

Viti-Tunnel, an automatically removable protection against diseases, frost and hail, a way to drastically reduce the use of pesticides

Patrick Delmarre¹, Christophe Marange¹ and Marie Laffont¹

¹Mo.Del, Zone Tech Espace, Rue Toussaint Catros, Bat 7, 33185 Le Haillan, France

Abstract. Viti-Tunnel is a device that automatically shelters vine rows during rainfall and extreme weather events. By protecting vines during rainfall, this ground-breaking innovation prevents the development of fungal diseases (mildew, black rot and excoresis), which are responsible for the majority of phytosanitary treatments. Its unique, ingenious system also protects crops from frost and hail, ensuring complete security for the harvest, whatever the climatic conditions of the vintage.

La start-up bordelaise Mo.Del s'apprête à mettre sur le marché un dispositif, unique au monde, qui permet de répondre simultanément à deux besoins prégnants de la viticulture moderne : la réduction drastique du recours aux produits phytosanitaires et la sécurisation des vendanges vis-à-vis des pertes dues aux maladies, au gel et à la grêle.

Ce dispositif automatisé de couverture des rangs de vignes pendant les pluies et les événements climatiques extrêmes, connu sous le nom de Viti-Tunnel, a été testé entre 2019 et 2023, dans 10 sites répartis sur tout le vignoble Girondin. Les observations collectées lors de cette expérimentation de grande envergure, réalisée sous la direction de l'Institut français de la vigne et du vin (IFV), ont validé la preuve de concept de cette innovation de rupture : couvrir les vignes pendant les pluies et les périodes de gel et de grêle, tout en les laissant à l'air libre en dehors de ces épisodes, permet bien de préserver les vendanges des pertes dues aux maladies et aux aléas climatiques, et permet bien, également, de diminuer de manière draconienne le recours aux pesticides.

Forte de l'intérêt manifesté par la viticulture pour son invention, matérialisé, entre autres, par l'attribution du prix spécial du jury au concours des trophées de l'innovation du Vinitech-Sifel 2022, la start-up passe maintenant à la vitesse supérieure avec l'industrialisation et la commercialisation de son innovation.

Le présent document fait longuement le point des éléments de contexte dans lequel cette innovation a vu le jour, détaille les analyses qui ont conduit à sa naissance et les axes de réflexion qui ont abouti à sa conception, décrit comment elle a réussi à s'imposer comme une réponse crédible et fiable à deux des problématiques les plus préoccupantes de la viticulture moderne, et dresse les perspectives et intérêts de ce nouvel outil, qui s'inscrit

dans la recherche de méthodes alternatives pour protéger les vignes et réduire les consommations de pesticides sans modifier les terroirs ni les profils de vins.



Photo 1. Viti-Tunnel en position rangée, rangs de vignes à l'air libre (crédit photo : Mo.Del).



Photo 2. Viti-Tunnel en position déployée, rangs de vignes sous l'abri des bâches (crédit photo : Mo.Del).

1. Sécuriser les rendements et réduire drastiquement le recours aux pesticides : deux enjeux majeurs pour la viticulture moderne

1.1. Préambule

En ce début de 21^{ème} siècle, le monde change, radicalement, rapidement, et dans toutes ses composantes : climatique, environnementale, économique, géopolitique, sociétale, numérique, pour ne citer que celles-là. Les grands équilibres et la relative stabilité d'hier sont oubliés, les bouleversements sont profonds et irréversibles. Toutes les activités humaines doivent repenser leurs pratiques et s'adapter.

L'activité humaine « agriculture » n'échappe pas à cette situation, d'autant moins que, plus que toute autre activité, elle est à la croisée de toutes ces composantes. Par définition, l'agriculture classique produit en extérieur, elle est donc dépendante des évolutions du climat. Par définition, l'agriculture est une des activités humaines les plus en contact avec les milieux naturels, elle est donc tributaire de l'évolution des contraintes en matière de respect de l'environnement. Par définition, l'agriculture produit pour vendre, elle est donc soumise aux évolutions des habitudes alimentaires, aux exigences des consommateurs, au contexte économique, à la situation géopolitique mondiale, etc. Les défis auxquels doivent faire face les agriculteurs sont nombreux et multifactoriels, ils sont aussi impérieux pour leur avenir.

En tant qu'agriculteurs, les viticulteurs affrontent les mêmes problématiques. Parmi celles qui concernent la partie amont de leur activité, à savoir la production de raisins, il en est deux qui sont absolument déterminantes pour le devenir de leurs exploitations :

- le dérèglement climatique, qui se traduit par une multiplication des pertes de récolte à cause des accidents climatiques et des maladies,
- la défiance de la société civile vis-à-vis des pesticides, qui enjoint aux viticulteurs de réduire drastiquement leur recours aux produits phytosanitaires.

1.2. Multiplication des pertes de récoltes liées au dérèglement climatique

En France, la température annuelle a augmenté de 1.5 °C par rapport à la moyenne 1961-1990. Les différents scénarios du GIEC (Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) prédisent un réchauffement futur pouvant se situer entre 1.5 et 4.5 °C d'ici à la fin du XXI^e siècle, lié à un doublement de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone. Ces modifications profondes des caractéristiques atmosphériques ont des conséquences directes sur les risques qui pèsent sur les récoltes.

1.2.1. Augmentation des risques de pertes de récolte dues aux accidents climatiques

Elles s'accompagnent d'abord d'une survenue beaucoup plus fréquente d'événements météorologiques extrêmes.

Grêles destructrices, et gelées printanières tardives, d'autant plus meurtrières qu'elles se produisent sur des vignes dont la précocité, et donc la sensibilité au froid, est fortement avancée par des hivers dorénavant doux, ne laissent pas de faire l'actualité ces dernières années. En plus de détruire les récoltes de la campagne pendant laquelle elles se produisent, ces calamités, la vigne étant une culture pérenne, ont, de plus, souvent, des impacts qui se répercutent sur plusieurs saisons.

En France, chaque année, à l'instar de la litanie ci-après (Tableau 1), donnée à titre d'exemple, de toutes les calamités qui se sont produites sur le territoire sur le dernier millésime, ce sont des milliers d'ha qui sont détruits par ces accidents climatiques.

Tableau 1. Liste exhaustive des épisodes de gel et de grêle ayant impacté le vignoble français en 2024 (Sources : « Etat du vignoble à fin juin 2024 », Conseil spécialisé Vin de FranceAgriMer du 10 juillet 2024, les passages entre guillemets sont des extraits de ce document, <https://www.franceagrimer.fr/content/download/74142/document/TDB-ETAT-DU-VIGN-2024.pdf>, complété d'une compilation de Bulletins de Santé des Végétaux régionaux et d'articles de la presse spécialisée et locale).

Episodes de gel :

Provence Alpes Côte d'Azur - gels des 18-19 avril et 23-24 avril : *Var* : « 77 % de pertes sur 3000 ha touchés », *Vaucluse* : « jusqu'à 100 % de pertes sur certaines parcelles », *Ventoux* : « au moins de 30 % de destruction du vignoble », *Sud Luberon, Drôme* : « également touchés » ; **Occitanie** : *Aveyron et Aude* : « gelées du 18 au 21 avril. Impacts variables selon les parcelles : jusqu'à 80 % de pertes pour l'AOP Entraygues - le Fel & Estaing, pertes d'environ 40-50 % en moyenne sur les secteurs touchés », *Cahors* : « gel du 18 au 19 avril : 90 % du vignoble touché (4000 ha), pertes de 20 à 100 % », *Tarn-et-Garonne, Haute-Garonne, Tarn* : « gel du 18 au 19 avril : 30 % des parcelles ont été impactées » ; **Jura** : « gel du 23-24 avril : 40 % du vignoble présente de lourds dégâts, seulement 25 % du vignoble est indemne, annonce d'une récolte aussi faible qu'en 2017 ».

Episodes de grêle :

Chablis : « grêle du 1^{er} et 2 mai : 1000 à 1500 ha touchés avec des dégâts allant de 20 à 90 % » ; **Champagne** : « grêle du 12 mai : 70 % de perte du potentiel de récolte sur les 500 ha de l'*Aisne* touchés » ; **Bordeaux** : « grêle du 18-19 juin : quasiment 2000 ha touchés dans le *Nord-Médoc*, avec des dégâts allant de 30 à 90 % selon les parcelles », entre 3500 et 4000 ha dans le *Libournais* ; **Bergerac Monbazillac** : grêle du 5 mai : 2000 ha entre 50 et 100 %, grêle du 11 juillet : 700 ha avec parfois jusqu'à 90 % de pertes ; **Aude** : grêle du 13 août : entre 600 et 800 ha touchés entre 20 et 80 % ; **Gaillac** : grêle du 24 août : de 250 à 300 ha touchés avec près de 70 ha très impactés.

L'étranger n'est pas en reste. En Espagne par exemple, selon une estimation que vient de publier Agroseguero, la structure chargée de la gestion de l'assurance agricole outre-Pyrénées, plus de 200 000 hectares de vignes auront subi des dommages liés à des accidents climatiques en 2024, soit 20 % (!!!) du vignoble espagnol, ou encore la moitié des surfaces assurées.



Photo 3. Importants dégâts de grêle en Bordelais (crédit photo : NC).

1.2.2. Augmentation des risques de pertes de récolte dues aux maladies

Le dérèglement climatique se traduit ensuite par une forte augmentation de la pression des pathogènes.

Le très redouté mildiou, à tout seigneur tout honneur, devient chaque année plus difficile à maîtriser. Sans rentrer dans les détails de son cycle biologique, ce champignon extrêmement dangereux a besoin de douceur l'hiver et de fortes pluies aux printemps. Depuis que le réchauffement climatique est devenu une réalité, ce sont exactement les conditions que l'on observe désormais dans de nombreuses régions viticoles en France. A Bordeaux notamment, vignoble régulièrement arrosé de pluies par excellence, les derniers millésimes sont très symptomatiques de cette évolution. Alors que jusque dans les années 2010, on déplorait en moyenne entre 1 et 2 millésimes « à mildiou » par décennie, depuis 2018, soit 7 millésimes, on en déplore 5 : 2018, 2020, 2021, 2023 et 2024. Les pertes de récolte sur ces années se chiffrent en centaines de milliers d'hl. En 2023, par exemple, 90 % des viticulteurs ont eu des pertes de récolte à cause du mildiou (source : « Enquête Mildiou 2023 Vinopole Bordeaux Aquitaine, https://www.vinopole.com/wp-content/uploads/2024/06/Document_Mildiou_VF_RelSD_TM.pdf).

1.3. Défiance de la société civile vis-à-vis des pesticides

Depuis plus de 50 ans, les agriculteurs disposent de produits synthétiques élaborés par les industries chimiques, les produits phytosanitaires, plus connus par le grand public sous le vocable de pesticides. L'efficacité de ces produits a révolutionné l'agriculture et permis une augmentation sans précédent des quantités et des qualités des productions.

Cependant, en dépit de ces indéniables progrès, les produits phytosanitaires sont mis au banc des accusés depuis de nombreuses années. Pas un seul jour sans que les agriculteurs ne soient montrés du doigt à cause des pesticides qu'ils utilisent, dans les grands médias, TV, journaux nationaux et régionaux, sans parler de tous les réseaux sociaux. À tort ou à raison, les produits phytosanitaires sont accusés de nombreux maux.

Ils seraient dangereux pour la santé humaine : celle des riverains de parcelles agricoles, qui sont directement

exposés à la dérive des produits lors des épandages, celle des consommateurs, qui ingèrent les résidus de pesticides qui se trouvent dans les denrées alimentaires qu'ils consomment, celles des employés agricoles, qui sont directement au contact de ces produits, soit parce qu'ils les manipulent pour les épandre, soit parce qu'ils travaillent dans des parcelles où ils ont été épandus. Ils seraient aussi dangereux pour l'environnement : nombre de ces produits se retrouvent en effet dans l'air, dans les sols et dans l'eau, et la question de leurs conséquences sur ces milieux est posée. Ils seraient de plus responsables de la mortalité des abeilles, ils réduiraient la biodiversité, etc.

La viticulture est en première ligne de toutes ces accusations. Avec l'arboriculture, elle est en effet la culture qui utilise le plus de pesticides. En France, les vignes occupent 3.7 % de Surface Agricole Utile (730 000 Ha en 2020) et consomment environ 20 % de la totalité des pesticides. Selon les années climatiques, les régions viticoles et les cahiers des charges de production, les viticulteurs réalisent entre 10 à 28 passages de pulvérisateurs par an dans chacune de leurs parcelles de vigne (sources : « Agreste Les Dossiers » N°2019-2/Février 2019, <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Dos1902/Dossier2019-2.pdf> et « Agreste Chiffres & Données » N°4/Mars 2023, https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2304/cd2023-4_PKViti2019.pdf).



Figure 1. Dessin humoristique illustrant la défiance de la société civile vis-à-vis des pesticides utilisés en viticulture.

1.4. Discussions : de la nécessité de trouver des solutions à ces deux problématiques

Les viticulteurs ont un besoin impérieux de solutions pour gérer ces deux problématiques qui pèsent, chacune à leur façon, sur le quotidien de leur exploitation.

1.4.1. Problématique « augmentation des risques de pertes de récoltes liées au dérèglement climatique »

Cette première problématique pèse de façon concrète, implacable, et sur une et une seule dimension, la plus importante qu'il soit : la pérennité des exploitations à court terme. Perdre de la récolte, c'est perdre des euros au bas du bilan. Depuis que le climat se réchauffe, à cause de l'aggravation de ce risque, les comptes d'exploitation des propriétés viticoles ont une épée de Damoclès au-dessus de la tête. Se doter de moyens pour s'en prémunir de

manière fiable et efficace, au moins dans les parcelles où ces pertes se produisent de manière récurrente (zones humides pour le mildiou, bas-fonds pour le gel, couloirs à grêle pour la grêle, etc.) est sans conteste devenu un enjeu majeur pour un grand nombre de viticulteurs en France. Il s'agit là d'une décision de pure gestion.

1.4.2. Problématique « défiance de la société civile vis-à-vis des pesticides »

Cette deuxième problématique pèse de façon plus diffuse, moins radicale immédiatement, mais non moins déterminante, et sur plusieurs dimensions.

Le non-respect, au corps défendant de la très grande majorité des viticulteurs, des injonctions de la société civile de diminuer drastiquement le recours aux produits phytosanitaires se ressent à plusieurs niveaux :

- Elle se ressent d'abord, et fortement, dans le commerce. Le succès des vins « nature », des vins issus de la lutte Biologique ou de la Biodynamie, est une conséquence immédiate de cette défiance généralisée vis-à-vis des pesticides (nos concitoyens pensent, à tort, qu'on n'utilise pas de pesticide pour produire ces vins...). Les méthodes de lutte plus traditionnelles, dites conventionnelles, ne sont pas en reste. La certification « Haute Valeur Environnementale (HVE) », imposée par de nombreuses marques de la Grande Distribution, le cahier des charges « Terra Vitis », les labels « Zéro Résidu de Pesticides » et « Bee friendly », surfent aussi sur cette vague. Dans la même veine, beaucoup de grands acheteurs de vins, en vrac ou en bouteilles, interdisent l'utilisation de certaines catégories de produits (comme les produits CMR - Cancérogènes, Reprotoxiques, Mutagènes - ou comme les produits qui laissent le plus de résidus dans les vins) à leurs livreurs, certains allant même jusqu'à faire des analyses de résidus systématiques. *Produire avec moins de pesticides fait vendre, produire avec trop de pesticides, ou avec de « mauvais » pesticides, empêche de vendre. Nul doute que, dans un avenir proche, produire avec peu de pesticides sera une **condition sine qua none** pour vendre.*
- Elle se ressent ensuite, également fortement, dans l'évolution de la réglementation légiférant l'usage des pesticides, qui se fait, année après année, plus pressante. Les produits phytopharmaceutiques les plus efficaces disparaissent un à un de la pharmacopée (rendant au passage la lutte contre les maladies encore plus difficile s'il en était besoin), et les contraintes dans leur utilisation sont pour certaines très compliquées à mettre en œuvre. Les fameuses DSPPR (Distance Sécurité vis-à-vis des Personnes Présentes et des Riverains) en sont une parfaite illustration. Ces DSPPR instaurent des zones plus ou moins larges (de 10 à 20 m actuellement selon les produits, mais certaines associations anti-pesticides aimeraient la voir monter à 100 m!!!), typiquement le long des maisons d'habitations, où les produits

phytosanitaires de synthèse sont quasiment interdits. Ces bouts de propriété sont des véritables casse-têtes pour les propriétaires et les pertes de récoltes à cause des maladies y sont fréquentes. Heureusement que, pour l'instant, ce ne sont que des petits bouts de parcelles.

- Elle se ressent enfin dans les relations que les viticulteurs entretiennent avec le reste de la société civile, notamment leurs voisins immédiats. Avec le développement de l'urbanisation, de nombreux vignobles sont maintenant entourés de lotissements, de stades, d'écoles, etc. Chaque année, quand la saison des traitements revient, la tension monte entre les viticulteurs et leurs riverains qui supportent de moins en moins que des pulvérisateurs épandent des produits phytosanitaires à proximité de leur habitation, même au-delà de la DSPPR. Certains vont même jusqu'à caillasser des tracteurs en train de traiter...

Il est plus qu'urgent de trouver des solutions pour aider tous les viticulteurs qui souhaitent réduire drastiquement leur recours aux pesticides :

- soit parce qu'ils souhaitent aplanir leurs relations avec leurs riverains,
- soit parce qu'ils possèdent des parcelles, ou des bouts de parcelles, où le recours aux pesticides est réglementairement compliqué,
- soit parce qu'ils veulent, pour des raisons commerciales ou personnelles, produire plus propre,
- soit parce que, tout simplement, ils ne se satisfont plus de cette situation de défiance perpétuelle.

2. Quelles solutions en viticulture pour répondre à ces enjeux ? Selon l'enjeu visé, soit il n'existe pas de solution soit elles sont imparfaites

Le projet Viti-Tunnel trouve son origine dans la confrontation des enjeux bien identifiés ci-dessus aux résultats d'une étude exhaustive de l'état de l'art concernant les techniques proposées aux viticulteurs pour y répondre. Les éléments et conclusions de cette confrontation sont détaillés dans ce chapitre.

2.1. Etat de l'art

2.1.1. Enjeu sécurisation des récoltes vis-à-vis des accidents climatiques

En viticulture d'AOC, à l'exception des filets anti-grêle verticaux (filets aérés, tricotés dans une maille qui laisse passer le soleil, les traitements et l'eau) qui sont autorisés depuis 2018, mais peu utilisés, l'installation de barrières physiques à poste fixe, pendant tout ou partie d'une saison, au-dessus de rangs de vigne, est interdite. Il n'est pas possible, comme en arboriculture-maraîchage, d'installer des barrières physiques au-dessus des parcelles pour les protéger des grêlons ou du froid.

Les viticulteurs doivent donc en passer par d'autres moyens pour se prémunir de ces aléas.

Pour lutter contre la grêle, afin d'empêcher la formation des grêlons, ils utilisent des techniques d'ensemencement des nuages menaçants avec de l'iodure d'argent ou des sels hygroscopiques, et des canons anti-grêle. La fiabilité de ces procédés est souvent aléatoire.

Pour lutter contre le gel, ils recourent à des méthodes basées, pour la plupart, sur le réchauffement de l'air situé à proximité immédiate des bourgeons : en le chauffant (bougies, chauffeuses, fils électriques chauffants), en rabattant l'air plus chaud situé en hauteur (hélicoptère, hélices anti-gel), ou encore en brûlant des mottes de pailles (quand ce ne sont pas des pneus !!!) pour former un nuage au-dessus de la parcelle afin de faire effet serre. Une autre méthode consiste à asperger les bourgeons d'eau, à raison de 50 000 l d'eau par ha et par heure (!!!), afin de les enfermer dans une gangue gelée dans laquelle la température reste stable à 0°C.

2.1.2. Enjeu réduction drastique du recours aux produits phytosanitaires

Les viticulteurs désireux de réduire leur consommation en pesticides de synthèse ont le choix entre deux approches, la lutte raisonnée et les cépages résistants.

La lutte raisonnée est une méthode de gestion des problèmes sanitaires dont l'origine remonte aux années 80. Dans cette approche de la lutte contre les parasites de la vigne, on reste dans le dogme des traitements, mais on utilise des méthodes et/ou des outils pour traiter le moins possible. Ces méthodes et outils sont nombreux et de différentes natures. Ils concernent toutes les composantes de la lutte contre les maladies et les ravageurs. Du végétal que l'on veut protéger (prophylaxie), aux parasites que l'on veut combattre (OAD, Outils d'Aide à la Décision), en passant par le type de produits utilisés pour traiter (biocontrôle), l'appareil utilisé pour traiter, et ses accessoires (pulvérisateurs récupérateurs, coupures de tronçons, etc.), l'amélioration de la qualité de l'eau utilisée pour traiter (adoucisseurs d'eau, mouillants, collants, etc.), etc.

Depuis quelques années, les pépiniéristes proposent une alternative très maligne aux pesticides, qui sort du dogme des traitements : les cépages résistants. Ces nouveaux cépages, issus de la recherche allemande, italienne, suisse et française, et petit à petit autorisés sur de petites surfaces dans les cahiers des charges des appellations d'origine, sont des variétés devenues résistantes aux maladies à la suite de croisements entre des *Vitis vinifera* européens et d'autres espèces de *Vitis*, américaines et asiatiques portant les gènes de résistance aux maladies mildiou et oïdium.

2.1.3. Enjeu sécurisation des récoltes vis-à-vis des maladies

Pour les vignes en place, le marché ne propose aucune solution pour sécuriser les vendanges vis-à-vis des maladies. Les traitements phytosanitaires n'offrent

malheureusement aucune garantie de résultat. Sur les dernières années, nombreux sont les viticulteurs qui, malheureusement pour eux, peuvent en témoigner (cf. paragraphe 1.1.2).

Pour les vignes à planter, les cépages résistants peuvent être considérés comme une solution pour sécuriser les futures récoltes de ces vignes vis-à-vis des maladies auxquelles ces cépages seront résistants (à condition que ces résistances soient durables).

2.2. Discussions

2.2.1. Sécurisation des récoltes vis-à-vis des accidents climatiques : pas de solutions à la hauteur des enjeux

L'offre de solutions pour répondre aux enjeux de sécurisation des récoltes vis-à-vis des accidents climatiques, si elle est substantielle en termes de panel, n'est pas complètement à la hauteur des besoins de la viticulture moderne.

Pas complètement à la hauteur en termes de fiabilité. Certaines méthodes de lutte, comme celles contre la grêle par exemple, sont très aléatoires. Les cas de viticulteurs touchés par la grêle malgré leur équipement sont malheureusement trop fréquents.

Pas à la hauteur en termes d'image. Dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique, de préservation de la ressource en eau, et de sensibilité exacerbée à tout ce qui a trait à la santé humaine, toutes ces techniques, qui soit dégagent énormément de CO₂, soit sont très gourmandes en énergie ou en eau, soit forment des nuages âcres et suspects dans tout le voisinage, choquent un nombre grandissant de nos concitoyens.

Pas à la hauteur en termes de coût et de fonctionnalités. Tous ces procédés sont monofonctionnels. Il y a les dispositifs qui permettent de lutter contre le gel, et ceux qui permettent de lutter contre la grêle. Aucune solution ne fait les deux en même temps. Un viticulteur qui voudrait se prémunir des deux risques devrait investir dans deux solutions différentes, ce que personne ne fait pour des considérations économiques.

2.2.2. Réduction drastique du recours aux produits phytosanitaires : pas de solution immédiate à la hauteur des enjeux, des espoirs sur le long terme avec les cépages résistants

Sur le court terme, l'offre de solutions proposées aux viticulteurs pour réduire leurs recours aux pesticides n'est pas non plus à la hauteur des enjeux immédiats.

Malgré tous les efforts consentis depuis de nombreuses années, force est de constater que la consommation de produits phytosanitaires ne baisse pas en viticulture. Depuis le début des années 2000 qu'elle est pratiquée à grande échelle par un grand nombre de viticulteurs, la lutte raisonnée, malgré la pertinence des outils qu'elle fait

Intervenir, a fait la preuve que les niveaux d'économie d'intrants phytosanitaires qu'elle permet ne sont pas suffisants pour réduire drastiquement le recours aux pesticides de manière globale. Après toutes ces années d'espairs déçus mis dans la lutte raisonnée, dans les biocontrôles, dans les techniques de pulvérisation à récupération, etc., il apparaît clair à tout le monde, aujourd'hui, que ce n'est pas dans le cadre du dogme des pesticides, « une cible, un produit », que se fera la réduction radicale de la consommation d'intrants phytosanitaires.

Sur le long terme, par contre, il existe une vraie opportunité, très prometteuse, pour faire baisser significativement le recours aux produits phytosanitaires : les cépages résistants. Malheureusement, la route est encore très longue avant que cette technique nouvelle n'ait un véritable impact sur la baisse de consommation des intrants phytosanitaires. De nombreuses interrogations persistent à leur sujet : les résistances sont-elles durables ? Au niveau culturel et commercial, les acteurs de la filière sont-ils disposés à faire bouger les codes, à accepter des cépages aux noms inconnus, aux typicités différentes ? Au niveau réglementaire, les AOC pourront-elles faire évoluer leurs cahiers des charges et inscrire ces nouvelles variétés ? Au niveau qualitatif, les cépages résistants présentent-ils des caractéristiques agronomiques adaptées ? Qu'en est-il de la qualité organoleptique des vins produits ? Les viticulteurs qui s'essaient aux cépages résistants aux maladies sont peu nombreux, de plus quand ils le font, ils le font très timidement, sur de toutes petites surfaces. Leur adoption par les viticulteurs se heurte, et va se heurter, à beaucoup de conservatisme. Et, quand le cap de l'évolution des mentalités sera passé, un autre, incompressible se présentera alors : remplacer les cépages sensibles actuels par des cépages résistants prendra du temps, renouveler un vignoble ne se fait pas du jour au lendemain...

2.2.3. Sécurisation des récoltes vis-à-vis des maladies : pas de solution immédiate, des espoirs sur le long terme avec les cépages résistants

Pas d'offre de solutions à la hauteur des enjeux immédiats, non plus, sur cette problématique.

Il n'existe aucun moyen pour sécuriser les récoltes sur les vignes en place. Pour les futures plantations, les cépages résistants, peuvent être vus comme une technique de sécurisation des futures récoltes, avec les limites évoquées dans le paragraphe précédent, notamment en ce qui concerne les réticences des viticulteurs à l'égard de cette solution nouvelle, et en ce qui concerne le temps qui sera nécessaire pour la mettre en place.

2.3. Conclusions

Cette analyse de l'état de l'art amène à trois conclusions :

- La première : A date, toutes les solutions mises à disposition des viticulteurs pour répondre à l'un ou

l'autre des besoins les plus pressants des viticulteurs sont soit inexistantes sur le court terme, c'est le cas pour les enjeux « réduction du recours aux pesticides » et « sécurisation des récoltes vis-à-vis des maladies », soit imparfaites, car pâtissant d'un défaut majeur, c'est le cas des procédés censés sécuriser les récoltes du point de vue des accidents climatiques (manque de fiabilité des pratiques de lutte contre la grêle, non compatibilité avec le respect de l'environnement pour les pratiques de lutte contre le gel).

- La seconde : Aucune technique ne permet de répondre à toutes ces problématiques en même temps, toutes ces techniques, quand elles existent sont monofonctionnelles.
- La troisième : Pour réduire drastiquement le recours aux pesticides, il faut s'affranchir du paradigme des traitements et réfléchir autrement.

3. L'exemple de l'arboriculture et du maraîchage : des solutions fiables « tout en un » pour répondre à tous ces enjeux en même temps

3.1. L'exemple de l'arboriculture-maraîchage

En arboriculture-maraîchage, l'utilisation de barrières physiques est autorisée depuis longtemps.

Grâce à cette facilité, la lutte contre les aléas climatiques est simple dans le principe, et fiable dans la pratique. Il suffit de positionner des bâches ou des filets au-dessus des cultures. Si ces couvertures sont imperméables, elles protègent contre le gel et contre la grêle. C'est ce qui se produit dans les serres : quand il fait froid, les bâches en plastique retiennent la chaleur du sol au niveau de la culture qu'elles recouvrent, quand il grêle, elles empêchent les grêlons de lui tomber dessus. C'est également le principe des filets anti-grêle utilisés en arboriculture, mais, ces filets étant ajourés, ils ne protègent que contre la grêle.



Photo 4. Bâches anti-grêle en arboriculture (crédit photo : NC).

Mais grâce à cette facilité, et même si les bâches plastiques utilisées pour couvrir les serres ne sont pas spécifiquement installées pour réduire l'usage des produits phytosanitaires, mais plutôt pour hâter les cultures et/ou les protéger contre les aléas climatiques, il n'en reste pas moins qu'on observe également des baisses très fortes de la pression des pathogènes dont les cycles biologiques sont

dépendants de la pluie, dans les cultures menées sous ces couvertures.

Abriter des cultures de la pluie pour éviter que certaines maladies ne se développent est une méthode de lutte bien connue.

En maraîchage, les cultures de tomate sous serres en sont un exemple : sous abri, les tomates sont rarement touchées par le mildiou (*Phytophthora parasitica*), quand, en plein champ, elles subissent régulièrement, malgré les traitements, les affres des attaques du pathogène.

En viticulture, on trouve aussi quelques exemples. Les boutures conduites en serre et arrosées au pied ne développent pas de mildiou (*Plasmopora viticola*). De même, la technique des abris permanents sous bâches en plastique existe dans certains pays comme l'Italie ou le Brésil, notamment pour la production de raisin de table. P. Galet (1977) rapporte même des usages similaires, qui permettaient une protection efficace, ainsi que des expérimentations, datant de la fin du XIX^e siècle !

En arboriculture, des essais du centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL) ont montré que des systèmes fixes de bâches para-pluie couplés aux bâches anti-grêle procuraient une protection intéressante contre la tavelure du pommier *Venturia inaequalis*.



Photo 5. Bâches para-pluie/para-grêle en arboriculture (crédit photo : NC).

3.2. Discussions et conclusions

En arboriculture-maraîchage, où le recours aux couvertures imperméables est permis, les solutions proposées sont multifonctionnelles. Grâce à ces bâches imperméables, les serres protègent contre le gel et la grêle, et autorisent en même temps de fortes réductions du recours aux pesticides. Les dispositifs associant des bâches para-pluie à des filets anti-grêle font de même, avec cependant moins de performance pour le gel car la bâche imperméable para-pluie ne couvre pas la totalité de la surface (cf. photo ci-dessus).

Ce qui fait la multifonctionnalité des solutions en arboriculture/maraîchage, ce sont les barrières physiques imperméables.

C'est suite à ce constat qu'il a été décidé que Viti-Tunnel, dont l'ambition est de répondre aux trois enjeux (sécurisation vis-à-vis des maladies, sécurisation vis-à-vis des aléas climatiques, réduction drastique du recours aux

pesticides), allait être basé sur le recours aux barrières physiques imperméables.

4. Des abris permanents de l'arboriculture-maraîchage à la protection amovible et automatisée Viti-Tunnel

4.1. Des abris permanents de l'arboriculture-maraîchage...

Viti-Tunnel reprend donc cette notion d'abri imperméable positionné au-dessus des cultures en arboriculture-maraîchage.

D'abord, pour éviter les dégâts du froid et de grêlons, de manière fiable et, autant que faire se peut, respectueuse de l'environnement.

Ensuite pour éviter le développement des maladies de la vigne, dont notamment le malheureusement fameux mildiou (*Plasmopora viticola*), générateur de très nombreux traitements, de 70 à 95 % des produits utilisés en viticulture, selon les années climatiques, les régions viticoles et les cahiers des charges de production (sources identiques à celles du paragraphe 1.3). La pluie est en effet un facteur clé de *Plasmopora viticola* : elle assure les contaminations primaires en projetant les zoospores issues des formes de conservations hivernales dans le sol sur les organes verts, elle permet la mobilité de ces dernières pour coloniser les stomates et elle génère les contaminations secondaires (ou repiquages) à partir de fructifications vers de nouveaux organes. On comprend intuitivement le postulat de départ de Viti-Tunnel : si on empêche la pluie de tomber sur les organes végétatifs et fructifères de la vigne, on empêche les contaminations de mildiou de se produire. La maladie ne peut se développer et on n'a donc pas besoin de la traiter.

4.2. ...à la protection amovible et automatisée Viti-Tunnel

Mais mettre des rangs de vignes en Appellation d'Origine Contrôlée sous des abris permanents, n'est pas envisageable car interdit par tous les cahiers des charges des Appellations, où la notion de terroir est primordiale. Des abris, tels que des serres ou des filets-bâches para-grêle/para-pluie qui resteraient longtemps en place, modifieraient trop fortement le microclimat autour des ceps, et généreraient des changements physiologiques trop importants (maturité, composition polyphénolique).

Pour que des bâches imperméables puissent être utilisées en Viticulture AOC, il faut qu'elles interagissent le moins possible avec le terroir. Il faut donc qu'elles soient amovibles, et qu'elles ne soient mises en place au-dessus des rangs de vigne que pendant les périodes où elles sont utiles, c'est-à-dire pendant les pluies, pour éviter les contaminations de mildiou, et pendant les événements climatiques extrêmes, pour éviter les dégâts du froid et des grêlons. Entre ces périodes, il faut que les rangs de vigne soient à l'air libre. Pour que cela soit possible, il faut, bien sûr, que le déclenchement de la couverture soit automatisé,

il ne s'agit pas, en effet, de mettre quelqu'un à poste devant les rangs pour ouvrir ou ranger la protection à chaque fois qu'il pleut ou qu'il s'arrête de pleuvoir. Et dernier point, pas des moindres, il faut que les installations interfèrent le moins possible avec les pratiques culturales des viticulteurs (travaux mécaniques, passage d'engins, etc.).

Voilà, longuement expliqué, comment le projet Viti-Tunnel est né !

5. Des mini-toits, amovibles automatiquement, au-dessus des rangs de vigne

5.1. Description

Viti-Tunnel est donc un dispositif monorang de mise à l'abri des vignes pendant les pluies et les épisodes de gel et de grêle (cf. photo 6. ci-dessous). Les installations sont constituées d'une centrale climatique, reliée en amont à des capteurs météorologiques, et en aval à des moteurs et des tubes, enveloppés de bâches imperméables, positionnés au-dessus des canopées. Elles sont configurées de sorte à pouvoir positionner les bâches, au-dessus des rangs de vigne qu'elles protègent, en moins d'une minute, et à pouvoir les en retirer pour les remettre à l'air libre, également en moins d'une minute. Et ce, autant de fois que nécessaire, c'est-à-dire autant de fois qu'il pleut, qu'il gèle ou qu'il grêle, et de manière automatique, c'est-à-dire sans l'intervention des viticulteurs. En l'état de notre technique, le dispositif est dimensionné pour fonctionner jusqu'à des longueurs de rang de 150 m.



Photo 6. Dispositif Viti-Tunnel vue de dessus, installation de 10 rangs sur le domaine du Château Quinault L'enclos à Libourne (crédit photo : Mo.Del).

Le cœur du système réside dans la centrale climatique. Grâce à un algorithme spécialisé et connecté aux capteurs, elle contrôle les moteurs situés aux extrémités des rangs de vignes. Ces moteurs actionnent les tubes pour enrouler ou dérouler les bâches en fonction des données météorologiques détectées par les capteurs. Les bâches ne se rejoignent pas totalement entre les rangs ce qui permet à l'eau de pluie de s'écouler au milieu de l'inter-rang et d'alimenter les pieds de vigne.

Chaque moteur est alimenté par son propre panneau solaire, garantissant ainsi une autonomie énergétique totale au système. Une application IHM (Interface Homme Machine) intuitive est disponible sur smartphone et ordinateur, offrant aux utilisateurs la possibilité de

surveiller l'état et la position des Viti-Tunnels, ainsi que de contrôler leur fonctionnement à distance.

5.2. Principe de fonctionnement

Dans son utilisation « protection contre la pluie et les maladies pluviométriques dépendantes », Viti-Tunnel fonctionne de la manière suivante :

- Quand il commence à pleuvoir, les capteurs détectant les premières gouttes, la centrale climatique déclenche le déploiement du Viti-Tunnel au-dessus de la canopée en moins d'une minute.
- Tant qu'il pleut, Viti-Tunnel reste dans cette position « déployé » : la vigne est à l'abri de la pluie qui ruisselle sur les bâches et tombe au milieu de l'inter-rang.
- Quand il s'arrête de pleuvoir, le capteur ne détecte plus de gouttes, Viti-Tunnel se retire pour retrouver sa position « rangé », également en moins d'une minute.
- Tant qu'il ne pleut pas, Viti-Tunnel reste dans cette position « rangé », jusqu'à l'épisode pluvieux suivant, pour un nouveau cycle.

La vigne n'est couverte que pendant les pluies. En cumulé, sur les 5 dernières campagnes d'utilisation, les durées totales de couverture ont été de 4 et 8 jours, soit moins de 5 % d'un cycle viticole, qui dure d'environ 170-180 jours. On ne modifie que très peu le microclimat, donc le terroir, et ce d'autant plus qu'on ne déplace pas l'eau de pluie.



Photo 7. Photo de rangs Viti-Tunnels en position « déployé » pris de dessus (crédit photo : Mo.Del).



Photo 8. Photo de rangs Viti-Tunnels en position « déployé » pris de dessous (crédit photo : Mo.Del).

Dans son utilisation « protection contre le gel » et « protection contre la grêle », le fonctionnement est le même mais le déclenchement est gouverné respectivement :

- Par un capteur de température : Viti-Tunnel se déploie dès que la température passe en dessous d'une température de consigne (4.5 °C), et couvre les rangs en continu jusqu'à ce que la température extérieure remonte au-dessus de cette température de consigne.

- Par un doppler, qui détecte les grêlons avant que ceux-ci n'atteignent la parcelle : Viti-Tunnel reste dans sa position « déployé » tant qu'il grêle.

6. Une preuve de concept validée haut la main

6.1. Un travail de grande envergure

En avril 2019, 12 sites ont été équipés de 3 à 6 rangs de Viti-Tunnel, sur un réseau de 10 propriétés en Gironde. Le but était d'y faire la preuve de concept de Viti-Tunnel, à savoir valider que le fait de couvrir les vignes pendant les pluies et les accidents climatiques, tout en les laissant découvertes entre ces moments, permet bien, sans avoir besoin d'utiliser des produits phytosanitaires, de sécuriser les vendanges du point de vue des maladies, et permet bien également de sécuriser les vendanges du point de vue du gel et de la grêle. Réalisée entre 2019 et 2023, sous la direction scientifique, méthodologique et opérationnelle de l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV), cette étude de longue haleine a permis de recueillir des résultats officiels sur les performances du Viti-Tunnel dans des conditions réelles d'utilisation.

6.2. Une efficacité validée

6.2.1. Résultats maladies

Sur les 10 sites, et sur les 5 années d'expérimentation, **sans aucun produit phytosanitaire**, Viti-Tunnel a permis de garantir l'absence de récoltes dues au mildiou, y compris en 2020, 2021 et 2023, années de très forte pression mildiou.

Les résultats sous les rangs Viti-Tunnels sont toujours au moins aussi bons que ceux obtenus en traitant. Dans les trois années de très forte pression, sur le panel des 10 sites d'expérimentation, on s'aperçoit qu'ils sont même meilleurs dans environ 35 % des cas. Ces cas correspondent à des situations où un (ou plusieurs) traitement n'a (n'ont) pu être réalisé(s) à cause de la pluie ou de l'état du sol après la pluie.

Tableau 2. Tableau récapitulatif des résultats d'expérimentation mildiou sur les 4 années. Source IFV.

	2019	2020	2021	2022
	Année de pression mildiou Faible	Année de pression mildiou très forte	Année de pression mildiou très forte	Année de pression mildiou très faible
Dégâts moyens sur les rangs Viti-Tunnel	proche de 0 % dans 100 % des parcelles	proche de 0 % dans 100 % des parcelles	proche de 0 % dans 100 % des parcelles	proche de 0 % dans 100 % des parcelles
Viti-Tunnel Fait AUSSI BIEN QUE les traitements classiques	sur 63 % des sites	sur 67 % des sites	sur 60 % des sites	sur 100 % des sites
Viti-Tunnel Fait MIEUX QUE les traitements classiques	sur 37 % des sites	sur 33 % des sites	sur 40 % des sites	sur 0 % des sites
Viti-Tunnel Fait MOINS BIEN QUE les traitements classiques	sur 0 % des sites			

6.2.2. Résultats gel

Preuve s'il en était besoin, de la forte prégnance de la problématique gel, sur les 10 sites et les 5 années d'expérimentation, pas moins de 2 sites ont été concernés par un épisode gel, trois fois pour l'un, deux fois pour l'autre. A chaque fois, Viti-Tunnel a permis de préserver la quasi-totalité des bourgeons, quel que soit le type de gel (radiatif ou convectif), et avec des températures descendant jusqu'à -3 °C en 2022.

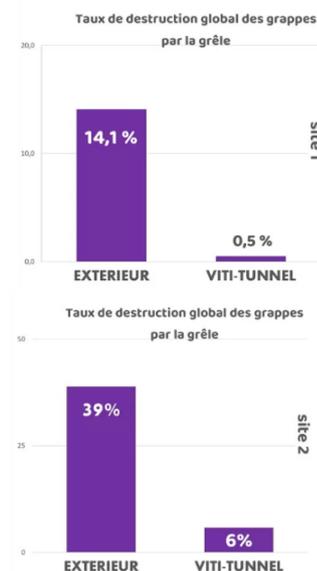
Tableau 3. Diagrammes présentant la répartition des dégâts sur les deux sites touchés par le gel en 2019, 2021 et 2022 (en rouge les ceps touchés, en vert les ceps indemnes, les rangs Viti-Tunnel sont au milieu des dispositifs expérimentaux). Source IFV.



6.2.3. Résultats grêle

Le 20 juin 2022, deux sites ont été concernés par un épisode de grêle intense (grêlons de la taille de « balles de ping-pong »). Viti-Tunnel a permis de réduire très significativement les dégâts et de rendre la grêle quasi-indolore.

Tableau 4. Graphiques comparatifs du taux de destruction global des grappes sur les 2 sites touchés par la grêle en 2022 : sous Viti-Tunnel et hors Viti-Tunnel. Source IFV.



6.2.4. Synthèse

La preuve de concept est faite. Sur les 10 sites et les 5 années d'expérimentation, sous la tutelle de l'IFV, Viti-Tunnel a permis de garantir l'absence de pertes de récoltes dues au gel, à la grêle ET aux maladies, sans aucun produit phytosanitaire, et y compris en 2020, 2021 et 2023, années de très fortes pressions maladies. Les résultats de ces 5 années de preuve de concept sont suffisamment solides et robustes pour que l'on puisse affirmer que la solution Viti-Tunnel constituera bel et bien, quand elle sera commercialisée, une réponse forte, crédible et fiable aux enjeux de sécurisation des rendements et de réduction drastique du recours aux produits phytosanitaires.

7. Une nouvelle proposition de valeur pour la viticulture : une solution « tout en un » pour répondre à tous les enjeux

7.1. Les engagements Viti-Tunnel

Ce gros travail préparatoire de preuve de concept permet de l'affirmer en confiance, les parcelles qui s'équiperont de Viti-Tunnel bénéficieront des intérêts décisifs suivants, et ce, sans modifier le terroir ni le profil des vins :

- une garantie de sécurisation des rendements envers les pertes de récolte dues au gel, à la grêle ET aux maladies,
- une diminution du recours aux pesticides et aux pulvérisateurs de 70 à plus de 90 %, selon les années climatiques et la zone géographique.

Il s'agit là d'une vraie nouveauté pour la viticulture, une véritable nouvelle proposition de valeur.

7.2. C'est la première fois qu'une solution permettra de garantir l'absence de pertes de récolte à cause des maladies

Comme cela a déjà été précisé dans ce document, à ce stade, il n'existe pas d'autre solution qui permette cela. Quand il n'est pas possible de passer entre les pluies parce qu'il pleut sans interruption, les traitements sont mis en défaut. Pas le Viti-Tunnel. Quand le sol est détrempe et que les tracteurs ne peuvent pas rentrer dans les vignes, les traitements sont mis en défaut. Pas le Viti-Tunnel. Sans parler des problèmes de résistance ou d'appauvrissement de la pharmacopée.

L'efficacité de la protection contre les maladies de Viti-Tunnel est effective quelles que soient les conditions climatiques, pas celle des pesticides. Grâce à Viti-Tunnel, les vendanges sont complètement sécurisées, y compris vis-à-vis des maladies.

7.3. C'est la première fois qu'une solution permettra de réduire aussi drastiquement le recours aux pesticides

Cela a déjà été dit également, il n'existe pas non plus de solution pour réduire aussi drastiquement les consommations d'intrants phytosanitaires. Les économies

de pesticides obtenues grâce aux principes de la lutte raisonnée sont marginales par rapport à ce que permettra Viti-Tunnel, quant aux cépages résistants, cela a déjà été évoqué, leur mise en œuvre effective va prendre encore beaucoup de temps.

7.4. C'est la première fois qu'une solution permettra de lutter à la fois contre le gel ET contre la grêle

De la même manière, à ce stade, il n'existe pas de solution qui permette de protéger les vignes contre ces deux fléaux en même temps. La protection sera de plus obtenue par des moyens plus fiables, en tout cas pour la grêle, et plus acceptée par nos concitoyens. Pas d'ensemencement des nuages par de l'iodure d'argent, pas d'intervention d'hélicoptères ou d'objets chauffants énergivores, pas de nuage suspect et âcre au-dessus des parcelles et des voisins, etc.

8. Industrialisation et mise en marché

Convaincue de la pertinence de Viti-Tunnel dans le double contexte actuel de multiplication des aléas climatiques et de défiance vis-à-vis des pesticides, forte de l'intérêt montré par l'interprofession lors du salon international Vinitech 2022 (obtention du prix spécial du jury au concours des trophées des innovations), la start-up Mo.Del envisage maintenant de commercialiser son dispositif. Grâce à une levée de fonds de 2 millions d'euros, réalisée auprès de DEMETER via son fonds Vitirev Innovation, elle est entrée depuis le début de l'année dans une phase de pré-industrialisation et de tests terrain sur des parcelles de grandes surfaces. Trois sites de 10 à 15 rangs ont été déployés dans trois châteaux en Gironde en avril 2024.

La start-up vise des déploiements rapides, c'est-à-dire dès la campagne 2025, sur trois marchés cibles :

- Les parcelles où le recours aux produits phytosanitaires pose des problématiques très difficiles à gérer, comme les parcelles à proximité des habitations : pour ces zones, Viti-Tunnel, en réduisant le recours aux intrants phytosanitaires de 90 %, est LA solution.
- les parcelles de démonstration : il s'agit de parcelles de quelques rangs que les viticulteurs nous demandent d'installer avant d'investir dans de plus grandes surfaces.
- les parcelles à historique mildiou, gel et grêle.

D'ici là, quelques barrières doivent encore être levées. Toutes les autorisations administratives ne sont pas encore acquises, notamment celles de l'INAO, en cette phase de présérie, le prix reste encore élevé, et certaines données comme l'acceptabilité dans les paysages doivent être travaillées de manière plus poussée.

9. Conclusion

Viti-Tunnel est une innovation de rupture qui propose un véritable changement de paradigme dans les schémas de

lutte contre les maladies : plutôt que d'agir, avec un pesticide, sur les conséquences de la pluie, la maladie, on agit sur la cause de la maladie, la pluie.

Viti-Tunnel représente une avancée significative vers une viticulture moderne et durable. En offrant une solution efficace pour protéger les vignobles contre les maladies et les aléas climatiques, sans recourir à l'utilisation de produits phytosanitaires, ce dispositif satisfait aux principales préoccupations environnementales et de santé publique. Il permet de répondre à des problématiques d'actualité brûlante comme la cohabitation avec les riverains de parcelles de vigne, le respect des Zones de Non-Traitement ou encore la préservation de la biodiversité. Il ouvre une nouvelle voie en viticulture, celle du recours aux barrières physiques imperméables, qui pourrait transformer les pratiques viticoles traditionnelles.