

Végéphyt – 12^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 11 ET 12 DÉCEMBRE 2018

ESTIMER LA DATE D'APPARITION DU MILDIOU DE LA VIGNE GRÂCE À L'ÉLICITATION
PROBABILISTE D'EXPERTS

M. CHEN ⁽¹⁾, F. BRUN ⁽²⁾, M. RAYNAL ⁽³⁾, C. DEBORD ⁽³⁾, D. MAKOWSKI ⁽⁴⁾

¹ ACTA, INRA, UMR Agronomie, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval Grignon, France

² ACTA, INRA, UMR AGIR, F-31326 Castanet Tolosan, France

³ IFV, Bordeaux Nouvelle Aquitaine. UMT SEVEN, 71 Avenue E Bourlaux 33882 Villenave d'Ornon Cedex

⁴ INRA, UMR Agronomie, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval Grignon, France

RESUME

Le mildiou est considéré comme une maladie majeure de la vigne et la date d'apparition de ses premiers symptômes est une information cruciale pour la protection du vignoble. L'élicitation probabiliste d'experts a été utilisée ici pour estimer cette date. En 2017 et 2018, 29 experts ont été élicités pour fournir des distributions de dates probables d'apparition du mildiou entre avril et juin, pour différentes parcelles. Les résultats de ces élicitations montrent que le pronostic et le niveau d'incertitude des experts évoluent au cours de la saison. Les dates élicitées par les experts tendent à être plus précoces en début de saison et plus tardives en fin de saison, et le niveau d'incertitude associé aux pronostics tend à diminuer au cours du temps. Comparées aux dates d'apparition du mildiou observées en 2018, les dates élicitées sont souvent trop précoces lorsque l'élicitation est réalisée au mois de mars-avril. Ce biais devient cependant négligeable à partir de fin-mai. Nos résultats indiquent que l'élicitation probabiliste pourrait être utilisée dans les bulletins d'alerte épidémiologique pour fournir une information sur les incertitudes associées aux pronostics de date d'apparition du mildiou.

Mots clés: Mildiou, Vigne, Expertise, Elicitation probabiliste, Incertitude.

ABSTRACT

Grape downy mildew is a major disease of grapevine and the date of appearance of its first symptoms is crucial information for the protection of the vineyard. Probabilistic elicitation of experts has been used here to estimate this date. In 2017 and 2018, 29 experts were elicited to provide distributions of probable dates of late blight occurrence between April and June, for different plots. The results of these elicitation show that the experts' forecasts and uncertainty change over the season. The elicited dates tend to be earlier at the beginning of the season and later at the end of the season, and the level of uncertainty associated with the forecasts tends to decrease over time. Compared to the dates of appearance of downy mildew observed in 2018, elicited dates tend to be too early when elicitation is carried out from the end of May. However, this bias becomes negligible in the month of March or April. Our results indicate that probabilistic elicitation could be used in epidemiological alert bulletins to provide information on uncertainties associated with late downy mildew forecast.

Keywords: Downy mildew, Grapevine, Expert judgment, Probabilistic elicitation, Uncertainty.

INTRODUCTION

Plasmopara viticola est le pathogène responsable du mildiou, considéré comme une maladie majeure de la vigne. En effet, les attaques de mildiou peuvent provoquer des pertes de rendements (Dubos, 2002 ; Gessler *et al*, 2011) et une altération de la qualité du raisin (Jermini *et al*, 2010). Le moyen de lutte principal contre cette maladie est le recours aux produits phytosanitaires. Une stratégie généralement recommandée est d'appliquer un premier traitement fongicide à la fin de la période d'incubation des premières contaminations, ce qui correspond à l'apparition des premiers symptômes, puis de renouveler le traitement fongicide en fonction des conditions d'évolution de la maladie. Cette stratégie permet de garder un faible niveau d'inoculum dans la parcelle et ainsi limiter l'expansion de la maladie.

La date d'apparition des premiers symptômes est donc une information cruciale pour la protection du vignoble. Cette date conditionne en partie le nombre de traitements fongicides qui seront utilisés pendant la saison pour contrôler le mildiou (Mailly *et al*, 2017) et a donc besoin d'être estimée le plus précisément possible. En effet, une estimation trop précoce de cette date conduirait à une augmentation non nécessaire du nombre de traitements fongicides. Si elle est estimée trop tardivement, le risque que représente le mildiou pour la récolte sera sous-estimé, et la protection des vignes insuffisante, conduisant à une perte de rendement.

L'expertise est souvent mobilisée dans l'analyse de risque (Otway et Winterfeldt, 1992). Elle permet d'agrèger sous forme d'un texte qualitatif différentes informations pour éditer des bulletins d'alerte, comme le Bulletin de Santé du Végétal (BSV) ou autres bulletins de préconisation. Cependant, jusqu'à présent, les connaissances des experts sur la date d'apparition du mildiou sont représentées de manière qualitative. Par exemple, dans le BSV Nouvelle Aquitaine / Edition Centre Nouvelle Aquitaine Vigne - N°06 du 15 mai 2018, le risque d'attaque de mildiou à venir est décrit par un résumé et par une notation sur une échelle de risque allant de « très faible à très fort » (Chambre d'Agriculture Nouvelle Aquitaine, 2018). Cela dégrade la qualité de l'information transmise aux viticulteurs et peut renforcer le caractère subjectif de l'interprétation du bulletin. De plus, la nature qualitative de l'information ne permet pas de décrire explicitement le niveau d'incertitude associé aux pronostics des experts.

L'élicitation probabiliste d'expert permet de quantifier le jugement d'un expert, et de formaliser ses connaissances sur les valeurs probables d'une quantité inconnue d'intérêt en représentant ces connaissances par une distribution de probabilités (O'Hagan *et al*, 2006). Cette méthode, généralement utilisée en cas d'absence ou de manque de données (Morris *et al*, 2014) ou lorsque l'expérimentation est impossible (O'Hagan, 2012), permet de présenter le jugement d'un expert de manière quantitative à travers la distribution de probabilités. La distribution de probabilités décrit l'incertitude de l'expert sur la quantité estimée.

Dans cette étude, nous avons utilisé cette méthode afin d'estimer une distribution des dates probables d'apparition des premiers foyers de mildiou de la vigne grâce à l'expertise. Grâce à un outil d'élicitation probabiliste, cette distribution a été estimée par plusieurs professionnels du monde viticole à plusieurs reprises au cours des campagnes 2017 et 2018. Nous avons pu évaluer cette approche avec des observations de terrain, ce qui n'a jamais été réalisé jusqu'à présent en pathologie végétale. A partir des distributions estimées par les experts, nous avons déterminé s'il existait une relation entre, d'une part, le résultat d'une élicitation et, d'autre part, la date à laquelle l'élicitation est menée. Nous avons également étudié la relation entre le niveau d'incertitude des experts et la date à laquelle l'élicitation est réalisée. Enfin, nous avons évalué le réalisme des résultats des élicitations en comparant les dates élicitées aux dates d'apparition observées.

MATERIEL ET METHODES

Elicitation d'experts

Deux campagnes d'élicitation des connaissances expertes ont été menées en 2017 et 2018. En 2017, dix personnes ont participé à la campagne d'élicitation. Les participants, que nous qualifions « d'experts » dans cette étude, étaient des conseillers viticoles de l'Institut Français de la Vigne et du Vin, des conseillers de Chambres d'Agriculture Régionales, des employés de châteaux et des viticulteurs. Du fait de leur activité professionnelle, ces experts ont une bonne connaissance des épidémies de mildiou dans leur zone d'expertise. Selon les experts, cette zone peut aller de la parcelle

au bassin de production. Chaque expert a été sollicité pour estimer la distribution des dates probables d'atteinte du seuil de 1% de ceps malades sur une parcelle non traitée de leur zone d'expertise. Ce seuil épidémiologique a été utilisé afin de déterminer la date à laquelle les premiers symptômes de mildiou sur ceps sont apparus dans la zone d'expertise de chaque expert. Cette procédure est répétée toutes les deux semaines environ, entre mars et juin, afin de mettre à jour les estimations des dates d'atteinte du seuil. En moyenne, 0.7 pronostic a été réalisé toutes les deux semaines par chaque expert, soit 4.6 pronostics par expert sur la période mars-juin, avec un minimum de 3 pronostics et un maximum de 7, et un nombre total de pronostic égal à 46.

En 2018, un panel de dix-neuf experts a été mobilisé. Ce panel était constitué de conseillers viticoles d'instituts techniques (Institut Français de la Vigne et du Vin, Bureau National Interprofessionnel du Cognac), de conseillers de Chambres d'Agriculture Régionales, d'employés de châteaux et de chercheurs de l'INRA (un chercheur, un ingénieur de recherche et un doctorant). Huit des 10 experts sollicités lors de la première campagne d'élicitation ont également été élicités en 2018. Une parcelle de référence, non-traitée et se trouvant dans la zone d'expertise de chaque participant a été définie au préalable par chaque expert. Les experts ont été sollicités pour estimer distribution des dates probables d'atteinte du seuil de 1% de ceps malades pour leur parcelle respective. Les experts ont été mobilisés toutes les semaines entre avril et juin 2018 pour actualiser leur estimation. En 2018, 111 pronostics ont été produits durant cette période. En moyenne, chaque expert a été élicité 5.8 fois en 2018, avec un minimum de 3 et un maximum de 10.

En 2018, la date observée d'atteinte du seuil de 1% de ceps malade a été renseignée pour chaque parcelle de référence par chaque expert, c'est-à-dire pour 19 parcelles en tout. Une fois que ce seuil est atteint dans sa parcelle de référence, l'expert n'a plus été sollicité pour l'élicitation.

Outil d'élicitation

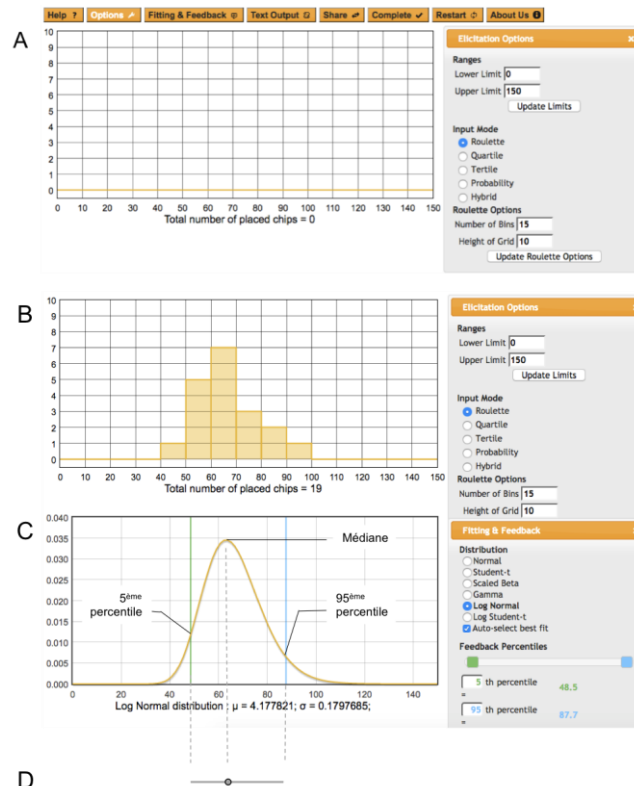
L'élicitation des experts sollicités a été réalisée grâce à l'outil d'élicitation « MATCH Tool [®] » développé par Morris *et al* (2014). En début de campagne, les experts ont été formés à l'utilisation de cet outil, gratuit et disponible en ligne (<http://optics.eee.nottingham.ac.uk/match/uncertainty.php#>), de manière à ce qu'ils puissent l'utiliser de manière autonome.

A une date donnée, chaque expert formule sa prédiction pour une parcelle spécifique sous forme d'un histogramme (Figure 1.A et B). L'axe des x de l'histogramme a été découpé en 15 unités de 10 jours. La première décade ([0-10]) représentait la première décade de mars et la dernière décade ([140-150]) représentait la dernière décade de juillet. La probabilité que le seuil épidémiologique soit atteint à chaque décade a été estimée par chaque expert (axe des y) en allouant un nombre plus ou moins grand de jetons dans chaque décade.

Une loi de probabilité a ensuite été ajustée à l'histogramme, puis éventuellement modifiée par l'expert (Figure 1.C). Plusieurs lois ont été comparées (loi normale, loi de Student, loi Scaled Beta, loi gamma, loi log-normale et loi log-Student) et celle s'ajustant le mieux a été sélectionnée. L'expert a pu vérifier si son pronostic correspondait bien à son jugement en s'appuyant sur les différents quantiles affichés (par défaut : le premier et le deuxième tertile).

Figure 1 : Utilisation de l'outil d'élicitation de Morris *et al* (2014). A : Histogramme vide. Chaque colonne représente une décade entre le 1^{er} mars (0) et le 31 juillet (150). B : Distribution des dates probables d'apparition du mildiou de la vigne élicitée par l'expert. C : Fonction de densité ajustée à la distribution élicitée en B. Les droites verticales vert et bleu correspondent au percentile 5 et 95 %, respectivement. D : Représentation de la fonction ajustée en C.

Use of Match tool [®] (Morris et al, 2014). A: Empty histogram. Each column represents a decade between March 1 (0) and July 31 (150). B: Distribution of probable dates of appearance of downy mildew of the vine elicited by the expert. C: Density function adjusted to the elicited distribution in B. The vertical green and blue lines correspond to the 5th and 95th percentile, respectively. D: Representation of the adjusted density function in C.



Analyses statistiques

A partir de chaque pronostic, une distribution ajustée des dates d'apparition des premiers symptômes du mildiou de la vigne a été estimée grâce à la fonction *fitdist* de la version 1.2.3 du package SHELF (Oakley et O'Hagan, 2008) de R (R Core Team 2017, version 3.3).

Pour chaque distribution des dates élicitée, la date médiane et l'intervalle de crédibilité à 90% ont été estimés. La date médiane correspond à la date pour laquelle il y a 50% de chance que le seuil de 1% soit atteint, selon l'expert élicité. L'intervalle de crédibilité à 90% estimée par un expert est le nombre de jours séparant le cinquième et le quatre-vingt-quinzième percentile de la distribution élicitée. Il traduit le niveau d'incertitude de l'expert. Plus l'intervalle est grand, plus l'estimation est incertaine.

Les dates médianes des différents pronostics de chaque expert ont été comparées entre ses différentes dates d'élicitation. Pour chaque expert, la date médiane d'apparition estimée lors de son premier pronostic a été comparée à celle estimée lors de son dernier pronostic. De même, les niveaux d'incertitude du premier et du dernier pronostic de chaque expert ont été comparés.

Pour les experts élicités en 2018, les dates médianes estimées lors de la première et de la dernière élicitation ont été comparées à la date d'apparition des premiers symptômes observée dans leur parcelle de référence respective. Les percentiles 5, 50 et 95% de la distribution des dates observées ont été comparés aux percentiles de la distribution des dates médianes estimées par les experts en début et en fin de campagne.

RESULTATS

Pronostics des experts en fonction des dates d'élicitation

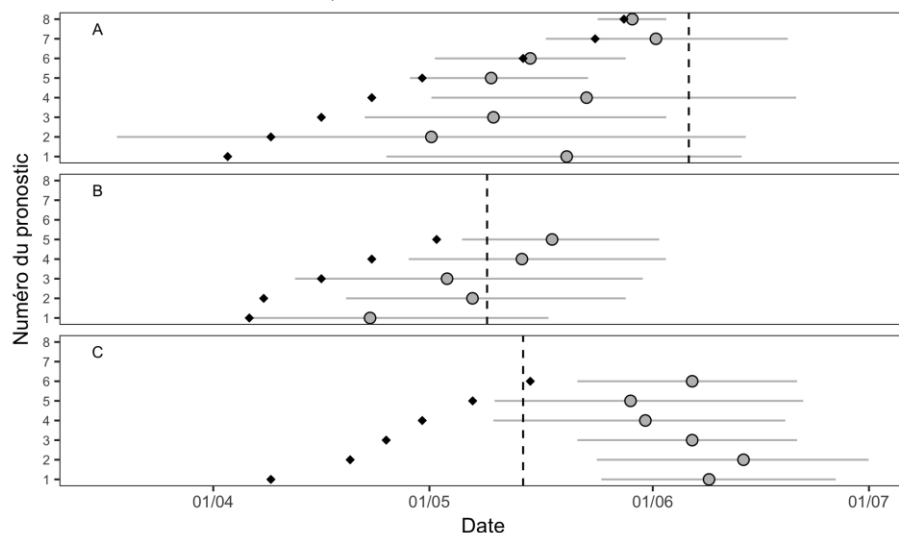
Chaque expert a été élicité à plusieurs reprises en 2017 et/ou en 2018. Les résultats des élicitations montrent que le pronostic de l'expert sur la date d'apparition du mildiou évolue au cours du temps (Figure 2). Ainsi, en 2018, huit pronostics ont été réalisés par l'expert A entre le 3 avril et le 28 mai (Figure 2.A). Lors de la première élicitation de cet expert, la date médiane d'apparition correspond au 20 mai. Lors du deuxième pronostic réalisé par cet expert, la date médiane correspond au 1^{er} mai, soit 19 jours plus tôt par rapport à la première estimation. Cette date médiane recule au 9 mai lors du troisième pronostic, puis évolue encore lors des cinq pronostics suivants : le 22 mai, le 9 mai, le 15 mai,

le 1^{er} juin et le 29 juin 2018 (Figure 2.A). Pour l'expert A, la date médiane finale est donc beaucoup plus tardive que la date médiane initiale.

Les résultats évoluent également au cours du temps pour les experts B (Figure 2.B.) et C (Figure 2.C.), mais de manière différente. Ainsi, les dates médianes obtenues lors des première et dernière élicitations sont le 22 avril et le 18 mai, respectivement, pour l'expert B (Figure 2.B.) et le 8 juin et le 6 juin pour l'expert C (Figure 2.C). Plus généralement, la date médiane de la première élicitation est plus précoce que la date médiane de la dernière pour 80% des experts élicités en 2017 et 89.4% de ceux élicités en 2018 (Figure 3.A et 3.C). En 2017, l'écart entre la première et la dernière élicitation était en moyenne de 23,1 jours, avec un maximum de 44 jours et un minimum de 0 jours. En 2018, l'écart moyen est de 15.3 jours, avec un maximum de 47 jours et un minimum de 1 jour. Les écarts les plus grands sont obtenus pour les experts ayant estimé des dates médianes précoces lors du premier pronostic. Lorsque la première date médiane élicitée est plus tardive, les écarts ont tendance à être plus faibles (Figure 3). Cette tendance est significative à la fois en 2017 et en 2018 (Figure 3.B. et 3.D.).

Figure 2 : Pronostics de la date d'apparition des premiers symptômes de mildiou de trois experts (A, B et C) en 2018. Les pronostics de chacun des experts sont réalisés pour une parcelle non-traitée spécifique. La date à laquelle chaque pronostic est réalisé est représentée par un losange noir. La date médiane d'apparition des premiers symptômes est représentée par un point gris. L'intervalle de crédibilité à 90% de cette estimation est représenté par un trait horizontal. La date d'apparition observée dans chaque parcelle est représentée par un segment vertical.

Forecasts of the appearance date of the first symptoms of downy mildew from three experts (A, B and C) in 2018. Each expert's predictions are made for a specific untreated plot. The date on which each prediction is made is represented by a black dot. The median date of onset of the first symptoms is represented by a grey dot. A horizontal line represents the 90% confidence interval of this estimate. A vertical segment represents the date of appearance observed in each plot.



Impact de la date d'élicitation sur le niveau d'incertitude d'un expert

Le niveau d'incertitude des élicitations évolue au cours du temps. C'est le cas par exemple pour l'expert A (Figure 2A). L'écart entre les bornes inférieure et supérieure de l'intervalle de crédibilité de la première distribution de probabilités élicitée avec l'expert A est de 49 jours. Cet écart augmente lors de son deuxième pronostic, passant de 49 à 87 jours. Mais, entre la troisième et la huitième élicitation, l'écart entre les bornes inférieure et supérieure de l'intervalle de crédibilité diminue fortement et passe de 41 à 9 jours (Figure 2.A). Même si l'évolution est moins visible, le niveau d'incertitude diminue également au cours du temps pour les deux autres experts représentés sur la figure 2.

Cette tendance se confirme lorsqu'on analyse l'ensemble des résultats obtenus de tous les experts élicités (Figure 4). En 2017, l'incertitude est réduite de 19 jours en moyenne (-36.5%, $p < 0.0001$) entre

la première élicitation et la dernière. La réduction maximale observée sur les experts élicités en 2017 est de 45 jours, et la réduction minimale est de zéro (Figure 4.A). En 2018, la réduction moyenne d'incertitude est de 18 jours (-42.2%, $p < 0.0001$). Parmi les 19 experts élicités cette année là, la différence maximale observée entre le niveau d'incertitude du premier pronostic et celui du dernier est de 60 jours. Seuls deux experts présentent un niveau d'incertitude plus fort lors du dernier pronostic en 2018 (Figure 4.C).

Figure 3 : Comparaison de la date médiane d'apparition des premiers symptômes de mildiou de la vigne estimée en début (premier pronostic) et en fin (dernier pronostic) de campagne par chaque expert, en 2017 (A et B) et en 2018 (C et D). Les figures A et C représentent les dates médianes obtenues lors de la première (gris) et de la dernière (noir) élicitation de chaque expert. Chaque paire de points correspond à un expert. Les figures B et D représentent l'écart entre les dates médianes estimées lors du premier et du dernier pronostic en fonction de la date médiane estimée lors premier pronostic de chaque expert. La relation entre l'écart des médianes et la date médiane estimée en début de saison est indiquée pour 2017 (B) et 2018 (D).

Comparison of the median date of appearance of the first symptoms of late blight of the vine estimated at the beginning (first forecast) and end (last forecast) of the season by each expert, in 2017 (A and B) and 2018 (C and D). Figures A and C represent the median dates obtained during the first (grey) and last (black) elicitation of each expert. Each pair of points corresponds to one expert. Figures B and D represent the difference between the median dates estimated at the first and last prognosis as a function of the median date estimated at the first prognosis of each expert. The relationship between the median deviation and the estimated median early season date is shown for 2017 (B) and 2018 (D).

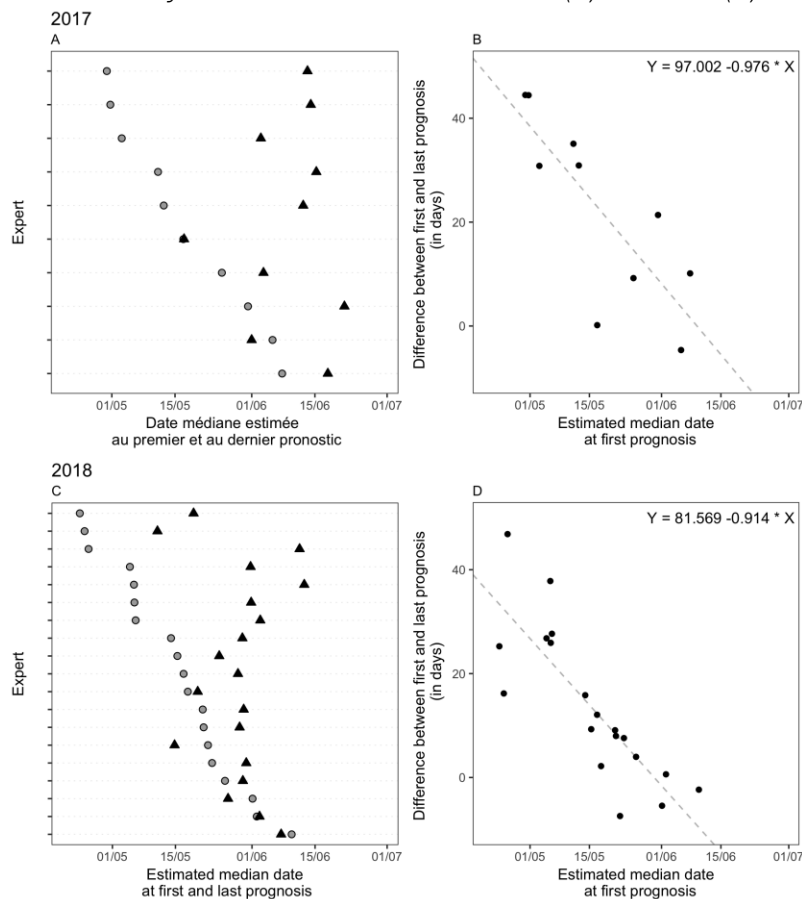
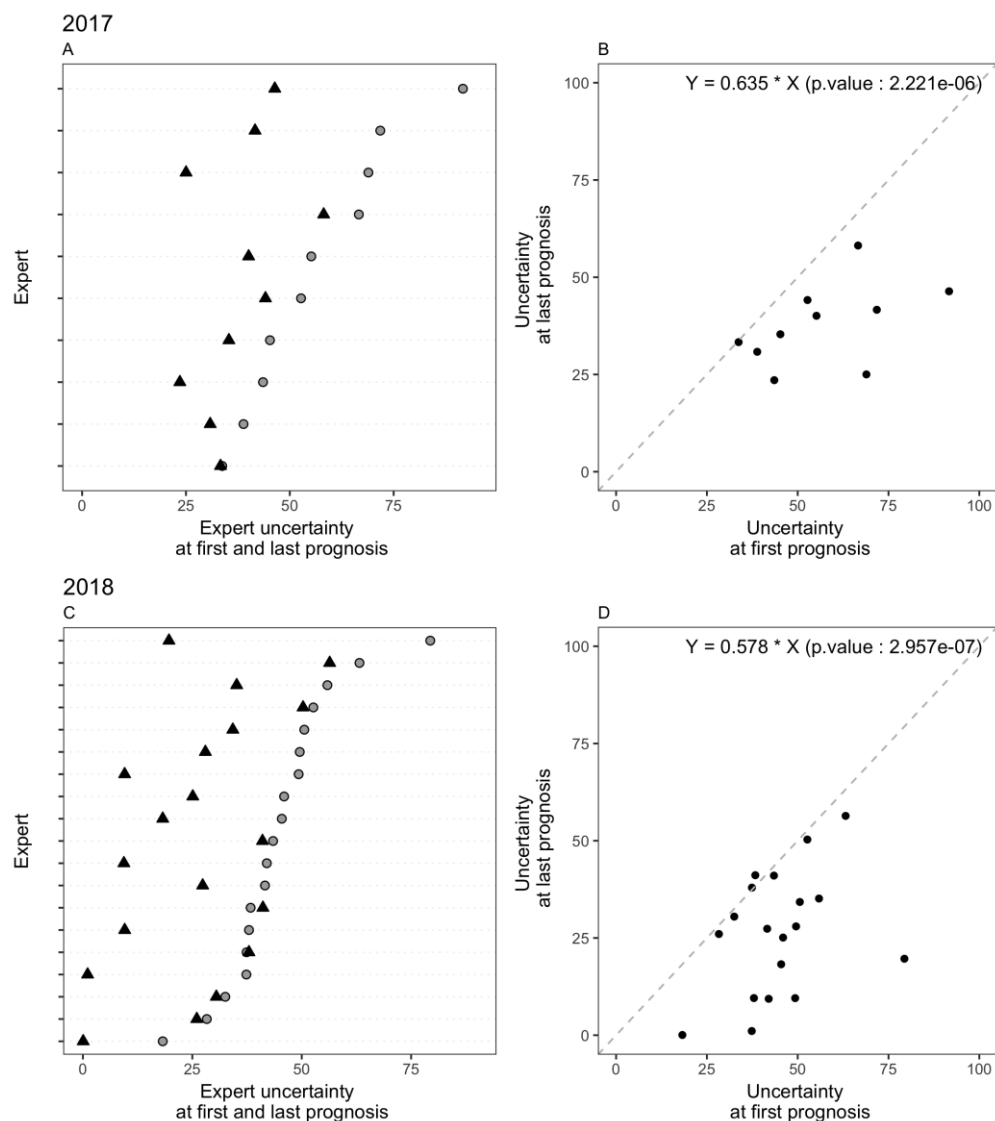


Figure 4 : Niveau d'incertitude des résultats des élicitations d'expert lors du premier et du dernier pronostic en 2017 et en 2018. Les figures A et C représentent le nombre de jours entre la borne supérieure et la borne inférieure de l'intervalle de crédibilité à 90% de la distribution des dates probables d'apparition des premiers symptômes de mildiou de la vigne élicitée par chaque expert à deux pronostics différents : le premier (en gris) et le dernier (en noir). Les figures B et D comparent les niveaux d'incertitude du premier pronostic (axe des abscisses) et du dernier pronostic (axe des ordonnées) de chaque expert ; la bissectrice est représentée par la droite pointillée grise.

Experts' elicitation uncertainty levels in the first and last forecasts in 2017 and 2018. Figures A and C represent the number of days between the upper and lower limits of the 90% credibility interval of the distribution of the probable appearance dates of the first symptoms of downy mildew elicited by each expert at the beginning (grey dots) and end of the season (black dots). Figures B and D compare the uncertainty levels of the first forecast (x-axis) and the last forecast (y-axis) of each expert; the grey dashed line represents the bisector.



Relation entre les dates d'apparition estimées et observées (campagne 2018)

En 2018, la date observée d'atteinte du seuil de 1% de ceps malade a été renseignée pour chaque parcelle de référence, c'est-à-dire pour 19 parcelles en tout. Cette date observée a été comparée à la date médiane estimée par les experts lors de leur premier et de leur dernier pronostic.

L'écart entre la distribution des dates estimées et celles des dates observées diminue entre le premier et le dernier pronostic (Tableau 1). Le 30 mai, les premiers symptômes de mildiou de la vigne sont observés dans 50% des parcelles suivies par les experts. Pour les pronostics réalisés en avril, 50% des dates médianes élicitées par les experts sont antérieures au 15 mai, soit 15 jours plus tôt que la date médiane observée. Pour les pronostics réalisés à partir de mi-mai, cette différence n'est plus que de 2 jours (Tableau 1). En 2018, l'apparition des premiers symptômes a été observée dans 5% des parcelles dès le 9 mai. Douze jours plus tard, un quart des parcelles étaient infectées. Les cinquième et vingt-cinquième quantiles des dates médianes élicitées lors de leur premier pronostic correspondent au 23 avril et au 4 mai ; ils sont donc plus précoces de 16 et 13 jours, respectivement. Lors de la dernière élicitation, cet écart est réduit à 4 et 7 jours, respectivement (Tableau 1). L'apparition des premiers symptômes a été constatée dans 75% et 95% des parcelles le 4 juin et le 10 juin, respectivement. Ces quantiles auraient dû être atteints le 21 mai et le 1^{er} juin, selon les premiers pronostics des experts, soit 14 et 9 jours plus tôt. Cet écart est réduit à 4 et 0 jours, si les derniers pronostics sont pris en compte (Tableau 1).

Tableau 1 : Quantiles 5, 25, 50, 75 et 95% de la distribution de la distribution des dates médianes d'apparition élicitées lors du premier et du dernier pronostic des experts et de la distribution des dates observées d'apparition (année 2018). L'écart entre les quantiles estimés et les quantiles observés sont indiqués entre parenthèse.

Quantiles 5, 25, 50, 75 and 95% of the distribution of median appearance dates from experts' first and last prognoses and from the distribution of observed appearance dates (year 2018). Differences between estimated and observed quantiles are indicated in brackets.

Quantiles	Premier pronostic	Dernier pronostic	Dates observées
5%	23/04/18 (16)	13/05/18 (4)	09/05/18
25%	04/05/18 (13)	24/05/18 (7)	17/05/18
50%	15/05/18 (15)	28/05/18 (2)	30/05/18
75%	21/05/18 (14)	31/05/18 (4)	04/06/18
95%	01/06/18 (9)	10/06/18 (0)	10/06/18

DISCUSSION

Nos résultats montrent que le pronostic d'un expert sur la date d'apparition du mildiou et l'incertitude de ce pronostic évoluent au cours du temps. Il existe donc un effet de la date d'élicitation sur le résultat de l'élicitation réalisée. Cet effet est dû au fait que de nouvelles informations deviennent disponibles entre deux dates d'élicitation, notamment de nouvelles données climatiques, de nouvelles simulations de modèles épidémiologiques ou de nouvelles observations régionales. Les experts ajustent leur pronostic en fonction de ces nouvelles informations et réduisent leur niveau d'incertitude au cours du temps.

Nos résultats montrent également que les pronostics varient sensiblement entre experts à chaque date d'élicitation. Il existe une forte variabilité entre les experts. Cependant, il n'est pas possible de déterminer si cette variabilité est due à des opinions divergentes entre experts ou au fait que chaque expert réalise un pronostic pour une parcelle différente. Le dispositif considéré dans notre travail ne permet pas de distinguer ces deux sources de variabilité. Il serait intéressant de préciser l'origine de cette variabilité en comparant les pronostics de plusieurs experts réalisés pour une même parcelle.

La date du premier traitement, conditionnée par l'apparition des premiers symptômes, a un fort impact sur le nombre total de traitements fongicides appliqués durant la saison (Mailly *et al*, 2017). En effet, après la première application, le traitement est répété toutes les deux semaines en moyenne (Mailly *et al*, 2017). Nos résultats montrent que la date médiane d'apparition des premiers symptômes de

mildiou estimée en début de saison est généralement plus précoce que la date d'apparition des premiers symptômes observée dans les parcelles suivies. Ainsi, si les viticulteurs se basent sur les résultats des élicitations pour déclencher leurs traitements, la date d'élicitation peut avoir un effet sur le nombre de traitements. Pour les deux années considérées dans ce travail, un déclenchement des traitements fongicides à partir des dates élicitées en avril conduirait à un nombre total de traitements supérieurs à celui qui résulterait d'une décision de traitement réalisée à partir des élicitations de fin mai ou début juin. La différence des dates médianes élicitées est d'environ 19 jours en moyenne sur les deux années entre les élicitations réalisées en mars-avril et celles réalisées à partir de la mi-mai. La différence attendue de nombre de traitements induite par la date d'élicitation serait donc égale à 1.4 traitements, en supposant qu'un traitement est appliqué toutes les deux semaines.

L'impact potentiel de la date d'élicitation sur le nombre de traitements pourrait être même renforcé si on tient compte de l'incertitude. Les résultats des élicitations montrent en effet que le niveau d'incertitude des pronostics réalisés en mars-avril est généralement plus élevé que celui des pronostics réalisés à partir de mi-mai ; l'intervalle de probabilité est plus large en mars-avril qu'à partir de mi-mai. L'utilisation de la borne inférieure de l'intervalle de probabilité élicitée pour le déclenchement de traitement pourrait donc conduire à un démarrage encore plus précoce des traitements fongicides, surtout si l'élicitation est réalisée en début de saison.

Si l'ensemble des parcelles est considéré, la proximité entre la distribution des dates élicitées et la distribution des dates observées est nettement plus forte en fin de saison qu'en début de saison. A l'échelle régionale, la distribution des dates élicitées en fin de saison donne ainsi une image réaliste des dates possibles d'apparition du mildiou dans les vignobles, en tout cas pour l'année où les observations étaient disponibles. Il serait utile de vérifier ce résultat pour d'autres années.

Ces résultats ont plusieurs implications pratiques. L'élicitation d'expert a l'avantage d'être facile et rapide à mettre en place. En effet, l'outil Match Tool[®] (Morris *et al*, 2014) utilisé ici est disponible en ligne et l'élicitation est en général très rapide à réaliser (5 à 10 minutes par pronostic). Même si la fiabilité des pronostics à l'échelle des parcelles individuelles est faible, les résultats obtenus à l'échelle régionale nous semblent suffisamment robustes à partir de la mi-mai pour pouvoir être utilisés pour faire des pronostics régionaux. Dans le BSV, le risque d'attaque de mildiou est pour l'instant décrit par un résumé de différentes informations (sorties de modèles, prévisions climatiques, etc.) liées au niveau de risque. Une échelle de risque qualitative allant de « très faible à très fort » est ensuite utilisée pour faire un diagnostic. Un des avantages de l'élicitation probabiliste est qu'elle fournit une distribution des dates probables d'apparition des premiers symptômes du mildiou dans une région donnée, de laquelle on peut tirer des quantiles qui peuvent être utilisés comme indicateurs quantitatifs. De plus, dans le BSV, l'incertitude de l'estimation du risque n'est pas exprimée, tandis qu'avec notre approche, le niveau d'incertitude des experts est clairement décrit.

L'élicitation a également été utilisée comme outil d'animation d'un réseau de conseillers viticoles, notamment grâce aux bulletins d'informations qui ont été générés en 2018. A travers ces bulletins, les experts ont pu comparer leur estimation à l'ensemble des pronostics. Ces documents ont aussi eu l'avantage de mettre en évidence la diversité de jugements des experts, ce dont ils n'avaient pas forcément conscience eux-mêmes.

A notre connaissance, ce travail est le premier à explorer l'intérêt de l'élicitation probabiliste pour réaliser un pronostic sur la date d'apparition d'une maladie. C'est aussi une des rares études à tenter d'évaluer la précision des résultats de l'élicitation à l'aide d'observation. Lichtenstein *et al* (1982) ont également comparé les résultats d'élicitation probabiliste à des observations, mais dans un contexte très différent. Dans leur étude, Lichtenstein *et al* (1982) ont montré que dans certains cas les estimations des experts étaient très différentes de la réalité, ce qui est cohérent avec nos résultats. Les experts élicités dans notre étude estiment généralement une date d'apparition trop précoce par rapport à la date réellement observée dans leur parcelle, mais ce biais diminue au cours de la saison.

Parmi les méthodes d'élicitation existantes, nous avons utilisé dans cette étude la méthode « roulette ». D'autres méthodes d'élicitation probabiliste existent, mais la méthode roulette est facilement comprise par les experts (Morris *et al*, 2014). Il serait cependant intéressant d'étudier la sensibilité des résultats à la méthode d'élicitation utilisée.

CONCLUSION

A partir des distributions estimées par les experts, nous avons montré une relation entre, d'une part, le pronostic d'un expert sur la date d'apparition du mildiou et, d'autre part, la date à laquelle l'élicitation est menée. De même, les résultats des élicitations montrent que le niveau d'incertitude des pronostics réalisés en mars-avril est généralement plus élevé que celui des pronostics réalisés à partir de mi-mai. Enfin, nous avons évalué le réalisme des résultats des élicitations en comparant les dates élicitées aux dates d'apparition observées. Nous avons montré que l'élicitation pouvait être utilisée pour estimer une distribution des dates probables d'apparition des premiers symptômes de mildiou à l'échelle d'un bassin de production, ce qui n'avait jamais été effectué auparavant en pathologie végétale.

REMERCIEMENTS

Ce travail a reçu le soutien du projet L-i-cite financé par l'Institut Carnot Plant2Pro. Il a également été financé dans le cadre du projet SMART-PIC - Concevoir des outils pour l'aide à la décision en protection intégrée des cultures intégrant l'ensemble des leviers par la mobilisation de nouvelles données et de formalismes innovants (2015-2019, financement CASDAR, AAP RT), ainsi que par l'ANRT (bourse CIFRE de thèse de Mathilde Chen. Les auteurs remercient les experts régionaux qui ont accepté de participer aux séances d'élicitation.

BIBLIOGRAPHIE

- Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine, 2018. Bulletin de Santé du Végétal Nouvelle Aquitaine / Edition Centre Nouvelle Aquitaine Vigne - N°06 du 15 mai 2018, http://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/BSV_VIGNE_Nord_Aquitaine_06_20180515_cle448b1c.pdf.
- Dubos B., 2002. Maladies cryptogamiques de la vigne - Les champignons parasites des organes herbacés et du bois de la vigne, Féret. ed, Collection des Usuels Féret de la Vigne et du Vin.
- Gessler C., Pertot I., Perazzolli M., 2011. Plasmopara viticola: a review of knowledge on downy mildew of grapevine and effective disease management. *Phytopathologia Mediterranea* 50, 3–44.
- Jermini M., Blaise P., Gessler C., 2010. Quantitative effect of leaf damage caused by downy mildew (Plasmopara viticola) on growth and yield quality of grapevine "Merlot" (Vitis vinifera). *Vitis* 77–85.
- Lichtenstein S., Fischhoff B., Phillips L., 1982. Calibration of Probabilities: The State of the Art to 1980. In: *Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge University Press, Cambridge; New York, p. 69.
- Mailly F., Hossard L., Barbier J.-M., Thiollot-Scholtus M., Gary C., 2017. Quantifying the impact of crop protection practices on pesticide use in wine-growing systems. *European Journal of Agronomy*, 84, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.005>
- Morris D.E., Oakley J.E., Crowe J.A., 2014. A web-based tool for eliciting probability distributions from experts. *Environmental Modelling & Software*, 52, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.10.010>
- Oakley J.E., O'Hagan A., 2008. SHELF: the Sheffield Elicitation Framework [WWW Document]. URL <http://www.tonyohagan.co.uk/shelf/> (accessed 9.20.18).
- O'Hagan A., 2012. Probabilistic uncertainty specification: Overview, elaboration techniques and their application to a mechanistic model of carbon flux. *Environmental Modelling & Software*, 36, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.03.003>
- O'Hagan A., Buck C.E., Daneshkhah A., Eiser J.R., Garthwaite P.H., Jenkinson D.J., Oakley J.E., Rakow T., 2006. Uncertain Judgements: Eliciting Experts' Probabilities. John Wiley & Sons.
- Otway H., Winterfeldt D. von, 1992. Expert Judgment in Risk Analysis and Management: Process, Context, and Pitfalls. *Risk Analysis*, 12, 83–93. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1992.tb01310.x>
- R Core Team, n.d. R: A language and environment for statistical computing [WWW Document]. R: The R Project for Statistical Computing. URL <https://www.r-project.org/> (accessed 8.30.18).