

➤ Simulation de l'impact des maladies du bois sur le rendement parcellaire

Rendement
Maladie du bois et
de la vigne
Modèle de
connaissance
Simulation

Résumé

Le rendement est le résultat de l'interaction entre les propriétés intrinsèques des vignes, les conditions environnementales auxquelles elles sont soumises au cours de leur développement et de la pression des parasites et des maladies. Afin de quantifier l'impact des maladies du bois et de la vigne (MBV) sur le rendement parcellaire, il est nécessaire de différencier ces composantes. Une approche de simulation basée sur un modèle de connaissance de croissance de la vigne a été développée. Cette approche a été testée en exploitant deux types de données : des données haute résolution dont l'acquisition nécessite la mise en place de protocoles expérimentaux rigoureux et des données basses résolution plus aisément mobilisables. En s'appuyant sur les données haute résolution il a été montré que le modèle de connaissance permettait de reproduire le rendement avec une précision de l'ordre de 10 g.m-2 et les dates d'apparition des stades phénologiques avec une précision de l'ordre de 5 jours. De plus, le modèle permet d'extrapoler les dynamiques de la teneur en eau du sol et ainsi de détecter les périodes à risque. Enfin il a été montré que l'approche de simulation permettait, à partir de données basse résolution, de prédire les tendances annuelles de rendement avec une marge d'erreur inférieure aux marges d'erreur induites par les hétérogénéités intra-parcellaires.

Introduction

Les maladies du bois et de la vigne (MBV) sont des syndromes dont l'origine est encore mal connue malgré une activité scientifique importante sur le sujet. Les symptômes sont en revanche relativement bien connus: baisse de l'activité photosynthétique par réduction de la conductance stomatique, sénescence accrue en cas de stress hydrique voire apoplexie, retard de maturation pouvant conduire à une perte partielle ou totale de la vendange.

Une première étape incontournable dans le développement de modèles pour la simulation de ces syndromes est leur quantification. Afin de quantifier avec précision les effets des maladies du bois, il est nécessaire de disposer d'indices de références décrivant le comportement de la vigne lorsqu'elle n'est pas soumise à une pression maladie. Ce comportement de référence est fortement conditionné par les propriétés intrinsèques des vignes (e.g. capacité photosynthétique, tolérance au stress hydrique) et par les conditions environnementales dans lesquelles elles se développent.

Comment quantifier l'impact des maladies du bois ?

En première approche la quantification de l'impact des maladies du bois peut être réalisée à travers la comparaison des parcelles touchées aux parcelles saines. Cependant pour que cette comparaison ait du sens il est nécessaire que les parcelles comparées soient soumises à des conditions environnementales très similaires.

Une alternative consiste à décrire l'effet de ces conditions environnementales sur le développement de la vigne. Cette approche de modélisation doit permettre de différencier les variations induites par les maladies du bois des variations induites par les conditions environnementales.

Les conditions environnementales sont spécifiques à la parcelle (e.g. topographie, caractéristiques pédologiques), aux pratiques des cultivateurs (e.g. palissage, rognage, entretien du sol) et au millésime (conditions climatiques au cours de la saison de croissance). Le développement de la vigne résulte des interactions entre les différentes constituantes de son environnement ainsi que de propriétés qui lui sont propres telle que la sensibilité stomatique qui détermine la tolérance au stress hydrique.

Marion CARRIER
Cybeletech - ORLÉANS
Tél : 09.72.10.47.44
Email : marion.carrier@cybeletech.com



Pour capturer l'ensemble de ces interactions au sein d'un modèle purement statistique, un volume conséquent de données serait nécessaire. Une alternative consiste à développer des modèles dit de connaissance. Ces modèles décrivent à l'aide d'équations différentielles les processus physiologiques qui gouvernent le développement de la vigne, la manière dont ces processus sont impactés par les conditions environnementales et les interactions entre les différents processus.

Outre une réduction significative du nombre de données nécessaires à l'apprentissage, les modèles de connaissance présentent l'intérêt d'être plus facilement interprétables d'un point de vue biologique. Ils sont notamment susceptibles d'améliorer notre compréhension de l'impact des maladies du bois sur les processus intermédiaires (e.g. apoplexie, sénescence, photosynthèse).

Dans ce but l'accent a été mis sur la modélisation des processus susceptibles d'être impactés par les maladies du bois : i) la phénologie du plant au sein d'une année de culture et entre les années (e.g. dévelop-

pement du feuillage et sénescence annuelle); ii) les dynamiques hydriques entre le sol, la plante et l'atmosphère, la nécrose des faisceaux du phloème et du xylème étant le premier symptôme des MBV, favorisant le stress hydrique; iii) l'interception des radiations et la photosynthèse, un processus majeur dans la mise en place du rendement et sur lequel est observé un fort impact des MBV indirectement via le stress hydrique et la chute de conductance hydrique induite dans la plante (Di Gennaro et al., 2017 ; Letousey et al., 2010); iv) le développement de l'appareil aérien, car l'atteinte du feuillage est un symptôme majeur dans la reconnaissance des MBV.

La mise en relation de ces différents processus au sein d'un modèle de croissance journalière de la vigne va permettre, connaissant les conditions environnementales et le cépage, d'estimer le développement de la vigne en l'absence de maladie du bois. La comparaison de ce développement nominal simulé avec le développement observé *in situ* permet alors une quantification de l'impact des MBV.

Quels indicateurs le modèle permet-il de simuler ?

L'objectif principal est de quantifier l'impact des MBV sur le rendement, c'est donc sur cet indicateur que les travaux se sont concentrés. Cependant pour garantir une bonne robustesse du modèle dans des conditions environnementales différentes de celles utilisées pour l'apprentissage il est nécessaire de s'assurer que les composantes qui contribuent à la construction du rendement sont fidèlement reproduites.

Le modèle de croissance de la vigne est évalué sur sa capacité à reproduire pour une parcelle test : i) le rendement en masse sèche à la récolte ; ii) le cycle phénologique décrit à travers les dates de floraison et de véraison ; et iii) les dynamiques hydriques décrites à travers l'évolution de la teneur en eau dans les deux premiers horizons du sol. Les conditions environnementales sur la parcelle test sont très bien maîtrisées avec notamment une bonne connaissance des caractéristiques pédologiques (texture, profondeur, et réserve utile), topographiques (inclinaison et orientation), des conduites culturales (date de rognage et de palissage, et gabarit), et des conditions climatiques (température, précipitation ensoleillement). Outre ces variables environnementales, le modèle prend en entrée un ensemble de paramètres physiologiques qui permettent notamment de qualifier la réponse des ceps aux stimuli environnementaux.

Les intervalles de variation des paramètres physiologiques sont connus et relativement compacts, cependant il est nécessaire de calibrer ces paramètres

pour affiner la précision du modèle. Cette phase calibration des paramètres (également appelée apprentissage du modèle) a été réalisée en s'appuyant sur les données collectées *in situ* sur la parcelle test et sur la méthode statistique ABC (Van der Vaart et al., 2015).

A l'aide de cette approche, on identifie un ensemble de jeux de paramètres physiologiques qui permettent de reproduire le rendement en masse sèche de la parcelle avec une précision de l'ordre de 10g.m⁻², et les dates de floraison et de véraison avec une précision de l'ordre de 5 jours.

De plus le modèle permet de reproduire les dynamiques de la teneur en eau dans les deux premiers horizons du sol avec une bonne précision entre mi-mars et mi-juillet. Entre mi-juillet et fin août une période de sécheresse induit une chute de la teneur en eau dans les deux horizons qui aboutit à une saturation de la sonde hydrique à -2.5 bar. Le modèle reproduit bien cette décroissance de la teneur en eau et permet d'extrapoler les dynamiques non capturées par la sonde. Il permet ainsi de détecter les périodes au cours desquelles la teneur en eau se rapproche du point de flétrissement, c'est-à-dire les périodes où le stress hydrique est maximal (Figure 1).

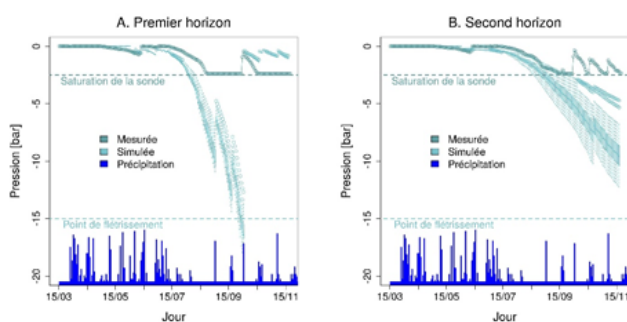


Figure 1

L'approche de simulation peut-elle être mise en œuvre à grande échelle ?

L'approche de simulation décrite précédemment nécessite une phase d'apprentissage du modèle pour laquelle des données sur le cycle phénologique de la vigne et sur sa production de matière sèche sont nécessaires. L'acquisition de ces données est associée à un coût important et ne peut être réalisée pour l'ensemble des parcelles. En revanche les données de rendements parcelaires historiques, exprimés en masse fraîche, sont susceptibles d'être plus facilement accessibles. Un module permettant d'estimer le rendement en masse fraîche a donc été ajouté au modèle de croissance de la vigne et l'approche de simulation a été adaptée pour pouvoir être mise en œuvre à partir de ces données.

Pour évaluer la capacité du modèle à reproduire le rendement en masse fraîche dans des conditions climatiques non connues, les paramètres physiologiques sont appris sur cinq des six années disponibles et le modèle ainsi calibré est utilisé pour estimer le rendement obtenu au cours de la sixième année.

Le modèle ainsi calibré permet de prédire les tendances annuelles avec des rendements significativement plus élevés pour les années 2011, 2015 et 2016. Cependant le modèle prédit une tendance à la hausse entre 2013 et 2014 en désaccord avec les rendements mesurés (Figure 2).

Le rendement moyen de la parcelle est estimé avec une erreur moyenne de l'ordre de 130 kg.ha⁻², cette erreur allant de 30 kg.ha⁻², pour l'année 2013 à 250 kg.ha⁻², pour l'année 2014. Ces erreurs peuvent s'expliquer d'une part par la variabilité intra-parcellaire du rendement en masse fraîche, avec des écarts entre placettes allant de 120 kg.ha⁻² pour l'année 2013 à 570 kg.ha⁻² pour l'année 2011 (Figure 2). Et d'autre part par la difficulté de modéliser l'impact des conditions environnementales sur la parcelle au cours des années précédentes sur la mise en place du rendement au cours de l'année courante.

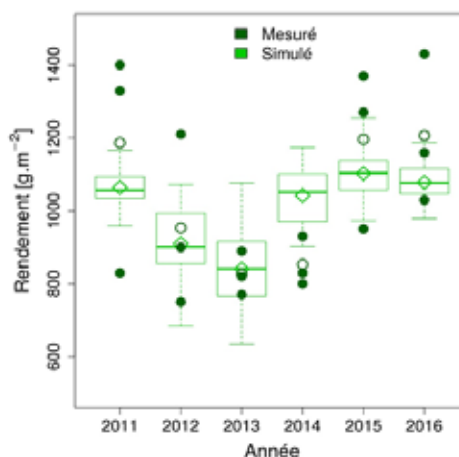


Figure 2

Conclusion

Le modèle de connaissance développé permet de reproduire avec une bonne précision le cycle phénologique de la vigne, sa production de matière sèche ainsi que les dynamiques hydriques sol-plante-atmosphère.

Pour mettre en œuvre l'approche de simulation proposée ici, il est nécessaire de bien maîtriser les conditions environnementales dans lesquelles la vigne se développe. De plus l'approche donne de meilleurs résultats lorsque le rendement est exprimé en matière sèche.

Au prix d'une légère dégradation de la qualité des résultats il est possible de mettre en œuvre notre approche de simulation à partir de données de rendements historiques, exprimées en masse fraîche.

Cette approche pourra donc être utilisée pour quantifier l'impact des MBV sur la production des parcelles de vigne. De plus comme les processus impactés par les MBV sont décrits de manière explicite dans le modèle de connaissance, notre approche de simulation pourra être couplée à un modèle de maladie pour améliorer la gestion des risques liés aux MBV.

Références bibliographiques

Di Gennaro S. F., Matese A., Gioli B., Toscano P., et al. 2017. Multisensor approach to assess vineyard thermal dynamics combining high-resolution unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing and wireless sensor network (WSN) proximal sensing. *Scientia horticulturae*, 221, 83-87.

Letousey P., Baillieul F., Perrot G., Rabenoelina F., et al. 2010. Early events prior to visual symptoms in the apoplectic form of grapevine esca disease. *Phytopathology*, 100(5), 424-431.

Van der Vaart E., Beaumont M.A., Johnston A. S., Sibly R.M. 2015. Calibration and evaluation of individual-based models using Approximate Bayesian Computation. *Ecological Modelling*, 312, 182-190.