rossi, Federico Spanna, Cynthia Rosenzweig et Maria Lodovica Gullino. 2006. "Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change." *Global Change Biology* 12 (7): 1299-1307.
- Glare, Travis, John Caradus, Wendy Gelernter, Trevor Jackson, Nemat Keyhani, Jürgen Köhl, Pamela Marrone, Louise Morin et Alison Stewart. 2012. "Have biopesticides come of age?" *Trends in biotechnology* 30 (5): 250-258.
- Grünwald, Niklaus J, Gaspar Romero Montes, H Lozoya Saldaña, OA Rubio Covarrubias et William E Fry. 2002. "Potato late blight management in the Toluca Valley: Field validation of SimCast modified for cultivars with high field resistance." *Plant Disease* 86 (10): 1163-1168.
- Guibert, Nicolas, Maïder Saint Jean, Claire Prigent-Combaret, Jean-Marc Deogratias, Cécile Cabasson et Pierre Pétriacq. 2022. "Biological Controls in Horticulture." Dans *Biocontrol of Plant Disease*, 19-45.
- Guichard, Laurence, François Dedieu, Marie-Hélène Jeuffroy, Jean-Marc Meynard, Raymond Reau et Isabelle Savini. 2017. "Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer." *Cah. Agric.* 26 (1) : 14002.
- Guimier, S., F. Delmotte, A. S. Miclot, F. Fabre, I. Mazet, C. Couture, C. Schneider et L. Delière. 2019. "OSCAR, a national observatory to support the durable deployment of disease-resistant grapevine cultivars."
- Hannachi, Mourad. 2021. "Des gènes de résistance aux acteurs humains : la dimension socioéconomique de l'immunité végétale." Dans *L'immunité des plantes. Pour des cultures résistantes aux maladies*, édité par Lannou Christian, Roby Dominique, Ravigné Virginie, Hannachi Mourad et Moury Benoît, In Savoir faire : QUAE.
- Hannachi, Mourad et Vincent Martinet. 2019. "Vers une co-conception de paysages pour la santé des plantes et avec des acteurs du territoire." Dans *Paysage, biodiversité fonctionnelle et santé des cultures*, édité par Petit Sandrine et Lavigne Claire.
- Hill, Stuart. 1985. "Redesigning the food system for sustainability." *Alternatives* 12: 32-36.
- Hochereau, François. 2021. "La résistance variétale, un objet frontière à construire." Dans *L'immunité des plantes - Pour des cultures résistantes aux maladies*, édité par Lannou

- Christian, Roby Dominique, Ravigné Virginie, Hannachi Mourad et Moury Benoît, 247-258. Versailles : QUAE.
- Holb, I. J., F. Abonyi, J. Buurma et B. Heijne. 2017. "On-farm and on-station evaluations of three orchard management approaches against apple scab and apple powdery mildew." *Crop Protection* 97: 109-118.
- IFV. 2020. *Le Coût des fournitures en viticulture et en oenologie 2020* édité par Institut Français de la Vigne.
- Imfeld, Gwenaël, Joëlle Duplay et Sylvain Payraudeau. 2021. "Comment on 'Ecotoxicity of copper input and accumulation for soil biodiversity in vineyards' by Karimi et al.(2021)." *Environmental Chemistry Letters* 19 (5): 3525-3527.
- INERIS. 2019. *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : cuivre, composés*. DRC-20-200845-00549A, 91.
- Jacquet, Florence, Marie-Hélène Jeuffroy, Julia Jouan, Edith Le Cadre, Isabelle Litrico, Thibaut Malausa, Xavier Reboud et Christian Huyghe. 2022. "Pesticide-free agriculture as a new paradigm for research." *Agronomy for Sustainable Development* 42 (1): 8.
- Jermi, Mauro, Philippe Blaise et Cesare Gessler. 2010. "Influence of *Plasmopara viticola* on gas exchange parameters on field-grown *Vitis vinifera* "Merlot"." *Vitis* 49 (2): 87-93.
- Karimi, Battle, Pierre-Alain Maron et Lionel Ranjard. 2021. "Reply to the comment by Imfeld et al. on 'Ecotoxicity of copper input and accumulation for soil biodiversity in vineyards' by Karimi et al. (2021)." *Environmental Chemistry Letters* 19 (5): 3529-3530.
- Karimi, B, V Masson, C Guillaud, E Leroy, S Pellegrinelli, E Giboulot, PA Maron et L Ranjard. 2021. "La biodiversité des sols est-elle impactée par l'apport de cuivre ou son accumulation dans les sols vignes." *Synthèse des connaissances scientifiques. Etude et Gestion des Sols* 28 (1): 71-92.
- Katsoulas, N., A. K. Løes, D. Andrivon, G. Cirvilleri, M. de Cara, A. Kir, L. Knebl, K. Malińska, F. W. Oudshoorn, H. Willer et U. Schmutz. 2020. "Current use of copper, mineral oils and sulphur for plant protection in organic horticultural crops across 10 European countries." *Organic Agriculture* 10 (1): 159-171.
- Khan, Awais et Schuyler S. Korban. 2022. "Breeding and genetics of disease resistance in temperate fruit trees: challenges and new opportunities." *Theoretical and Applied Genetics* 135 (11): 3961-3985.
- Köhl, Jürgen, Christian Scheer, Imre J Holb, Sylwester Masny et Wilma Molhoek. 2015. "Toward an integrated use of biological control by *Cladosporium cladosporioides* H39 in apple scab (*Venturia inaequalis*) management." *Plant Disease* 99 (4): 535-543.
- Lammerts van Bueren, E. T., M. Tiemens-Hulscher et P. C. Struik. 2008. "Cisgenesis Does Not Solve the Late Blight Problem of Organic Potato Production: Alternative Breeding Strategies." *Potato Research* 51 (1): 89-99.
- Leduc Gaëlle, Latruffe Laure et Alonso Ugaglia Adeline. 2024. "Resistant grapevine varieties: a bubbling investment in Champagne." Conférence European Association of Wine Economics (EuAWE), Lecce, Italy, 10-14 Juin 2024.
- Lequin, S., C. Bottou, M. Godon et X. Reboud. 2024. "Typologie de leviers mis en place à l'échelle territoriale pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires." Leviers territoriaux pour réduire l'utilisation et les risques liés aux produits phytopharmaceutiques Paris, France, 20 juin 2024.
- Luo, Feixiong, Kate Evans, John L. Norelli, Zhiwu Zhang et Cameron Peace. 2020. "Prospects for achieving durable disease resistance with elite fruit quality in apple breeding." *Tree Genetics & Genomes* 16 (1): 21.
- Menil, Antoine, Jean-Eric Chauvin, Rolland Pellé, Marie Bousseau, Denis Gaucher, Guillaume Beauvallet, Claude C Maumené, Didier Andrivon, Claudine Pasco et Florence Val. 2019. "Lutte contre le mildiou: allier le biocontrôle à d'autres méthodes." *Phytoma* 721: 21-25.
- Miclot, Anne-Sophie, François Delmotte, Julie Bourg, ID Mazet, Frédéric Fabre et Laurent Delière. 2022. "Four years of monitoring of disease-resistant grapevine varieties in French vineyards." BIO Web of Conferences.
- Nuijten, Edwin, Jan de Wit, Leen Janmaat, Annegret Schmitt, Lucius Tamm et Edith T. Lammerts van Bueren. 2018. "Understanding obstacles and opportunities for

- successful market introduction of crop varieties with resistance against major diseases." *Organic Agriculture* 8 (4): 285-299.
- Olkowski, W, S Daar et H Olkowski. 1991. *Common-sense pest control*. Newtown, Connecticut Taunton Press.
- Pacilly, Francine C. A., Jeroen C. J. Groot, Gert Jan Hofstede, Ben F. Schaap et Edith T. Lammerts van Bueren. 2016. "Analysing potato late blight control as a social-ecological system using fuzzy cognitive mapping." *Agronomy for Sustainable Development* 36 (2): 35.
- Pacilly, Francine C. A., Gert Jan Hofstede, Edith T. Lammerts van Bueren et Jeroen C. J. Groot. 2019. "Analysing social-ecological interactions in disease control: An agent-based model on farmers' decision making and potato late blight dynamics." *Environmental Modelling & Software* 119: 354-373.
- Pacilly, Francine C. A., Gert Jan Hofstede, Edith T. Lammerts van Bueren, Geert J. T. Kessel et Jeroen C. J. Groot. 2018. "Simulating crop-disease interactions in agricultural landscapes to analyse the effectiveness of host resistance in disease control: The case of potato late blight." *Ecological Modelling* 378: 1-12.
- Padel, Susanne. 2001. "Conversion to Organic Farming: A Typical Example of the Diffusion of an Innovation?" *Sociologia Ruralis* 41 (1): 40-61.
- Paineau, Manon, Isabelle D. Mazet, Sabine Wiedemann-Merdinoglu, Frédéric Fabre et François Delmotte. 2022. "The Characterization of Pathotypes in Grapevine Downy Mildew Provides Insights into the Breakdown of Rpv3, Rpv10, and Rpv12 Factors in Grapevines." *Phytopathology*® 112 (11): 2329-2340.
- Parisi, Luciana, Christophe Gros, Freddy Combe, Claude-Eric Parveaud, Christelle Gomez et Laurent Brun. 2013. "Impact of a cultivar mixture on scab, powdery mildew and rosy aphid in an organic apple orchard." *Crop Protection* 43: 207-212.
- Patocchi, Andrea, Andreas Wehrli, Pierre-Henri Dubuis, Annemarie Auwerkerken, Carmen Leida, Guido Cipriani, Tom Passey, Martina Staples, Frédérique Didelot, Vincent Phillon, Andreas Peil, Hannes Laszakovits, Thomas Rühmer, Klemens Boeck, Danas Baniulis, Klaus Strasser, Radek Vávra, Walter Guerra, Sylwester Masny, Franz Ruess, Fanny Le Berre, Hilde Nybom, Stefano Tartarini, Andreas Spornberger, Anna Pikunova et Vincent G. M. Bus. 2020. "Ten Years of VINQUEST: First Insight for Breeding New Apple Cultivars With Durable Apple Scab Resistance." *Plant Disease* 104 (8): 2074-2081.
- Pauline Blonde, François Hochereau, Jean-Marc Barbier et Jean-Marc Touzard. Avril 2016 2016. *Vignes résistantes à l'oïdium et au mildiou : promesses et controverses en Languedoc-Roussillon*.
- Peressotti, Elisa, Sabine Wiedemann-Merdinoglu, François Delmotte, Diana Bellin, Gabriele Di Gaspero, Raffaele Testolin, Didier Merdinoglu et Pere Mestre. 2010. "Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety." *BMC Plant Biology* 10 (1): 147.
- Pilet, F., G. Chacón, G. A. Forbes et D. Andrivon. 2006. "Protection of Susceptible Potato Cultivars Against Late Blight in Mixtures Increases with Decreasing Disease Pressure." *Phytopathology*® 96 (7): 777-783.
- Pilet, F., R. Pellé, D. Ellissèche et D. Andrivon. 2005. "Efficacy of the R2 resistance gene as a component for the durable management of potato late blight in France." *Plant Pathology* 54 (6): 723-732.
- Poitou, Xavier, Pascaline Redon, Alexandre Pons, Emilie Bruez, Laurent Delière, Axel Marchal, Céline Cholet, Laurence Geny-Denis et Philippe Darriet. 2021. "Methyl salicylate, a grape and wine chemical marker and sensory contributor in wines elaborated from grapes affected or not by cryptogamic diseases." *Food Chemistry* 360: 130120.
- Ritchie F., Bain R., Lees A., Boor T. et Paveley N. 2017. *Predicting the combined efficacy of host resistance and fungicides*. PAGV Special Report 139-146.
- Sambucci, Olena, Julian M. Alston, Kate B. Fuller et Jayson Lusk. 2019. "The Pecuniary and Nonpecuniary Costs of Powdery Mildew and the Potential Value of Resistant Grape Varieties in California." *American Journal of Enology and Viticulture* 70 (2): 177.

- Schirmer, Raphaël. 2004. "Une nouvelle planète des vins." Festival de Saint-Dié 2004, 15ème Festival International de Géographie, Nourrir les hommes, nourrir le monde. Les géographes se mettent à table, Saint-Dié-des-Vosges, France, 2004-09-30.
- Simon, Sylvaine, Aude Alaphilippe et Solène Borne. 2022. "Focus sur le projet « Z », un espace de production de fruits renforçant les régulations biologiques dans un objectif zéro phyto." *Sciences Eaux & Territoires* (40).
- Skelsey, Peter, Walter A. H. Rossing, Geert J. T. Kessel et Wopke van der Werf. 2010. "Invasion of *Phytophthora infestans* at the Landscape Level: How Do Spatial Scale and Weather Modulate the Consequences of Spatial Heterogeneity in Host Resistance?" *Phytopathology*® 100 (11): 1146-1161.
- Slysarenko, O. 2012. "Natural siliconcontaining bio nanomaterial as an alternative to copper containing plant protection products during introduction." Conservation of plant diversity.
- Smith, J, Robbie Girling, MS Wolfe et B Pearce. 2014. "Agroforestry: Integrating apple and arable production as an approach to reducing copper use in organic and low-input apple production."
- Stewart, Katherine, Thomas Passey, Carol Verheecke-Vaessen, Zoltan Kevei et Xiangming Xu. 2023. "Is it feasible to use mixed orchards to manage apple scab?" *Fruit Research* 3 (1).
- Švara, Anže, Nico De Storme, Sebastien Carpentier, Wannas Keulemans et Barbara De Coninck. 2024. "Phenotyping, genetics, and "-omics" approaches to unravel and introgress enhanced resistance against apple scab (*Venturia inaequalis*) in apple cultivars (*Malus × domestica*)." *Horticulture Research* 11 (2): uhae002.
- Tamm, Lucius, Barbara Thuerig, Stoilko Apostolov, Hugh Blogg, Esmeralda Borgo, Paola Elisa Corneo, Susanne Fittje, Michelangelo de Palma, Adam Donko, Catherine Experton, Évelyne Alcázar Marín, Ángela Morell Pérez, Ilaria Pertot, Anton Rasmussen, Håvard Steinshamn, Airi Vetemaa, Helga Willer et Joëlle Herforth-Rahmé. 2022. "Use of Copper-Based Fungicides in Organic Agriculture in Twelve European Countries." *Agronomy* 12 (3): 673.
- Uddin, Azhar, R Karina Gallardo, Bradley Rickard, Julian Alston et Olena Sambucci. 2022. "Consumer acceptance of new plant-breeding technologies: An application to the use of gene editing in fresh table grapes." *PLoS One* 17 (12): e0270792.
- Uddin, Azhar, R Karina Gallardo, Bradley Rickard, Julian Alston et Olena Sambucci. 2023. "Consumers' willingness to accept gene-edited fruit—An application to quality traits for fresh table grapes." *Q Open* 3 (1).
- Ugaglia, Adeline. 2009. "Pratiques de comptabilité analytique en viticulture : des coûts de production au coût des pratiques environnementales." *La Revue du Financier* (176): Mars/Avril.
- Van Zwieten, Melissa, Gordon Stovold et Lukas Van Zwieten. 2007. "Alternatives to copper for disease control in the Australian organic industry." *A report for the Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC Publication 7*: 110.
- Vanloqueren, Gaëtan et Philippe V. Baret. 2008. "Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study." *Ecological Economics* 66 (2): 436-446.
- Wastie, R.L. . 1991. *Breeding for resistance. In Phytophthora infestans, the cause of late blight of potato*. DS Ingram & PH Williams ed. Vol. 7. *Advances in Plant Pathology*.
- Zito, S., A. Caffarra, Y. Richard, T. Castel et B. Bois. 2018. "Climate change and vine protection : the case of mildews management in Burgundy." *E3S Web Conf.* 50: 01006.

8.2 Normes

AFNOR. 2003. NF X 50-110 *Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise*. AFNOR (indice de classement X 50-110).

ISO (International Organization for Standardization). 1997. *Information and Documentation - Rules for the Abbreviation of Title Words and Titles of Publications*. ISO 4:1997. Paris: ISO.

8.3 Législation et réglementation

Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, secrétariat d'Etat en charge du budget et le secrétariat d'Etat en charge du commerce, de l'artisanat, de la consommation et de l'économie sociale et solidaire. Arrêté du 30 janvier 2015 abrogeant l'arrêté du 20 mars 2003 relatif aux conditions sanitaires régissant l'emploi, la commercialisation, les échanges, les importations et les exportations de certains produits d'origine animale destinés à l'alimentation et à la fabrication d'aliments des animaux d'élevage ou à d'autres usages et l'arrêté du 4 août 2005 relatif aux conditions sanitaires régissant les échanges intracommunautaires, les importations et les exportations de certains produits contenant ou préparés à partir de matières animales destinés à l'alimentation et à la fabrication d'aliments des animaux familiers. Journal officiel, n°0035, page 2596, texte n° 31, du 11 février 2015.

ANNEXES

Annexe 1 : Auto-saisine



Décision N° 2022-028

AUTOSAISINE

Le directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses),

Vu le code de la santé publique, et notamment son article L. 1313-3 conférant à l'Anses la prérogative de se saisir de toute question en vue de l'accomplissement de ses missions,

Décide :

Article 1^{er} : L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail se saisit afin de réaliser une expertise dont les caractéristiques sont listées ci-dessous.

1.1 Thématiques et objectifs de l'expertise

Faisant suite à la réalisation d'une cartographie de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques contenant du cuivre en agriculture biologique et conventionnelle en 2021, l'Anses se saisit afin d'analyser les impacts socio-économiques des évolutions de l'encadrement réglementaire de l'utilisation de ces produits. Il s'agit, d'une part, d'identifier les alternatives chimiques et non chimiques au cuivre permettant à terme une substitution partielle ou totale à travers des scénarios de réduction de l'utilisation de cette substance (incluant des changements de pratiques agricoles, des modifications des itinéraires techniques et une reconception des systèmes de cultures) et, d'autre part, d'évaluer les impacts socio-économiques associés à différents scénarios pour les filières concernées.

1.2 Contexte de l'autosaisine

Le cuivre étant une substance active candidate à la substitution, les conditions de son utilisation pour les traitements phytosanitaires ont vocation à évoluer dans les prochaines années. En fonction de son ampleur, une telle évolution de la réglementation et, plus généralement, des conditions d'usage des produits cupriques aura un impact sur les filières agricoles utilisatrices de cette substance qu'il est utile d'apprécier. Les conséquences d'une limitation accrue ou d'une interdiction de ces produits dépendront, d'une part, du niveau d'utilisation de cette substance dans la filière concernée et, d'autre part, de la disponibilité et de la faisabilité de l'adoption d'alternatives en agriculture conventionnelle et biologique pour lutter contre les bioagresseurs contre lesquels le cuivre est utilisé.

La cartographie de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques contenant du cuivre en agriculture biologique et conventionnelle, réalisée en 2021 par l'Anses, a mis en évidence des disparités en termes de recours aux traitements par le cuivre entre les différentes filières concernées et entre les régions françaises. Le niveau de dépendance des filières agricoles au cuivre (tenant compte du niveau d'utilisation des produits cupriques et de la disponibilité d'alternatives) varie également selon le type d'agriculture et de la zone de production. Même si l'attention est généralement portée sur l'agriculture biologique pour laquelle

il semble exister peu d'alternatives au cuivre à ce jour, une proportion significative de la quantité totale de cette substance active est utilisée en agriculture conventionnelle où le cuivre est parfois considéré lui-même comme une alternative à d'autres substances classées CMR. Les stratégies de réduction de l'utilisation du cuivre nécessitent donc une bonne connaissance de l'hétérogénéité de ses utilisations dans les différents types d'agriculture et cultures.

La cartographie des utilisations du cuivre en agriculture biologique et conventionnelle réalisée en 2021 a également permis de dresser un état des lieux de l'utilisation des alternatives chimiques et non chimiques au cuivre. Des principales conclusions, il en ressort que :

- l'obstacle principal à la réduction de l'utilisation du cuivre en agriculture apparaît comme étant la faible disponibilité actuelle d'alternatives au cuivre apportant un niveau de protection comparable, en dehors des produits de synthèse autorisés en agriculture conventionnelle ;
- l'utilisation de certaines alternatives au cuivre permettrait de diminuer les quantités de cuivre apportées pour les traitements phytosanitaires. Cependant, leur efficacité limitée diminue la portée d'une substitution complète du cuivre à l'heure actuelle ;
- l'adoption d'alternatives chimiques et/ou non chimiques repose sur la combinaison de différentes méthodes dans une logique de changements de pratiques agricoles, de modifications des itinéraires techniques et de reconception des systèmes de cultures. Ces changements et l'adoption de systèmes de cultures plus économes en intrants nécessitent un accompagnement des agriculteurs du point de vue technique, et plus généralement dans l'apprentissage vers la transition.

Selon les alternatives examinées, les spécificités, les contraintes et la temporalité propres à chacune diffèrent. De manière générale, la transition vers des modes de production agricole plus économes en intrants chimiques implique un certain nombre de changements de pratiques et d'adaptations qu'il convient d'analyser pour appréhender d'une part, la nature et l'ampleur des conséquences de tels changements (leurs impacts) et, d'autre part, la capacité de résilience des acteurs et des filières. A ce titre, l'adoption d'alternatives au cuivre peut entraîner des contraintes liées aux coûts de mise en œuvre et aux demandes des acteurs des filières ou des consommateurs qui sont d'intérêt à documenter. Ces alternatives peuvent être, par exemple, plus coûteuses, plus contraignantes à utiliser ou nécessitent des investissements sur l'exploitation. Par conséquent, leur adoption par les agriculteurs dans le but de réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre ou même de les supprimer totalement, pourrait avoir des impacts socio-économiques de divers ordres sur les secteurs agricoles concernés que l'Anses se propose de documenter et d'évaluer, faisant suite au travail de cartographie réalisée en 2021. Ce travail prendra en compte l'évaluation comparative sur le cuivre réalisée par l'Anses.

1.3 Questions sur lesquelles portent les travaux d'expertise à mener

L'objectif de l'autosaisine est de réaliser une analyse des impacts socio-économiques d'une éventuelle limitation ou d'une interdiction de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques contenant du cuivre en agriculture biologique et conventionnelle. En ce sens, l'autosaisine cherchera à répondre aux questions suivantes :

- Tracer les scénarios d'étude de la limitation de l'utilisation du cuivre à construire pour les principaux usages concernés, par culture et par mode de production (biologique et conventionnel) tenant compte de la possibilité d'adoption d'alternatives chimiques et non chimiques spécifiques à chaque filière ;
- Documenter et évaluer les impacts socio-économiques sur les filières agricoles concernées des différents scénarios de transition construits ;



- Documenter et analyser les freins et leviers de l'adoption d'alternatives et les changements de pratiques agricoles.

1.4 Durée prévisionnelle de l'expertise

La durée prévisionnelle de l'expertise, intégrant l'étape de définition du cadrage et la mise en place des modalités de réalisation de l'expertise, est évaluée à 18 mois. Le rapport d'expertise est donc attendu pour l'automne 2023.

Article 2.- Un avis sera émis et publié par l'Agence à l'issue des travaux.

Fait à Maisons-Alfort, le

4 mars 2022

Dr Roger GENET
Directeur général

Annexe 2 : Nombre de produits phytopharmaceutiques à base de cuivre par usage professionnel autorisés au 28 avril 2023 (date de l'extraction des données sur le site E-phy)

Usages autorisés	Nombre de produits à usages professionnels	Nombre de produits utilisables en AB
Agrumes*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	3	3
Agrumes*Trt Part.Aer.*Chancre du collet	2	2
Agrumes*Trt Part.Aer.*Maladies des feuilles et fruits	5	5
Amandier*Trt Part.Aer.*Chancres à champignons	2	2
Amandier*Trt Part.Aer.*Cloque(s)	1	1
Amandier*Trt Part.Aer.*Coryneum	1	1
Amandier*Trt Part.Aer.*Tavelure(s) et polystigma	1	1
Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Anthracnose(s)	2	2
Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Brunissures et tavelures	2	2
Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Chancres à champignons	1	1
Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Maladies des taches foliaires	3	3
Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Maladies diverses (1)	3	3
Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	3	3
Artichaut*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	5	5
Artichaut*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	3	3
Blé*Trt Sem.*Champignons (autres que pythiacées)	1	1
Carotte*Trt Part.Aer.*Champignons (pythiacées)	3	3
Cassissier*Trt Part.Aer.*Maladies du feuillage	1	1
Céleris*Trt Part.Aer.*Bactériose(s) (1)	5	5
Cerisier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	15	15
Cerisier*Trt Part.Aer.*Coryneum et polystigma	8	8
Cerisier*Trt Part.Aer.*Taphrina	4	4
Chataignier*Trt Part.Aer.*Septoriose(s)	5	5
Chicorées - Production de chicons*Trt Sem. Plants*Bactériose(s)	3	3
Chicorées - Production de racines*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	3	3
Choux*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	7	7
Choux*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	3	3

Usages autorisés	Nombre de produits à usages professionnels	Nombre de produits utilisables en AB
Cucurbitacées à peau comestible*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	9	8
Cucurbitacées à peau non comestible*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	7	7
Cucurbitacées à peau non comestible*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	7	6
Cultures florales et plantes vertes*Trt Part.Aer.*Maladies diverses (1)	2	2
Cultures florales et plantes vertes*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	1	1
Fraisier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	7	7
Fraisier*Trt Part.Aer.*Maladies des taches brunes	5	5
Framboisier*Trt Part.Aer.*Maladies du feuillage	1	1
Fruits à coque*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	24	24
Fruits à pépins*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	15	15
Fruits à pépins*Trt Part.Aer.*Chancre européen	18	18
Fruits à pépins*Trt Part.Aer.*Maladies du feuillage	1	1
Fruits à pépins*Trt Part.Aer.*Tavelure(s)	25	25
Haricots et Pois écosés frais*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1	1
Haricots et Pois non écosés frais*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2	2
Haricots*Trt Part.Aer.*Bactériose(s) (1)	5	5
Houblon*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	1	1
Kiwi*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	10	10
Laitue*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	7	7
Laitue*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	7	7
Noisetier*Trt Part.Aer.*Anthracnose(s)	2	2
Noisetier*Trt Part.Aer.*Dépérissement cryptogamique	2	2
Oignon*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	6	6
Oignon*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	10	9
Olivier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	15	15
Olivier*Trt Part.Aer.*Maladies des fruits	1	1
Olivier*Trt Part.Aer.*Maladies du feuillage	15	15
Pêcher - Abricotier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	28	28

Usages autorisés	Nombre de produits à usages professionnels	Nombre de produits utilisables en AB
Pêcher - Abricotier*Trt Part.Aer.*Chancres à champignons (1)	2	2
Pêcher - Abricotier*Trt Part.Aer.*Cloque(s)	25	25
Pêcher - Abricotier*Trt Part.Aer.*Coryneum et polystigma	12	12
Pêcher - Abricotier*Trt Part.Aer.*Moniliose(s)	2	2
Pêcher - Abricotier*Trt Part.Aer.*Tavelure(s)	1	1
Poireau*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	3	3
Poireau*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	5	5
Pomme de terre*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	14	14
Porte graine - Betterave industrielle et fourragère*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	1	1
Porte graine - PPAMC, Florales et Potagères*Trt Part.Aer.*Mildiou et rouille blanche	1	1
Porte graine - PPAMC, Florales et Potagères*Trt Part.Aer.*Rouille(s)	1	1
PPAMC*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1	1
PPAMC*Trt Part.Aer.*Maladies fongiques	3	3
Prunier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	17	17
Prunier*Trt Part.Aer.*Cloque(s)	6	6
Prunier*Trt Part.Aer.*Coryneum et polystigma	2	2
Prunier*Trt Part.Aer.*Tavelure(s)	5	5
Rosier*Trt Part.Aer.*Chancres à champignons	1	1
Rosier*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	1	1
Seigle*Trt Sem.*Champignons (autres que pythiacées)	1	1
Tomate - Aubergine*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	24	24
Tomate - Aubergine*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	49	40
Vigne*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	12	12
Vigne*Trt Part.Aer.*Black rot	5	5
Vigne*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	56	44

Note : usages autorisés en date du 28 avril 2023 (le nombre d'usages autorisés peut évoluer depuis cette date) ; un produit peut être autorisé pour plusieurs usages.

Annexe 3 : Classement des cultures/groupes de cultures (usages) sur la base des critères de hiérarchisation établis par le GT

Culture/groupe de cultures (mode de production)	usage majeur	culture majeure	nombre d'exploitations	part surface (%)	surface totale (ha)	Cu substance pivot	part surface utilisant Cu (%)	quantité totale de Cu (t)	part quantité totale Cu (%)	score
Artichaut(bio)			210	9.466385288	553	x				2
Artichaut(conv)			360	5.801482904	4565	x				1
Blé - Seigle (bio)	x	x	10539	90.53361471	158049		10	2.085	0.11%	6
Blé - Seigle (conv)	x	x	157513	93.84516033	4544235		0.319965847	53.33	2.94%	7
carotte(bio)		x	389	88.98256054	1807	x	50	1.04	0.06%	6
carotte(conv)		x	1253	16.80007906	12502	x	8	0.91	0.05%	3
Cerisier(bio)			607	13.74570447	469	x	86	0.53	0.03%	3
Cerisier(conv)			6629	88.46230754	8084	x	73	10.44	0.58%	6
Chicorées - (Production de chicons, production de racines)(bio)			12	3.478016212	37	x				1
Chicorées - (Production de chicons, production de racines)(conv)			1252	8.494270374	10863	x				2
choux (à inflorescence, feuillu, pommé, rave)(bio)	x	x	444	85.54631259	2666	x	8	0.07	0.00%	5
choux (à inflorescence, feuillu, pommé, rave)(conv)	x	x	1202	86.25429553	24198	x	6	0.7	0.04%	5
Cucurbitacées à peau comestible (courgette, concombre,)(bio)	x	(x)	173	6.154839671	296					2

Culture/groupe de cultures (mode de production)	usage majeur	culture majeure	nombre d'exploitations	part surface (%)	surface totale (ha)	Cu substance pivot	part surface utilisant Cu (%)	quantité totale de Cu (t)	part quantité totale Cu (%)	score
Cucurbitacées à peau comestible (courgette, concombre,)(conv)	x	(x)	1239	11.27756596	7949					3
Cucurbitacées à peau non comestible (melon, potiron,)(bio)	x	x	201	78.75078667	1060	x	69	0.2	0.01%	4
Cucurbitacées à peau non comestible (melon, potiron,)(conv)	x	x	1395	87.88608981	12479	x	39	0.93	0.05%	5
Céleris(bio)			48	9.41242515	80	x				2
Céleris(conv)			672	3.723738835	582	x				1
Fraisier(bio)	x	x	917	63.03317536	314	x	35	0.02	0.00%	4
Fraisier(conv)	x	x	685	65.16422717	3317	x	7	1.38	0.08%	4
Framboisier(bio)			496	12.11391019	102	x				3
Framboisier(conv)			2411	7.567599904	607	x				2
Fruits à coque(bio)			2949	29.18107287	11490	x				4
Fruits à coque(conv)			9746	11.57089478	54073	x				3
Fruits à pépins (pomme, poire,)(bio)	x	x	3029	99.65938926	19076	x	87	22.13	1.22%	9
Fruits à pépins (pomme, poire,)(conv)	x	x	14311	96.52198379	65371	x	80	68.02	3.75%	8
Haricots(bio)	x		344	14.45368741	2478	x				3
Haricots(conv)	x		1339	70.81892713	40261	x				4
Houblon(bio)			125	7.476225804	156	x				2
Houblon(conv)			171	2.675915774	422	x				1
kiwi(bio)	x	x	428	34.83577283	1140	x				4
kiwi(conv)	x	x	1752	36.96682464	4576	x				4

Culture/groupe de cultures (mode de production)	usage majeur	culture majeure	nombre d'exploitations	part surface (%)	surface totale (ha)	Cu substance pivot	part surface utilisant Cu (%)	quantité totale de Cu (t)	part quantité totale Cu (%)	score
Laitue(bio)	x	x	72	20.80225714	102	x	7	0.01	0.00%	3
Laitue(conv)	x	x	847	75.08544954	7918	x	9	0.5	0.03%	4
Oignon-ail-échalotte(bio)	x	x	577	83.19992094	1265	x				5
<i>Oignon-ail-échalotte(conv)</i>	x	x	1569	88.72243404	16716	x				6
Olivier(bio)	x	(x)		79.19774286	5950	x				5
Olivier(conv)	x	(x)	7667	82.68051916	17080	x				5
Pistachier(bio)				0.340610743		x				1
Pistachier(conv)				1.288204092		x				1
Poireau(bio)	x	(x)	217	21.24921333	577	x	36	0.07	0.00%	4
Poireau(conv)	x	(x)	920	11.01743946	5001	x	21	5.51	0.30%	3
Pomme de terre(bio)	x	x	2424	92.4324001	5735		76	3.17	0.17%	7
Pomme de terre(conv)	x	x	29818	88.42910522	214327		0.99	2.19	0.12%	5
PPAMC(bio)			2442	11.53769246	4434	x				3
PPAMC(conv)			8513	24.91455046	59308	x				4
Prunier(bio)	x	x	661	98.71179591	3693	x	79	3.24	0.18%	9
Prunier(conv)	x	x	6291	94.1985171	17753	x	68	11.61	0.64%	8
Pêcher - Abricotier(bio)	x		879	96.27626116	3075	x	94	5.04	0.28%	8
Pêcher - Abricotier(conv)	x		6226	92.5237742	26575	x	67	21.32	1.18%	7
Rosier inclus dans Arbres et arbustes(conv)			1632		6817					1
Tomate - Aubergine(bio)	x	x	314	17.31948084	503	x	66	0.28	0.02%	3
Tomate - Aubergine(conv)	x	x	1432	90.58757485	5344	x	67	7.38	0.41%	7
Vigne(bio)	x	x	10128	97.32408423	134659	x	98	194.98	10.75%	9
Vigne(conv)	x	x	70156	91.50572963	777499		85	819.53	45.20%	7

Culture/groupe de cultures (mode de production)	usage majeur	culture majeure	nombre d'exploitations	part surface (%)	surface totale (ha)	Cu substance pivot	part surface utilisant Cu (%)	quantité totale de Cu (t)	part quantité totale Cu (%)	score
mediane conv			1569		12479		30	6.445	0.36%	
mediane bio			444		1203		67.5	0.785	0.04%	

Note : vert = 1 ou supérieure ou égale à la médiane ; orange = 0 ou inférieure à la médiane ; orange = 0,5

Annexe 4 : Liste des alternatives identifiées pour la substitution du cuivre contre le mildiou de la vigne

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
Outil d'aide à la décision	Outils d'aide à la décision	NA	Prévision des risques, gestion traitements/doses	<i>Déployée</i>	AN	Decitrait/Rimpro/Movida/...
Préparations à base d'huile essentielle d'agrumes	Substance / Préparation naturelle	OUI	Fongicide	approuvée	AB	Essen'Ciel / Limocide / Prev-Am
COS-OGA	Substance / Préparation naturelle	OUI	Eliciteur	approuvée	AB	Messenger / Bastid / Blason / Bstim / Mestar / Messidor / Mesalia
Cerevisane	Substance / Préparation naturelle	OUI	Eliciteur	approuvée	AB	Romeo/...
ABE-IT-56	Substance / Préparation naturelle	OUI	Eliciteur	approuvée	AB	Belvine
Laminarine	Substance / Préparation naturelle	OUI	Eliciteur	approuvée	AB	Laminarine/Iodus
Bacillus amyloliquefaciens FZB24, Bacillus subtilis	Agents microbiens	OUI	SDP	approuvée	AB	Taegro, Serenade
Dissodium phosphonate	Substance de synthèse	NON	Eliciteur/fongicide	approuvée	Non AB	Redeli/.....
Phosphonate de potassium	Substance de synthèse	NON	Eliciteur/fongicide	approuvée	Non AB	LBG01F34/...
Fosétyl	Substance de synthèse	NON	Eliciteur/fongicide	approuvée	Non AB	Alleato 80 WG
Prêle (Equisetum arvense), Extrait d'écorce de saule (Salix spp. Cortex), Ortie (Urtica	Substance / Préparation naturelle	NA	Fongicide	Substance de base	AB	

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
spp.), Ortie (<i>Urtica</i> spp.), Lécithines, Hydrogénocarbonate de sodium, Lactosérum/petit lait, Lait de vache, Chlorure de sodium						
Fructose, Saccharose	Substance / Préparation naturelle	NA	Eliciteur	Substance de base	AB	
Chitosane	Substance / Préparation naturelle	NA	Eliciteur	Substance de base	Non AB	
dithianon, folpel,	Substances de synthèse action multi-sites	NON	Fongicide	approuvée	non AB	Nombreuses
Pratiques en vert (effeuillage partiel précoce, ébourgeonnage, épamprage)	Méthodes physiques	NA	Prophylaxie	<i>Déployée</i>	AB	
cyazofamide, azoxystrobine, pyraclostrobine, amétoctradine, mandipropamide, valifénalate, oxathiapiproline, béalaxyl-M, métalaxyl-M, zoxamide	Substances de synthèse action uniste	NON	Fongicide	approuvée	non AB	Nombreuses
amisulbrom, iprovalicarbe, cymoxanil, fluopicolide	Substances de synthèse action uniste	NON	Fongicide	approuvée		

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
Couverture de la vigne (Vititunnel)	Méthodes physiques	NA	Prophylaxie	<i>En développement</i>	AB	
Variétés classées en France	Variétés résistantes à résistance spécifique	NA	Résistance variétale	Variétés Classées	AB	10 variétés INRAE (8 ResDur, 2 Bouquet), 9 variétés allemandes, 3 variétés suisses, 2 variétés italiennes
<i>Extrait d'ail</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	NA	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	NA	
<i>Extraite de tronc et de racine de vigne</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	NA	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	NA	
<i>S. viridosporus ou de T. harzianum</i>	<i>Agents microbiens</i>	NA	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	NA	
application d'UV sur la vigne	Méthodes physiques	NA	Eliciteur	<i>En développement</i>	AB	
Ramassage des feuilles /élimination inoculum	Méthodes physiques	NA	Prophylaxie	<i>A l'étude</i>	AB	
<i>extrait de yucca - saponines - allicines, extrait de sauge officinale (Salvia officinalis) - dérivés de lutéoline et d'ac. rosmarinique (phénols), extraits de réglisse (Glycyrrhiza glabra) - flavonoïdes, extrait de margousier (Melia azedarach, huile végétale Natur'l oléo® (Brésil)</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	NA	<i>?</i>	<i>potentielle</i>	NA	

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
<i>Extrait d'écorce de magnolia</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	<i>NA</i>	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>NA</i>	
<i>HE de citronelle</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	<i>NA</i>	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>NA</i>	
<i>nitruure de silicium</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	<i>NA</i>	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>NA</i>	
<i>Tagatose</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>		<i>fongicide/eliciteur</i>		<i>NA</i>	
<i>lipopeptides bactériens (surfactines; iturines, fengycines)</i>	<i>Agents microbiens</i>	<i>NA</i>	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>NA</i>	
<i>Ochrobactrum sp</i>	<i>Agents microbiens</i>	<i>NA</i>	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>NA</i>	

Note : les alternatives grisées sont peu documentées ; la réglementation concernant certaines substances actives identifiées comme alternatives au cuivre peut évoluer au cours du traitement de l'expertise.

Annexe 5 : Liste des alternatives identifiées pour la substitution du cuivre contre le mildiou de la pomme de terre en agriculture biologique

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
Gestion des tas de déchets (destruction, bâchage)	Méthodes physiques	NA	Prophylaxie	<i>Déployée</i>	AB	
Destruction des repousses dans parcelles voisines	Méthodes physiques	NA	Prophylaxie	<i>Déployée</i>	AB	
Outils d'aide à la décision	Outils d'aide à la décision	NA	Prévision des risques, gestion traitements/doses	<i>Déployée</i>	AB	Nombreux outils - en France, essentiellement Mileos®
Utilisation de plant certifié	Méthodes physiques	NA	Prophylaxie	<i>Déployée</i>	AB	
Prêle (<i>Equisetum arvense</i>), Extrait d'écorce de saule (<i>Salix</i> spp. Cortex), Ortie (<i>Urtica</i> spp.), Ortie (<i>Urtica</i> spp.), Lécithines, Hydrogénocarbonate de sodium, Lactosérum/petit lait, Lait de vache, Chlorure de sodium	Substance / Préparation naturelle	NA	Fongicide?	Substance de base	AB	
Variétés inscrites en France	Variétés résistantes à résistance spécifique	NA	Résistance variétale	Variétés Inscrites	AB	Nombreuses variétés inscrites au catalogue français et/ou européen
Variétés inscrites en France	Variétés résistantes à résistance quantitative	NA	Résistance variétale	Variétés Inscrites	AB	Nombreuses variétés inscrites au catalogue français et/ou européen

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
Préparations à base d'huile essentielle d'agrumes	Substance / Préparation naturelle	OUI	Fongicide	approuvée	AB	Essen'Ciel / Limocide / Prev-Am
Fructose, Saccharose	Substance / Préparation naturelle	NA	Eliciteur	Substance de base	AB	
Variétés inscrites en France	Mélanges variétaux	NA	Résistance variétale	Variétés Inscrites	AB	
<i>extrait de yucca - saponines - allícines, extrait de sauge officinale (Salvia officinalis) - dérivés de lutéoline et d'ac. rosmarinique (phénols), extraits de réglisse (Glycyrrhiza glabra) - flavonoïdes, extrait de margousier (Melia azedarach, huile végétale Natur'l oléo® (Brésil)</i>	<i>Substance / Préparation naturelle</i>	<i>NA</i>	<i>?</i>	<i>potentielle</i>	<i>NA</i>	
<i>lipopeptides bactériens (surfactines; iturines, fengycines)</i>	<i>Agents microbiens</i>	<i>NA</i>	<i>fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>NA</i>	
Traitement à l'ozone pour inhibition germination des spores	Méthodes physiques	NA	fongicide/eliciteur	<i>En développement</i>	AB	

Note : les alternatives grisées sont peu documentées ; la réglementation concernant certaines substances actives identifiées comme alternatives au cuivre peut évoluer au cours du traitement de l'expertise.

Annexe 6 : Liste des alternatives identifiées pour la substitution du cuivre contre la tavelure du pommier

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode d'action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
Dithianon	Substance chimique	oui	Fongicide	approuvée	NH	AGRI-DELAN AGRICANIGOU SARL
Silicate d'aluminium	Substance chimique		Fongicide	approuvée	AB	ARGICAL PRO AGS MINERAUX
Hydrogénocarbonate de potassium (ou bicarbonate de potassium)	Substance chimique	oui	Fongicide	approuvée	AB	ARMICARB DE SANGOSSE + 1 produit de référencé
Laminarine (glucane extrait d'algue brunes, Laminaria digitata)	Substance naturelle	oui	Fongicide	approuvée	AB	IODUS 2 CULTURES SPECIALISEES / LABORATOIRES GOËMAR SAS
<i>Bacillus subtilis</i> souche IAB/BS03	Agent microbien	oui	Fongicide	approuvée	AB	FUNGISEI SEIPASA SA + 2 produits de références
Bacillus subtilis souche QST 713	Agent microbien	oui	Bactéricide	approuvée	AB	SERENADE ASO BAYER SAS
Phosphonates de potassium	Substance chimique	oui	Fongicide	approuvée	NH	CENTURY BASF FRANCE SAS + produit référencé
Soufre	Substance chimique		Fongicide	approuvée	AB	AZUPEC 80 GD ASCENZA AGRO, SA
<i>Huile de colza</i>	<i>Substance naturelle</i>		<i>Fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>AB</i>	
<i>Harpine (protéine bactérienne)</i>	<i>Substance naturelle</i>		<i>Fongicide</i>	<i>potentielle</i>		
<i>Graines de Camelia oleifera + Chenopodium quinoa</i>	<i>Substance naturelle</i>		<i>Fongicide</i>	<i>potentielle</i>	<i>AB</i>	
<i>Chitosan</i>	<i>Substance naturelle</i>		<i>Fongicide</i>	<i>potentielle</i>		

Substance / méthode	Catégorie	Liste Biocontrôle	Mode d'action	Statut	AB	Spécialité commerciale / marque
Noix de coco	Substance naturelle		Fongicide	potentielle	AB	
Extrait de <i>Salvia officinalis</i>	Substance naturelle		Fongicide	potentielle	AB	
Huile d'arbre à thé	Substance naturelle		Fongicide	potentielle	AB	
<i>Cladosporium cladosporioides</i> R406	Agent microbien		Fongicide	potentielle		
<i>Cladosporium cladosporioides</i> H39	Agent microbien		Fongicide	potentielle		
polysulfure de calcium pendant période de sensibilité des fruits à la rugosité Préparation à base de bicarbonate de sodium appliqué au moment de la période d'inoculation prêle (<i>Equisetum arvense</i>) (2017) Extrait d'écorce de saule (<i>Salix</i> subsp.)	Substance chimique		Fongicide	potentielle		
Öko-SIMPHYT	Outils d'aide à la décision			potentielle	AB	
Mesures de préventions / prophylaxie	Méthodes physiques			potentielle	AB	

Note : liste valable en France pour les fruits à pépins (pomme et poire) ; Note : les alternatives grisées sont peu documentées ; la réglementation concernant certaines substances actives identifiées comme alternatives au cuivre peut évoluer au cours du traitement de l'expertise.

Annexe 7 : Liste des experts extérieurs au GT ayant participé à l'élucation de dires d'experts pour le mildiou de la vigne

No	Experts sollicités	Institution/Fonction	Zone de compétences
1	Cédric ELIA	Conseiller indépendant	Atlantique
2	Tristan Roze DES ORDONS	Phloème conseil en viticulture	Atlantique
3	Clémence BOUTFOL	Chambre d'agriculture du Var	Méditerranée
4	Lise MARTIN		
5	Nicolas CONSTANT	IFV - Référent National AB	Atlantique et Méditerranée
6	Paul-Armel SALAUN	Agrobio Gironde - référent ITAB	Atlantique
7	Nicolas AVELINE	IFV spécialiste national Biocontrôle	Atlantique
8	Xavier BURGUN	IFV Protection du vignoble	Atlantique
9	Séverine DUPIN	Chambre Agriculture Gironde	Atlantique
10	Eric CHANTELOT	IFV - référent national Ecophyto	Méditerranée
11	Audrey PETIT	IFV - Ingénieure protection du vignoble	Atlantique
12	Nicolas SOURD	Chambre d'agriculture de l'Aude	Méditerranée

Annexe 8 : Liste des experts extérieurs au GT sollicités pour participer à l'élicitation de dires d'experts pour la tavelure du pommier

No	Experts	Institution
1	Nadia TOUSNI	Chambre d'agriculture Pays de la Loire
2	Marc MIETTE	Réseau régional Bio Occitanie
3	Betty FIDALGO	Groupement COVETA Chambre d'agriculture du Loiret
4	Gilles LIBOUREL	GRAB
5	Anne DUVAL-CHABOUSSOU	CTIFL
6	Julie PRADAL	Chambre d'agriculture des Hautes-Alpes
7	Pascal BORIOLI	GR CETA de basse Durance
8	François WARLOP	GRAB

Annexe 9 : Questionnaire de l'élicitation des dires d'experts pour le mildiou de la vigne

Les mêmes questions ont été posées pour la zone atlantique et la zone méditerranéenne.

Les instructions pour le remplissage du questionnaire

Mildiou-Vigne : Évaluation efficacité de différentes stratégies de protection contre le mildiou sans cuivre ou avec des doses réduites en cuivre (tableau 1)

Caractérisation des pressions parasitaires : 3 niveaux faible-moyen-fort (tableau 2)

- Caractériser les pertes moyennes (ou maximales ?) de récolte dans ces trois situations
- Évaluer l'occurrence de chaque niveau de pression (Nb d'années sur 10 ans)

Caractériser les différentes stratégies définies au tableau 1, pour les 3 situations de pression parasitaires en termes de Nb d'applications (tableau 3) :

- Cuivre : produit avec AMM contenant uniquement du cuivre
- Dose moyenne de Cu/traitement
- Biocontrôle (hors phosphonates) : produit avec AMM présent sur la liste biocontrôle et autorisé en AB
- Extraits de plantes : PNPP
- Phosphonates : produit à base uniquement de phosphonates, présent sur la liste biocontrôle
- Traitement conventionnel : produit contenant au moins une molécule de synthèse non présente sur la liste biocontrôle. Pour les traitements conventionnels contenant du cuivre, indiquer 1 traitement Cu (et dose) et un traitement conventionnel

Caractériser l'efficacité moyenne attendu des différentes stratégies du tableau 1, dans les différentes situations de pression parasitaire (tableau 4) en perte moyenne de récolte par rapport à l'objectif de rendement.

1 -Définition stratégies

Mode de conduite	Stratégie	Définition	Commentaires (facultatifs)
AB	Actuelle	Cuivre Produits liste biocontrôle + extraits de plantes	
AB	Zéro cuivre	Produits liste biocontrôle + extraits de plantes	
AB	Demi cuivre	Cuivre 2 kg/an max + Produits liste biocontrôle + extraits de plantes	
Conventionnel	Actuelle	Cuivre + Fongicides de synthèse (hors biocontrôle) + Phosphonates + Biocontrôle hors phosphonates	
Conventionnel	Zéro cuivre avec fongicides de synthèse	Fongicides de synthèse (hors biocontrôle) + Phosphonates + Biocontrôle hors phosphonates	
Conventionnel	Zéro cuivre sans fongicides de synthèse	Phosphonates + Biocontrôle hors phosphonates	
Conventionnel	Demi cuivre sans fongicides de synthèse	Cuivre 2 kg/an max + Phosphonates + Biocontrôle hors phosphonates	

2 - Répartition et effet des pressions parasitaires

Pression parasitaire	Caractéristiques	Occurrence (nombre d'années sur 10)	Commentaires (facultatifs)
Faible	Epidémie faible avec des dégâts sur grappes limités		
Moyenne	Epidémie présente, dégâts sur grappes significatifs		

Forte	Epidémie forte durant les périodes de risques, dégâts sur grappes importants		
Degré de confiance sur bloc			

3 - Caractéristiques des stratégies

Pression parasitaire	Stratégie AB	Nb total de traitements	Nb de traitement Cuivre	Dose moyenne / traitement Cu (en g)	Nb de traitements biocontrôle (hors phosphonates)	Nb de traitements extraits de plante	Nb de traitements phosphonates	Nb de traitements conventionnel	Degré de confiance	Commentaires (facultatifs)
Faible	AB Actuelle						0	0		
Faible	AB Zéro Cuivre		0	0			0	0		
Faible	AB Demi Cuivre						0	0		
Faible	Conventionnel Actuelle					0				
Faible	Conventionnel Zéro cuivre avec fongicides de synthèse		0	0		0				
Faible	Conventionnel Zéro cuivre sans fongicides de synthèse		0	0		0		0		
Faible	Conventionnel Demi cuivre sans fongicides de synthèse					0		0		
Moyenne	AB Actuelle						0	0		
Moyenne	AB Zéro Cuivre		0	0			0	0		
Moyenne	AB Demi Cuivre						0	0		
Moyenne	Conventionnel Actuelle					0				
Moyenne	Conventionnel Zéro cuivre avec fongicides de synthèse		0	0		0				
Moyenne	Conventionnel Zéro cuivre sans fongicides de synthèse		0	0		0		0		
Moyenne	Conventionnel Demi cuivre sans fongicides de synthèse					0		0		
Forte	AB Actuelle						0	0		
Forte	AB Zéro Cuivre		0	0			0	0		
Forte	AB Demi Cuivre						0	0		
Forte	Conventionnel Actuelle					0				
Forte	Conventionnel Zéro cuivre avec fongicides de synthèse		0	0		0				
Forte	Conventionnel Zéro cuivre sans fongicides de synthèse		0	0		0		0		
Forte	Conventionnel Demi cuivre sans fongicides de synthèse					0		0		

4 - Efficacité des stratégies

Pression	Stratégie	Perte de récolte moyenne (% de l'objectif de rendement)	Appellation	Degré de confiance	Commentaires (facultatifs)
Faible	AB Actuelle				
Faible	AB Zéro cuivre				
Faible	AB Demi cuivre				
Faible	Conventionnel Actuelle				
Faible	Conventionnel Zéro cuivre avec fongicides de synthèse				
Faible	Conventionnel Zéro cuivre sans fongicides de synthèse				
Faible	Conventionnel Demi cuivre sans fongicides de synthèse				
Moyenne	AB Actuelle				
Moyenne	AB Zéro cuivre				
Moyenne	AB Demi cuivre				
Moyenne	Conventionnel Actuelle				
Moyenne	Conventionnel Zéro cuivre avec fongicides de synthèse				
Moyenne	Conventionnel Zéro cuivre sans fongicides de synthèse				
Moyenne	Conventionnel Demi cuivre sans fongicides de synthèse				
Forte	AB Actuelle				
Forte	AB Zéro cuivre				
Forte	AB Demi cuivre				
Forte	Conventionnel Actuelle				
Forte	Conventionnel Zéro cuivre avec fongicides de synthèse				
Forte	Conventionnel zéro cuivre sans fongicides de synthèse				
Forte	Conventionnel Demi cuivre sans fongicides de synthèse				

Annexe 10 : Questionnaire de l'élicitation des dires d'experts pour la tavelure du pommier

Les instructions pour le remplissage du questionnaire

Tableau N°1 : Évaluation l'efficacité de six scénarios de protection contre la tavelure sans cuivre ou avec des doses réduites en cuivre.

Tableau N°2 : Caractérisation des situations de pression parasitaire / 3 niveaux de pression (Faible-Moyen-Fort)

- Évaluer l'analyse des risques (en nombre d'années en situation du niveau de pression parasitaire considéré sur 10 ans)
- Évaluer le niveau de confiance de la réponse donnée (important)
- Commentaires éventuels des experts

Tableau N°3 : Caractérisation en termes de nombre d'applications de traitements, des différents scénarios définis au tableau N°1, pour chacune des 3 situations de pression parasitaire présentées dans le tableau N°2.

- Cuivre : produit avec AMM, contenant uniquement du cuivre
- Dose moyenne de cuivre métal par traitement (g/ha) ; ne pas dépasser la limite max en cuivre du scénario
- Traitement conventionnel : produit contenant au moins une molécule de synthèse non présente sur la liste biocontrôle
- Biocontrôle (hors phosphonates, soufre compris) : produit avec AMM présent sur la liste biocontrôle et autorisé en AB
- Phosphonates : produit à base uniquement de phosphonates, présent sur la liste biocontrôle
- Extraits de plantes : produit présent sur la liste des PNPP
- Pour un traitement combiné contenant du cuivre et un autre produit (soufre par exemple), indiquer dans la colonne C "nombre de traitements totaux", 1 seul traitement : les autres colonnes sont ensuite complétées comme si les traitements n'étaient pas combinés

Tableau N°4 : Caractérisation des pertes moyennes de récolte par rapport à l'objectif moyen de récolte attendue des différents scénarios décrits dans le tableau N°1, dans les différentes situations de pression parasitaire présentée dans le tableau N°2

Tableau N°5 : Caractérisation des divers coûts liés aux scénarios envisagés

Tableau N°6 : Caractérisation des types de verger

Tableau N°1 -Définition des scénarios

Modes de conduite	Scénarios	Définitions	Commentaires des experts (facultatifs)
Conventionnel	Actuel	Cuivre + Fongicides de synthèse + Pilotage OAD + Mise en œuvre de mesures prophylactiques (broyage et/ou enfouissement des feuilles) + Variétés sensibles à la tavelure	
Conventionnel	Demi-cuivre	Cuivre (MAX 2 kg/ha/an) + Fongicides de synthèse + Pilotage OAD + Traitement avec des biocontrôles, SDP, substance(s) naturelle(s) + Mise en œuvre de mesures prophylactiques (broyage et/ou enfouissement des feuilles) + Variétés sensibles à la tavelure	

Tableau N°1 -Définition des scénarios

Modes de conduite	Scénarios	Définitions	Commentaires des experts (facultatifs)
Conventionnel	Zéro cuivre	Fongicides de synthèse + Pilotage OAD + Traitement avec des biocontrôles, SDP, substance(s) naturelle(s) + Traitement avec des biostimulants + Mise en œuvre de mesures physiques (bâches anti-pluie) + Mise en œuvre de mesures prophylactiques généralisées avec de bonnes pratiques (broyage et/ou enfouissement des feuilles) + Mélanges variétaux (comprenant des variétés sensibles et tolérantes/résistantes) ou variétés tolérantes/résistantes à la tavelure	
Agriculture Biologique	Actuel	Cuivre + Pilotage OAD + Traitement avec des biocontrôles, SDP, substance(s) naturelle(s) + Mise en œuvre de mesures prophylactiques généralisées avec de bonnes pratiques (broyage et/ou enfouissement des feuilles) + Variétés sensibles ou tolérantes/Résistantes à la tavelure	

Tableau N°1 -Définition des scénarios

Modes de conduite	Scénarios	Définitions	Commentaires des experts (facultatifs)
Agriculture Biologique	Demi-cuivre	<p>Cuivre (MAX 2 kg/ha/an) + Pilotage avec OAD + Traitement avec des biocontrôles, SDP, substance(s) naturelle(s) + Traitement avec des biostimulants + Mise en œuvre de mesures physiques (bâches anti-pluie) + Mise en œuvre de mesures prophylactiques généralisées avec de bonnes pratiques (broyage et/ou enfouissement des feuilles) + Mélanges variétaux (comprenant des variétés sensibles et tolérantes/résistantes) ou variétés tolérantes/résistantes à la tavelure</p>	
Agriculture Biologique	Zéro cuivre	<p>Traitement avec des biocontrôles, SDP, substance(s) naturelle(s) + Pilotage avec OAD + Traitement avec des biostimulants + Mise en œuvre de mesures physiques (bâches anti-pluie) + Mise en œuvre de mesures prophylactiques généralisées avec de bonnes pratiques (broyage et/ou enfouissement des feuilles) + Mélanges variétaux (comprenant des variétés sensibles et tolérantes/résistantes) ou Variétés tolérantes/résistantes à la tavelure + Adaptation du système d'irrigation (pour éviter l'aspersion et l'humectation du feuillage)</p>	

Tableau N°2 - Analyse des risques - Répartition et effet des pressions parasitaires

Pression parasitaire	Caractéristiques	Occurrence (Nombre d'années sur 10 ans)	Commentaires des experts (facultatifs)
Faible	Epidémie faible avec des dégâts sur feuilles et fruits limité		
Moyenne	Epidémie présente, dégâts sur feuilles et fruits significatifs		
Forte	Epidémie forte durant les périodes de risques, dégâts sur feuilles et/ou fruits importants (rendement et/ou qualité du fruit affectés)		
Degré de confiance sur bloc			

Tableau N°3 - Caractéristiques des scénarios selon les modes de conduite et les niveaux de pression parasitaire

Niveaux de pression parasitaire	Stratégies (Mode de conduite - Scénarios)	Nombre total de traitements par saison pour lutter contre la tavelure	Nombre de traitements avec du cuivre par saison	Dose moyenne cuivre métal par traitement (en g par ha)	Nombre de traitements avec au moins un fongicide de synthèse par saison	Nombre de traitements avec des biocontrôles (hors phosphonates, soufre compris) par saison	Nombre de traitements avec des phosphonates	Nombre de traitements avec Biostimulants	Nombre de traitements avec des extraits de plante	Degré de confiance	Commentaires des experts (facultatifs)
Faible	Conventionnel - Actuel										
Faible	Conventionnel - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)										
Faible	Conventionnel - Zéro cuivre		0	0							
Faible	AB Actuel				0		0				
Faible	AB - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)				0		0				
Faible	AB - Zéro cuivre		0	0	0		0				
Moyenne	Conventionnel - Actuel										

Tableau N°3 - Caractéristiques des scénarios selon les modes de conduite et les niveaux de pression parasitaire

Niveaux de pression parasitaire	Stratégies (Mode de conduite - Scénarios)	Nombre total de traitements par saison pour lutter contre la tavelure	Nombre de traitements avec du cuivre par saison	Dose moyenne cuivre métal par traitement (en g par ha)	Nombre de traitements avec au moins un fongicide de synthèse par saison	Nombre de traitements avec des biocontrôles (hors phosphonates, soufre compris) par saison	Nombre de traitements avec des phosphonates	Nombre de traitements avec Biostimulants	Nombre de traitements avec des extraits de plante	Degré de confiance	Commentaires des experts (facultatifs)
Moyenne	Conventionnel - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)										
Moyenne	Conventionnel - Zéro cuivre			0							
Moyenne	AB Actuel				0		0				
Moyenne	AB - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)				0		0				
Moyenne	AB - Zéro cuivre		0	0	0		0				
Forte	Conventionnel - Actuel										
Forte	Conventionnel - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)										
Forte	Conventionnel - Zéro cuivre		0	0							
Forte	AB Actuel				0		0				
Forte	AB - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)				0		0				
Forte	AB - Zéro cuivre		0	0	0		0				

Tableau N°4 - Efficacité des stratégies selon le mode de conduite, le scénario et le niveau de pression parasitaire

Pression parasitaire	Stratégies (Mode de conduite - Scénarios)	Perte moyenne de récolte (en % de l'objectif de rendement visé)	Degré de confiance	Commentaires des experts (facultatifs)
Faible	Conventionnel - Actuel			
Faible	Conventionnel - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)			
Faible	Conventionnel - Zéro cuivre			
Faible	AB Actuel			
Faible	AB - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)			
Faible	AB - Zéro cuivre			
Moyenne	Conventionnel - Actuel			
Moyenne	Conventionnel - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)			
Moyenne	Conventionnel - Zéro cuivre			
Moyenne	AB Actuel			
Moyenne	AB - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)			
Moyenne	AB - Zéro cuivre			
Forte	Conventionnel - Actuel			
Forte	Conventionnel - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)			
Forte	Conventionnel - Zéro cuivre			
Forte	AB Actuel			
Forte	AB - Demi-cuivre (MAX 2 kg/ha/an)			
Forte	AB - Zéro cuivre			

Tableau N°5 - Coûts divers à estimer

Types	Coût annuel (équipement) par ha	Coût des différents intrants (si besoin par ha ou annuel (si toute l'exploitation agricole concernée))	Nombre d'interventions	Temps d'opération annuel (en heures) en équivalent temps-plein	Degré de confiance	Commentaires des experts (facultatifs)
Mesures prophylactiques : Broyage de feuilles (par ha)						
Mesures prophylactiques : Enfouissage des feuilles (par ha)						
Mesure prophylactiques : Epannage urée pour décomposer les feuilles au sol						
Plantation de verger (avec greffage)						
Mesures physiques : Bâchage anti-pluie						

Tableau N°6 - Caractérisation des vergers

Densité de plantation	Types de culture	Rendement de référence (kg/arbre)	Densité de plantation (nombre d'arbres/ha)	Degré de confiance	Commentaires des experts (facultatifs)
Densité de plantation faible	Variétés sensibles à la tavelure				
Densité de plantation faible	Variétés tolérantes/résistantes à la tavelure				
Densité de plantation faible	Variétés en mélange				
Densité de plantation moyenne	Variétés sensibles à la tavelure				
Densité de plantation moyenne	Variétés tolérantes/résistantes à la tavelure				
Densité de plantation moyenne	Variétés en mélange				
Densité de plantation forte	Variétés sensibles à la tavelure				
Densité de plantation forte	Variétés tolérantes/résistantes à la tavelure				
Densité de plantation forte	Variétés en mélange				

Annexe 11 : Données utilisées pour le calcul des coûts en pomiculture

Les experts consultés dans le cadre de l'élicitation ont rempli pour certains trois tableaux complémentaires sur les rendements objectifs, les coûts de certaines mesures prophylactiques, la caractérisation des vergers. Le peu de réponses ne permet pas de produire de statistiques, comme pour les pertes de rendements ou le détail des traitements, mais cette annexe présente le nombre de réponses et les moyennes retenues, pour les rendements objectifs et la densité des vergers. Les autres sources consultées se révélant parcellaires, le GT a retenu ces informations « à dire d'experts ».

Rendement de référence selon le scénario, la densité des vergers, en AB et en AC

Densité de plantation	Types de culture	Rendement de référence en AB (tonne/ha)	Nombre de répondants en AB	Rendement de référence en AC (tonne/ha)	Nombre de répondants en AC
Faible	Variétés sensibles à la tavelure	27	2	40	1
	Variétés tolérantes/résistantes à la tavelure	33	2	40	1
	Variétés en mélange	33	2	30	1
Moyenne	Variétés sensibles à la tavelure	38	3	56	2
	Variétés tolérantes/résistantes à la tavelure	42	3	50	2
	Variétés en mélange	42	3	43	2
Forte	Variétés sensibles à la tavelure	52	2	75	2
	Variétés tolérantes/résistantes à la tavelure	72	2	68	2
	Variétés en mélange	72	2	48	1

Annexe 12a : Analyse de sensibilité des pertes de rendement en culture de pomme de terre considérant une variation des pertes de rendement de moins 10 % pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de moins 20 % pour le scénario « zéro cuivre »

Tableau A1 : Pertes de rendement (tonnes/hectare) estimées en culture de pomme de terre biologique selon les scénarios

	Fréquence pression	Scénario actuel (100% VS)	Scénario « demi cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (50% VR + 50% VS)
Rendement sans dommage (t/ha)		40	40	40	40
Perte de rendement (t/ha)					
<i>En pression faible (t/ha)</i>	0,2	0	0	4,5	2,25
<i>En pression moyenne (t/ha)</i>	0,6	4,5	4,5	9	6,75
<i>En pression élevée (t/ha)</i>	0,2	13,5	13,5	18	15,75
Perte moyenne de rendement (t/ha)		5,4	5,4	9,9	7,65

Note : VR : variétés résistantes au mildiou ; VS : variétés sensibles ; les pertes de rendement sont calculées par rapport au rendement objectif (ou rendement sans dommage) qui est de 40 tonnes/ha quel que soit le scénario. Lecture : en pression faible (20% des cas), la perte de rendement est nulle dans le cas des scénarios « actuel » et « demi cuivre » mais s'élève à 4,5 tonnes/ha pour le scénario « zéro cuivre » en culture de VR pures et à 2,25 tonnes/ha en mélange de VR et VS.

Tableau A2 : Ecart de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en culture de pomme de terre biologique (dans le cas d'un prix de vente de la pomme de terre de 800€/tonne)

	Scénario « demi cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (50% VR + 50% VS)	Scénario « zéro cuivre* » (50% VR + 50% VS)
Ecart moyen de la production en valeur (€/ha) (A)	0	-3600	-1800	-1800
Ecart de coût de protection				
Protection avec cuivre, moyenne (€/ha)	-176	-353	-353	-353
Plants, résistance (€/ha)	+525	+525	+263	+263
OAD (€/ha)	0	-100	-100	-100
Bâchage (€/ha)	+300	+300	+300	+300
Deuxième arracheuse (€/ha)	0	0	0	+500
Tri (€/ha)	0	0	+100	0
Ecart de coût de protection (€/ha) (B)	+649	+372	+210	+610
Ecart de marge (€/ha) (A – B)	-649	-3972	-2010	-2410
Part liée aux pertes de rendement (%) (A/(A – B))	0%	91%	90%	75%
Part liée aux coûts de protection (%) (B/(A – B))	100%	9%	10%	25%
Augmentation de prix de vente nécessaire pour maintenir la marge (%)	2%	16%	8%	9%

Note tableau 12 : VR : variétés résistantes au mildiou ; VS : variétés sensibles ; *utilisation d'une deuxième arracheuse ; OAD : outil d'aide à la décision ; les écarts de rendements, de coûts et de marge sont calculés par rapport au scénario « actuel ». Lecture : l'écart entre le rendement obtenu dans le scénario « demi cuivre » et celui du scénario « actuel » est nul ; cet écart est estimé à -3600 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » avec des VR cultivées pures et le scénario actuel et à -1800 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » avec mélanges de VR et VS et le scénario actuel.

Annexe 12b : Analyse de sensibilité des pertes de rendement en culture de pomme de terre considérant une variation des pertes de rendement de plus 10 % pour les scénarios « actuel » et « demi cuivre » et de plus 20 % pour le scénario « zéro cuivre »

Tableau A4 : Pertes de rendement (tonnes/hectare) estimées en culture de pomme de terre biologique selon les scénarios

	Fréquence pression	Scénario actuel (100% VS)	Scénario « demi cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (50% VR + 50% VS)
Rendement sans dommage (t/ha)		40	40	40	40
Perte de rendement (t/ha)					
<i>En pression faible (t/ha)</i>	0,2	0	0	6	3
<i>En pression moyenne (t/ha)</i>	0,6	5,5	5,5	12	9
<i>En pression élevée (t/ha)</i>	0,2	16,5	16,5	24	21
Perte moyenne de rendement (t/ha)		6,6	6,6	13,2	10,2

Note : VR : variétés résistantes au mildiou; VS : variétés sensibles ; les pertes de rendement sont calculées par rapport au rendement objectif (ou rendement sans dommage) qui est de 40 tonnes/ha quel que soit le scénario. Lecture : en pression faible (20% des cas), la perte de rendement est nulle dans le cas des scénarios « actuel » et « demi cuivre » mais s'élève à 6 tonnes/ha pour le scénario « zéro cuivre » en culture de VR pures et à 3 tonnes/ha en mélange de VR et VS.

Tableau A5 : Ecart de production en valeur, de coût de protection et de marge entre scénarios de substitution et scénario actuel dans le cas du mildiou en culture de pomme de terre biologique (dans le cas d'un prix de vente de la pomme de terre de 800€/tonne)

	Scénario « demi cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (100% VR)	Scénario « zéro cuivre » (50% VR + 50% VS)	Scénario « zéro cuivre* » (50% VR + 50% VS)
<i>Ecart moyen de la production en valeur (€/ha) (A)</i>	<i>0</i>	<i>-5280</i>	<i>-2880</i>	<i>-2880</i>
Ecart de coût de protection				
Protection avec cuivre, moyenne (€/ha)	-176	-353	-353	-353
Plants, résistance (€/ha)	+525	+525	+263	+263
OAD (€/ha)	0	-100	-100	-100
Bâchage (€/ha)	+300	+300	+300	+300
Deuxième arracheuse (€/ha)	0	0	0	+500
Tri (€/ha)	0	0	+100	0
<i>Ecart de coût de protection (€/ha) (B)</i>	<i>+649</i>	<i>+372</i>	<i>+210</i>	<i>+610</i>
<i>Ecart de marge (€/ha) (A – B)</i>	<i>-649</i>	<i>-5652</i>	<i>-3090</i>	<i>-3490</i>
Part liée aux pertes de rendement (%) ($A/(A - B)$)	0%	93%	93%	83%
Part liée aux coûts de protection (%) ($B/(A - B)$)	100%	7%	7%	17%
<i>Augmentation de prix de vente nécessaire pour maintenir la marge (%)</i>	<i>2%</i>	<i>26%</i>	<i>13%</i>	<i>15%</i>

Note : VR : variétés résistantes au mildiou ; VS : variétés sensibles ; *utilisation d'une deuxième arracheuse ; OAD : outil d'aide à la décision ; les écarts de rendements, de coûts et de marge sont calculés par rapport au scénario « actuel ». Lecture : l'écart entre le rendement obtenu dans le scénario « demi cuivre » et celui du scénario « actuel » est nul ; cet écart est estimé à -5280 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » avec des VR cultivées pures et le scénario actuel et à -2880 €/ha entre le scénario « zéro cuivre » avec mélanges de VR et VS et le scénario actuel.

Annexe 13 : Pertes économiques liées à la mise en œuvre des combinaisons d'alternatives au cuivre pour lutter contre le mildiou en viticulture

A- Zone Atlantique en AB

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
Demi Cuivre	50hl/ha	3	-17	54	-4 399	94	6	26
	80hl/ha		-27	54	-7 006	96	4	25
	50hl/ha	5	-17	54	-7 296	96	4	25
	80hl/ha		-27	54	-11 641	98	2	25
	50hl/ha	10	-17	54	-14 537	98	2	25
	80hl/ha		-27	54	-23 227	99	1	25
	50hl/ha	20	-17	54	-29 020	99	1	25
	80hl/ha		-27	54	-46 400	99	1	25
Zéro Cuivre	50hl/ha	3	-26	302	-8 462	89	11	50
	80hl/ha		-42	302	-13 358	93	7	49
	50hl/ha	5	-26	302	-13 902	93	7	49
	80hl/ha		-42	302	-22 062	96	4	48

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
	50hl/ha	10	-26	302	-27 502	97	3	47
	80hl/ha		-42	302	-43 822	98	2	47
	50hl/ha	20	-26	302	-54 702	98	2	47
	80hl/ha		-42	302	-87 343	99	1	47

Note : les écarts sont calculés par rapport au scénario actuel.

B- Zone Atlantique en agriculture conventionnelle

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
Demi Cuivre	50hl/ha	3	-12	-99	-3 775	96	4	21
	80hl/ha		-20	-99	-6 100	97	3	21
	50hl/ha	5	-12	-99	-6 358	97	3	21
	80hl/ha		-20	-99	-10 233	98	2	21
	50hl/ha	10	-12	-99	-12 816	99	1	21
	80hl/ha		-20	-99	-20 565	99	1	20
	50hl/ha	20	-12	-99	-25 731	99	1	20
	80hl/ha		-20	-99	-41 229	100	0	20
Zéro Cuivre avec fongicides de synthèse	50hl/ha	3	-3	68	-82	96	4	0
	80hl/ha		-4	68	-91	97	3	0
	50hl/ha	5	-3	68	-92	97	3	0
	80hl/ha		-4	68	-106	98	2	0
	50hl/ha	10	-3	68	-116	99	1	0
	80hl/ha		-4	68	-145	99	1	0

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
	50hl/ha	20	-3	68	-165	99	1	0
	80hl/ha		-4	68	-223	100	0	0
	50hl/ha	3	-19	34	-6 580	94	6	36
	80hl/ha		-30	34	-10 508	96	4	36
Zéro Cuivre sans fongicide de synthèse	50hl/ha	5	-19	34	-10 945	96	4	35
	80hl/ha		-30	34	-17 491	98	2	35
	50hl/ha	10	-19	34	-21 855	98	2	35
	80hl/ha		-30	34	-34 949	99	1	35
	50hl/ha	20	-19	34	-43 677	99	1	35
	80hl/ha		-30	34	-69 864	99	1	35

Note : les écarts sont calculés par rapport au scénario actuel.

C- Zone Méditerranée en AB

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
Demi Cuivre	50hl/ha	3	-13	74	-2 824	97	3	17
	80hl/ha		-21	74	-4 474	98	2	16
	50hl/ha	5	-13	74	-4 657	98	2	16
	80hl/ha		-21	74	-7 407	99	1	16
	50hl/ha	10	-13	74	-9 241	99	1	16
	80hl/ha		-21	74	-14 741	99	1	16
	50hl/ha	20	-13	74	-18 407	99	1	16
	80hl/ha		-21	74	-29 407	100	0	16
Zéro Cuivre	50hl/ha	3	-23	216	-6 888	94	6	40
	80hl/ha		-37	216	-10 891	96	4	40
	50hl/ha	5	-23	216	-11 336	96	4	40
	80hl/ha		-37	216	-18 008	98	2	39
	50hl/ha	10	-23	216	-22 457	98	2	39
	80hl/ha		-37	216	-35 801	99	1	39

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
	50hl/ha	20	-23	216	-44 697	99	1	39
	80hl/ha		-37	216	-71 386	99	1	38

Note : les écarts sont calculés par rapport au scénario actuel.

D- Zone Méditerranée en agriculture conventionnelle

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
Demi Cuivre	50hl/ha	3	-14	14	-4 692	96	4	26
	80hl/ha		-23	14	-7 498	98	2	25
	50hl/ha	5	-14	14	-7 810	98	2	25
	80hl/ha		-23	14	-12 488	99	1	25
	50hl/ha	10	-14	14	-15 607	99	1	25
	80hl/ha		-23	14	-24 962	99	1	25
	50hl/ha	20	-14	14	-31 199	99	1	25
	80hl/ha		-23	14	-49 910	100	0	25
Zéro Cuivre avec fongicides de synthèse	50hl/ha	3	-3	3	-3	97	3	0
	80hl/ha		-4	3	-3	98	2	0
	50hl/ha	5	-3	3	-3	98	2	0
	80hl/ha		-4	3	-3	99	1	0
	50hl/ha	10	-3	3	-3	99	1	0

Scénario	Rendement	Prix de la bouteille de vin	Ecart de perte de rendement moyenne (hl/ha)	Surcoûts produits de protection (€/ha)	Ecart de Marge (€/ha)	Part des pertes de rendement dans l'écart de marge (%)	Part des coûts de protection dans l'écart de marge (%)	Augmentation du prix de la bouteille de vin pour maintenir la marge (%)
	80hl/ha	20	-4	3	-3	99	1	0
	50hl/ha		-3	3	-3	100	0	0
	80hl/ha		-4	3	-3	100	0	0
Zéro Cuivre sans fongicide de synthèse	50hl/ha	3	-20	93	-7 104	95	5	39
	80hl/ha		-32	93	-11 310	97	3	38
	50hl/ha	5	-20	93	-11 778	97	3	38
	80hl/ha		-32	93	-18 789	98	2	38
	50hl/ha	10	-20	93	-23 463	98	2	38
	80hl/ha		-32	93	-37 485	99	1	37
	50hl/ha	20	-20	93	-46 833	99	1	37
	80hl/ha		-32	93	-74 878	100	0	37

Note : les écarts sont calculés par rapport au scénario actuel.

Annexe 14 : Classement des composés de cuivre et des alternatives évaluées selon leur (éco)toxicité

N° CAS	NOM SA	CLASSEMENT CATÉGORIE DANGER (au sens du Règlement (CE) 1272/2008)	CODE H	CLASSEMENT MENTION DANGER
865318-97-4	amétoctradine	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1)	H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
348635-87-0 348635-	amisulbrom	Cancérogénicité (Cat.2) Irritation oculaire (Cat.2) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1)	H351 H319 H410 H400	Susceptible de provoquer le cancer Provoque une sévère irritation des yeux Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
131860-33-8	azoxystrobine	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat. 1) Toxicité aiguë (par inhalation) (Cat.3) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1)	H410 H331 H400	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme Toxique par inhalation
98243-83-5	benalaxyl-M	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.2)	H411	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme

N° CAS	NOM SA	CLASSEMENT CATÉGORIE DANGER (au sens du Règlement (CE) 1272/2008)	CODE H	CLASSEMENT MENTION DANGER
8011-63-0	cuivre de la bouillie bordelaise	Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1) Lésions oculaires graves (Cat.1) Toxicité aiguë (par inhalation) (Cat.4)	H400 H410 H318 H332	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme Provoque des lésions oculaires graves Nocif par inhalation
1332-40-7 ou 1332-65-6	cuivre de l'oxychlorure de cuivre	Toxicité aiguë (par inhalation) (Cat.4) Toxicité aiguë (par voie orale) (Cat.3) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1)	H332 H301 H410 H400	Nocif par inhalation Toxique en cas d'ingestion Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme Très toxique pour les organismes aquatiques
1317-39-1	cuivre de l'oxyde cuivreux	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Toxicité aiguë (par voie orale) (Cat.4) Toxicité aiguë (par inhalation) (Cat.4) Lésions oculaires graves (Cat.1)	H410 H400 H302 H332 H318	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme Nocif en cas d'ingestion Nocif par inhalation Provoque des lésions oculaires graves

N° CAS	NOM SA	CLASSEMENT CATÉGORIE DANGER (au sens du Règlement (CE) 1272/2008)	CODE H	CLASSEMENT MENTION DANGER
12527-76-3 ou 1333-22-8	cuivre du sulfate tribasique de cuivre	Toxicité aiguë (par voie orale) (Cat.4) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1)	H302 H400 H410	Nocif en cas d'ingestion Très toxique pour les organismes aquatiques Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
57966-95-7	cymoxanil	Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée (Cat.2) Toxicité pour la reproduction (Cat.2) Toxicité aiguë (par voie orale) (Cat.4) Sensibilisation cutanée (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1)	H373 H361fd H302 H317 H400 H410	Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée Susceptible de nuire à la fertilité. Susceptible de nuire au fœtus Nocif en cas d'ingestion Peut provoquer une allergie cutanée Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
3347-22-6	dithianon	Toxicité aiguë (par voie orale) (Cat.4) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1)	H302 H400 H410	Nocif en cas d'ingestion Très toxique pour les organismes aquatiques Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
8000-78-0 ou 8008-99-9	extrait d'ail	Sans classement	Sans classement	Sans classement
239110-15-7	fluopicolide	Toxicité pour la reproduction (Cat.2)(d)	H361d	Susceptible de nuire au fœtus

N° CAS	NOM SA	CLASSEMENT CATÉGORIE DANGER (au sens du Règlement (CE) 1272/2008)	CODE H	CLASSEMENT MENTION DANGER
133-07-3 133-07-3 133-07-3 133-07-3 133-07-3	folpel	Toxicité aiguë (par inhalation) (Cat.4) Sensibilisation cutanée (Cat.1) Irritation oculaire (Cat.2) Cancérogénicité (Cat.2) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1)	H332 H317 H319 H351 H400	Nocif par inhalation Peut provoquer une allergie cutanée Provoque une sévère irritation des yeux Susceptible de provoquer le cancer Très toxique pour les organismes aquatiques
39148-24-8	fosetyl-al	Lésions oculaires graves (Cat.1)	H318	Provoque des lésions oculaires graves
8002-13-9	huile de colza	Sans classement	Sans classement	Sans classement
8000-34-8	huile de girofle	Irritant pour la peau (Cat.2) Lésions oculaires graves (Cat.1) Toxicité aiguë (par inhalation) (Cat.4) Toxicité aiguë (par voie orale) (Cat.4)	H315 H318 H332 H302	Provoque une irritation cutanée Provoque des lésions oculaires graves Nocif par inhalation Nocif en cas d'ingestion
8008-79-5	huile de menthe verte	Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Sensibilisation cutanée (Cat.1) Danger par aspiration (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1)	H400 H317 H304 H410	Peut provoquer une allergie cutanée Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
64742-46-7 72623-86-0 97862-82-3	huile de paraffine	Sans classement	Sans classement	Sans classement

N° CAS	NOM SA	CLASSEMENT CATÉGORIE DANGER (au sens du Règlement (CE) 1272/2008)	CODE H	CLASSEMENT MENTION DANGER
8028-48-6 (orange oil)	huile essentielle d'orange	Irritation oculaire (Cat.2) Sensibilisation cutanée (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.3) Irritant pour la peau (Cat.2)	H319 H317 H400 H412 H315	Provoque une sévère irritation des yeux Peut provoquer une allergie cutanée Très toxique pour les organismes aquatiques Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme Provoque une irritation cutanée
298-14-6	hydrogénocarbonate de potassium	Sans classement	Sans classement	Sans classement
9008-22-4	laminarine	Sans classement	Sans classement	Sans classement
70630-17-0	metalaxyl-M	Toxicité aiguë (par voie orale) (Cat.4) Lésions oculaires graves (Cat.1)	H302 H318	Nocif en cas d'ingestion Provoque des lésions oculaires graves Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme Peut provoquer une allergie cutanée
1003318-67-9	oxathiapiprolin	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1)	H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
13977-65-6 13492-26-7	potassium phosphonates	Sans classement	Sans classement	Sans classement

N° CAS	NOM SA	CLASSEMENT CATÉGORIE DANGER (au sens du Règlement (CE) 1272/2008)	CODE H	CLASSEMENT MENTION DANGER
175013-18-0	pyraclostrobine	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1)	H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
175013-18-0	pyraclostrobine	Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1) Toxicité aiguë (par inhalation) (Cat.3) Irritant pour la peau (Cat.2)	H400 H331 H315	Très toxique pour les organismes aquatiques Toxique par inhalation Provoque une irritation cutanée
7704-34-9	soufre	Irritant pour la peau (Cat.2)	H315	Provoque une irritation cutanée
283159-90-0	valifenalate	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.2) Cancérogénicité (Cat.2)	H411 H351	Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme Susceptible de provoquer le cancer
156052-68-5	zoxamide	Dangers pour le milieu aquatique - Danger chronique (Cat.1) Dangers pour le milieu aquatique - Danger aigu (Cat.1)	H410 H400	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme

Note : Classement adapté par l'ANSES selon les règles de traduction du règlement CLP ; Règlement (UE) N°2018/1480 (13e ATP au Règlement 1272/2008) ; Règlement (UE) N°2020/1182 (15e ATP au Règlement 1272/2008) ; Règlement (UE) N°2021/849 (17e ATP au Règlement 1272/2008) ; Règlement (UE) N°605/2014 (6e ATP au Règlement 1272/2008) ; Règlement (CE) N°1272/2008 (ATP 0) ; Règlement (UE) N°2022/692 (18e ATP au Règlement 1272/2008) ; Règlement (UE) N°790/2009 (1e ATP au Règlement 1272/2008) ; Classement adapté par ANSES selon les règles de traduction du règlement CLP ; Règlement (UE) N°2022-692 (18e ATP au Règlement 1272/2008) ; la réglementation concernant l'autorisation et la classification des profils de danger de certaines substances actives identifiées comme alternatives au cuivre peuvent évoluer au cours du traitement de l'expertise.

Annexe 15 : Liste des articles cités par l'ESCo INRAE-ITAB (2018) pour l'analyse des freins et leviers

Andrивon, D., 2009. Plantes, parasites et pathologistes : de la compréhension des interactions à la gestion durable des résistances. *CahiersAgricultures*, 18 (6): 486-492.

Andrивon, D.; Giorgetti, C.; Baranger, A.; Calonnec, A.; Cartolaro, P.; Faivre, R.; Guyader, S.; Lauri, P.E.; Lescourret, F.; Parisi, L.; Ney, B.; Tivoli, B.; Sache, I., 2013. Defining and designing plant architectural ideotypes to control epidemics? *European Journal of Plant Pathology (Special issue Epidemiology and Canopy Architecture)*, 135 (3): 611-617.

Bellon-Maurel, V.; Huyghe, C., 2016. L'innovation technologique dans l'agriculture. *Géoéconomie*, 80: 159-180.

Bertrand, C., 2016. Introduction au bio_contrôle : constats, prévisions et exigences réglementaires ; le cas particulier des extraits naturels. *Journées Techniques PNPP, Substances naturelles en production végétale*, Paris (France), 2016/04/26-27, 3 p.

Dumont, A.M.; Vanloqueren, G.; Stassart, P.M.; Baret, P.V., 2016. Clarifying the socioeconomic dimensions of agroecology: between principles and practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40 (1): 24-47.

Estevez, B.; Domon, G.; Lucas, E., 2000. Le modèle ESR (efficacité-substitution-reconceptualisation), un modèle d'analyse pour l'évaluation de l'agriculture durable applicable à l'évaluation de la stratégie phytosanitaire au Québec. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 41: 97-104.

Hill, S.B., 1985. Redesigning the food system for sustainability. *Alternatives*, 12: 32-36.

IBMA France - International Biocontrol Manufacturers' Association, 2014. Les acteurs du biocontrôle en France, 6p.

Lammerts van Bueren, E.T.; Struik, P.C.; Tiemens-Hulscher, M.; Jacobsen, E., 2003. Concepts of intrinsic value and integrity of plants inorganic plant breeding and propagation. *Crop Science*, 43 (6): 1922-1929.

Lammerts van Bueren, E.T.; Tiemens-Hulscher, M.; Struik, P.C., 2008. Cisgenesis does not solve the late blight problem of organic potato production: Alternative breeding strategies. *Potato Research*, 51 (1): 89-99.

Lange, K., 2009. Institutional embeddedness and the strategic leeway of actors: the case of the German therapeutical biotech industry. *Socio-Economic Review*, 7 (2): 181-207.

Levert, A., 2016. Réalités et perspectives du biocontrôle en France. *Colloque Biocontrôle IBMA France*. Paris (France), 2016/01/26, 14 p.

Livi, C.; Jeannerat, H., 2015. Born to be sold: Start-ups as products and new territorial life cycles of industrialization. *European Planning Studies*, 23 (10): 1953-1974.

Nuijten, E.; de Wit, J.; Janmaat, L.; Schmitt, A.; Tamm, L.; Lammerts van Bueren, E.T., 2017a. Understanding obstacles and opportunities for successful market introduction of crop varieties with resistance against major diseases. *Organic Agriculture*, sous presse.

Nuijten, E.; Messmer, M.M.; van Bueren, E.T.L., 2017b. Concepts and strategies of organic plant breeding in light of novel breeding techniques. *Sustainability*, 9 (1): 19.

OECD/Eurostat, 2015. Oslo Manual: Guidelines for collecting and interpreting innovation data, 3rd Edition, 162 p.

Pacifico, D.; Paris, R., 2016. Effect of organic potato farming on human and environmental health and benefits from new plant breeding techniques. Is it only a matter of public acceptance? *Sustainability*, 8 (10): 1054.

Padel, S., 2001. Conversion to organic farming: A typical example of the diffusion of an innovation? *Sociologia Ruralis*, 41 (1): 40-61.

Rolland, B.; Fontaine, L.; Mailliard, A.; Gardet, O.; Heumez, E.; Walczak, P.; Le Campion, A.; Oury, F.-X., 2017. From selection to cultivation with the support of all stakeholders: the first registration in France of two winter bread wheat varieties after value for cultivation and use evaluation in organic farming systems. *Organic Agriculture*, 7 (1): 73-81.

Singh, R.P.; Singh, P.K.; Rutkoski, J.; Hodson, D.P.; He, X.Y.; Jorgensen, L.N.; Hovmoller, M.S.; Huerta-Espino, J., 2016. Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control. *Annual Review of Phytopathology*, 54: 303-322.

Tiemens-Hulscher, M.; Lammerts van Bueren, E.T.; Hutten, R.C.B., 2012. Potato: Perspectives to breed for an organic crop ideotype. In: Lammerts Van Bueren ET, Myers JR, eds. *Organic Crop Breeding*. Wiley-Blackwell, 227-37.

Van Damme, J.; Ansoms, A.; Baret, P.V., 2014. Agricultural innovation from above and from below: Confrontation and integration on Rwanda's Hills. *African Affairs*, 113 (450): 108-127.

Vanloqueren, G.; Baret, P.V., 2008. Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics*, 66 (2-3): 436-446.

Vanloqueren, G.; Baret, P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, 38 (6): 971-983.

Vanwindekens, F.M.; Stilmant, D.; Baret, P.V., 2013. Development of a broadened cognitive mapping approach for analysing systems of practices in social-ecological systems. *Ecological Modelling*, 250: 352-362.

Annexe 16 : Listes des usages orphelins pour le cuivre selon le comité des usages orphelins (CUO) du Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire

Référence usage	Libellé de l'usage	Nombre de substances autorisées autres que le cuivre
14153204	Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Anthracnose(s)	3
14053301	Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	0
00502013	Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Chancres à champignons	1
00502014	Arbres et arbustes*Trt Part.Aer.*Cloque(s)	2
16103301	Artichaut*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
16253301	Céleris*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
12203301	Cerisier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
12203205	Cerisier*Trt Part.Aer.*Taphrina	2
16361301	Chicorées - Production de chicons*Trt Sem. Plants*Bactériose(s)	1
16353301	Chicorées - Production de racines*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
00516023	Choux à inflorescence*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
00516045	Choux feuillus*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	0
00517022	Choux pommés*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	0
16403301	Choux*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
00516081	Choux-raves*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	0
16753301	Cucurbitacées à peau non comestible*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
16553301	Fraisier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
12353206	Framboisier*Trt Part.Aer.*Maladies du feuillage	5
12453301	Fruits à coque*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
12603301	Fruits à pépins*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	3
12603201	Fruits à pépins*Trt Part.Aer.*Chancre européen	3

Référence usage	Libellé de l'usage	Nombre de substances autorisées autres que le cuivre
12603211	Fruits à pépins*Trt Part.Aer.*Maladies précoces des fruits	2
16573301	Haricots et Pois écosés frais*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
00516004	Haricots et Pois non écosés frais*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
16563301	Haricots*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
15353204	Houblon*Trt Part.Aer.*Mildiou(s)	3
12013301	Kiwi*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	3
16613301	Laitue*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
16423301	Oignon*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
12503301	Olivier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
12503201	Olivier*Trt Part.Aer.*Maladies des fruits	4
12503203	Olivier*Trt Part.Aer.*Maladies du feuillage	6
12553303	Pêcher - Abricotier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
12853201	Pistachier*Trt Part.Aer.*Maladies du feuillage	0
16843301	Poireau*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1
01801019	PPAMC*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
12653301	Prunier*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	2
17303206	Rosier*Trt Part.Aer.*Chancre à champignons	1
16953301	Tomate - Aubergine*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	4
12703301	Vigne*Trt Part.Aer.*Bactériose(s)	1

Note : selon la CUO, les usages orphelins sont ceux pour lesquels le cuivre est une substance pivot et qui par conséquent est la seule substance avec un niveau d'efficacité jugé suffisant pour lutter contre les bioagresseurs.



anses

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr