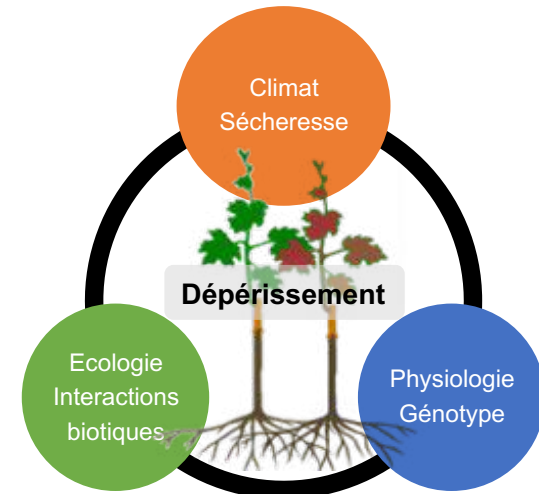
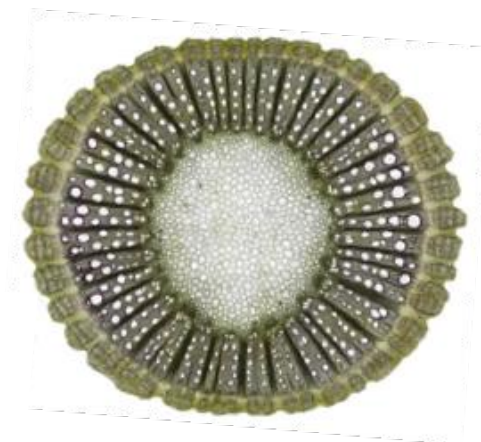
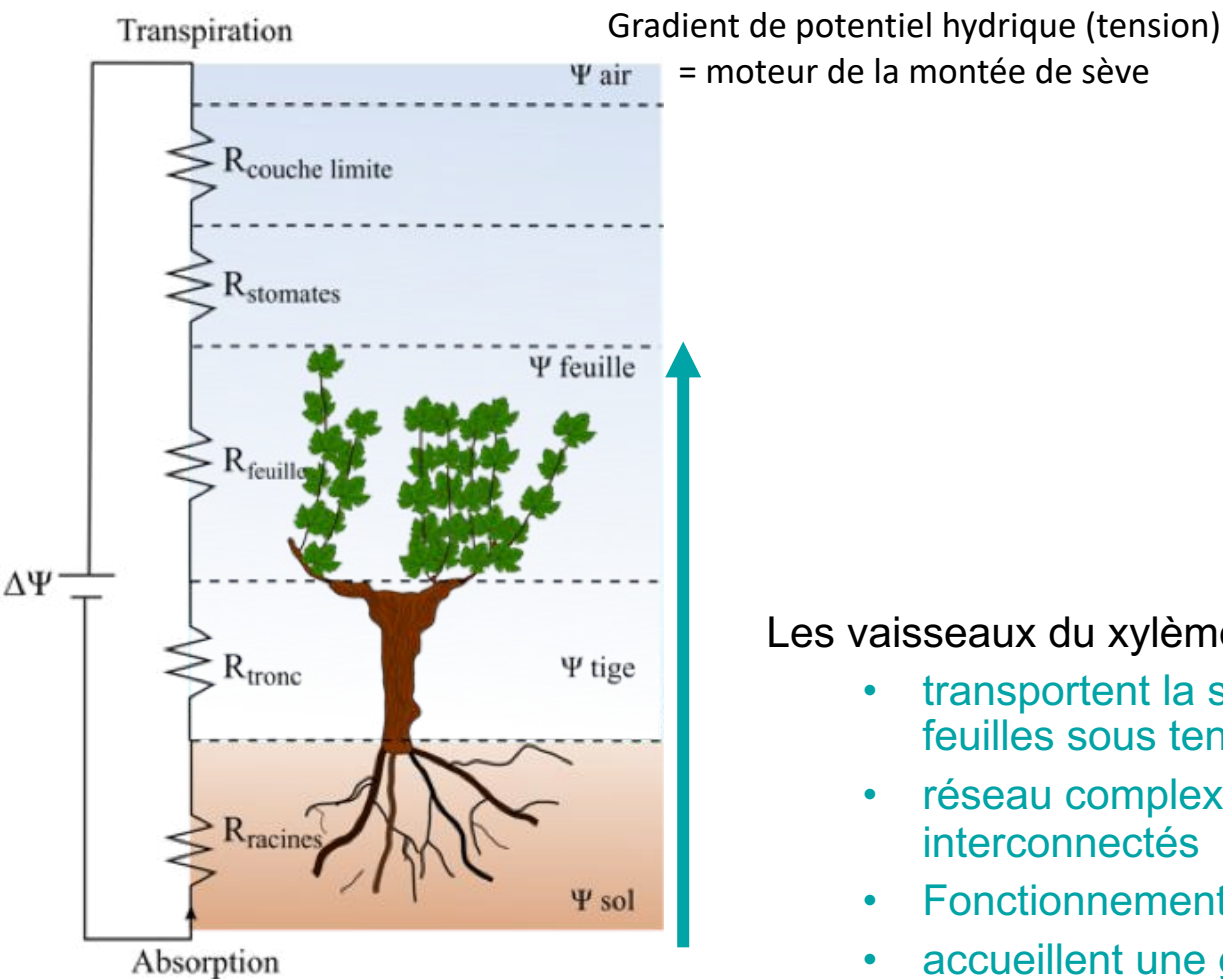


## ➤ Mieux comprendre les mécanismes sous-jacents au dépérissement de la vigne

Résultats du projet PHYSIOPATH



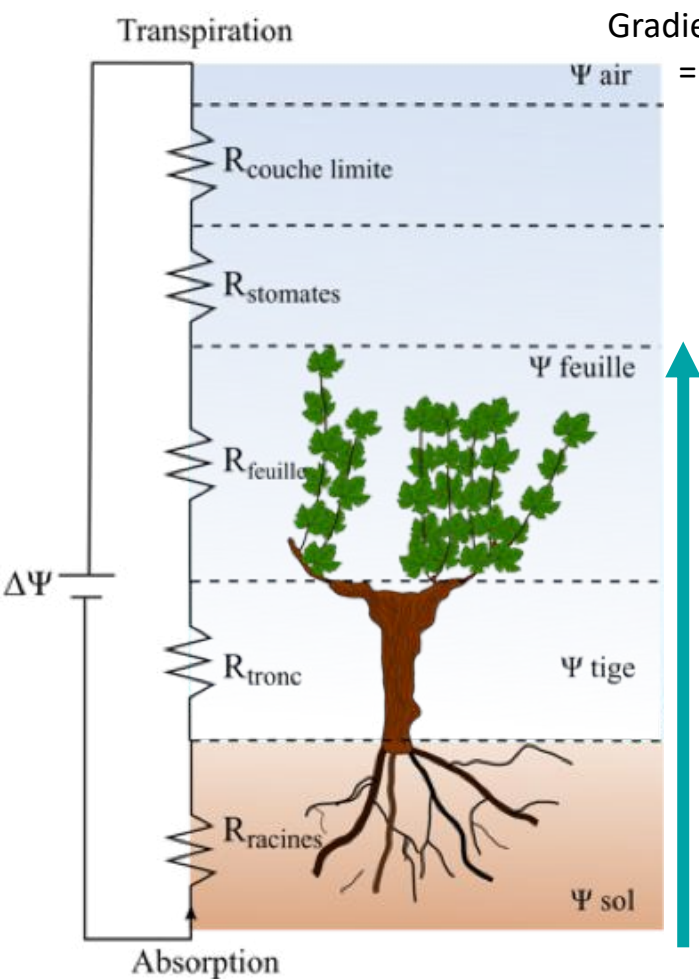
# ➤ Le système vasculaire de la vigne



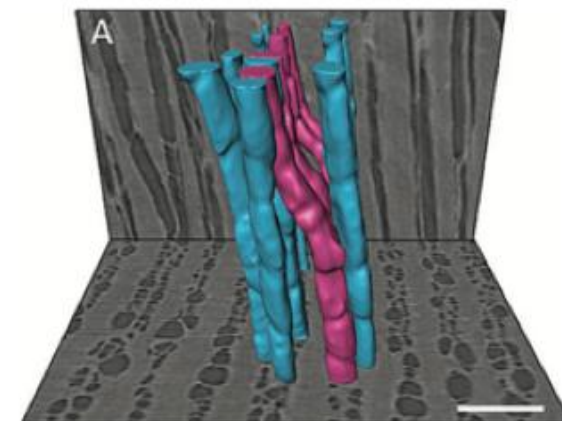
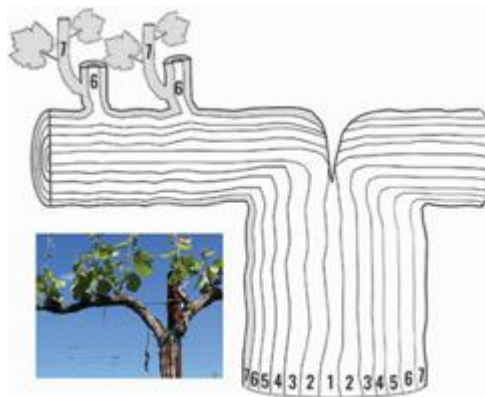
## Les vaisseaux du xylème:

- transportent la sève des racines vers les feuilles sous tension
- réseau complexe de nombreux vaisseaux interconnectés
- Fonctionnement sectorisé
- accueillent une grande diversité de micro-organismes, certains étant pathogènes

# ➤ Le système vasculaire de la vigne



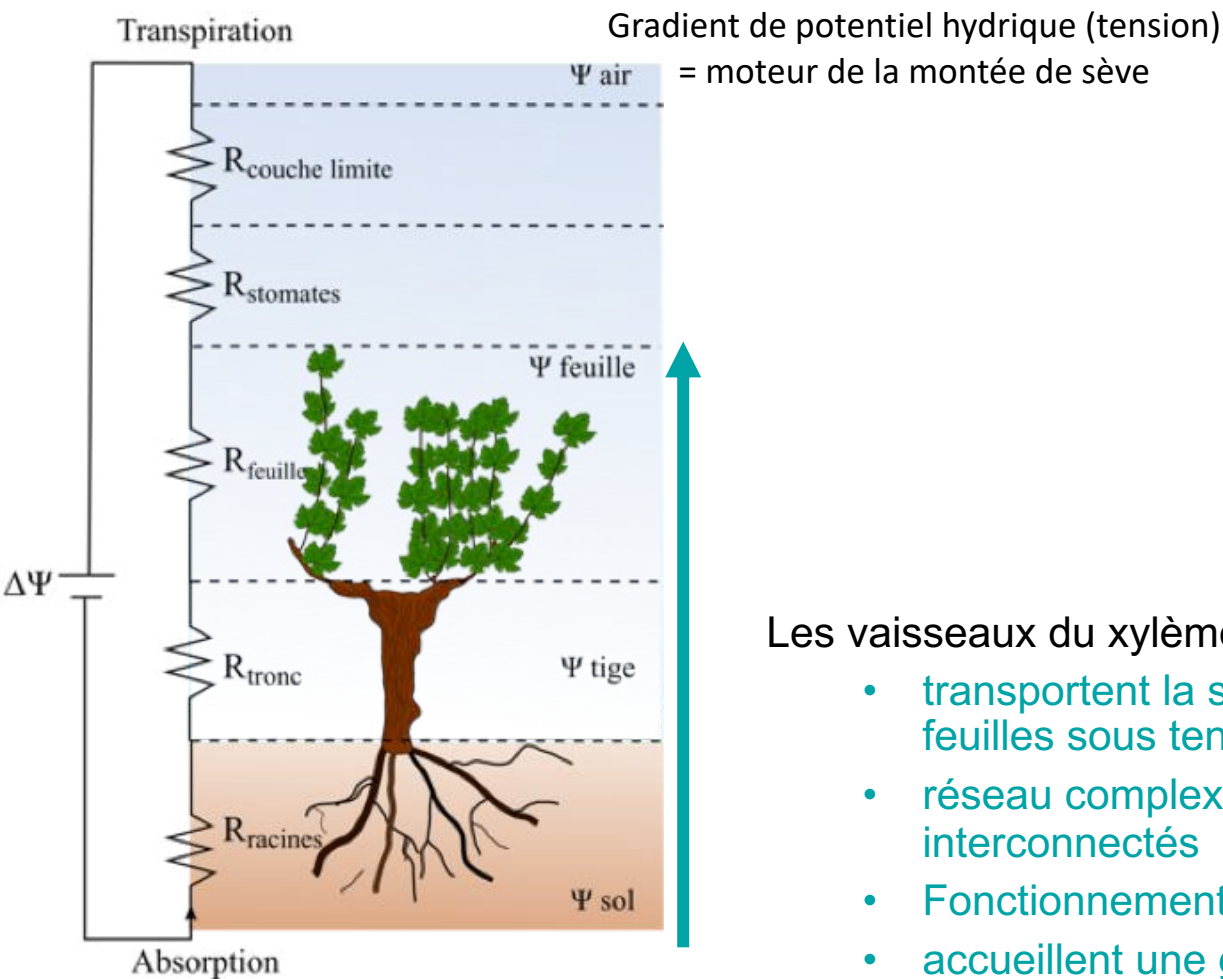
Gradient de potentiel hydrique (tension) = moteur de la montée de sève



Les vaisseaux du xylème:

- transportent la sève des racines vers les feuilles sous tension
- réseau complexe de nombreux vaisseaux interconnectés
- Fonctionnement sectorisé
- accueillent une grande diversité de micro-organismes, certains étant pathogènes

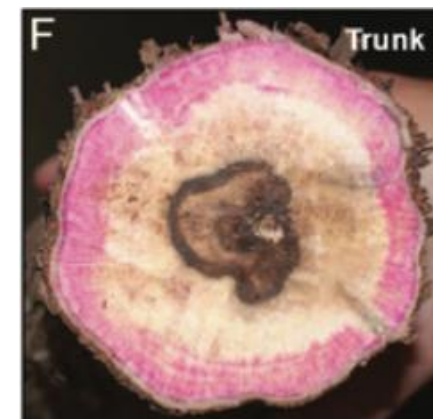
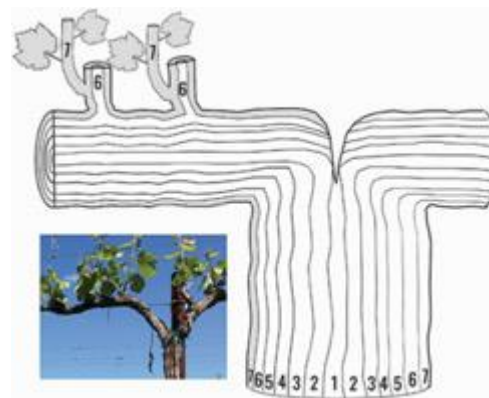
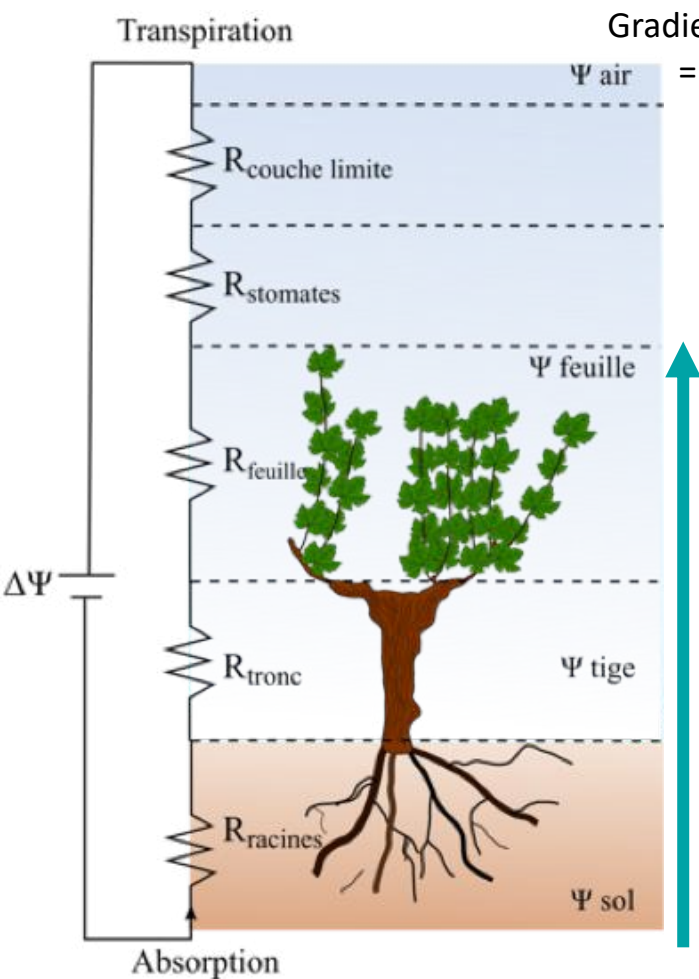
# ➤ Le système vasculaire de la vigne



## Les vaisseaux du xylème:

- transportent la sève des racines vers les feuilles sous tension
- réseau complexe de nombreux vaisseaux interconnectés
- Fonctionnement sectorisé
- accueillent une grande diversité de micro-organismes, certains étant pathogènes

# ➤ Le système vasculaire de la vigne



## Les vaisseaux du xylème:

- transportent la sève des racines vers les feuilles sous tension
- réseau complexe de nombreux vaisseaux interconnectés
- Fonctionnement sectorisé
- accueillent une grande diversité de micro-organismes, certains étant pathogènes

## Objectifs:

1. Etudier le rôle du système vasculaire (xylème) dans la sensibilité de la vigne **aux agents pathogènes**
2. Etudier le rôle du système vasculaire (xylème) dans la sensibilité de la vigne **à la sécheresse**
3. Etudier l'impact de l'esca sur le fonctionnement hydraulique du cep



Essais en serre – gamme de cépages

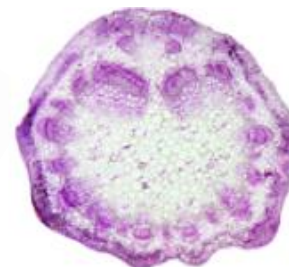


Ceps âgés en pots  
Plateforme Bôrdo, EGFV

Exemples de techniques utilisées:



Microtomographie par rayons X  
Synchrotron SOLEIL



Histologie / microscopie



Coloration du xylème  
Analyse des nécroses

Sources images:  
Bortolami et al. 2019;  
Bortolami 2021  
Pouzoulet et al. 2020;  
Pouzoulet J.



INRAE

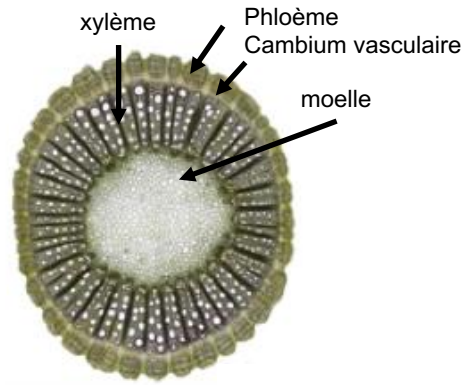
# ➤ 1) Etude de la relation entre la taille des vaisseaux et la sensibilité de la vigne aux champignons pathogènes



Jérôme  
POUZOULET



Essai 2018 – 19 cépages



Analyse microscopique  
du xylème



Inoculation et mesure des nécroses  
*Phaeomoniella chlamydospora*



# 1) Etude de la relation entre la taille des vaisseaux et la sensibilité de la vigne aux champignons pathogènes



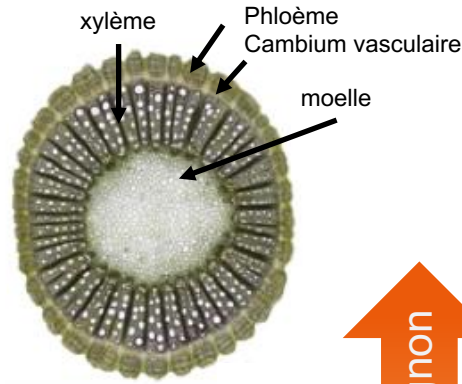
Jérôme  
POUZOULET



Essai 2018 – 19 cépages



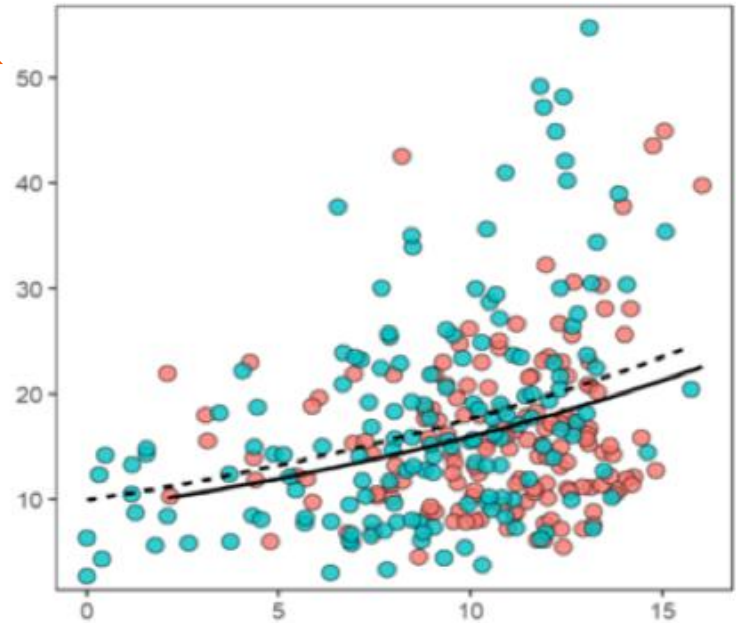
Inoculation et mesure des nécroses  
*Phaeomoniella chlamydospora*



Analyse microscopique  
du xylème



Vaisseaux de fort diamètre  
=  
plus grande vulnérabilité



Densité de vaisseaux ayant un fort diamètre





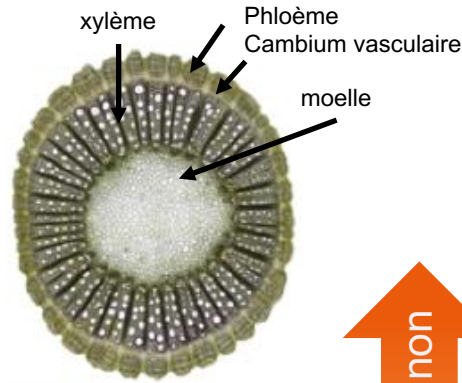
# 1) Etude de la relation entre la taille des vaisseaux et la sensibilité de la vigne aux champignons pathogènes



Jérôme  
POUZOULET



Essai 2018 – 19 cépages



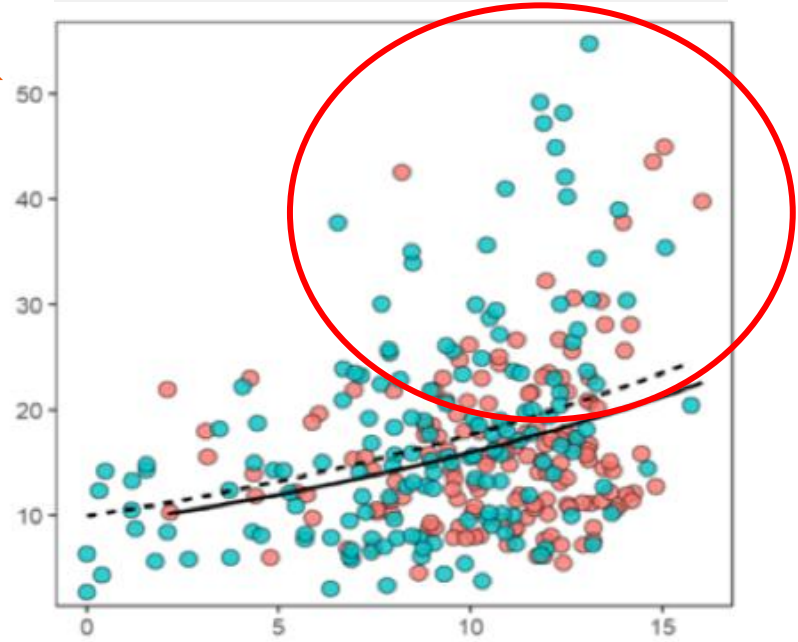
Analyse microscopique  
du xylème



Inoculation et mesure des nécroses  
*Phaeomoniella chlamydospora*

Sensibilité au champignon

Vaisseaux de fort diamètre  
=  
plus grande vulnérabilité



Densité de vaisseaux ayant un fort diamètre

La taille des vaisseaux influence la capacité de la vigne à limiter la progression d'un champignon de l'Esca.

## ➤ 2) Etude de la relation entre la taille des vaisseaux et la sensibilité de la vigne à la sécheresse

### **Séquence des évènements observée lors d'une sécheresse :**

1. *Arrêt de la croissance*
2. *Fermeture des stomates (arrêt transpiration et photosynthèse)*
3. *Embolie gazeuse (cavitation) dans la feuille*
4. *Chute des feuilles*
5. *Début embolie gazeuse (cavitation) des tiges*



**Laurent  
LAMARQUE**

Source:  
Charrier et al. 2016; 2018



**INRAE**

Mieux comprendre les mécanismes sous-jacents au dépérissement de la vigne  
21 & 22 Octobre 2021 / PNDV Tour / Chloé DELMAS

## ➤ 2) Etude de la relation entre la taille des vaisseaux et la sensibilité de la vigne à la sécheresse

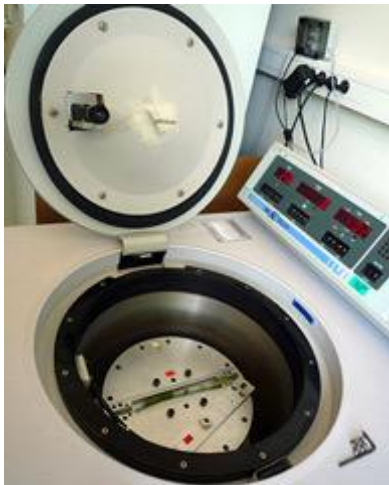
### **Séquence des évènements observée lors d'une sécheresse :**

1. Arrêt de la croissance
2. Fermeture des stomates (arrêt transpiration et photosynthèse)
3. Embolie gazeuse (cavitation) dans la feuille
4. Chute des feuilles
5. Début embolie gazeuse (cavitation) des tiges



Laurent  
LAMARQUE

*Quelle est la gamme de tolérance à la cavitation chez la vigne?*



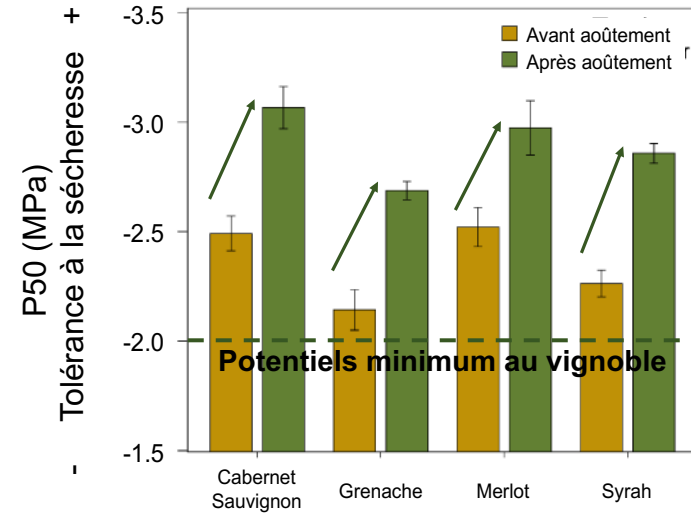
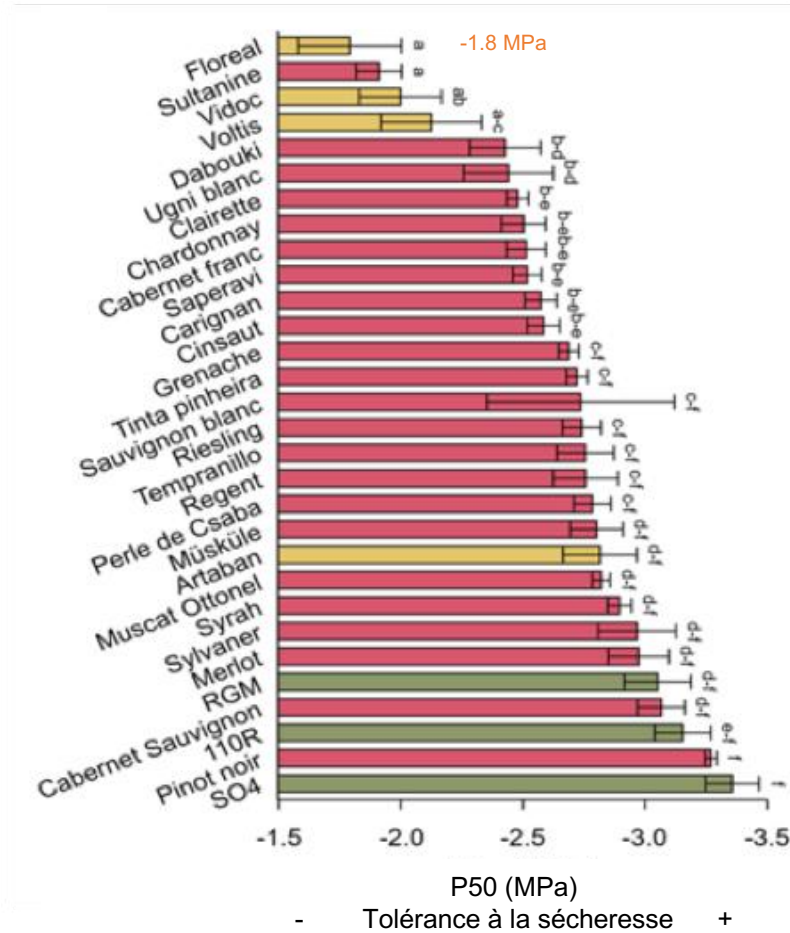
Utilisation du CAVITRON (au caviplace - Sylvain Delzon, UMR BIOGECO)  
Caractériser la vulnérabilité à la cavitation, et donc à la sécheresse des plantes



<http://sylvain-delzon.com/caviplace/>

## 2) Etude de la relation entre la taille des vaisseaux et la sensibilité de la vigne à la sécheresse

Quelle est la gamme de tolérance à la cavitation chez la vigne?



La vigne (tiges et feuilles) est **plus vulnérable** à l'embolie en début de saison

Source:  
Lamarque et al. en préparation

**Large gamme de variation de résistance à l'embolie entre les cépages**  
=> Aide à la sélection des cépages adaptés à des climats plus sec

## ➤ 3) Impact de l'esca sur le fonctionnement hydraulique de la vigne

Multiple facteurs en interaction  
Environnement / plante / pathogènes / pratiques



### Les hypothèses sur l'expression des symptômes d'esca:

1. Production de toxines (champignons) qui s'accumulent dans les feuilles
2. Réduction de la conductivité de l'eau dans la plante à cause de:
  - la présence de champignons dans les vaisseaux (obstruction)
  - la formation de thylloses et de gels par la plante (défense ou réaction)
  - la cavitation des vaisseaux (présence d'air)
3. Rôle des conditions environnementales (sécheresse etc..)

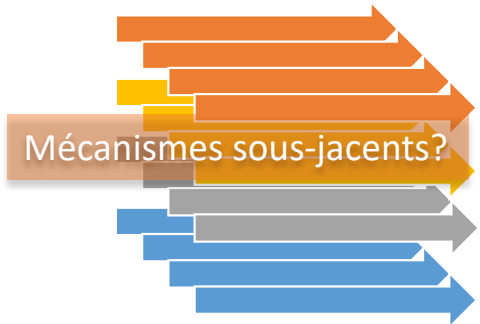


**Giovanni  
BORTOLAMI**

Source:  
Surico et al. 2006;  
Claverie et al. 2020

## ➤ 3) Impact de l'esca sur le fonctionnement hydraulique de la vigne

Multiple facteurs en interaction  
Environnement / plante / pathogènes / pratiques



### Les hypothèses sur l'expression des symptômes d'esca:

1. Production de toxines (champignons) qui s'accumulent dans les feuilles
2. Réduction de la conductivité de l'eau dans la plante à cause de:
  - la présence de champignons dans les vaisseaux (obstruction)
  - la formation de thylloses et de gels par la plante (défense ou réaction)
  - la cavitation des vaisseaux (présence d'air)
3. Rôle des conditions environnementales (sécheresse etc..)



**Giovanni  
BORTOLAMI**

Source:  
Surico et al. 2006;  
Claverie et al. 2020

# ➤ Difficultés techniques pour étudier le fonctionnement hydraulique de la vigne et l'esca

- ❖ Le fonctionnement vasculaire doit être étudié sur plante vivante (in vivo) et non sur des échantillons
- ❖ Les symptômes d'esca (feuilles) ne peuvent pas être reproduit par inoculation des champignons



# ➤ Quel est l'impact de l'esca sur le fonctionnement hydraulique de la vigne?

Dysfonctionnement hydraulique = occlusion des vaisseaux du fait de :

- Embolie gazeuse(cavitation)
- Thyloses / gels (occlusion)
- Les pathogènes eux-mêmes

ET conduisant à une perte de conductivité hydraulique

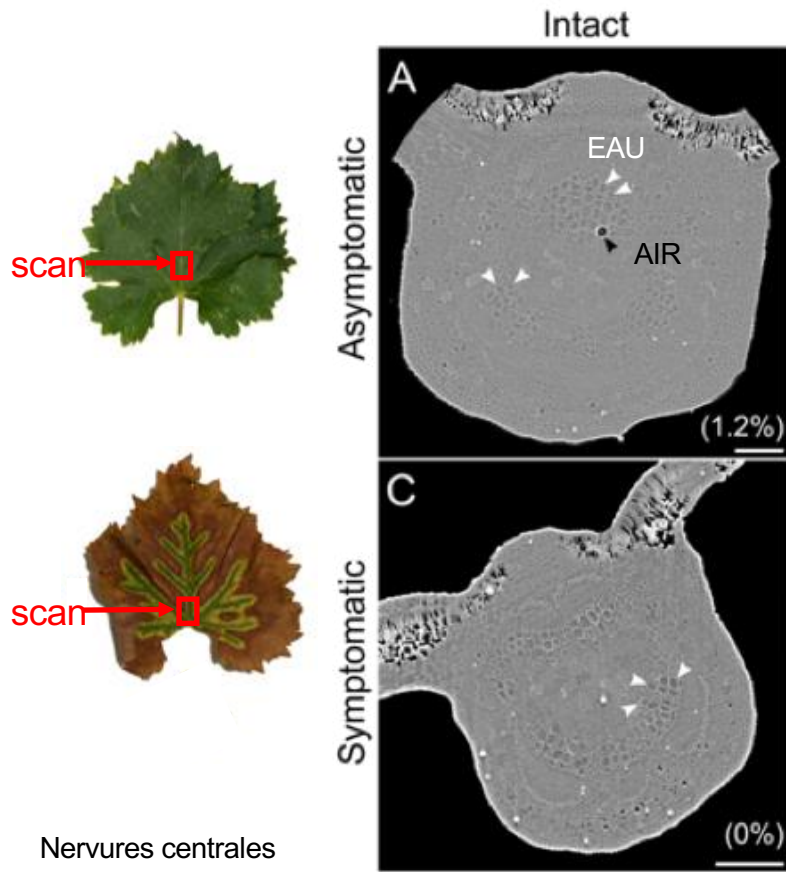


## Questions:

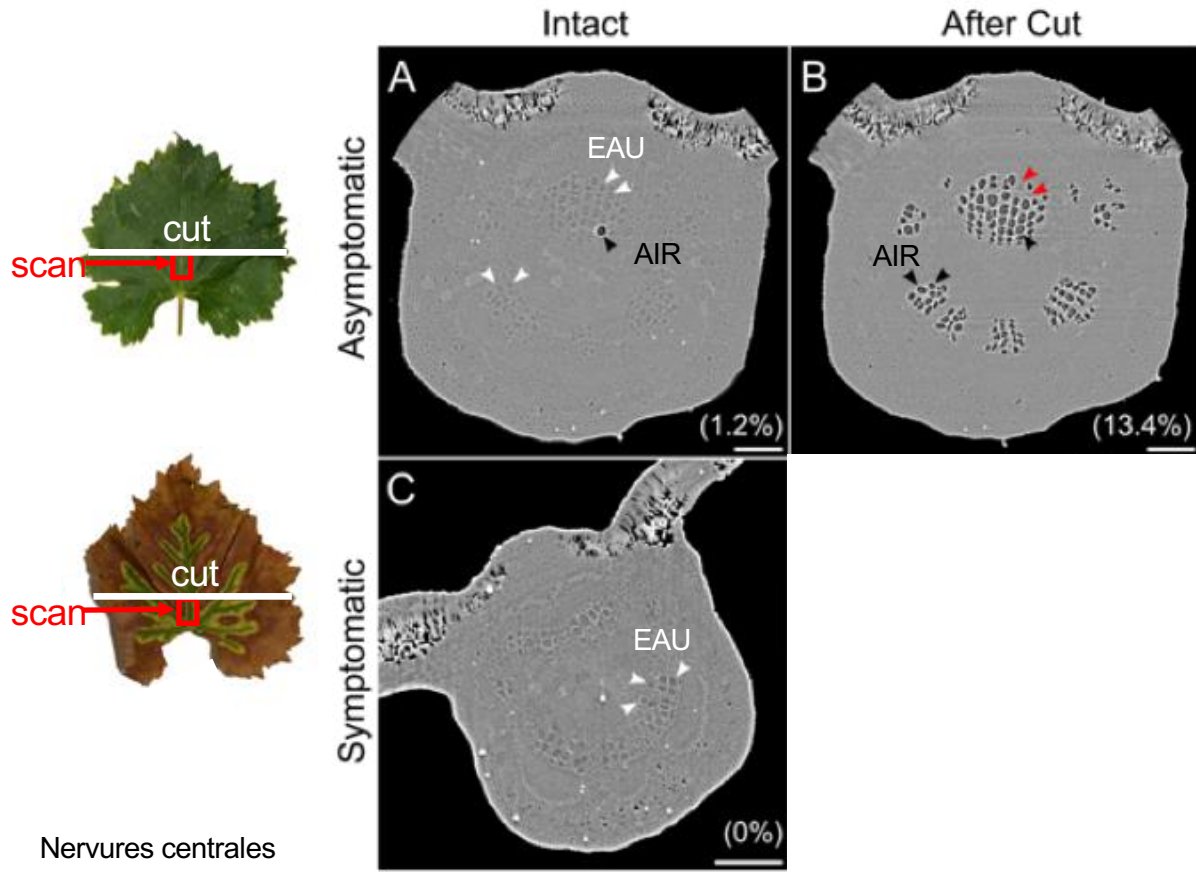
1. Les vaisseaux du xylème sont-ils embolisés?
2. Sont-ils fonctionnels / présence d'occlusions ?
3. Les feuilles et tiges sont-elles infectées?
4. Quel est l'impact de l'esca d'une année sur l'autre?



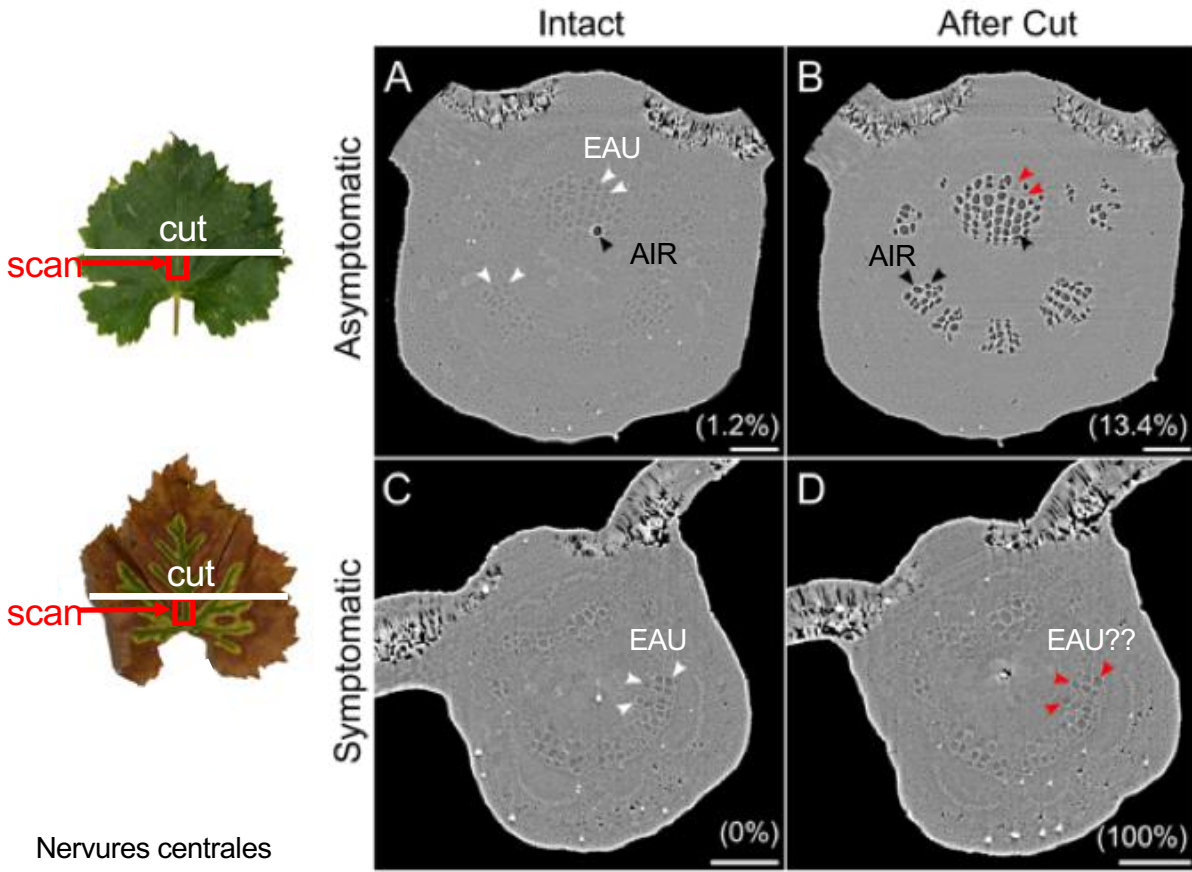
➤ Les vaisseaux des feuilles symptomatiques sont-ils embolisés (remplis d'air)?



# ➤ Les vaisseaux sont-ils fonctionnels (transport de sève)?

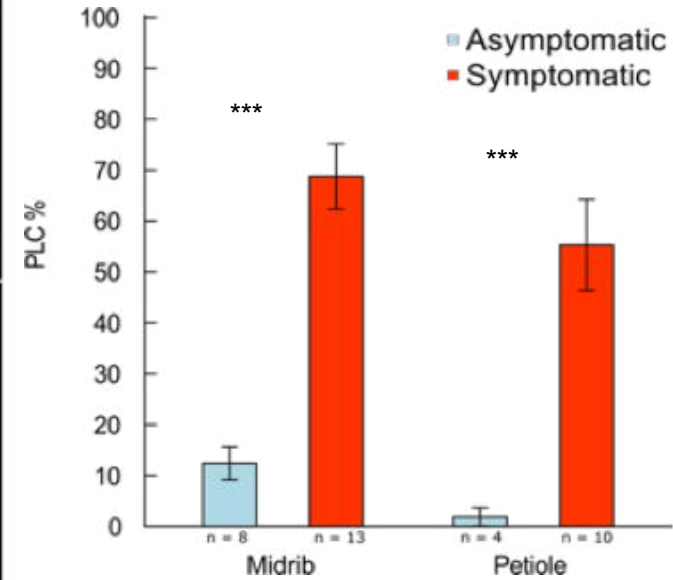


# ➤ Les vaisseaux sont-ils fonctionnels (transport de sève)?



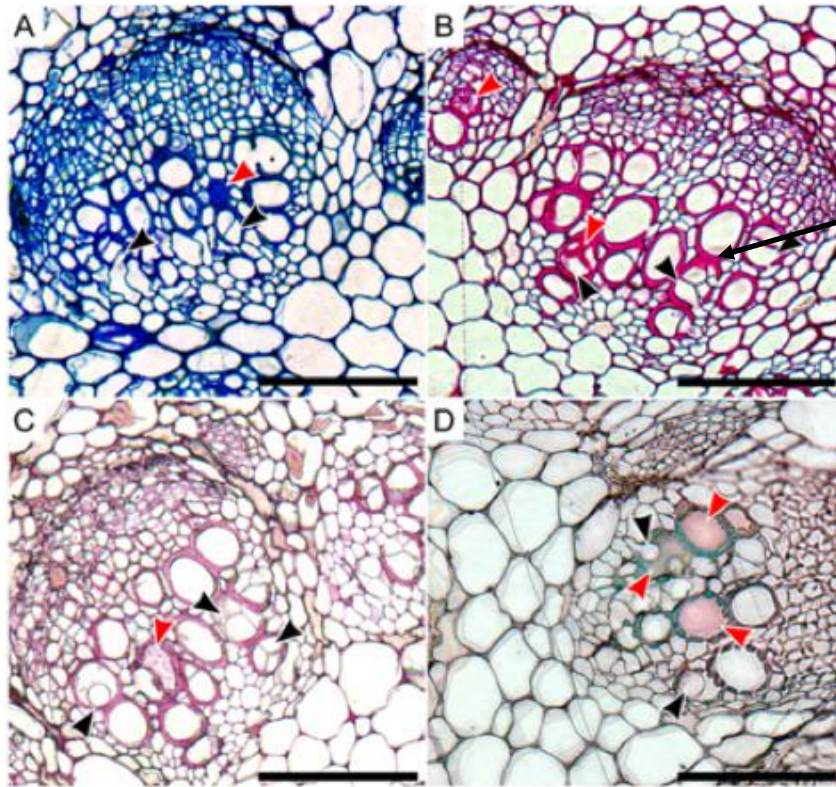
## Feuilles symptomatiques

77% de vaisseaux non fonctionnels



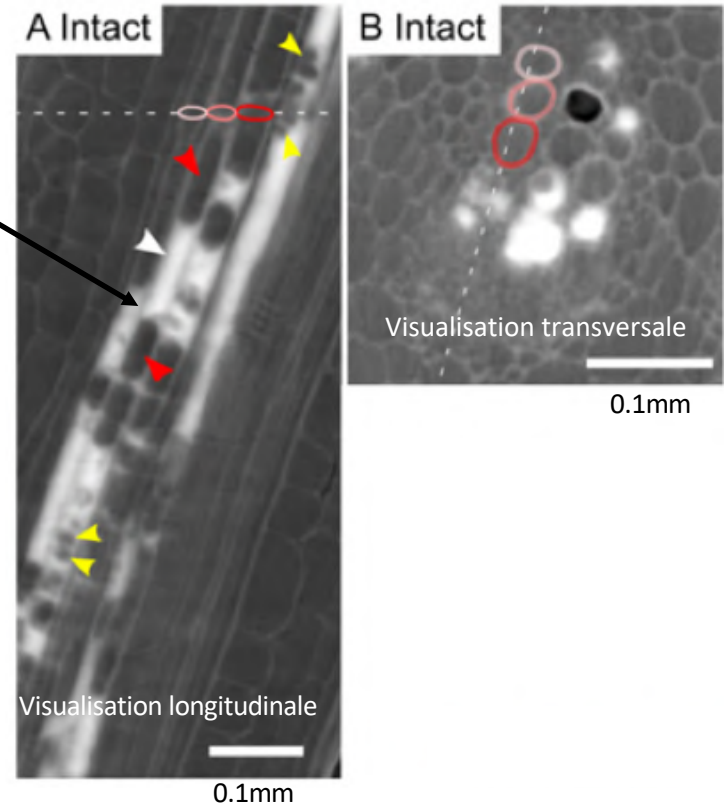
INRAE

# ➤ Les vaisseaux sont-ils fonctionnels (transport de sève)?



Sections transversales

Vaisseau xylème



# ➤ Les vaisseaux sont-ils fonctionnels (transport de sève)?

## Détection agents pathogènes

### Feuilles:

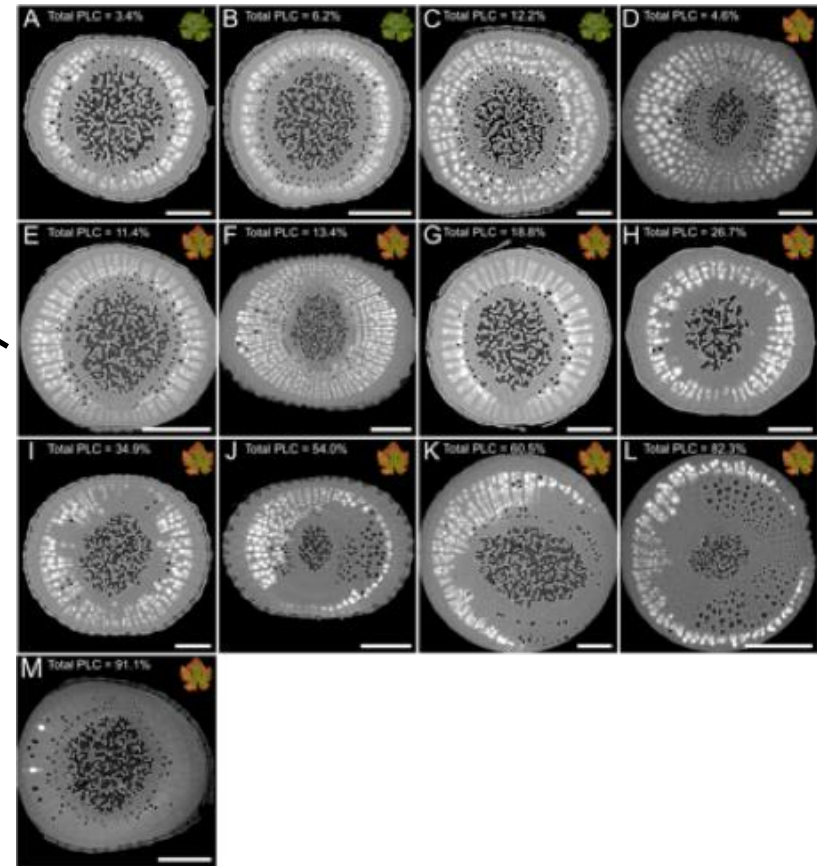
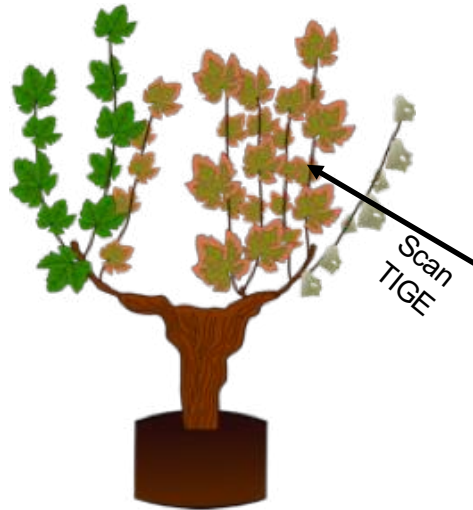
Agents pathogènes **NON**-détectés

### Tiges:

Agents pathogènes **NON**-détectés

### Tronc:

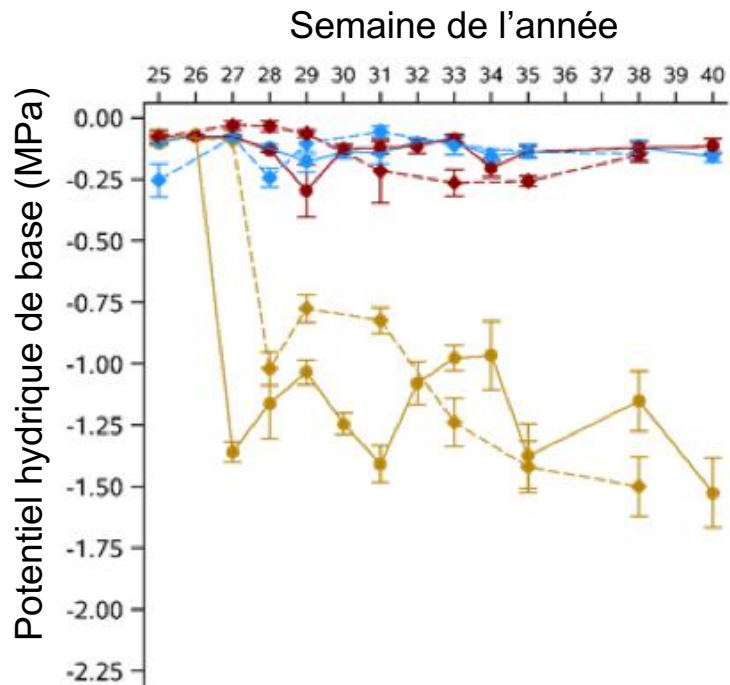
- nécroses
- Agents pathogènes **détectés**



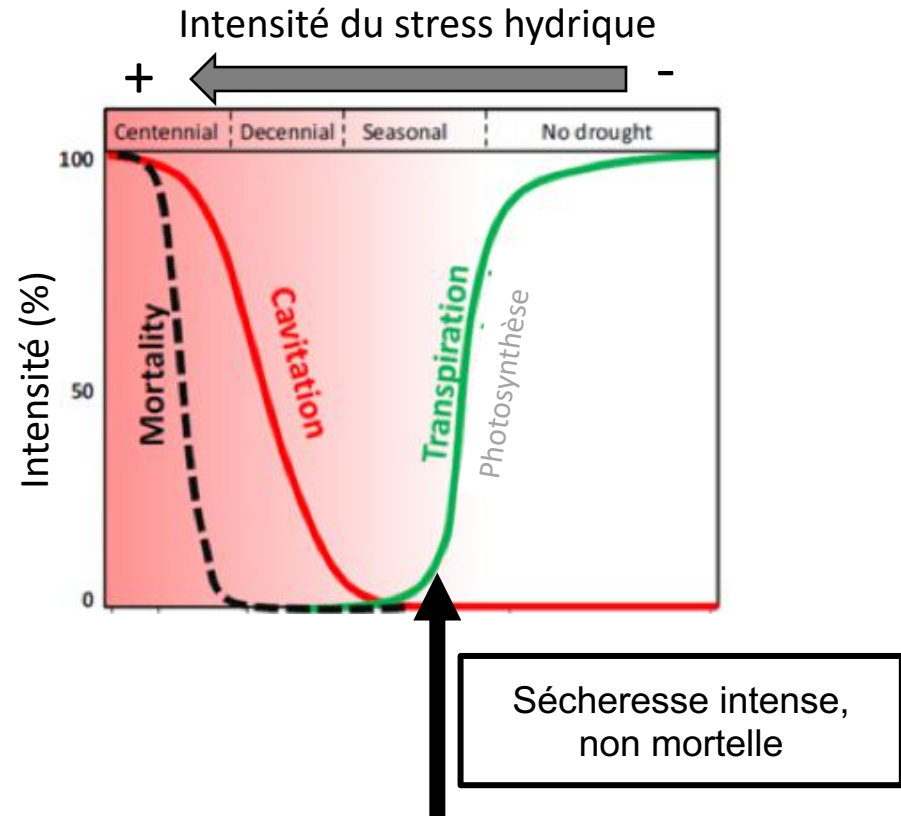
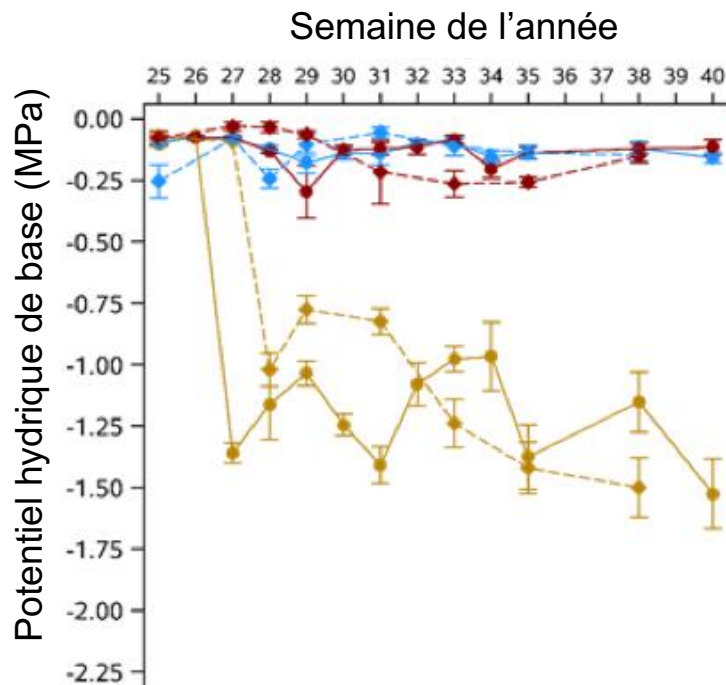
Conduction de l'eau dans les tiges symptomatiques affectée par la présence de thylloses (**30% de vaisseaux non fonctionnels en moyenne**)



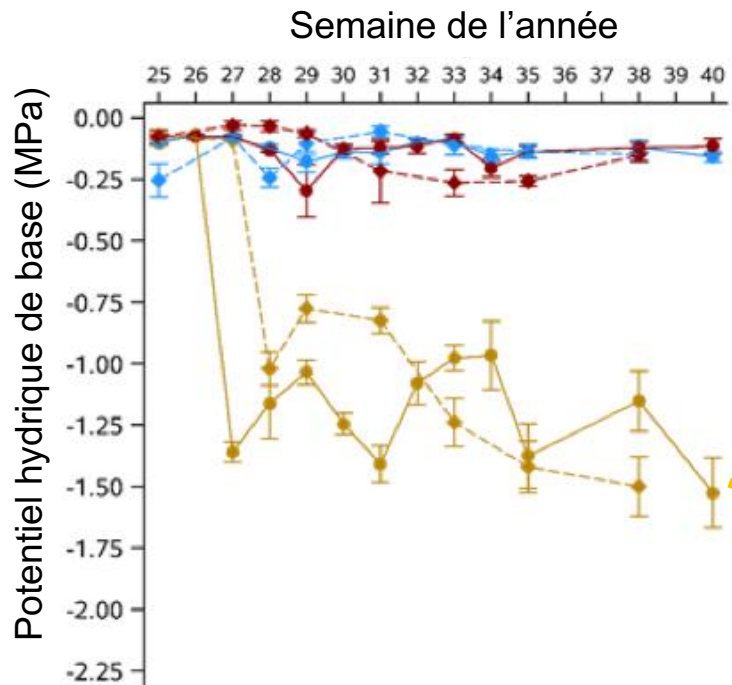
# ➤ Comment l'esca et la sécheresse interagissent-ils?



# ➤ Comment l'esca et la sécheresse interagissent-ils?



# ➤ Comment l'esca et la sécheresse interagissent-ils?



Pieds de vigne (%)  
exprimant des symptômes foliaires d'esca

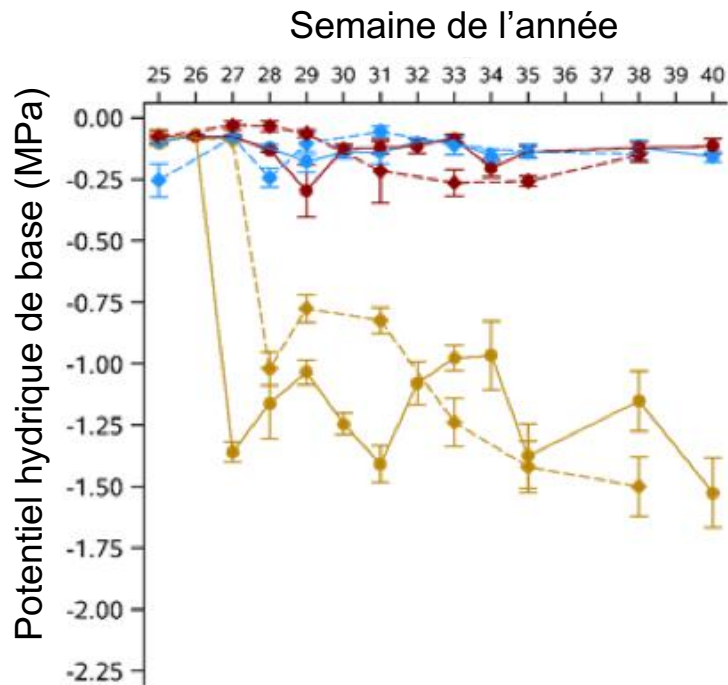
	Pieds de vigne bien arrosés	Pieds de vigne placés en conditions de sécheresse
2018	31% (8/26)	<b>0%</b> (0/25)
2019	32% (8/25)	<b>0%</b> (0/26)

Les plantes soumises à la sécheresse n'ont pas exprimé de symptômes foliaires (2 saisons de suivi)





# ➤ Comment l'esca et la sécheresse interagissent-ils?



❖ L'esca n'entraîne **aucune modification du potentiel hydrique** de la plante

❖ Le stress hydrique entraîne **une chute du potentiel hydrique** de la plante



# ➤ Résultats sur l'esca

## 1. Quel est l'impact de l'esca sur le fonctionnement hydraulique de la vigne?

Perte de conduction de l'eau pendant l'expression de symptômes : causée par des occlusions; impact plus important sur feuilles que sur tiges.

## 2. Quel est l'impact de l'esca sur la physiologie de la vigne d'une année sur l'autre?

Pas d'effet long-terme significatif sur la conductivité hydraulique, l'anatomie des vaisseaux et la quantité de champignons pathogènes dans le tronc.

## 3. Comment l'esca et la sécheresse interagissent-ils?

Les plantes en conditions de sécheresse intense (non mortelle) n'expriment pas de symptômes d'esca.

Source:  
Bortolami et al. 2019  
Bortolami et al. 2021a  
Bortolami et al. 2021b

## ➤ A retenir sur l'esca..

La plante est à l'interface du sol et de l'environnement (climat)

- L'état physiologique des vignes joue un rôle crucial dans le développement de l'esca => il pourrait permettre d'expliquer la variabilité de l'incidence de l'esca entre parcelles
- La réserve en eau du sol influence l'expression des symptômes
- À réserve en eau égale: la demande évaporative (température/humidité) influence l'expression des symptômes

= > La présence d'une repousse verte pourrait adoucir les effet néfastes des symptômes foliaires (exemple: restauration des ressources carbonées)



Sécheresse:  
arrêt de croissance



Esca: pas d'arrêt de croissance



INRAE

Mieux comprendre les mécanismes sous-jacents au dépérissement de la vigne  
21 & 22 Octobre 2021 / PNDV Tour / Chloé DELMAS

Source:  
Bortolami 2021



Merci à l'équipe du projet **PHYSIOPATH** ayant réalisé le travail présenté:



**Giovanni  
BORTOLAMI**



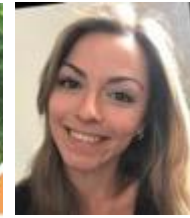
**Jérôme  
POUZOLET**



**Laurent  
LAMARQUE**



**Ninon  
DELL'ACQUA**



**Elena  
FAROLFI**



**Chloé  
DELMAS**



**Gregory  
GAMBETTA**



**Sylvain  
DELZON**



**Pascal  
LECOMTE**



**Nathalie  
FERRER**



Contact: [chloe.delmas@inrae.fr](mailto:chloe.delmas@inrae.fr)



@cel\_delmas

Merci à nos collègues de l'UMR SAVE  
UMR EGFV, UMR BFP, UE PR,  
du Château Couhins et aux stagiaires  
ayant participé à ce travail!

# Références citées

- Bortolami G., *The effect of pathogens on the water and carbon economy of grapevines: implications for the grapevine dieback crisis*. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux, 2021.
- Bortolami et al. (2021b). Grapevines under drought do not express esca leaf symptoms. *PNAS*, 118(43) e2112825118.
- Bortolami et al. (2021a). Seasonal and long-term consequences of esca grapevine disease on stem xylem integrity. *Journal of Experimental Botany*, 72(10), 3914-3928.
- Bortolami et al. (2019). Exploring the hydraulic failure hypothesis of esca leaf symptom formation. *Plant physiology*, 181(3), 1163-1174.
- Charrier et al. (2018). Drought will not leave your glass empty: Low risk of hydraulic failure revealed by long-term drought observations in world's top wine regions. *Science advances*, 4(1), eaao6969.
- Charrier et al. (2016). Evidence for hydraulic vulnerability segmentation and lack of xylem refilling under tension. *Plant physiology*, 172(3), 1657-1668.
- Claverie et al. (2020). Current knowledge on Grapevine Trunk Diseases with complex etiology: A systemic approach. *Phytopathol. Mediterr.*, 59, 29-53.
- McElrone et al. (2021). Functional hydraulic sectoring in grapevines as evidenced by sap flow, dye infusion, leaf removal and micro-computed tomography. *AoB Plants*, 13(2), plab003.
- Pouzoulet et al. (2020). Behind the curtain of the compartmentalization process: exploring how xylem vessel diameter impacts vascular pathogen resistance. *Plant, Cell & Environment*, 43(11), 2782-2796.
- Surico et al. (2006). Older and more recent observations on esca: a critical overview. *Older and More Recent Observations on Esca*, 1000-1019.

