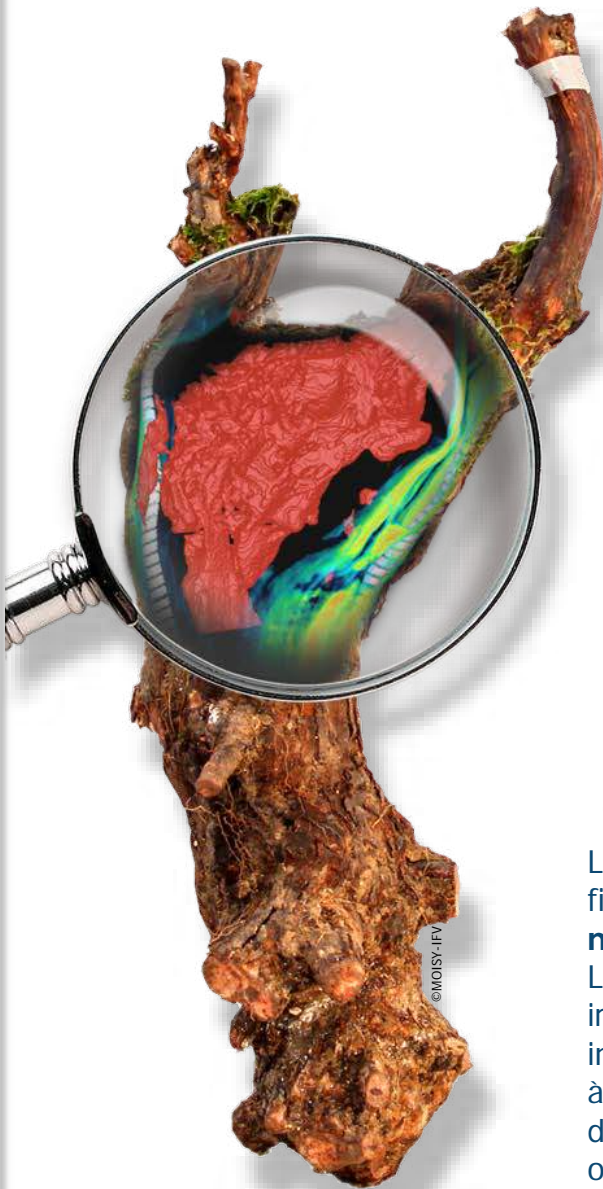


Projet VITIMAGE

Imagerie médicale et Maladies du Bois

4 OBJECTIFS du projet :

1. **Développer** des techniques d'imagerie non-destructives pour la détection et le suivi des maladies du bois
2. **Étudier** le développement des champignons **pathogènes** dans le cep et évaluer leur impact sur les tissus
3. **Identifier** de nouveaux **indicateurs** de l'état sanitaire des ceps
4. **Mettre l'innovation** de l'imagerie médicale et l'apprentissage par Machine Learning **au service de la viticulture**

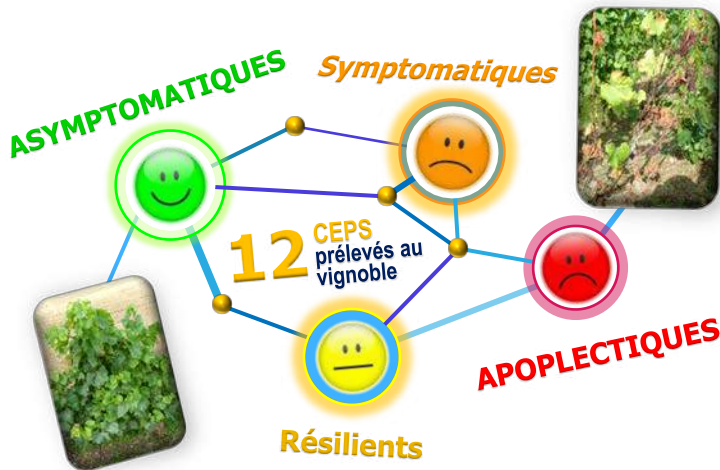


La pérennité de la vigne, essentielle à l'économie de la filière, est menacée par les dépérissements, dont les **maladies du bois**.

Les symptômes foliaires s'expriment de manière irrégulière et ne reflètent pas le niveau de dégradation interne du bois. Mais le suivi de la dégradation des tissus à l'intérieur du cep nécessitait jusqu'à présent l'utilisation d'approches destructives qui n'offraient que des observations très limitées. L'évaluation sanitaire d'une souche vivante était donc impossible.

Le **développement d'approches non destructives est indispensable** pour permettre le diagnostic de l'état interne de la plante et évaluer le développement de ces maladies au vignoble. Le projet **VITIMAGE** est axé sur l'utilisation d'approches d'imagerie, associées à un traitement par *Machine Learning*, pour permettre **la détection et la quantification automatique des tissus dégradés** directement **au cœur du cep**. Notre étude a révélé la complémentarité de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et de la tomographie aux Rayons X (RX) pour distinguer les différents niveaux de dégradation du bois. Nous avons confirmé qu'un pied de vigne ne manifestant pas de symptômes foliaires peut néanmoins contenir plus de 60% de tissus nécrosés, et que la quantité de pourriture blanche (amadou) pouvait être un bon indicateur de l'état de la plante. Nos travaux représentent un point de départ pour le développement d'applications sur le terrain. De telles avancées en imagerie impacteront plusieurs domaines de la filière viticole et aideront à une meilleure gestion de ces maladies.

DEMARCHE et RESULTATS

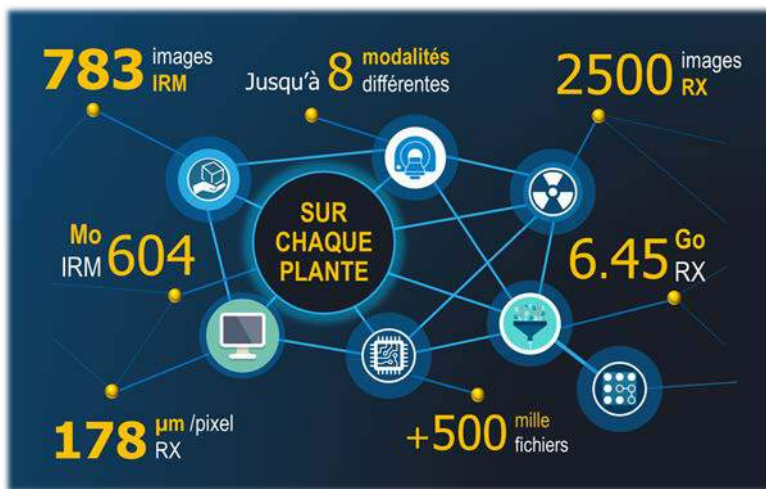


Douze ceps de Chardonnay, âgés de 20 ans, et présentant différents **profils d'expression** des maladies du bois au cours de leurs vies, ont été prélevés dans une parcelle en Champagne sur laquelle l'expression des symptômes foliaires a été suivie chaque année depuis sa plantation.

Pour chaque plante, un ensemble de **données multimodales** (IRM, Rayons-X, photographies) a été collecté.

L'IRM permet d'obtenir des informations sur la quantité et la configuration de l'**eau**.

Des données complémentaires sur la **densité** et la dégradation des tissus sont obtenues grâce aux Rayons-X.



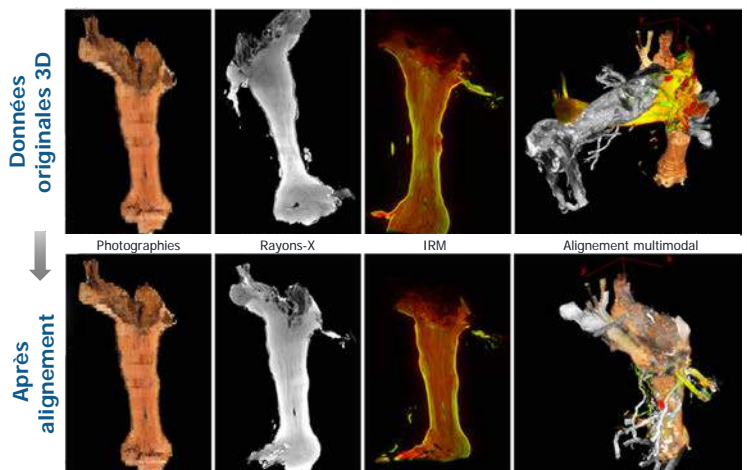
Plusieurs **milliers d'images** et des **données 3D** ont ainsi été collectés.

Des **programmes d'analyse d'images** ont été spécialement développés pour les traiter.

Ils permettent de combiner et d'analyser automatiquement les données collectées à partir de différents appareils.

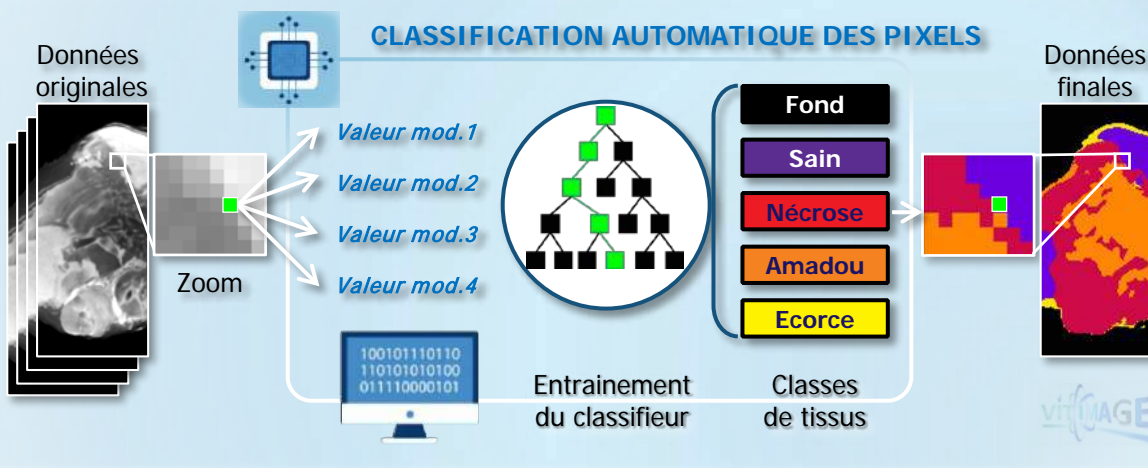
Nous avons développé un **logiciel de recalage et d'alignement** d'images volumiques 3D (disponible en accès libre sur Internet), permettant de travailler sur plusieurs séries d'images multimodales.

Exemple d'alignement Multimodal 3D utilisant *FIIYAMA*



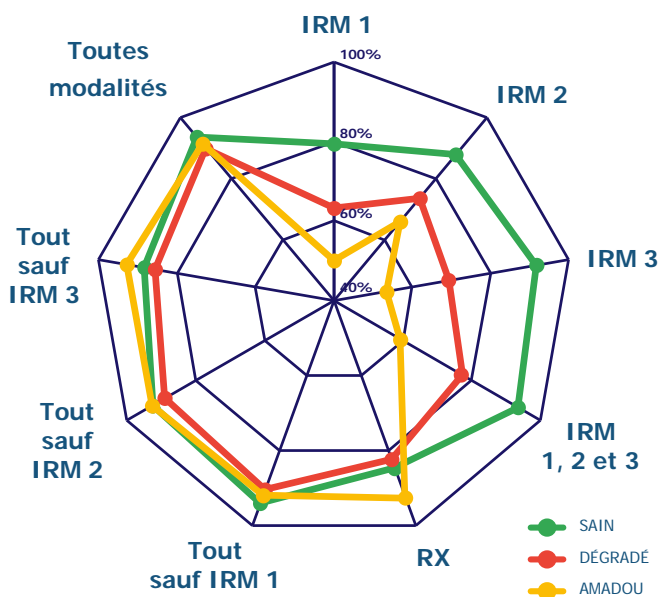
R. Fernandez and C. Moisy, "*Fijiyama: a registration tool for 3D multimodal time-lapse imaging*" (in press.) <https://imagej.net/Fijiyama>





Nous avons créé et entraîné un **classifieur automatique** (*machine learning*) à **reconnaître les différents types de tissus** présents dans les ceps, sur la base de l'intensité des signaux de chaque modalité.

L'**efficacité** de ce classifieur, c'est-à-dire sa capacité à attribuer à chaque pixel la bonne *classe* de tissu (sain/dégradé/amadou/écorce), est supérieure à **92%**.



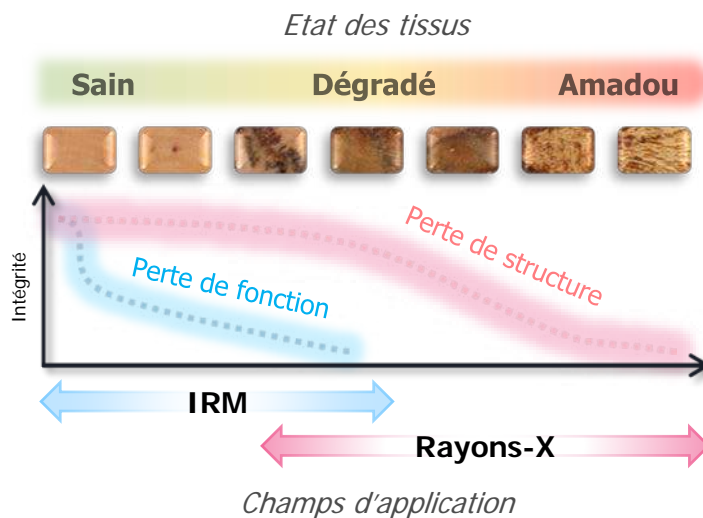
Performance de la classification vs modalités d'imagerie

Les différentes modalités d'IRM permettent la détection et l'étude d'**événements précoces**, intervenant lors des premières étapes de dégradation du bois et la perte de fonctionnalité des tissus.

Les Rayons-X offrent quant à eux la possibilité de discriminer **les derniers stades** nécrotiques.

Il est donc désormais possible de détecter en 3D, de classer et de quantifier automatiquement les tissus sains et dégradés présents à l'intérieur des plantes, **sans les découper**.

L'expérience a également permis de mesurer la **contribution** de chaque technique d'imagerie à la détection des différents tissus.

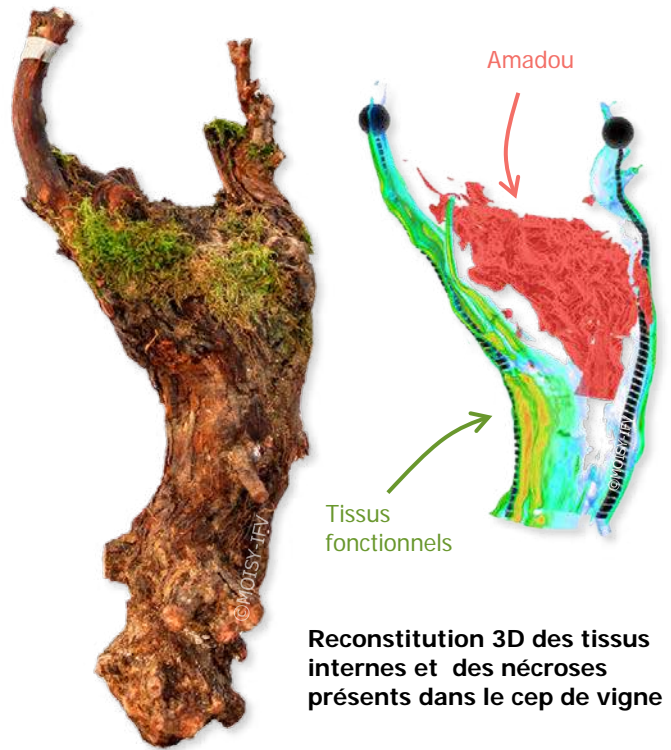
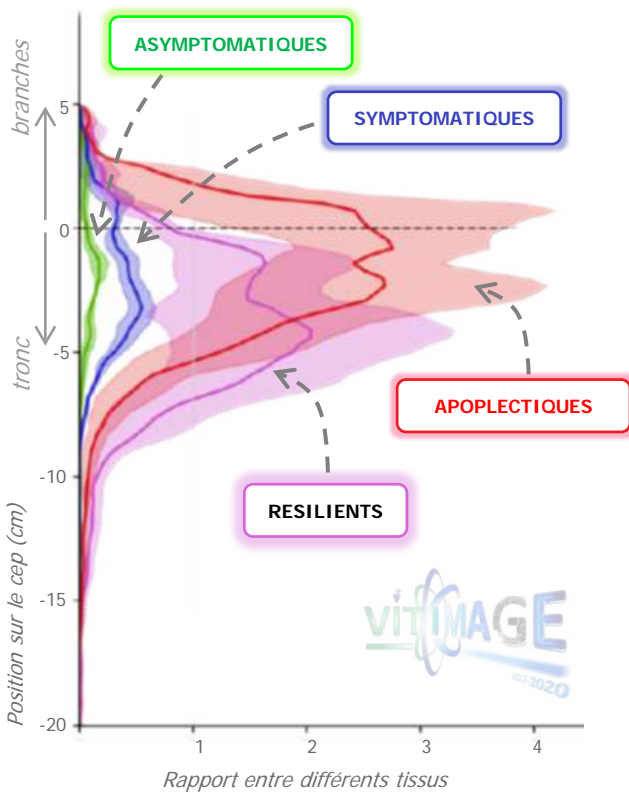


Ces travaux confirment la **complémentarité** des approches d'imagerie multimodales, et leur intérêt pour l'**étude des maladies du bois**. Moisy *et al.* (*in prep.*)

CONCLUSIONS

Ces travaux permettent de **reconstruire**, de **localiser** et de **quantifier** précisément les nécroses et l'amadou présents à l'intérieur des ceps.

Cette approche innovante, basée sur l'imagerie 3D et l'apprentissage automatique, permet de **mettre en lien l'histoire de vie** des ceps étudiés **et le niveau de développement des maladies du bois**, et cela, sans les ouvrir.



Reconstitution 3D des tissus internes et des nécroses présents dans le cep de vigne

Le projet **VITIMAGE** ouvre la voie vers de nouvelles applications en termes de diagnostic, et/ou d'études fonctionnelles et anatomiques sur la vigne.

En les adaptant au vignoble, ces techniques d'imagerie offriront **aux viticulteurs** des indicateurs précis de l'état sanitaire interne de leurs ceps. Ces informations précieuses permettront d'orienter les professionnels vers une meilleure **gestion des parcelles**, pour le traitement ou le renouvellement ciblé des ceps malades.

Romain FERNANDEZ¹, Julie PERRY², Samuel MÉRIGEAUD³, Jean-Luc VERDEIL⁴, Maïda CARDOSO⁵, Christophe GOZE-BAC⁶, Philippe LARIGNON¹, Jean-Pierre PÉROS⁷, Marc LARTAUD⁴, Anne-Sophie SPILMONT¹, Loïc Le CUNFF¹ et Cédric MOISY¹

Pour en savoir plus

www.plan-deperissement-vigne.fr/vitimage

Cédric Moisy - cedric.moisy@vignevin.com

