



➤ Identification de facteurs de sensibilité liés aux développements des nécroses associées à l'Esca

Guillaume ARNOLD
guillaume.arnold@inrae.fr

Ingénieur en innovation variétale pour la vigne
 UMR 1131 Santé de la Vigne et Qualité du Vin
 Centre Grand Est-Colmar

Proconseil :
 Intervention formations canton de Vaud, le 11 mars 2025

INRAE Grand-Est Colmar



Localisation : Biopôle de Colmar

Structures de **recherche** (INRAE, UHA), d'**enseignement** (UHA-faculté de marketing et d'agrosciences, UHA-IUT département de Biologie, Agronomie, Biotechnologie), d'**innovation** (CRT RITMO dans le domaine des intrants en agriculture), de **développement** (dont IFV, CIVA, chambre d'agriculture), toutes centrées autour de deux thématiques stratégiques régionales Vignes & Vins et Agronomie & Environnement



Le Centre INRAE Grand-Est Colmar :

- 16 000 m² dont 4 000 m² de laboratoires, bureaux, salles de réunion
- 66 ha de terres dont 11 ha en culture viticole (**UEAV**)
- ~150 personnes dont 75% de titulaires (ESR) et 25% de contractuels (doctorants, post-doctorants, ingénieurs, techniciens, apprentis)

L'unité mixte de recherche : Santé de la Vigne et Qualité du Vin (SVQV) :

- **Génétique et Amélioration de la Vigne (GAV)**
- **Génomique et Métabolisme de la Vigne (GMV)**
- **Virologie et Vecteur (ViVe)**



L'équipe : Génétique et Amélioration de la Vigne



Thématiques de l'équipe :

- Mise en œuvre de résistances chez la vigne
- Méthodologie de sélection variétale et matériel végétal afférent (**Collaborations avec Agroscope**)
- Déterminants de la typicité des vins
- Métabolisme et résistance
- Déterminants de la recombinaison et conséquences

Une partie de nos recherches visent à identifier des régions clés du génome qui gouvernent des caractères d'intérêt agronomique (résistance à maladies, caractères de qualité, productivité et capacité d'adaptation)

=> Etude du déterminisme génétique de caractères

Etude du déterminisme génétique de caractères

1. Générer de la diversité génétique
2. Caractériser cette diversité : Phénotypique et Génétique
3. Rechercher des relations entre la diversité génétique et la diversité phénotypique : Génétique d'association



Générer de la diversité génétique

Reproduction sexuée :

Gamète femelle X Gamète male => Fécondations => pépins



Etamines :
Organe mâle : Gamète = Pollen

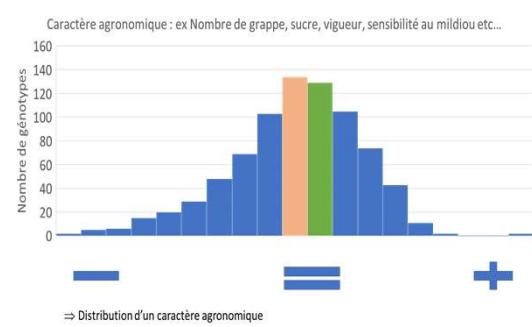
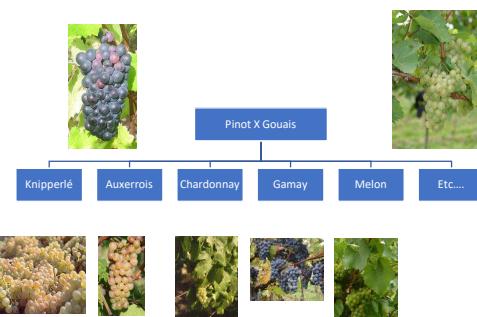
Pistil :
Organe femelle : Gamète = Ovule



⇒ Chaque plante issus d'un semis présente une combinaison génétique unique issue de la recombinaison des génomes parentaux

Caractériser la diversité phénotypique

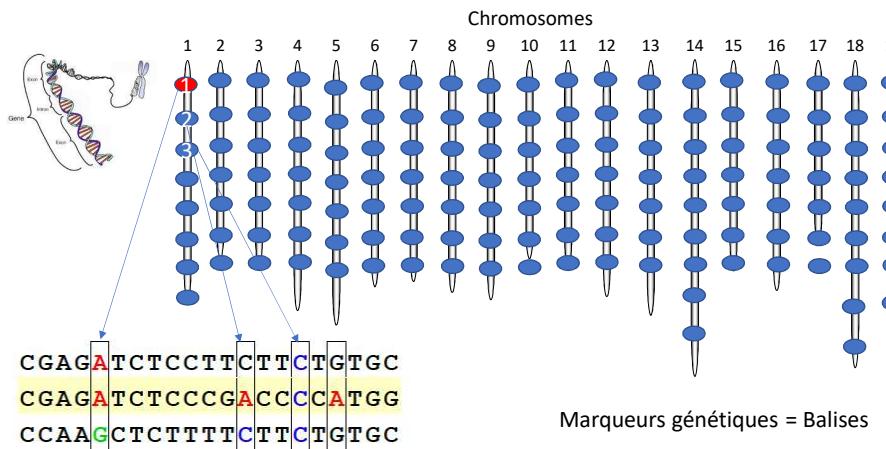
⇒ Chaque combinaison génétique unique sera à l'origine d'un phénotype différent avec des caractères agronomiques variables.



Caractère	+	+	-	+	-
Descendants	Génotype 1	Génotype 2	Génotype 3	Génotype 4	Génotype 5



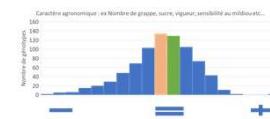
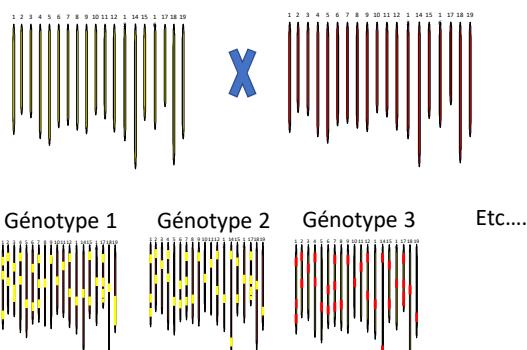
Caractériser la diversité génétique



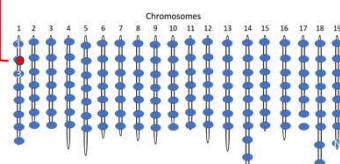
Chaque balise détermine une forme génétique, dépendante de la redistribution du génome des parents lors de la fécondation

Génétique d'association

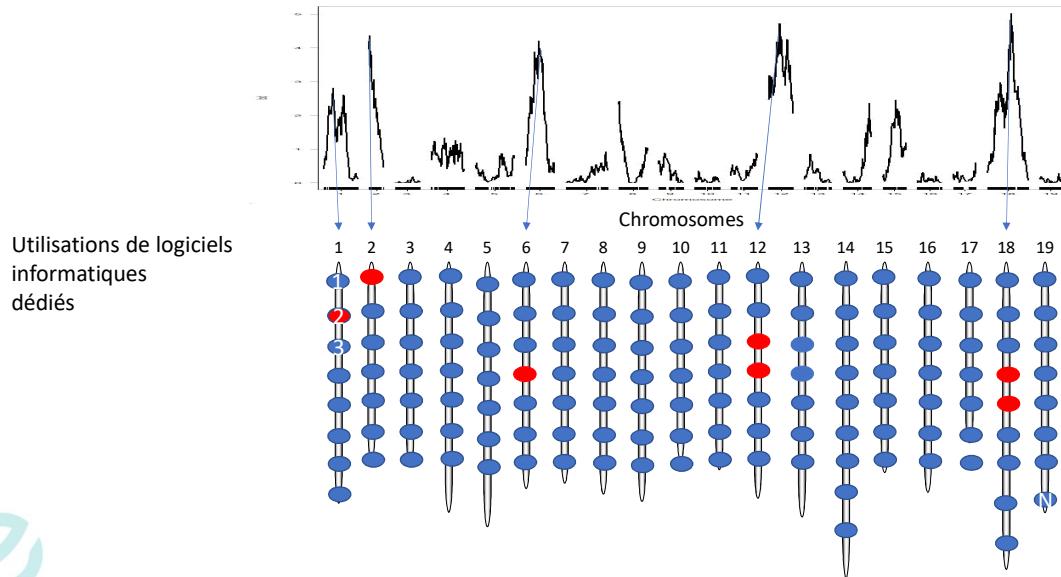
Une population bi-parentale



Caractère	+	+	-	+	=
Descendants	Génotype 1	Génotype 2	Génotype 3	Génotype 4	Génotype 5
1	A	B	A	D	E
2	B	B	A	B	A
3	A	B	B	C	D
4	B	A	A	C	D
5	A	A	A	A	A
.....



Génétique d'association



Les maladies du bois

Maladies du bois

- 1,5 milliards de dollars/an (2012, *Hofstetter et al*)
- Eutypiose, Dépérissements à *Botryosphaeriaceae* (BDA), **Esca**

Nécroses



Symptômes foliaires



Apoplexie



<http://ephytia.inra.fr/>

Les maladies du bois

Maladies du bois

Facteurs abiotiques

- Régime hydrique, gestion de l'azote, alternance de stress, demande évapo-transpirative.....

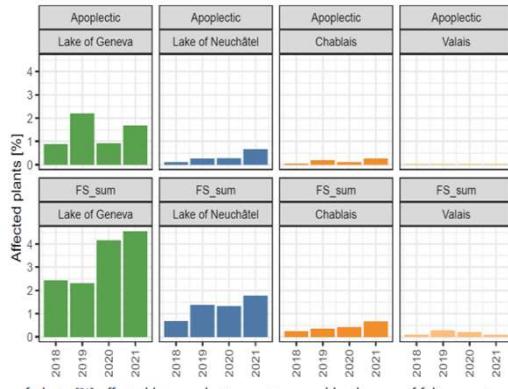
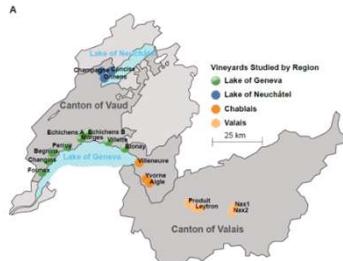


FIGURE 2. Sum of plants [%] affected by apoplectic symptoms and by the sum of foliar symptoms (FS_sum) for the four monitored vintages (2018–2021) by wine-growing region.

Les maladies du bois

Maladies du bois

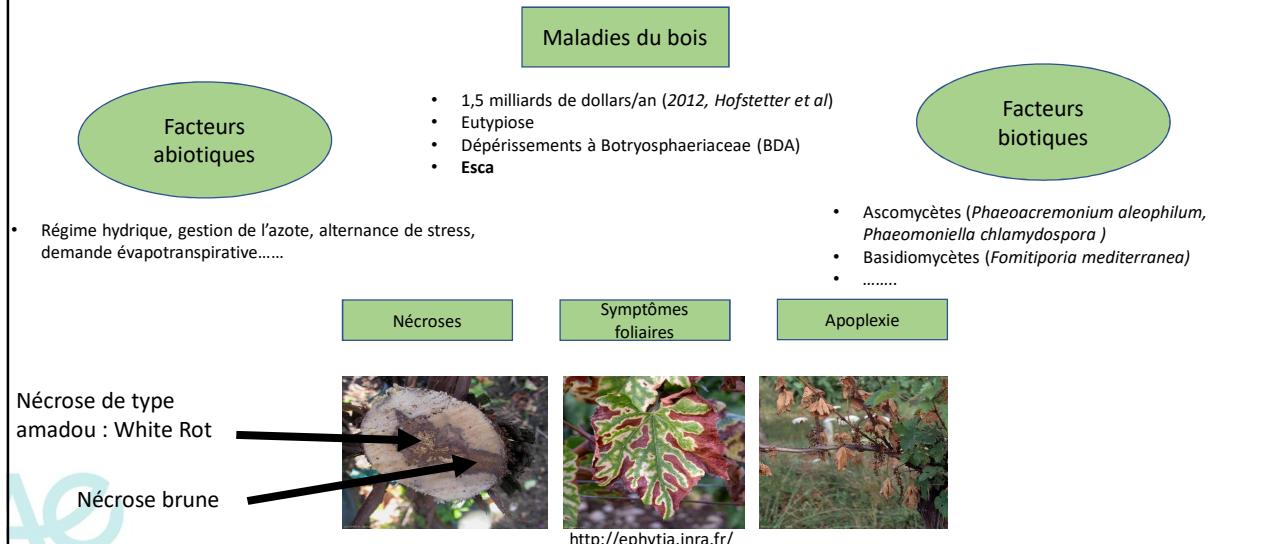
Facteurs biotiques



<http://ephytia.inra.fr/>



Les maladies du bois

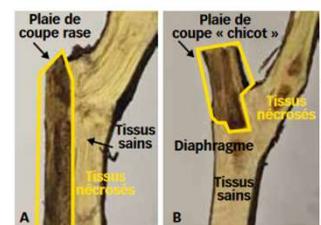


Esca : Méthodes de lutte

- Interdiction de l'arsénite de sodium en 2001
- Trichoderma : lutte biologique (résultats mitigés)
- Tessor® System : lutte chimique (résultats mitigés)
- En pratique :
 - Taille respectueuse
 - Recépage

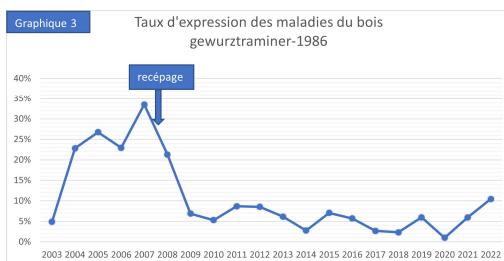
Fig. 5 : Effets comparés d'une plaie de taille rase et d'une plaie avec chicot

Aspect au bout d'un an (délai entre taille et prélevement pour examen). Zone brune = tissus vasculaires nécrosés desséchés. Zone claire = tissus vasculaires fonctionnels, traduisant la vitalité.



Photos: Simon et Souch - mises en évidence de l'effet

Cholet *et al.* - 2017



Abidon *et al.* 2022

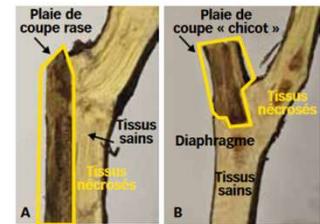
Esca : Méthodes de lutte

- Interdiction de l'arsénite de sodium en 2001
- Trichoderma : lutte biologique (résultats mitigés)
- Tessor® System : lutte chimique (résultats mitigés)
- En pratique :
 - Taille respectueuse
 - Recépage
 - Curetage

Fig. 5 : Effets comparés d'une plaie de taille rase et d'une plaie avec chicot

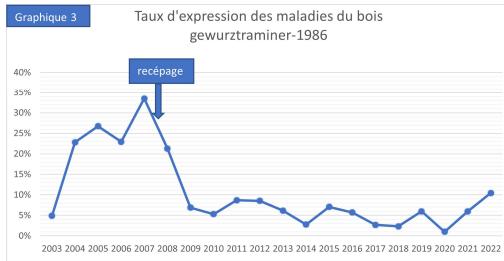
Aspect au bout d'un an (délai entre taille et prélevement pour examen).

Zone brune = tissus vasculaires nécrosés desséchés. Zone claire = tissus vasculaires fonctionnels, traduisant la vitalité).



Photos : Simon & Schmid - matières végétales de l'agro

Cholet et al. - 2017



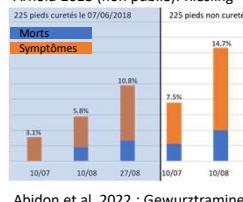
Abidon et al. 2022



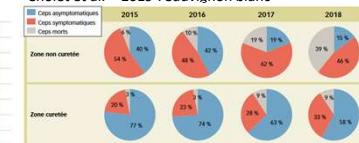
Focus sur le curetage :



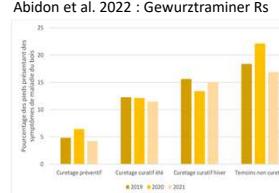
Arnold 2018 (non publié) : Riesling



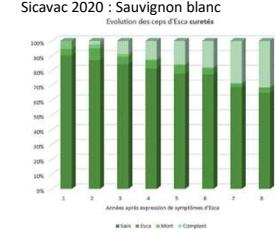
Cholet et al. – 2019 : Sauvignon blanc



Abidon et al. 2022 : Gewurztraminer RS

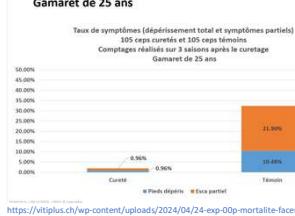


Sicavac 2020 : Sauvignon blanc

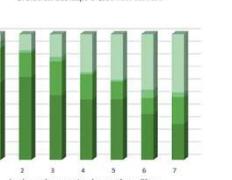


D. Marchand, Proconseil, 2020

Gamaret de 25 ans



Evolution des ceps d'Esca non curétés



https://vitaplus.ch/wp-content/uploads/2024/04/24-exp-00p-mortalite-faceurs-biologiques-et-abiotiques_v01ff.pdf

https://www.vins-centre-loire.com/files/le_curetage_Sicavac-2020.pdf

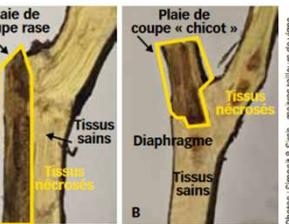
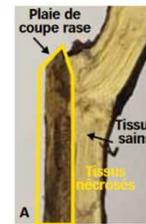
Esca : Méthodes de lutte

- Interdiction de l'arsénite de sodium en 2001
- Trichoderma : lutte biologique (résultats mitigés)
- Tessor® System : lutte chimique (résultats mitigés)
- En pratique :
 - Taille respectueuse
 - Recépage
 - Curetage

=> Limitation et élimination des nécroses

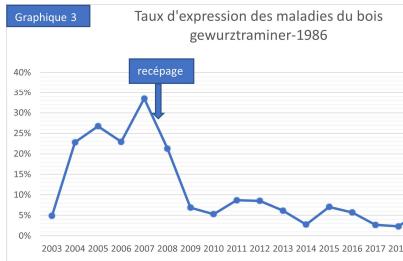
Fig. 5 : Effets comparés d'une plaie de taille rase et d'une plaie avec chicot

Aspect au bout d'un an (délai entre taille et prélevement pour examen). Zone brune = tissus vasculaires nécrosés desséchés. Zone claire = tissus vasculaires fonctionnels, traduisant la vitalité.



Photos Simona & Sven - Institut national de la vigne

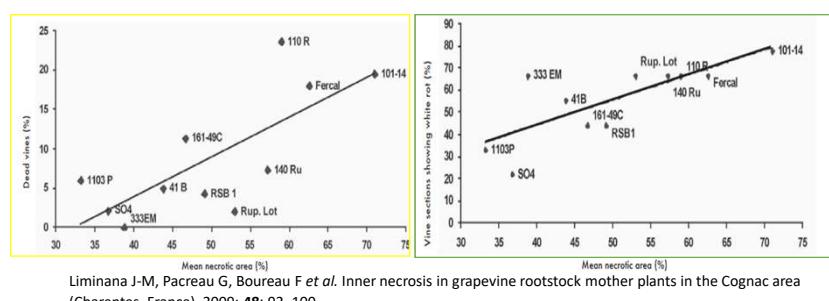
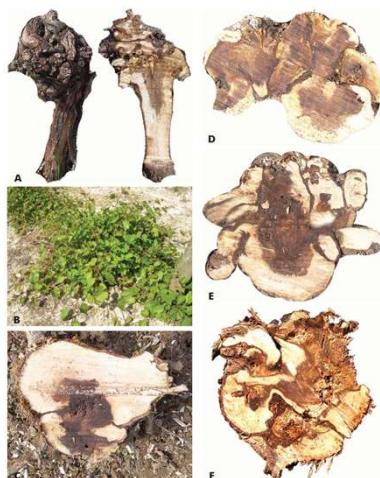
Cholet et al. - 2017



Abidon et al. 2022



Esca : Nécroses associées



- Plus l'étendue de la nécrose est importante, plus le risque de mortalité est élevé,

- La proportion d'amadou est proportionnelle à la proportion de la surface nécrotique

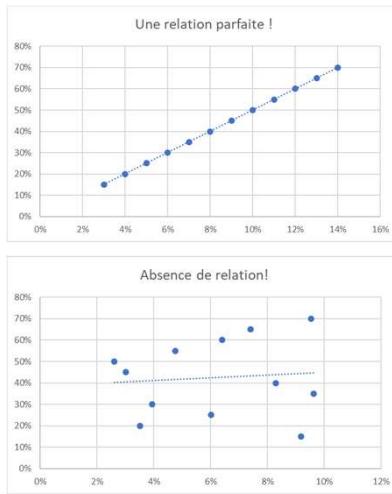
=> Absence de symptômes foliaires

Absence de relation : Liminana et al. 2009, Calzarano et al. 2007,

Relation : Maher et al. 2012, Ouadi et al. 2019, Fernandez et al. 2024



Esca : Relations entre nécroses (Amadou (WR) et nécroses totales (TN)) et symptômes foliaires



Variables	R : %_WR	R : %_TN
Symptômes foliaires_2013	0,68	0,41
Symptômes foliaires_2014	0,31	0,35
Symptômes foliaires_2015	0,27	0,41
Symptômes foliaires_2016	0,19	0,39
Symptômes foliaires_2017	0,62	0,68
Symptômes foliaires_2018	0,49	0,44
Symptômes foliaires_2019	0,19	0,25
Cumul Symptômes foliaires	0,84	0,87

Fernandez et al. 2024

Mise en évidence du lien entre les nécroses et les symptômes foliaires.

Exploration de la variabilité génétique associé à l'expression des nécroses ?

- Différence de sensibilité entre les cépages, des clones, des porte-greffes => Facteurs génétiques

Variabilité entre les variétés

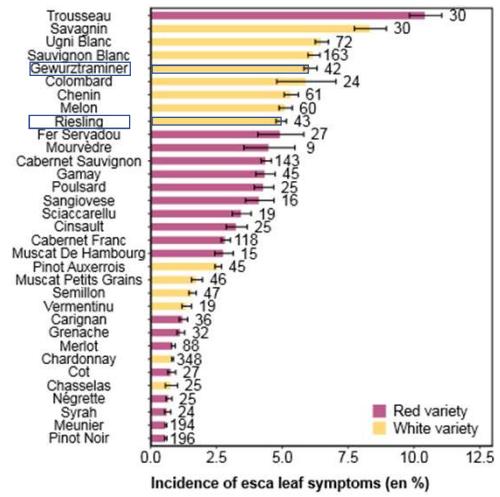
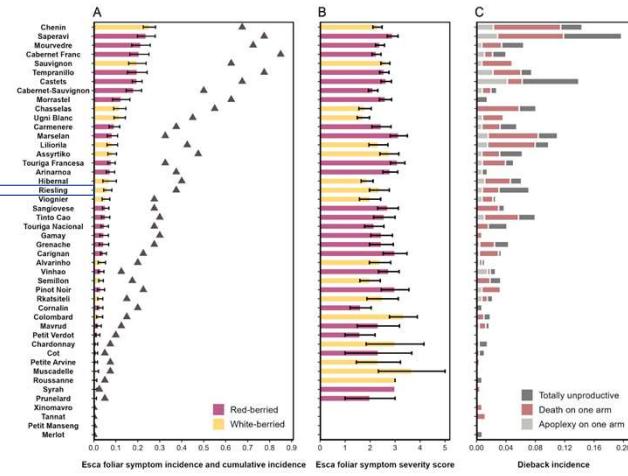


FIGURE 3. Mean annual incidence (\pm standard error) of esca leaf symptoms on all national observatory plots (2003–2023). The figures refer to the number of plots.

Gradient of grapevine varietal susceptibility to esca
Pierre Gastou et al., 2024

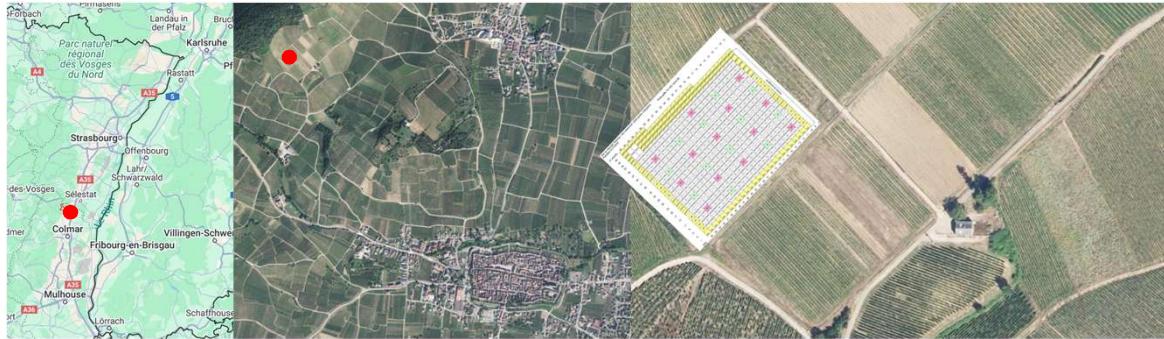
Exploration de la variabilité génétique associé à l'expression des nécroses ?

- Différence de sensibilité entre les cépages, des clones, des porte-greffes => Facteurs génétiques
- Les nécroses sont de bons indicateurs, mais c'est une mesure destructive
- Disponibilité d'une population de croisement bi-parentale pour permettre de faire de la génétique d'association



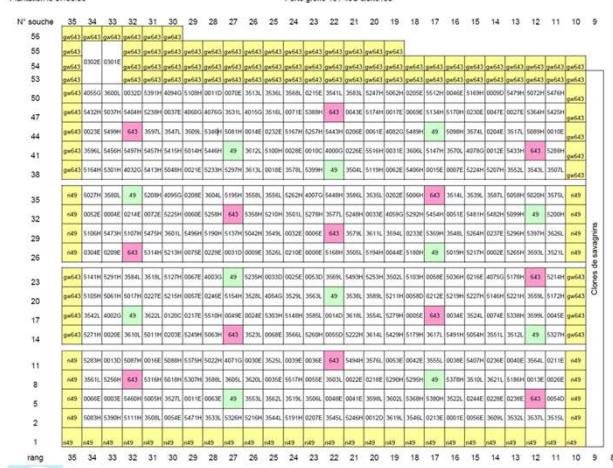
Dispositif : Population Riesling X Gewurztraminer

Domaine de Bergheim



Dispositif : Population Riesling X Gewurztraminer

Plan du dispositif "Riesling x Gewurztraminer" 2006 section 3 Bergheim
Plantation le 07/06/06



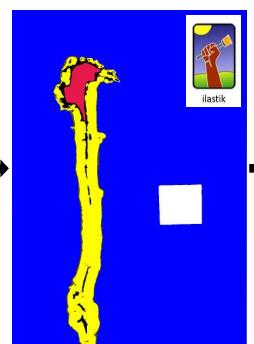
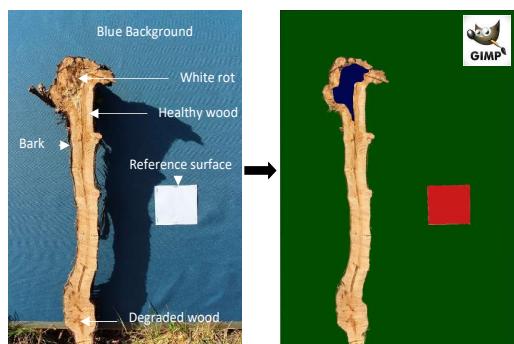
- ⇒ Plantation le 07/06/06
- ⇒ 385 génotypes dont 249 génotypés (10 000 SNP par GBS)
- ⇒ 25 parcelles témoins (75 souches) : (13 Gw et 12 Ri)
- ⇒ Porte greffe 161-49C clone198
- ⇒ Parcelles élémentaires de 3 souches
- ⇒ 1300 pieds de vignes

Réalisation de coupes longitudinales



Riesling X Gewurztraminer

Notations par imagerie



$$I_{TA} = (C3 + C4 + C5) \times 100 / C2$$

$$I_{WR} = C3 \times 100 / (C3 + C4 + C5)$$

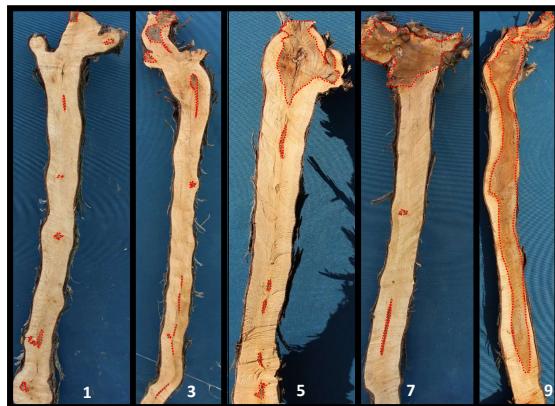
$$I_{TN} = (C3 + C5) \times 100 / (C3 + C4 + C5)$$

I_{TA} : Traduit la vigueur de la souche

Ilastik colour	Blue Background	White Reference surface	Red White rot	Yellow Healthy wood	Black Degraded wood	Green Bark
Channel (C)	1	2	3	4	5	6
Number of pixel	3 662 093	87 957	44 715	301 636	42 211	28 888



Notations visuelles



V_TN (1 à 10)

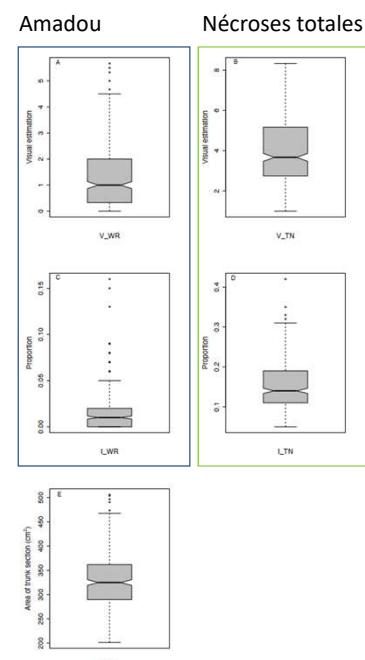
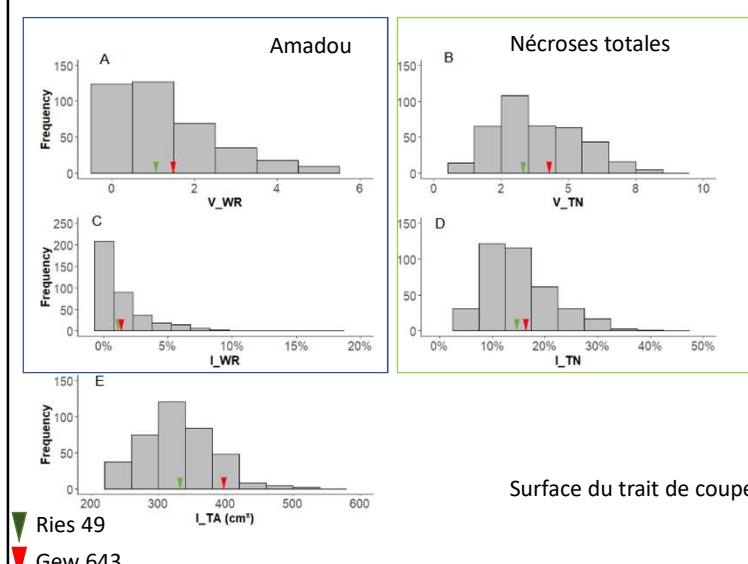
Importance des nécroses totales



V_WR (0 à 10)

Importance de l'amadou

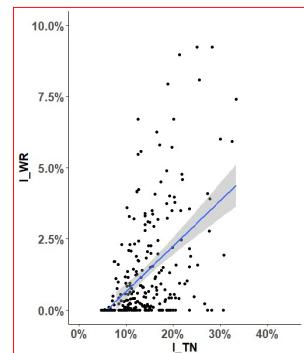
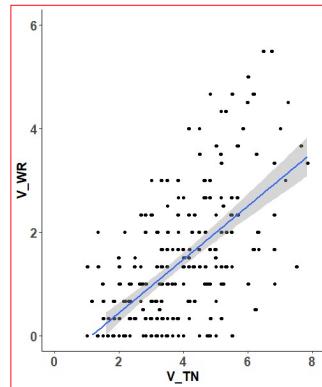
Observations :



Observations :

Variables	V_TN	I_TA	I_WR	I_TN	PCC
V_WR	0,57	0,43	0,83	0,52	
V_TN		0,43	0,50	0,78	
I_TA			0,34	0,36	
I_WR				0,48	

Test de Pearson : P values < 0,001 pour toutes les relations



- Très forte corrélation entre les mesures visuelles et l'imagerie
- Forte corrélation entre le taux d'amadou et les nécroses totales
- Corrélation entre la vigueur et les proportions de nécroses

Analyse QTL pour l'ensemble des variables à partir des cartes parentales

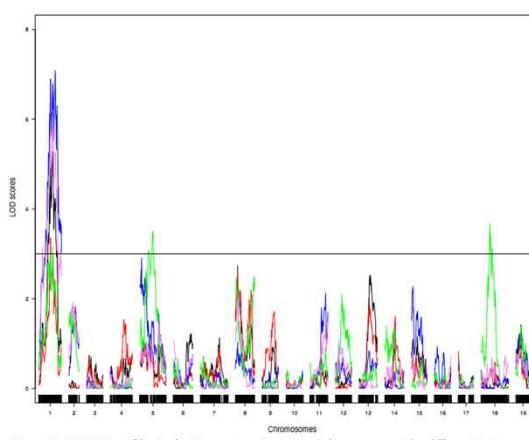
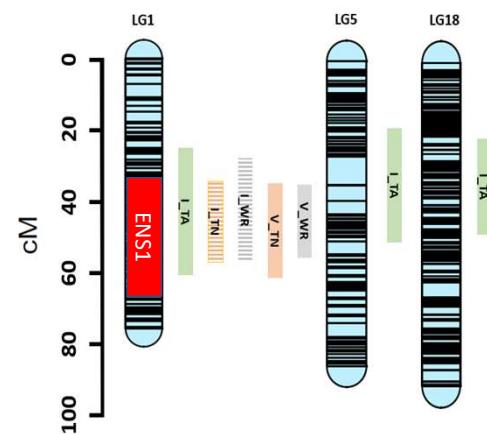


Figure S5: QTL LOD profiles in the Gewurztraminer map. Colors represent the different traits (V_WR=black, I_WR=red, V_TN=blue, I_TA=green and I_TN=violet). Horizontal line = significance threshold LOD=3.

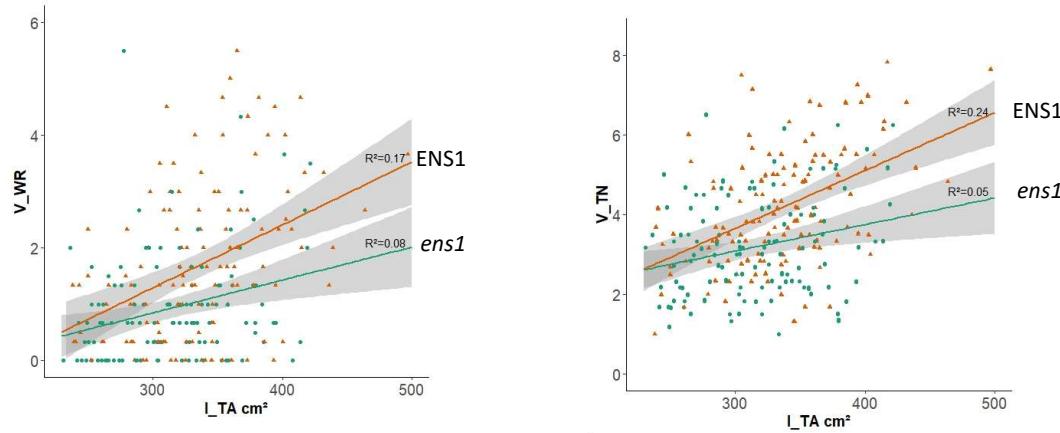


La proportion de nécroses totales, ainsi que celle de l'amadou sont toutes 2 gouvernées par un facteur issu du Gewurztraminer : **ENS1** pour 'Esca Necrosis Susceptibility 1'

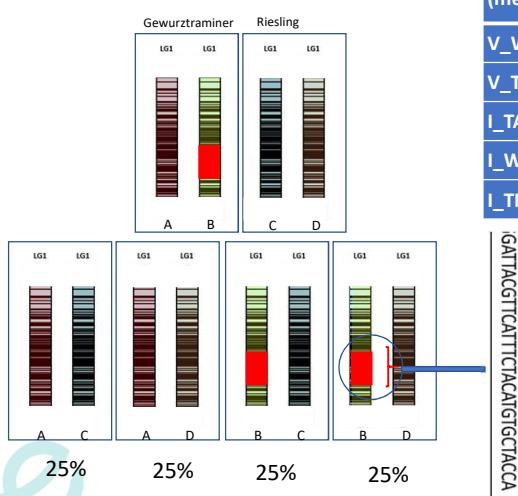
Lien vigueur, nécroses et ENS1

ANOVA à 2 facteurs avec interaction :
 $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 (X_1 \cdot X_2) + \varepsilon$
 $X_1 = ENS1 ; X_2 = I_TA (cm^2)$

Variables	P Value		
	ENS1	I_TA (cm ²)	ENS1: I_TA (cm ²)
V_WR	0.0001041 ***	4.22e-09 ***	0.0541846 .
V_TN	1.429e-05 ***	6.004e-10 ***	0.004821 **



Origine de ENS1



Variables (mean)	RixGW reference population (GW parental map) n= 249		
	ENS1	ens1	pValue*
V_WR	1,68	0,93	2.164e-06 ***
V_TN	4,16	3,20	2.071e-07 ***
I_TA (cm ²)	335,18	313,11	0.0007603 ***
I_WR (%)	1,87	0,89	0.0004223 **
I_TN (%)	16,05	12,53	5.636e-06 ***

Création d'un Marqueur KASP spécifique de ENS1
-> plateforme Gentyane d'INRAE



Validation du marqueur KASP à partir d'une sous population de RXG

Variables (mean)	RlxGW reference population (GW parental map) n= 249		
	ENS1	ens1	pValue*
V_WR	1,68	0,93	2.164e-06 ***
V_TN	4,16	3,20	2.071e-07 ***

→ Analyse QTL : 249 individus génotypés d'origine

Variables (mean)	New RlxGW sub-population KASP n= 54		
	XY	YY	pValue*
V_WR	2,02	0,61	0.001649 ***
V_TN	5,13	3,53	0.001058 ***

→ Analyse marqueur KASP : 54 génotypes non génotypés d'origine

Confirmation de ENS1

- Parcille de S1 de Gewurztraminer :

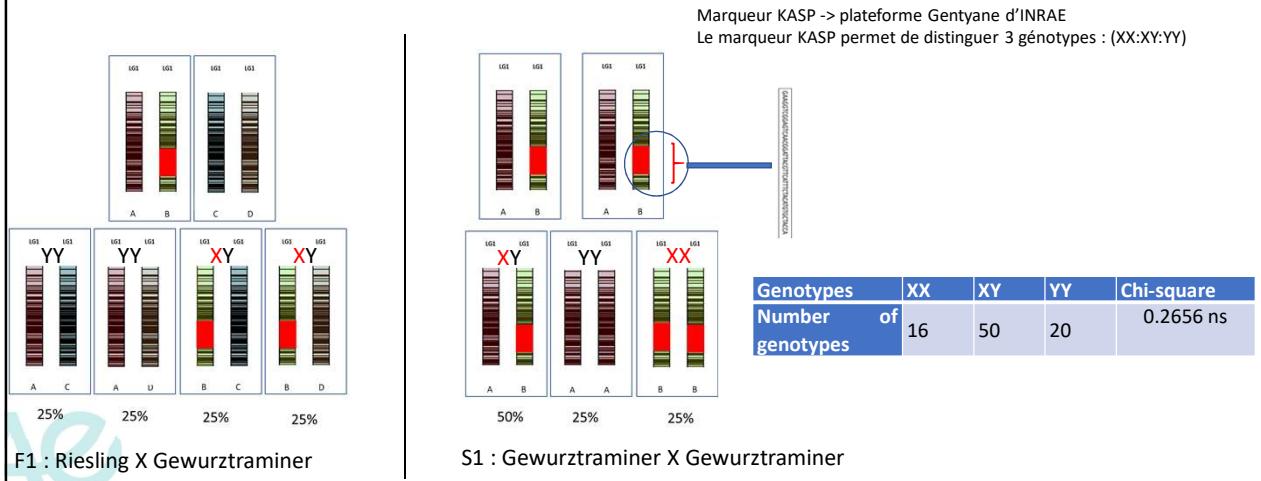


- ⇒ Plantation en 2002
- ⇒ 90 génotypes (86 ADN conservés au congélateur)
- ⇒ 11 parcelles témoins
- ⇒ Porte greffe 161-49C clone 198
- ⇒ Parcelles élémentaires de 3 souches
- ⇒ Réalisation de coupes longitudinales



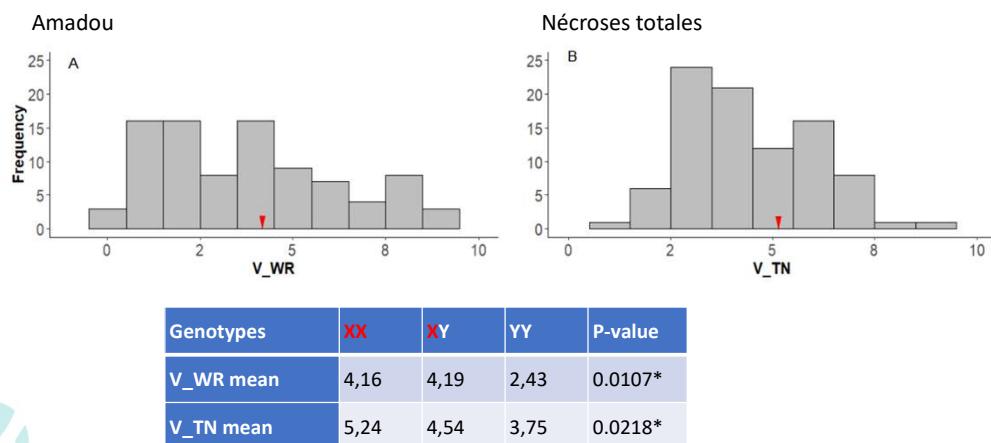
Confirmation de ENS1

- Parcelle de S1 de Gewurztraminer :



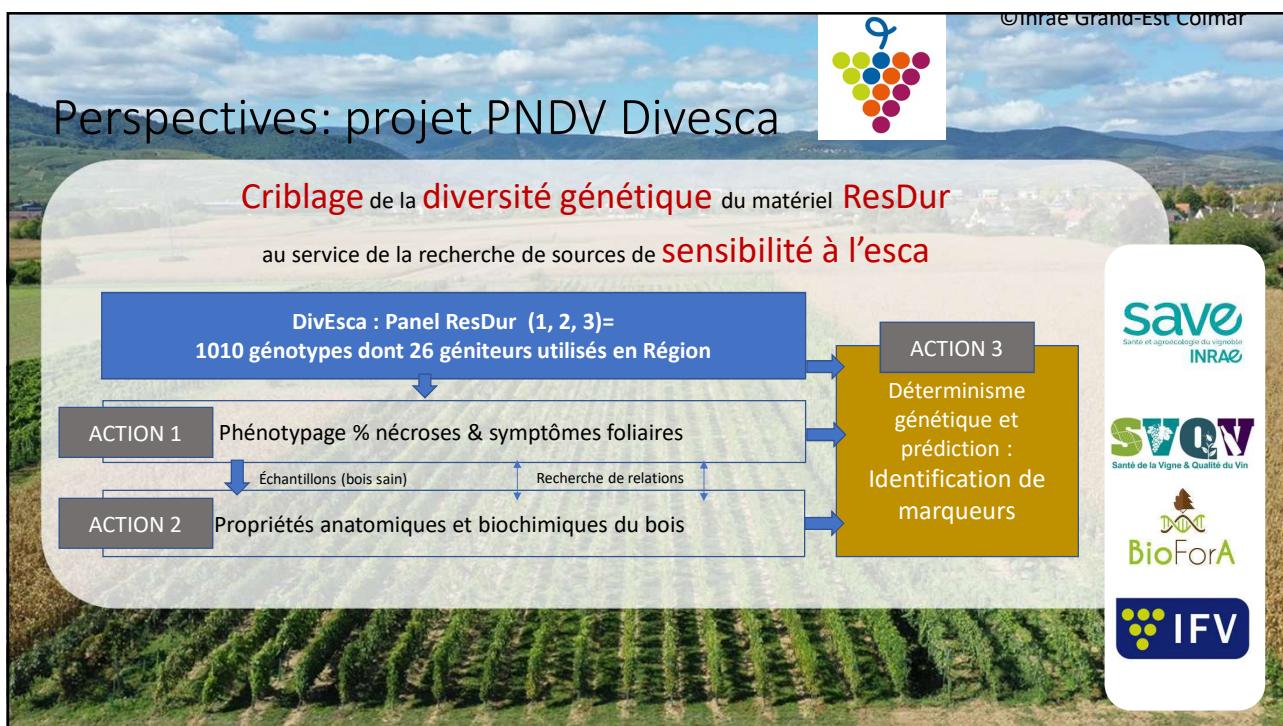
Confirmation de ENS1

Génotypage à l'aide du marqueur KASP sur la S1 de GW



Conclusions

- 1^{er} facteur génétique de sensibilité à une composante majeure l'Esca
- Mise en évidence d'une relation entre les nécroses totales et l'amadou (génétique et phénotypique).
 - => développement séquentiel de la dégradation des tissus ligneux
 - => Ces observations sont à la base des pratiques viticoles recommandées
- Interaction ENS1 et vigueur : effet cumulatif
- Matériel végétal pour un test biologique rapide (phénotypage, rôle des différents pathogènes....)
- Existence potentielle d'une source de résistance ou de tolérance à l'esca dans la diversité des Vitis qui reste à identifier et, ainsi, ouvre la voie et encourage de futures études génétiques de plus grande ampleur.



Remerciements

GAV : Didier Merdinoglu, Eric Duchêne, Komlan Avia, Emilce Prado, Gisèle Butterlin, Vincent Dumas, Raymond Masson, Felicia Maviane-Macia.....

UEAV : L'ensemble de l'équipe

Association Vignes Vivantes

Stagiaires : Juliette Bexon, Aurore Hild, Michael McCallum

Marqueurs Kasp : plateforme Gentyane d'INRAE

