



➤ Utiliser le levier génétique
pour déployer les résistances aux bioagresseurs
dans les programmes de sélection
chez l'abricotier



Marie SERRIE
doctorante
2021-2024

David Tricon
Marie Serrie
Morgane Roth
Jean-Marc Audergon
Bénédicte Quilot
et collaborateurs



➤ Les objectifs de la sélection :

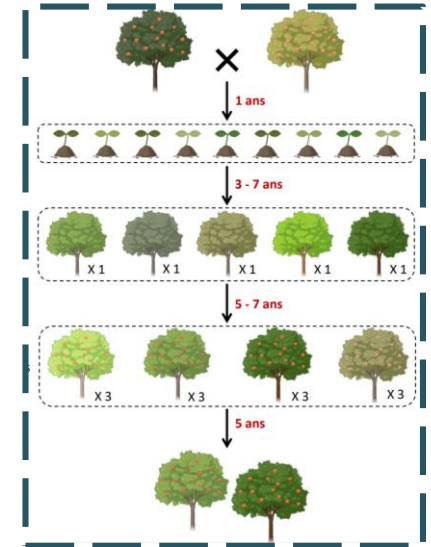


Principaux objectifs de sélection :

- ✓ Qualité des fruits
- ✓ Rendement
- ✓ Régularité de production
- ✓ Capacité de stockage
- ✓ *Résistance aux maladies*



Nouvelle variété : 10 à 20 ans



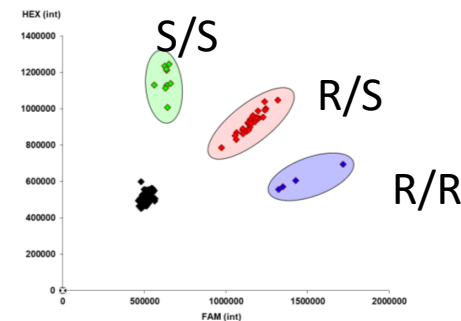


Résistance aux
maladies :
Sélection
sur la base du
phénotypage visuel

Approche
« maladie par maladie »

Sélection assistée par marqueurs :

PPVres
Autofertilité

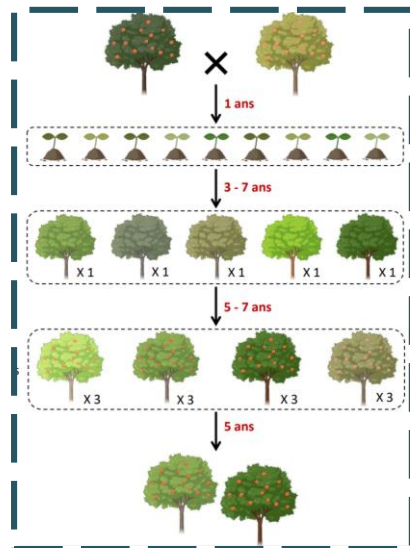


Approche intégrative
multi-traits

	Traits					
Abricotiers	Monilia/fleurs	Chancre B.	Rouille	Criblures	Sharka	ECA
Accession 1						
Accession 2						
Accession 3						
Accession 4						
Accession 5						

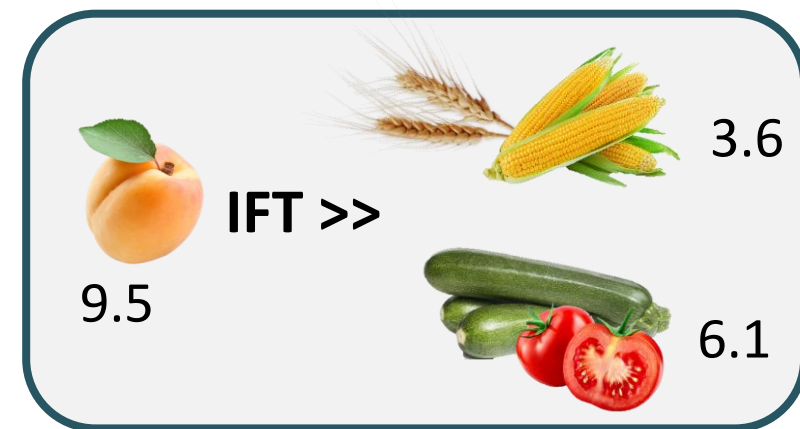
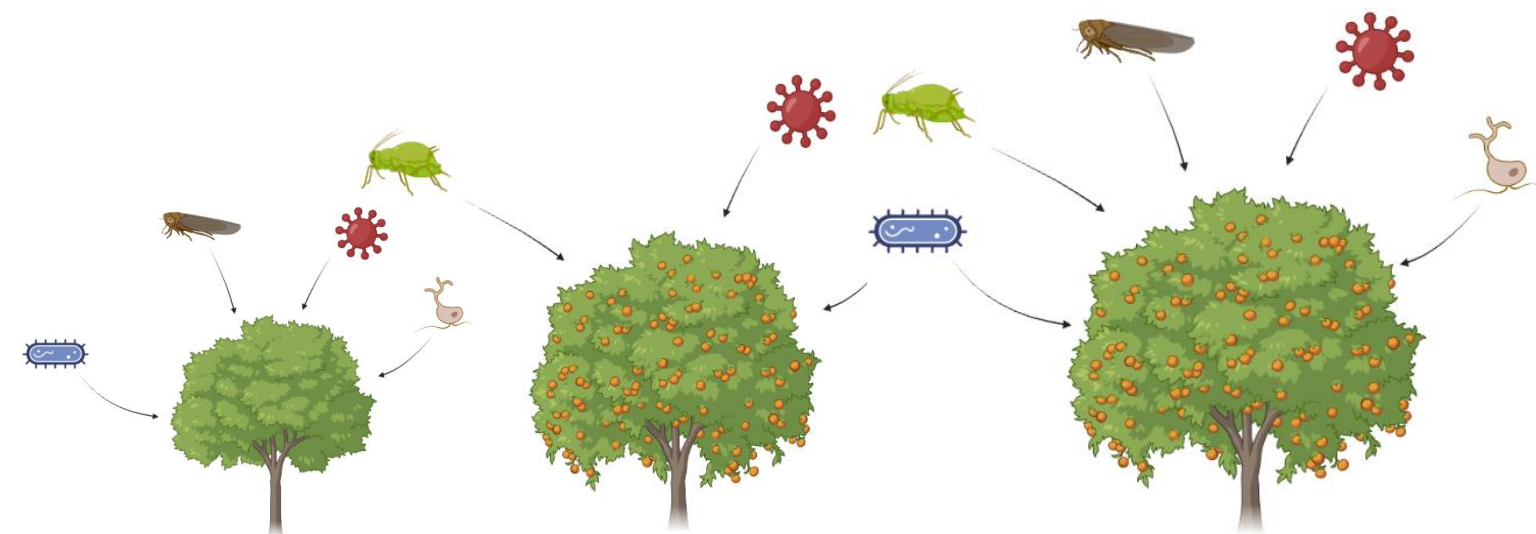


Nouvelle variété : 10 à 20 ans





➤ Lutter contre les bioagresseurs avec une lutte chimique réduite ?



1^{ère} année

Année n



+



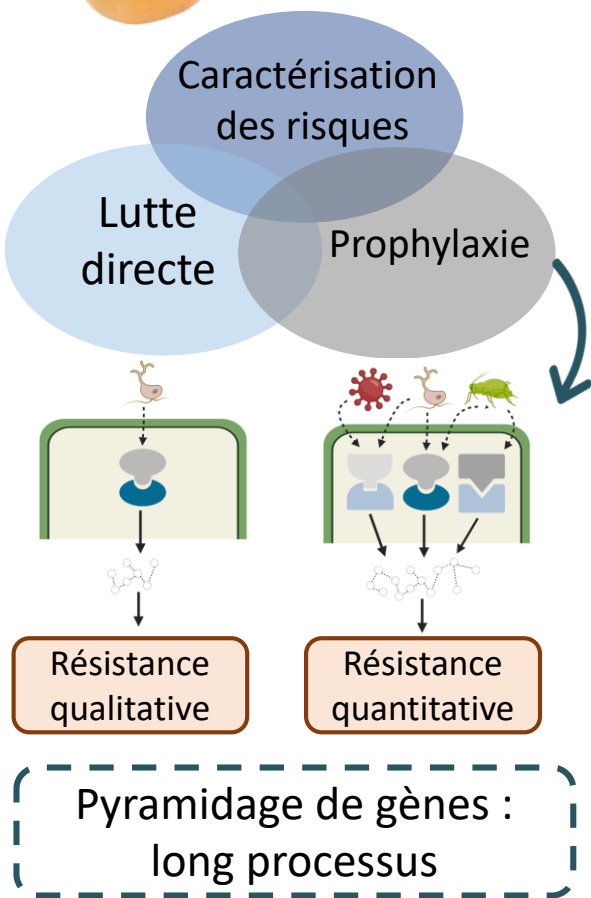
Nous avons besoin de solutions alternatives !

Levier génétique ? : tolérance, résistance, résilience

INRAE



➤ Les objectifs de la sélection : combiner les objectifs actuels en combinant le levier génétique

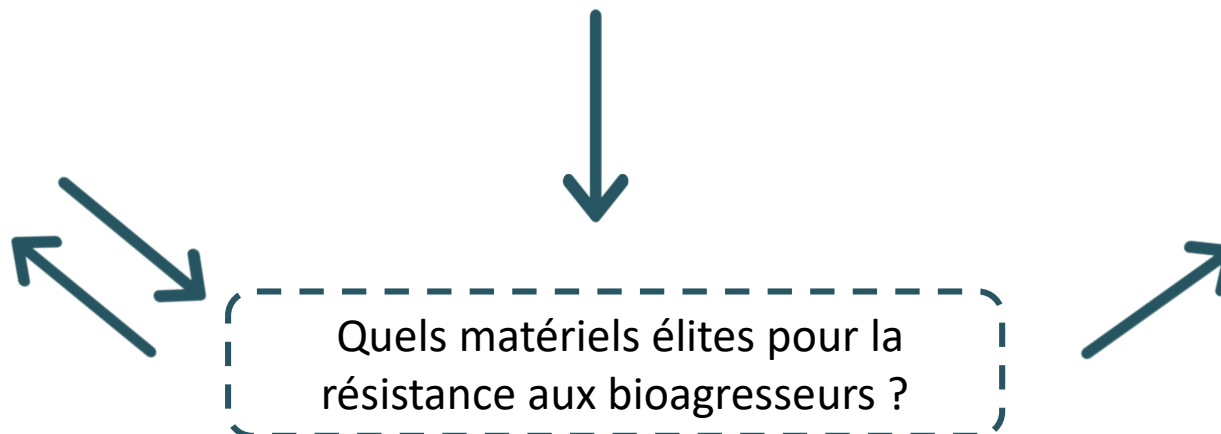
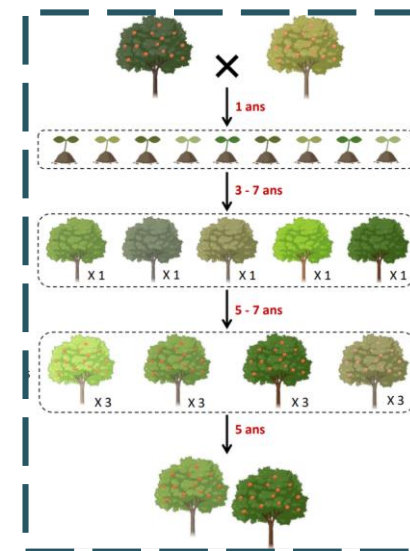


Principaux objectifs de sélection :

- ✓ Qualité des fruits
- ✓ Rendement
- ✓ Régularité de production
- ✓ Capacité de stockage
- ✓ *Résistance aux maladies*



Nouvelle variété : 10 à 20 ans

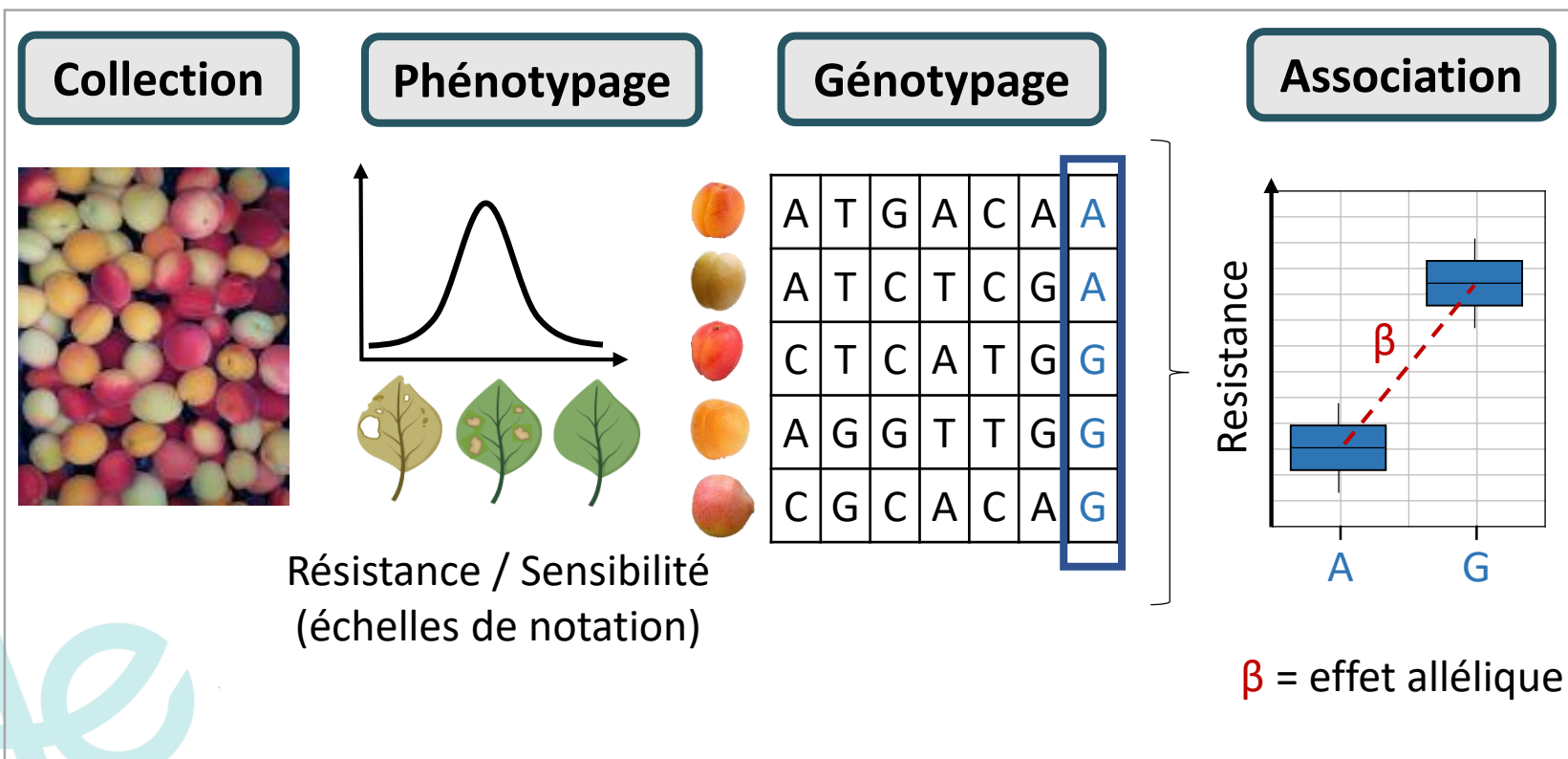




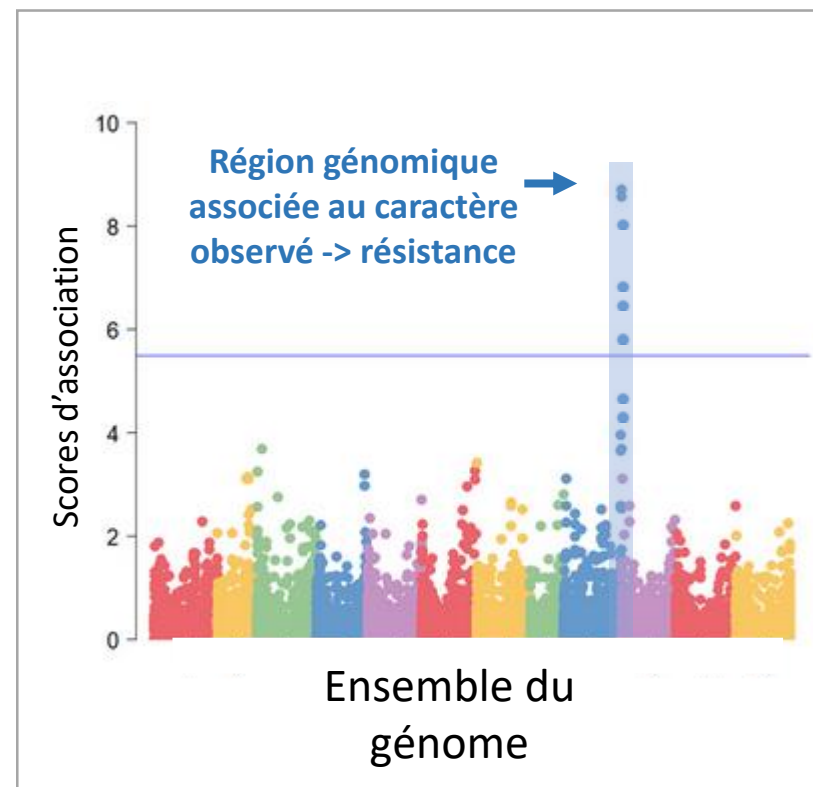
➤ Recherche de sources de résistance : Etude de Génétique d'association à l'échelle du génome (Genome Wide Analysis GWAS)

GWAS : Méthode statistique qui associe la variabilité phénotypique à la variabilité génotypique

GWAS



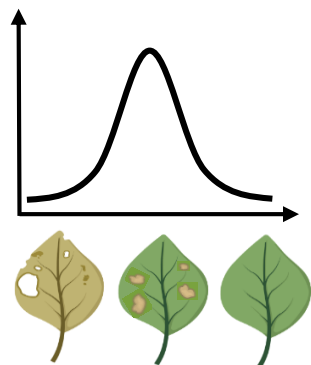
Résultats





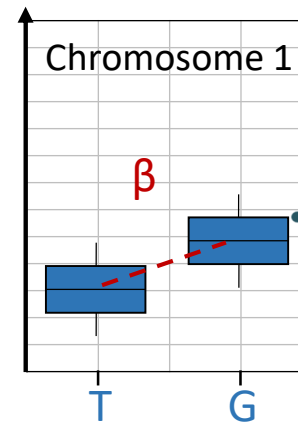
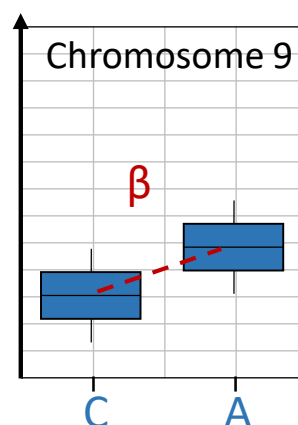
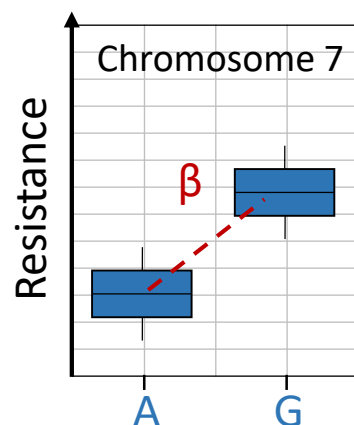
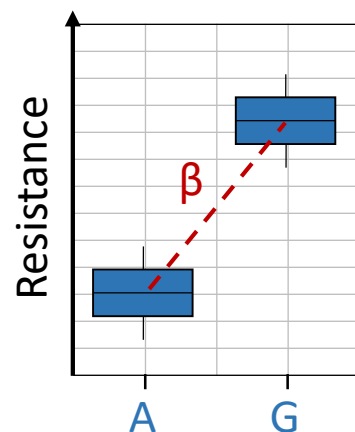
➤ Etude de Génétique d'association à l'échelle du génome (Genome Wide Analysis GWAS) GWAS : Association génotype - phénotype

Phénotypage

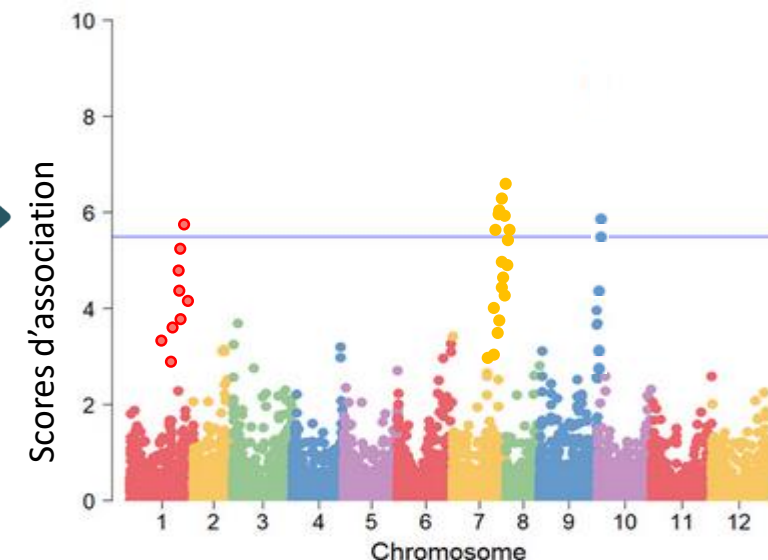
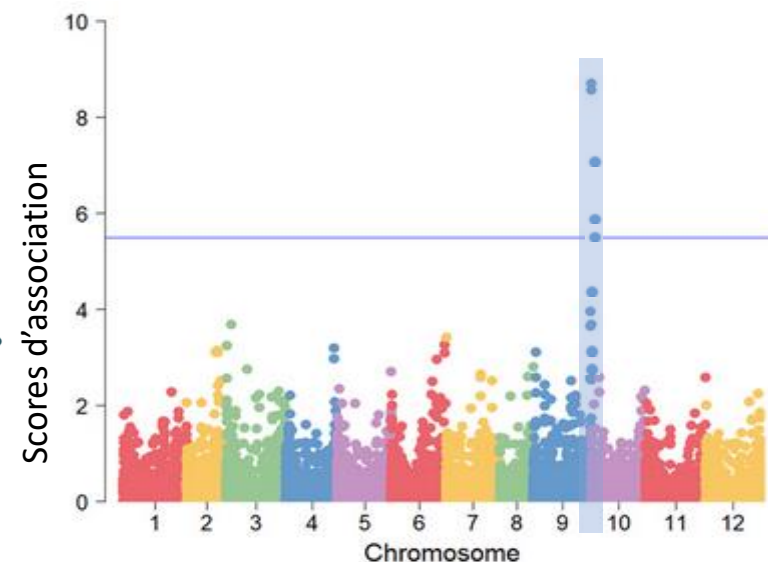


Résistance / Sensibilité
(échelles de notation)

Association



Association simple
-> Effet qualitatif : un gène



Association complexe -> Plusieurs régions génomiques :
Effet quantitatif : QTLs ; cas fréquents chez l'abricotier



➤ Construction de la core collection abricotiers cultivés

Core collection =

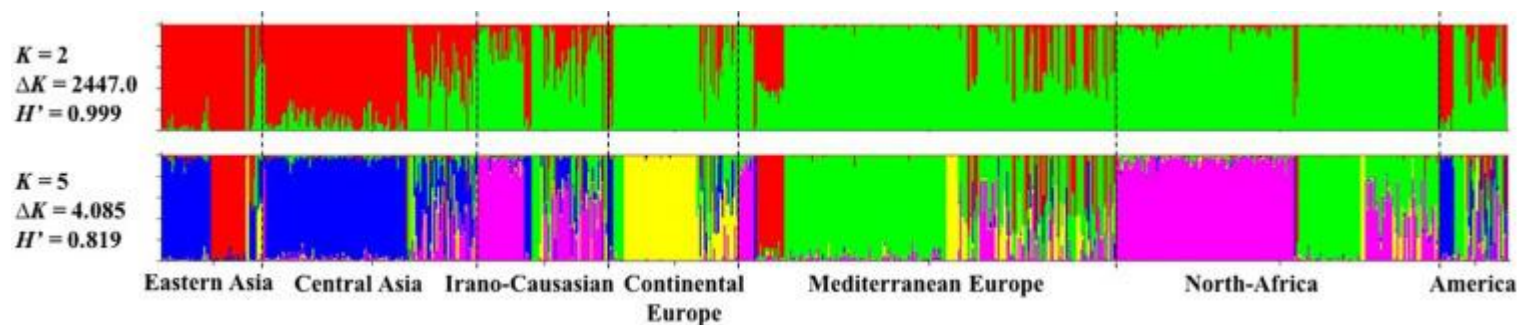
Maximiser la variabilité génétique

Maximiser la variabilité
phénotypique

Nombre optimal d'individus

Génotypage 890 accessions de la collection abricotiers cultivés :
25 marqueurs moléculaires (microsatellites)

Structuration de la collection en 5 groupes majeurs



(Bourguiba et al., 2020)

150 individus maximisant la
diversité génétique

Gotheron - Saint-Marcel-Lès-Valence
(2018)



Amarine - Bellegarde
(2021)



Protection phytosanitaire faible
(uniquement si nécessité) ou absente



➤ Les dispositifs d'observation core collections

- ✓ **Core collection**
- ✓ **150 accessions**
- ✓ **205,000 SNPs** (*Illumina HiSeq*)



Protection
phytosanitaire
minimale

Observations en vergers depuis 2020
Recherche des déterminants génétiques



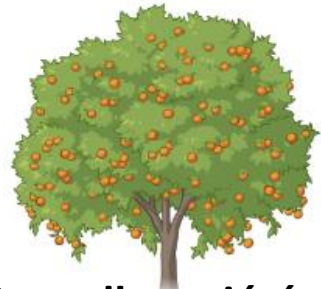
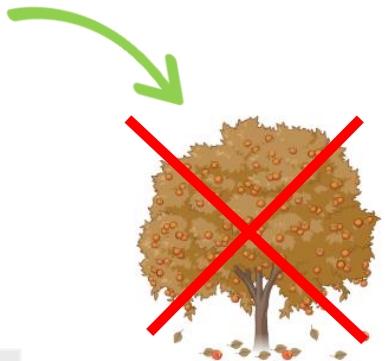
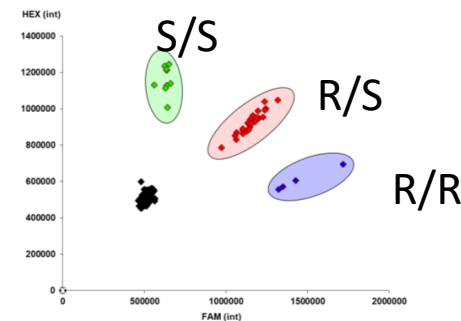


Résistance aux
maladies :
Sélection
sur la base du
phénotypage visuel

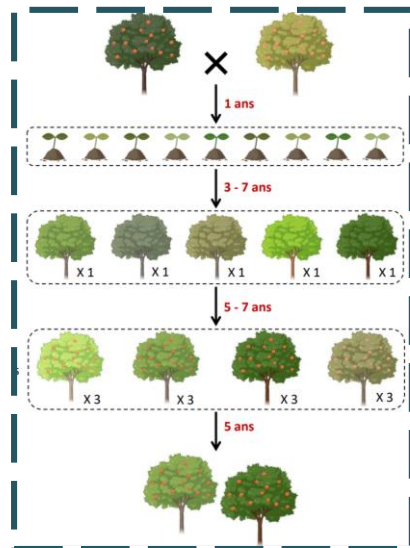
Approche
« maladie par maladie »

Sélection assistée par marqueurs :

PPVres
Autofertilité



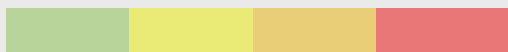
Nouvelle variété : 10 à 20 ans



Approche intégrative
multi-traits

	Traits					
Abricotiers	Monilia/fleurs	Chancre B.	Rouille	Criblures	Sharka	ECA
Accession 1						
Accession 2						
Accession 3						
Accession 4						
Accession 5						

Résistant..... Tolérant..... Sensible



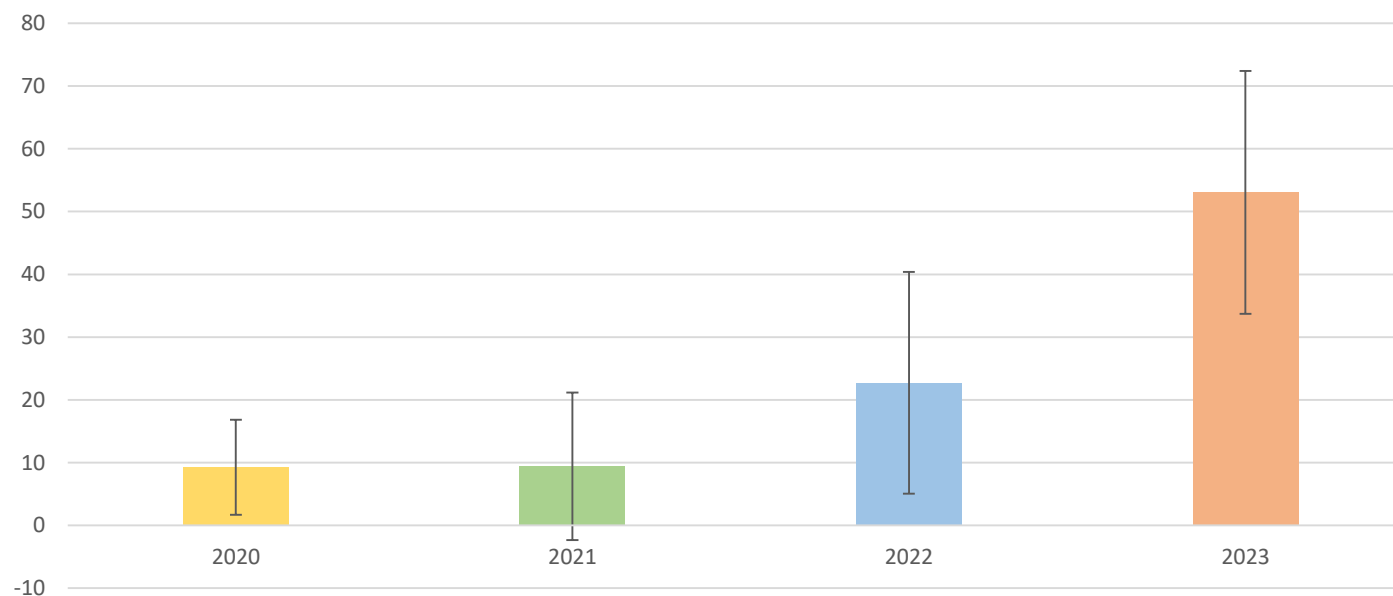


> Cible : **Monilia sur fleurs**

> Résultats core collection Gotheron 2020 à 2023

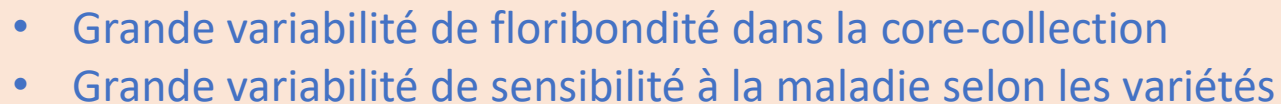
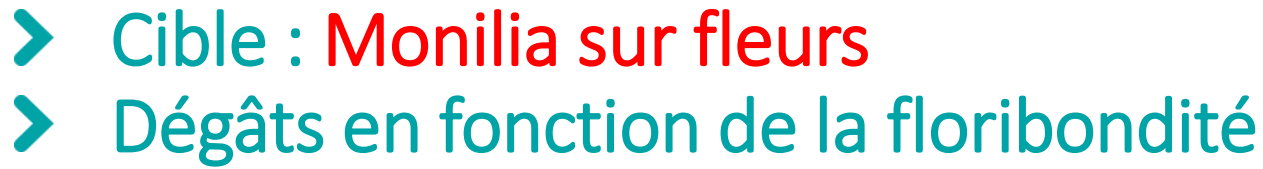


Sévérité moyenne annuelle monilia sur rameaux de 2020 à 2023 (toutes variétés)



Rappel: zéro protection monilia

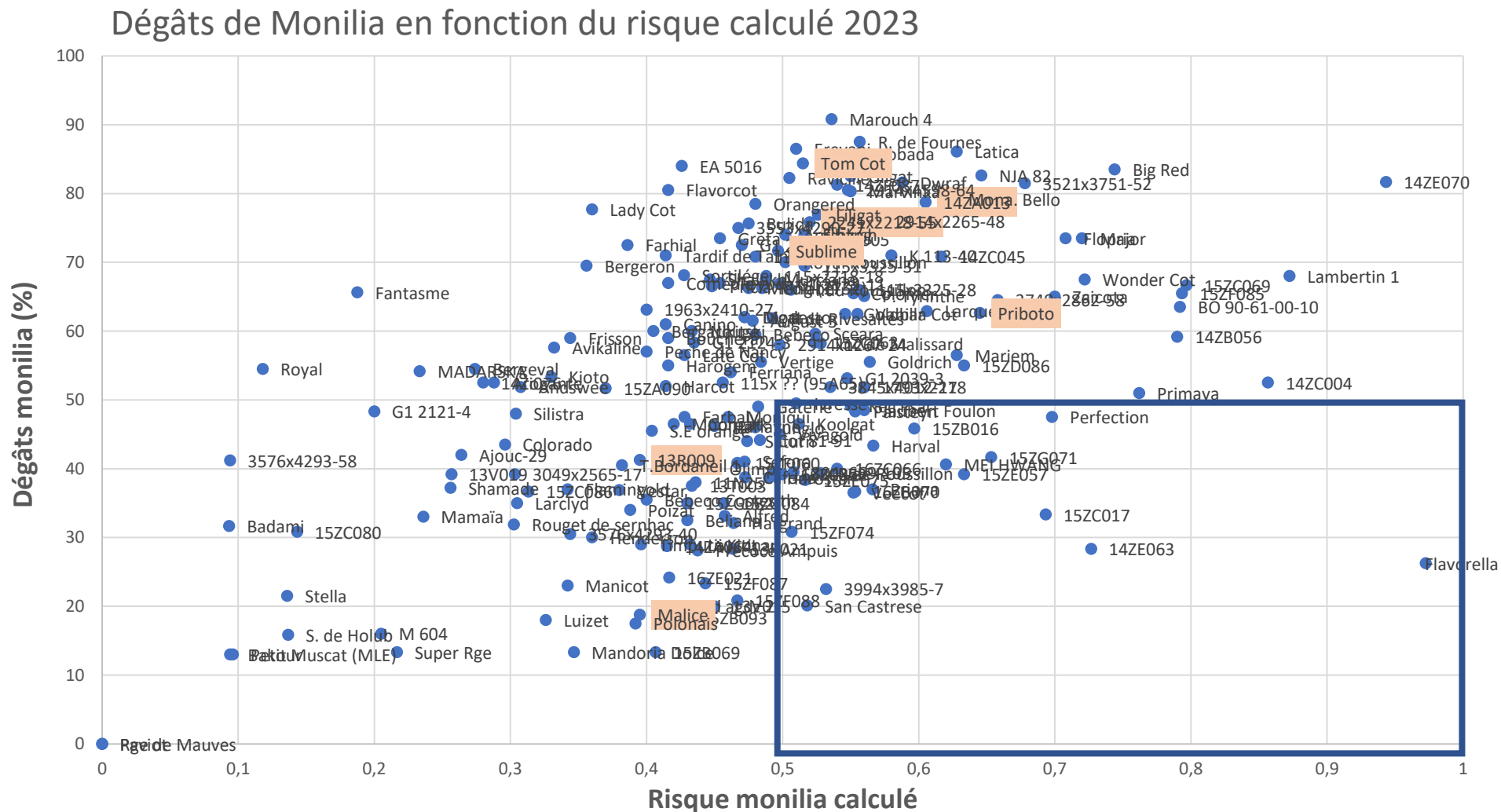
- Installation de la maladie au cours du temps malgré la prophylaxie
- Très forte influence de la maladie en fonction des conditions climatiques sur la floraison des variétés en observation





Cible : Monilia sur fleurs

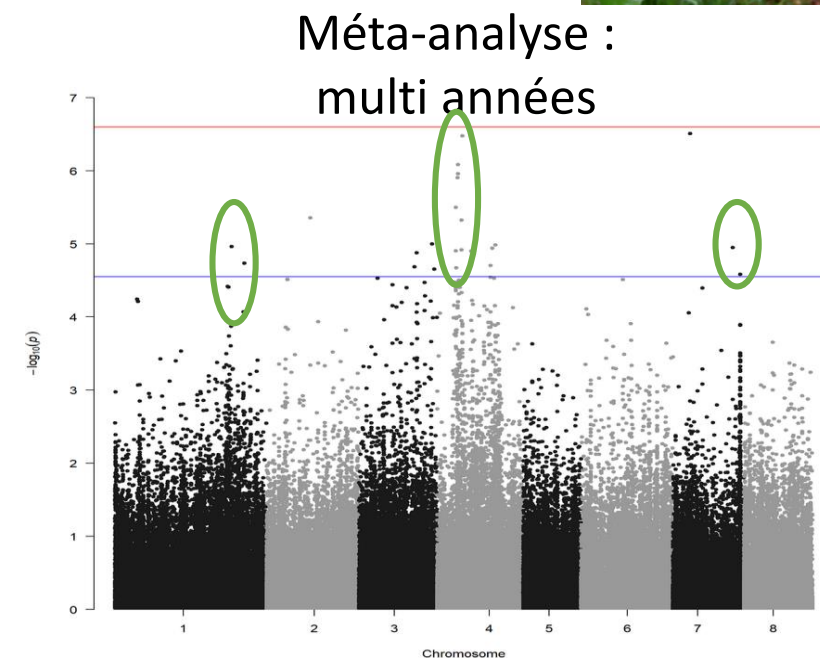
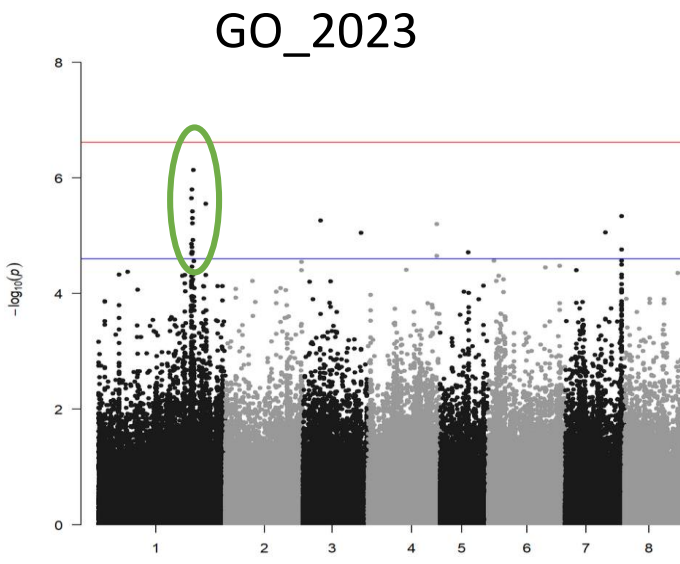
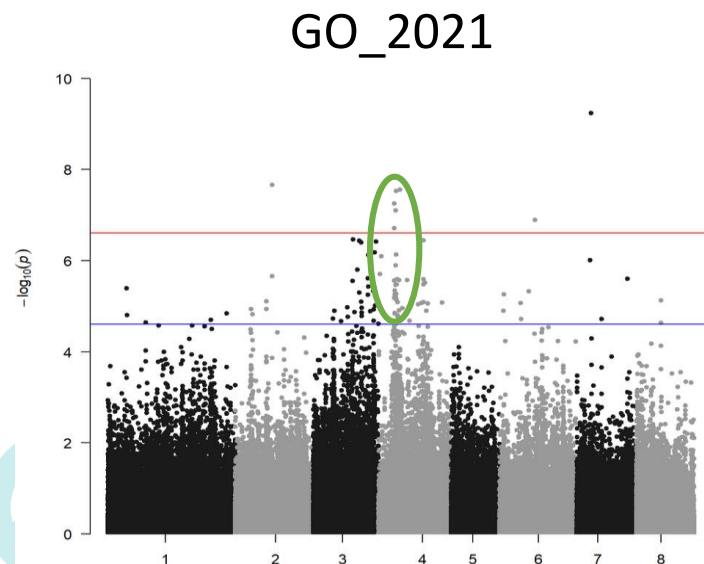
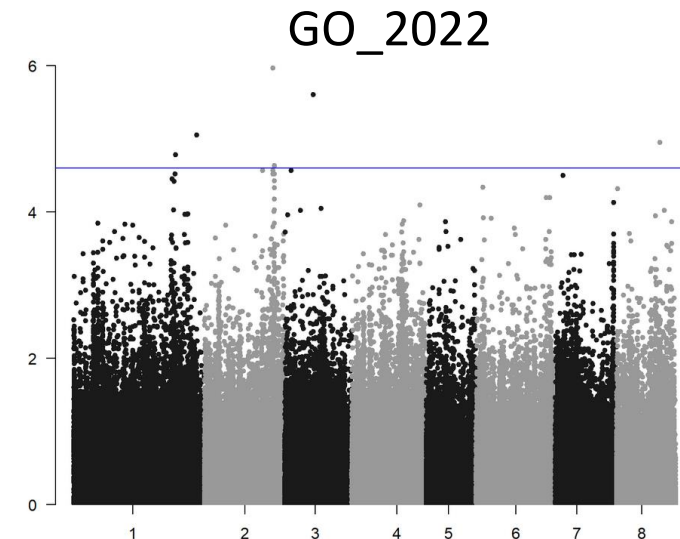
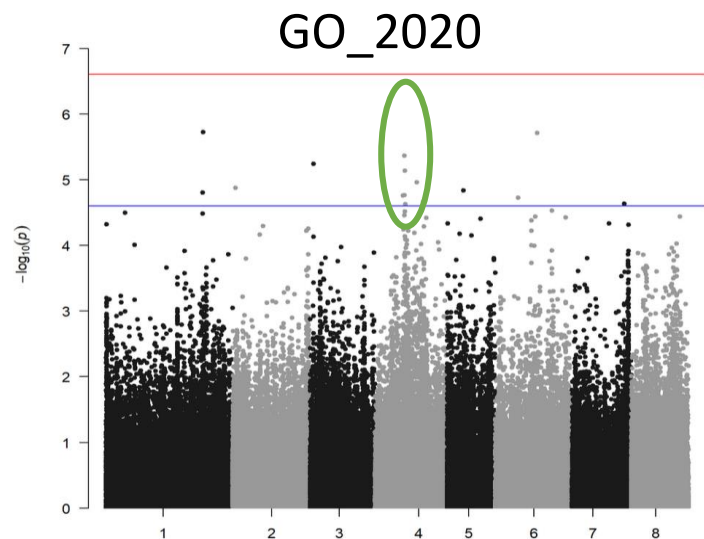
Dégâts en fonction du risque calculé



- Grande variabilité génétique dans la core collection
- Toutes les variétés ne sont pas confrontées au risque monilia



- Cible : **Monilia sur fleurs**
- Détection des régions génomiques impliquées dans la résistance



Effet génétique :

Avec un effet année

Dépendant de la floribondité

Dépendant du risque monilia

Effet génétique (multi années) :

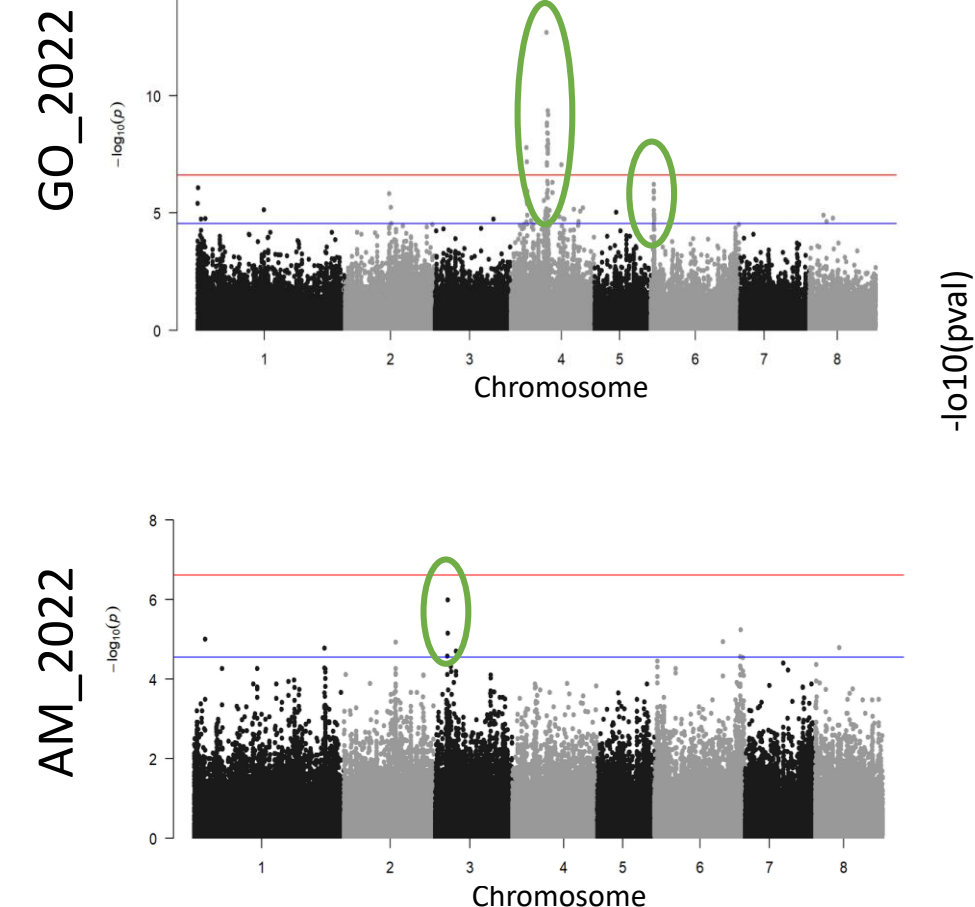
QTLs robustes sur chrom 4, 1 et 7



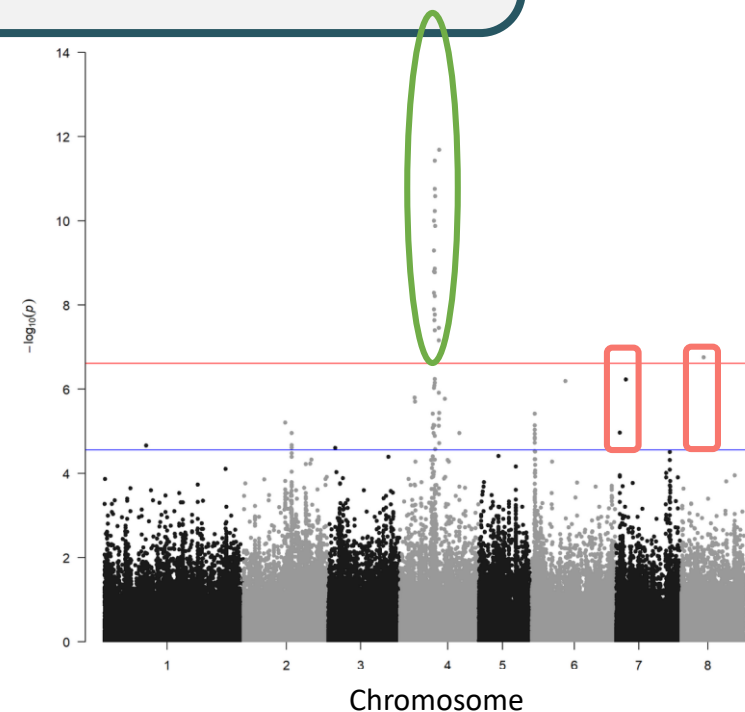
- Cible : Rouille
- Détection des régions génomiques impliquées dans la résistance



Détection selon le site



Méta-analyse : analyse jointe sur les deux sites



✓ Détection de QTLs selon le site d'observation

✓ Validation du QTL sur le chromosome 4

✓ Détection de nouveaux QTLs

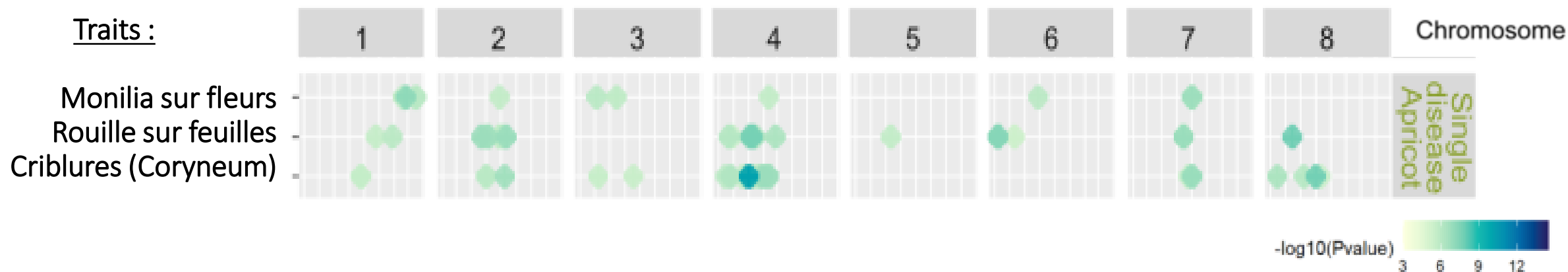


➤ Bilan : détection des régions génomiques impliquées dans la résistance

-> Sur trois traits cibles :

- Monilia sur fleurs
- Rouille sur feuilles
- Criblures (Coryneum)

-> 2 sites : Saint Marcel Les Valence + Bellegarde



- ✓ Effet de la génétique sur les trois traits ciblés
- ✓ Traits complexes / à déterminisme quantitatif
- ✓ QTLs liés aux conditions environnementales

$$P \sim G + E + e$$

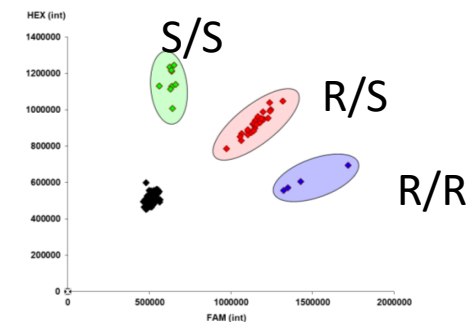


Résistance aux
maladies :
Sélection
sur la base du
phénotypage visuel

Approche
« maladie par maladie »

Sélection assistée par marqueurs :

PPVres
Autofertilité



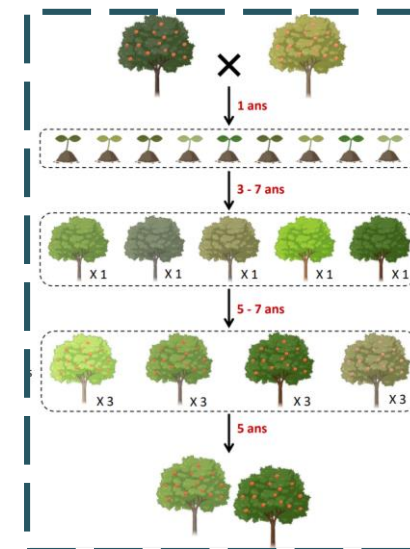
Approche intégrative
multi-traits

	Traits					
Abricotiers	Monilia/fleurs	Chancre B.	Rouille	Criblures	Sharka	ECA
Accession 1						
Accession 2						
Accession 3						
Accession 4						
Accession 5						

Résistant..... Tolérant..... Sensible



Nouvelle variété : 10 à 20 ans



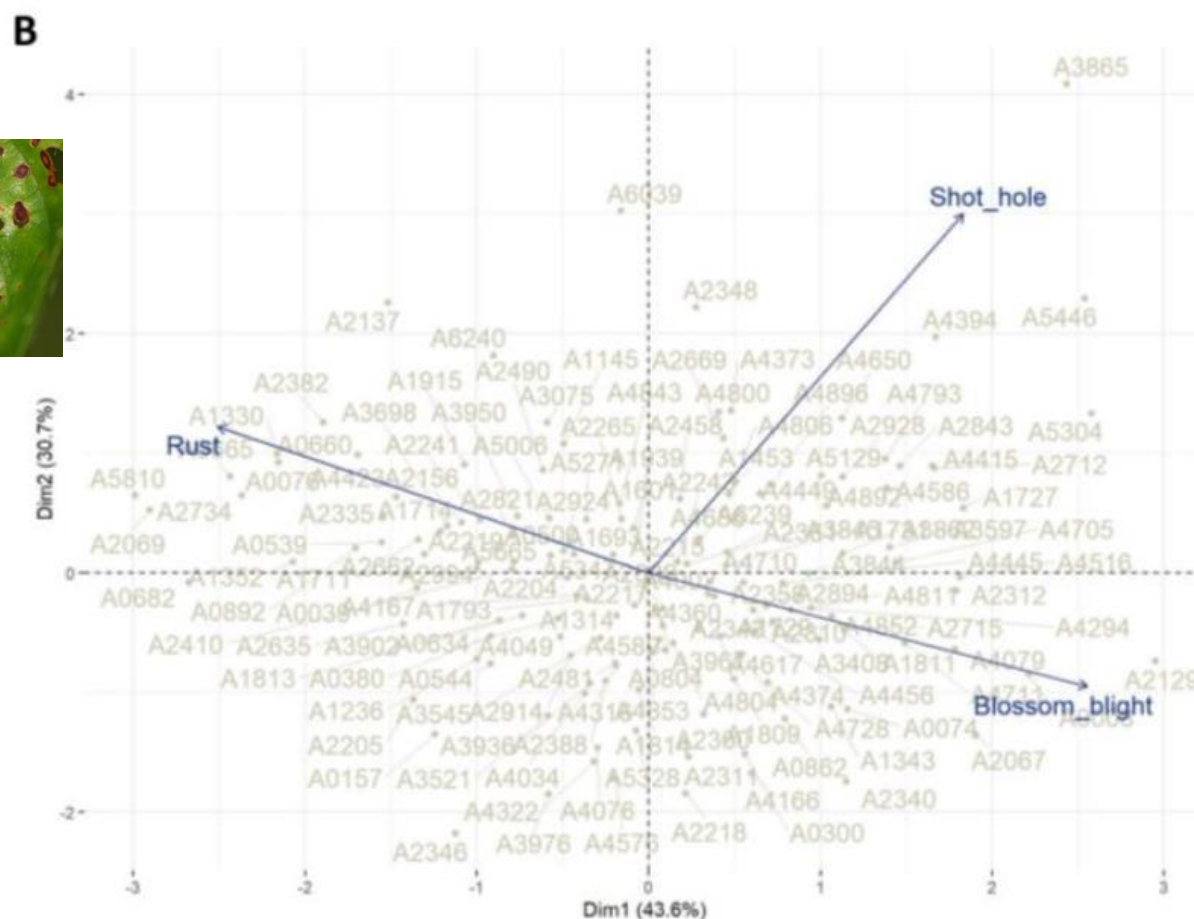


- Rouille sur feuilles
- Criblures à *Coryneum*
- *Monilia* sur fleurs

-> 2 sites : Saint Marcel Les Valence + Bellegarde

- > Grande variabilité de sensibilité dans le panel de diversité génétique de la core collection**

-> Des cultivars intéressants selon le/les trait(s) considérés

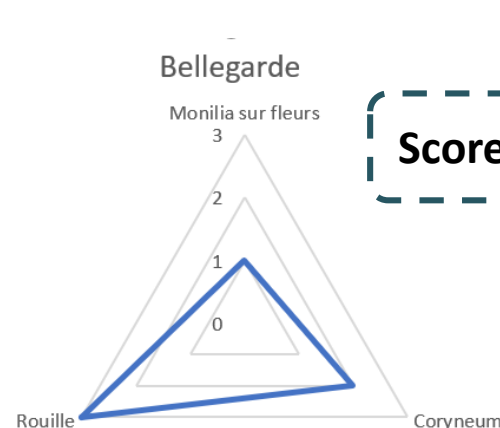




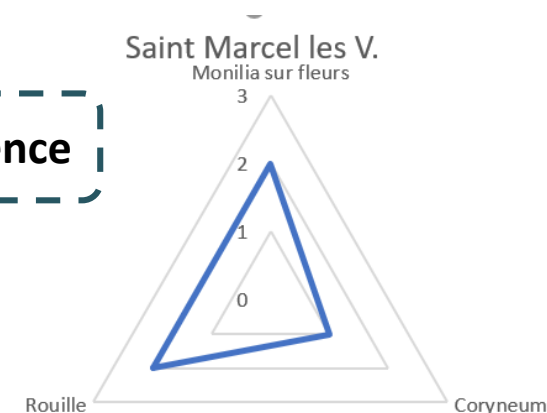
> Identification d'accessions robustes adaptées à un environnement spécifique

Bioagresseur	Score d'impact
Monilia sur fleurs	3
Coryneum	2,2
Rouille	2,1

Dires d'experts



Score de prévalence



Score d'impact +
Score de prévalence

TOP 10

Index global	Saint-Marcel-lès-Valence	Bellegarde
A4576 Koolgat	A4576	A4576
A2346 TIMPURIKITINAU	A0634	A0300
A1814 Hargrand	A1814	A1814
A0634 Henderson	A2346	A2346
A0300 Mei Hwang	A6039 Petit Muscat	A1809
A1236 Manicot	A0300	A2218
A1809 P. de Tyrinthe	A2156	A4166
A3545		
1793x2218 4	A1731	A4322
T. De Bordaneil x Goldrich		
A4322 Priboto	A2241	A4374

Des grosses disparités
entre sites
ex Petit Muscat :
5è à St Marcel l.v.
92è à Bellegarde

Géniteurs
potentiels : multi-
traits, résilience,
lieu spécifique



Deux approches complémentaires :

1- Pyramidage de facteurs génétiques liés à un même trait pour éviter le contournement des résistances

Ex: cumul gène majeur de résistance + loci à caractère quantitatif (QTLs)

Ou **cumul de plusieurs QTLs chez l'abricotier**

Approche
« maladie par maladie »

2- Cumul de différents traits chez un même individu

Ex: SAM disponible pour autofertilité et résistance à la Sharka

-> objectifs : de nouveaux marqueurs pour d'autres traits cibles (bioagresseurs)

Approche intégrative
multi-traits

-> Marqueurs moléculaires validés pour une sélection précoce en pre-breeding et breeding

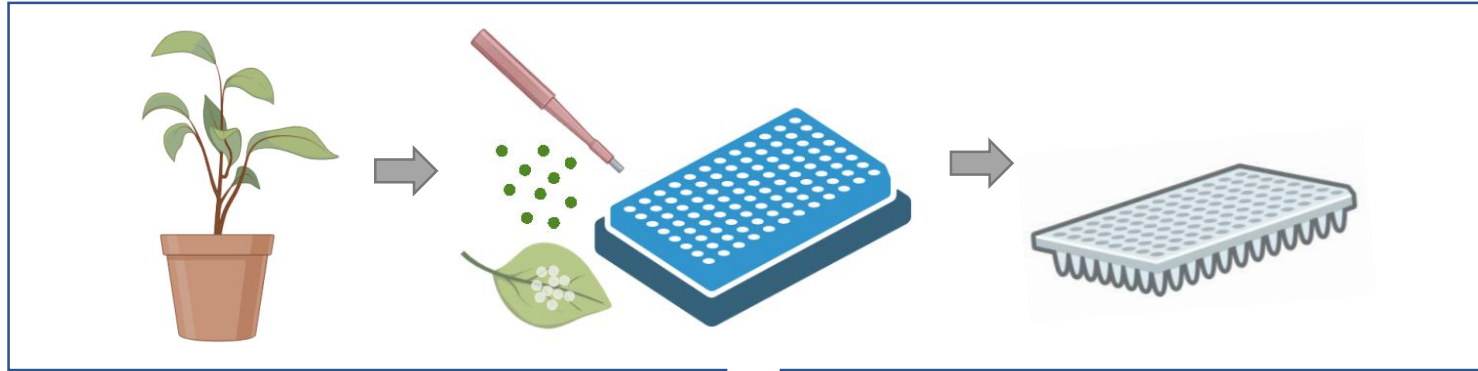
-> Validation phénotypique

-> Géniteurs élités

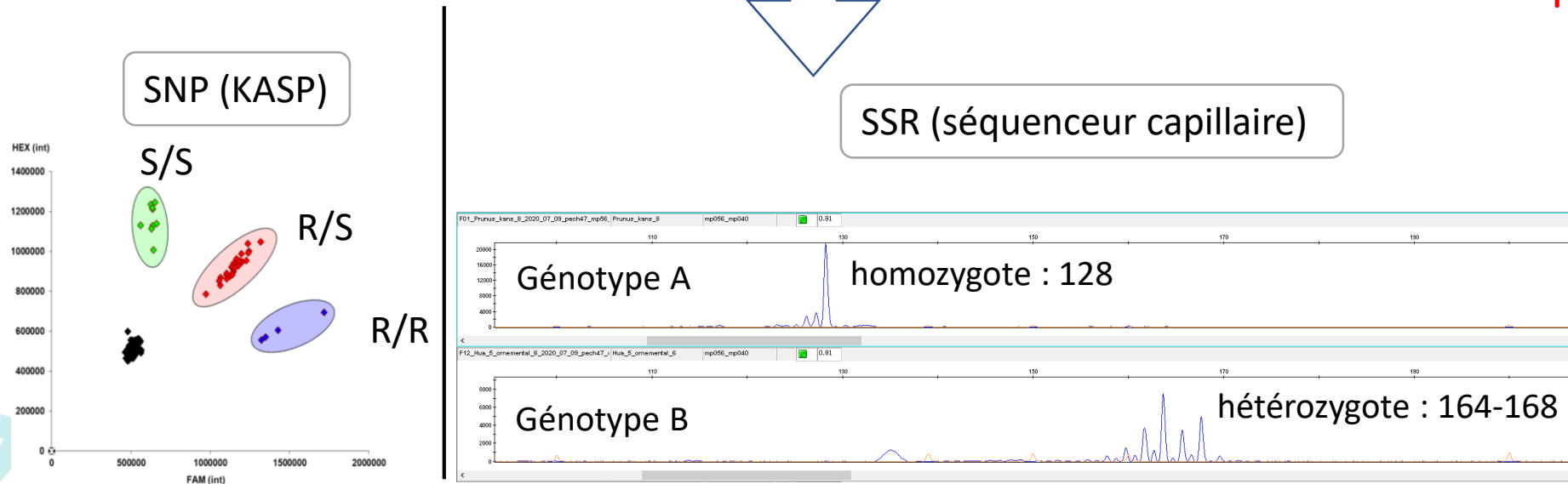


> Mise au point de marqueurs moléculaires :
Pour différencier les individus les uns des autres pour un trait spécifique
Pour sélectionner les individus précocement

Sélection assistée par marqueurs



-> Travail de design
en cours sur les
traits cibles
1 marqueur
minimum par QTL





2024 : Core collection sauvage



Core collection cultivée
Populations bi-parentales
Collection de référence
Vergers stations
Vergers arboriculteurs

Approche
« maladie par maladie »

-> affiner les zones liées aux traits
-> mise au point de marqueurs : SAM précoce
-> Pre-breeding avec cumul de traits
-> Création de géniteurs élites
-> Validation par phénotypage

Approche intégrative multi-traits

	<i>Traits</i>					
Abricotiers	Monilia/fleurs	Chancre B.	Rouille	Criblures	Sharka	ECA
Accession 1						
Accession 2						
Accession 3						
Accession 4						
Accession 5						

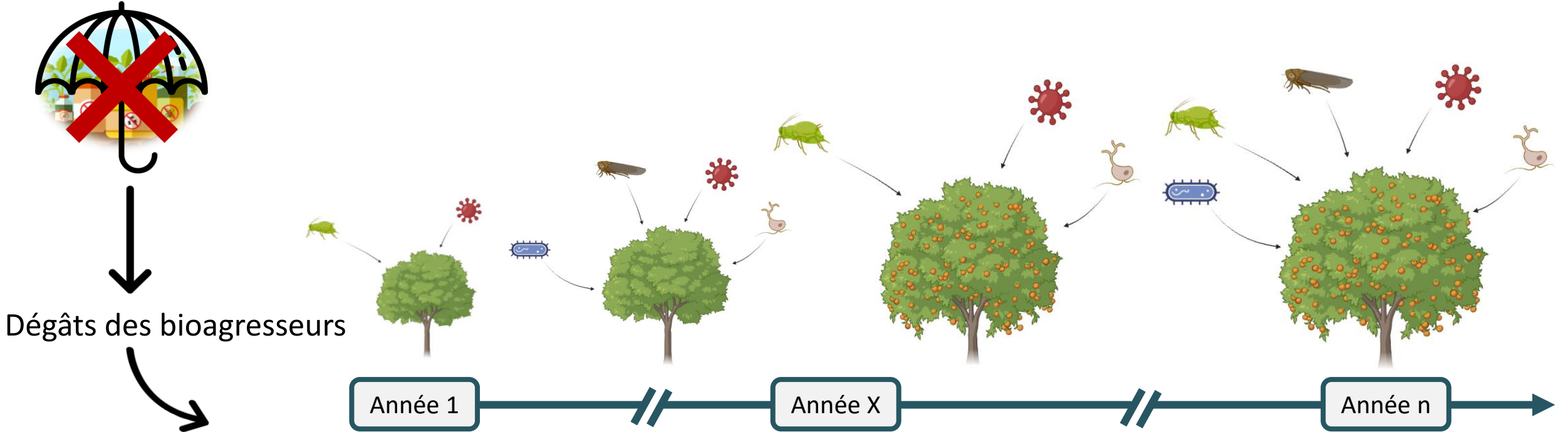
Résistant..... Tolérant..... Sensible



2024 :
Matériel pré-breeding
en cours d'observation
pour monilia et rouille



➤ Pour aller plus loin :
Suivi intégratif multi-annuel de la santé des vergers

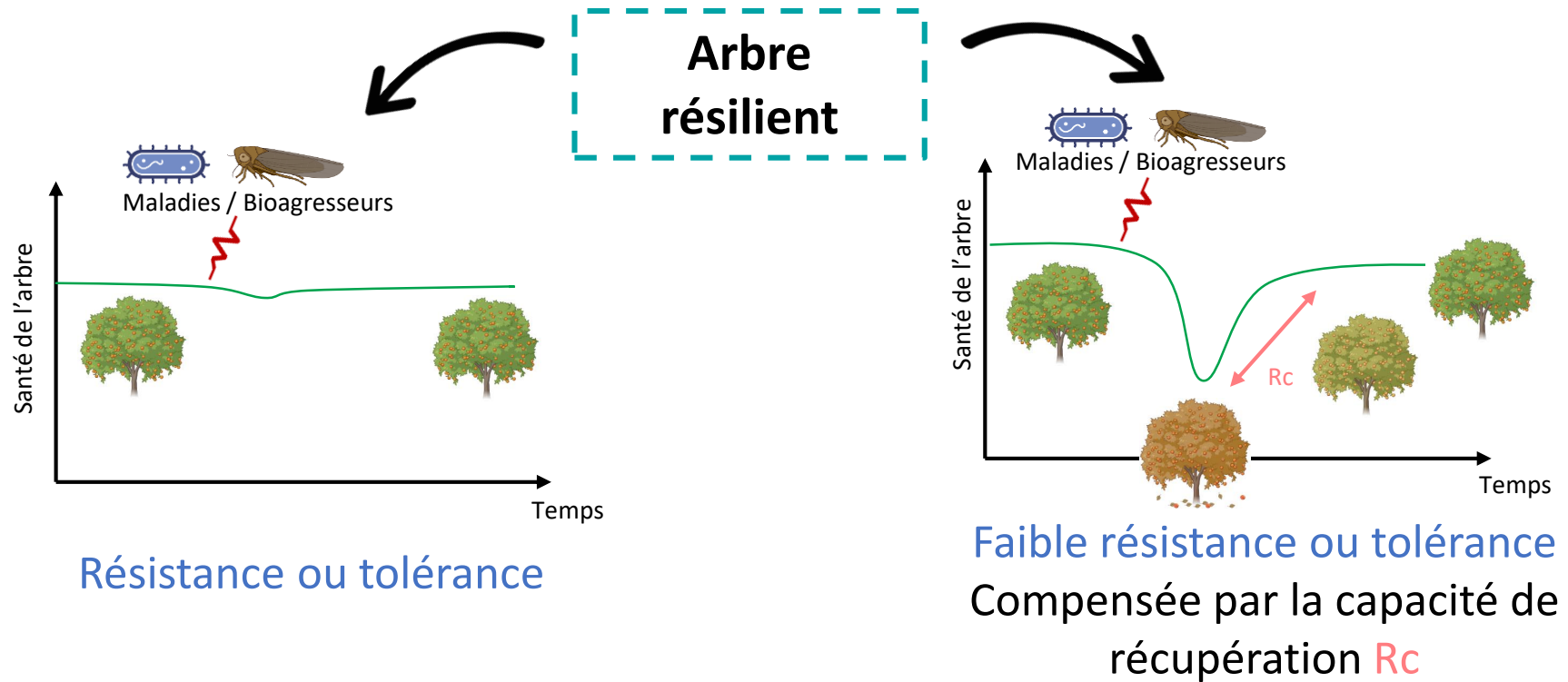


Observations régulières des symptômes des différents bioagresseurs

-> *Quels sont les impacts sur le long terme des stress biotiques sur la santé des arbres ?*



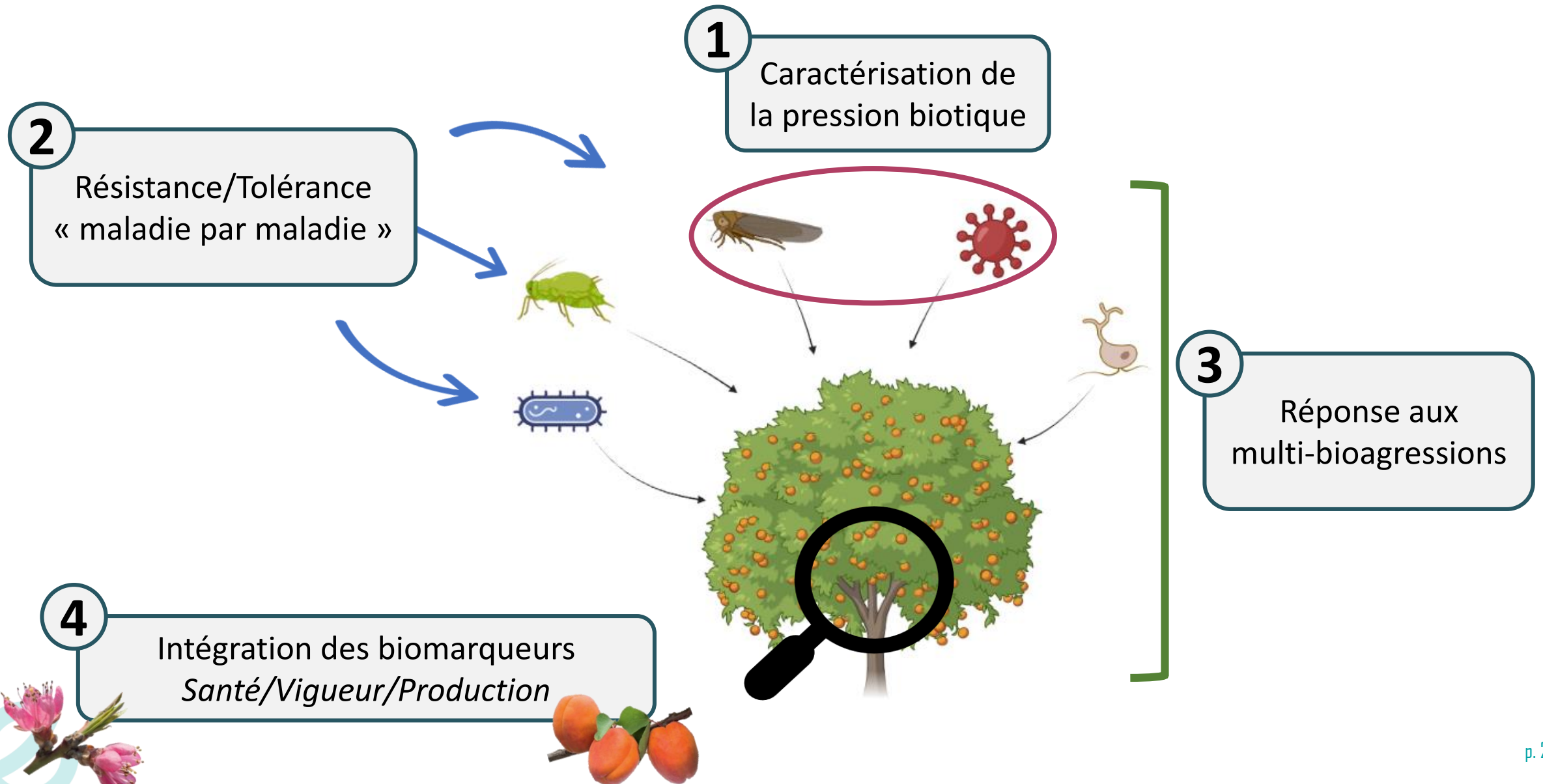
➤ Le concept de résilience: un moyen durable pour faire face aux pressions de multiples bioagresseurs dans le temps ?



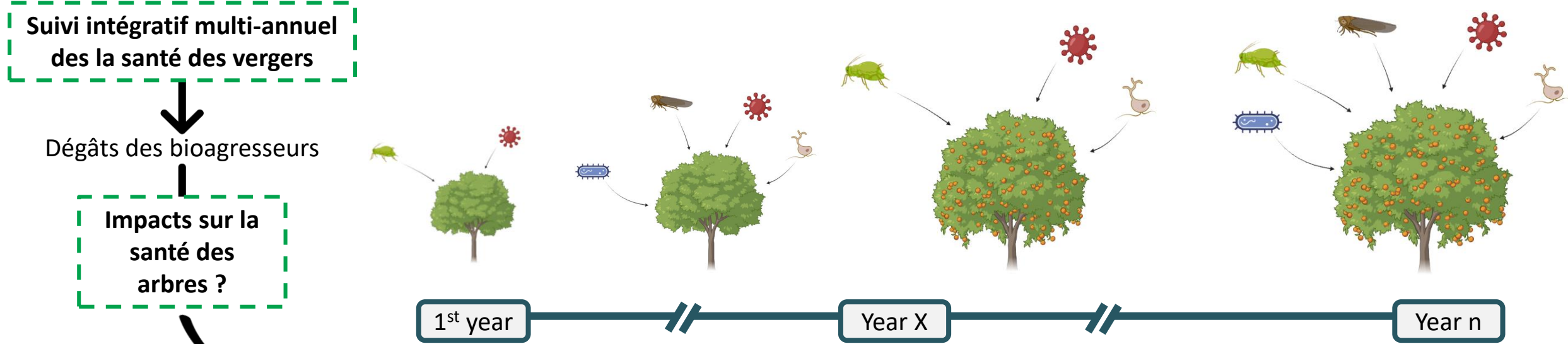
RESILIENCE : la capacité d'un organisme à être faiblement affecté par les perturbations ou bien sa capacité à revenir à son état physiologique initial d'avant les perturbations



➤ Quelle stratégie pour explorer les mécanismes génétiques contrôlant les composantes de la résilience ?

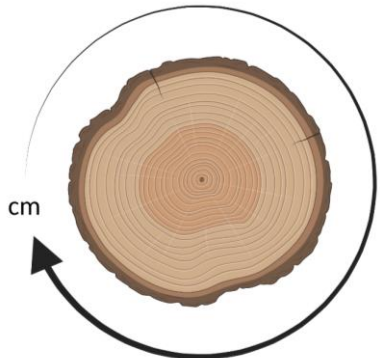


➤ Comment quantifier la résilience des arbres fruitiers ?

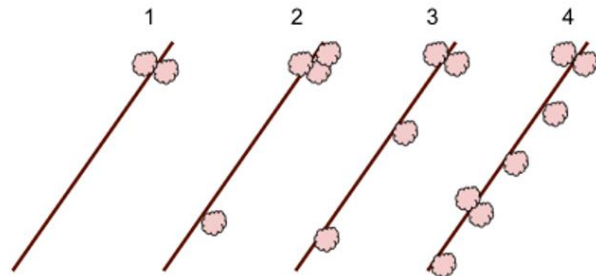


Biomarqueurs de la résilience

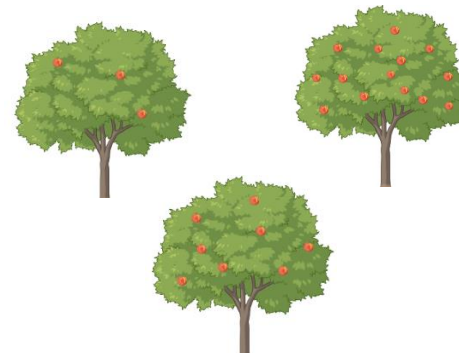
Circonférence des troncs



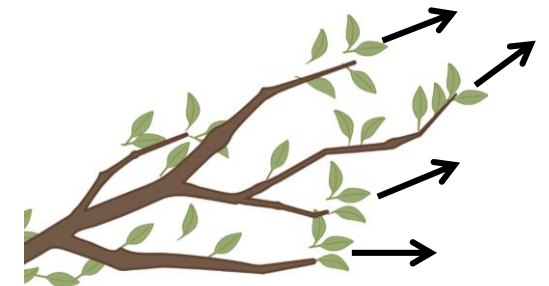
Densité de fleurs



Charge en fruits



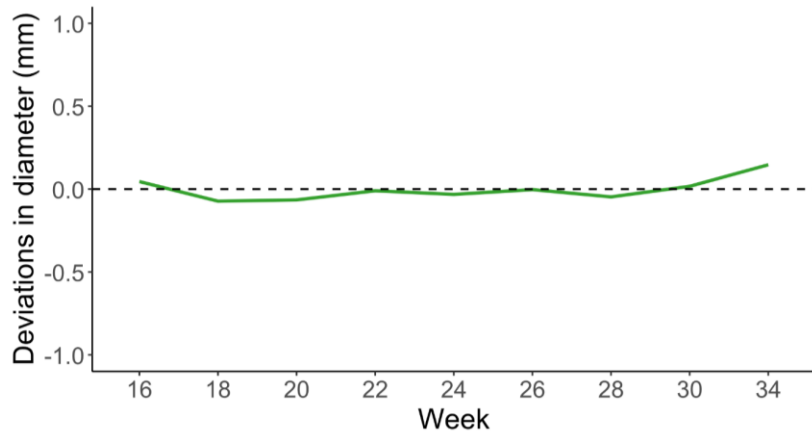
Croissance des rameaux



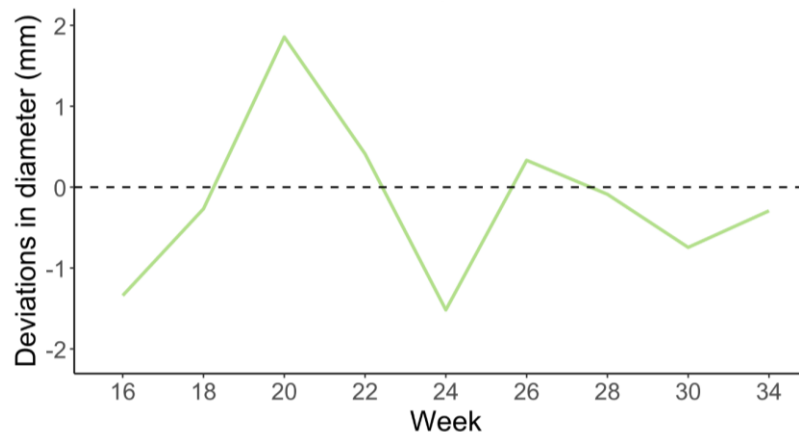
➤ Typologies d'accessions résilientes obtenues chez le pêcher -> à transposer chez l'abricotier

Accessions résilientes

- ✓ Croissance observée proche de la prédiction
- ✓ Déviations positives et négatives rares et de faible amplitude

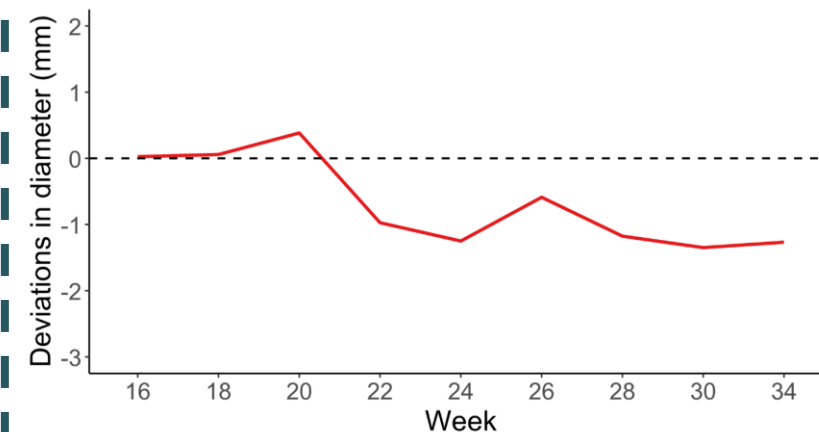


- ✓ Nombreuses déviations
- ✓ Déviations négatives compensées par des déviations positives plus régulières et de plus large amplitude



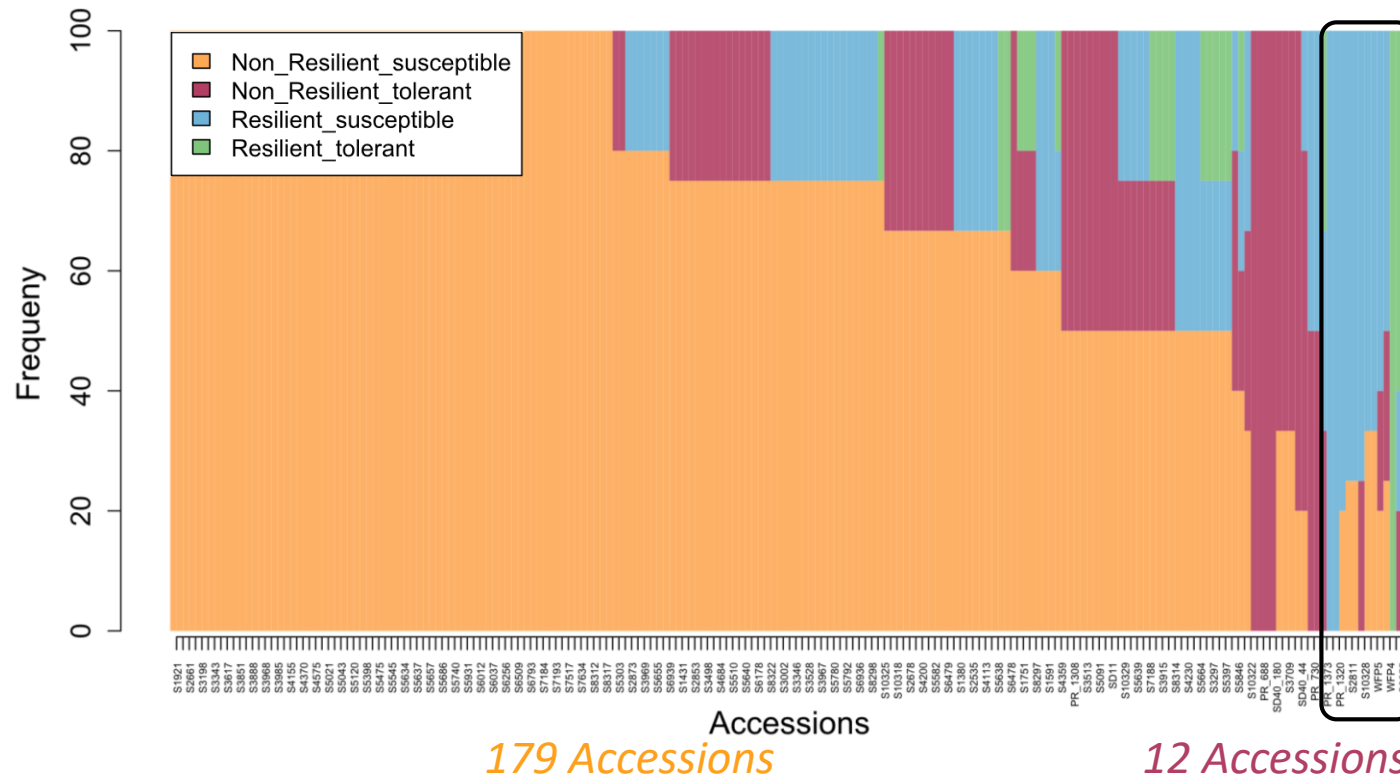
Accession non résiliente

- ✓ Nombreuses déviations
- ✓ Déviations négatives plus fréquentes
- ✓ Déviations positives de faible amplitude



➤ Proposition de classification des accessions en 4 catégories de résilience chez le pêcher -> à transposer chez l'abricotier

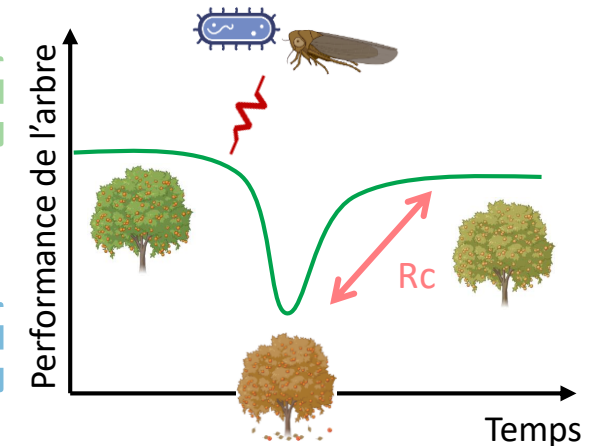
Biomarqueurs cumulés	Symptômes Bioagresseurs cumulés	
	> 1200	< 1200
>1.75	Résilient sensible	Résilient tolérant
<1.75	Non-Résilient sensible	Non-Résilient tolérant



3 Accessions

10 Accessions

Pas de groupe de structure dominante



Géniteurs potentiels



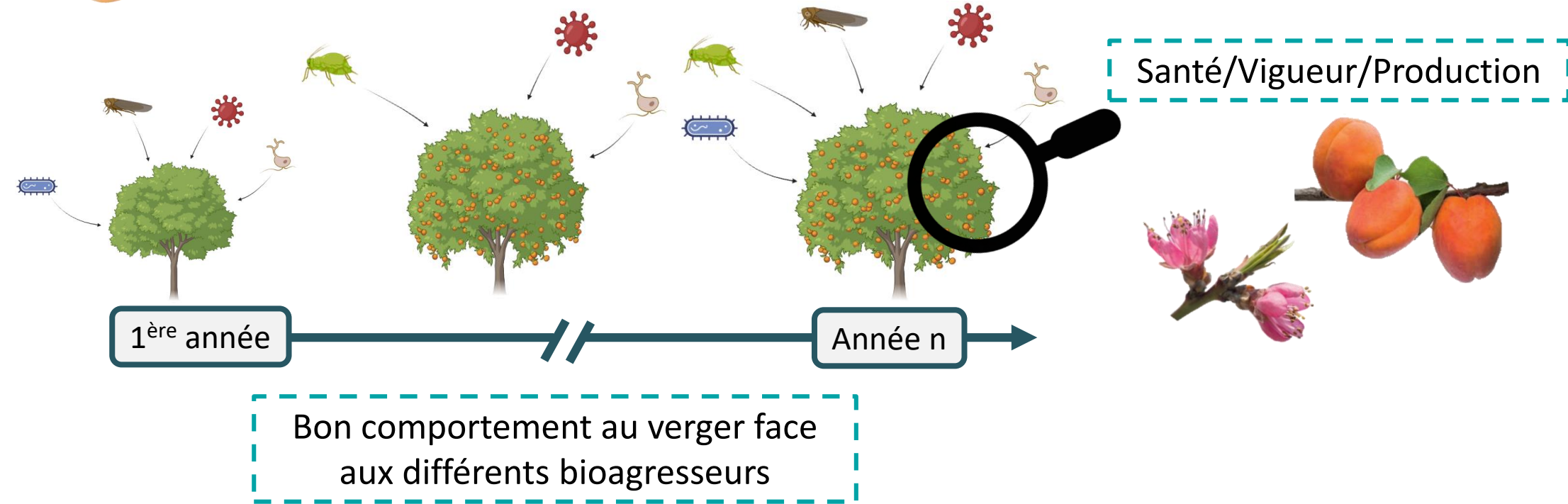
➤ Construire des idéotypes résilients pour des vergers performants à bas intrants

L'idéotype : **combinaison optimale de caractères** ou de traits morphologiques et physiologiques, ou de leurs déterminants génétiques, conférant à un matériel végétal donné une adéquation satisfaisante à un **environnement, à un mode de production et d'utilisation**

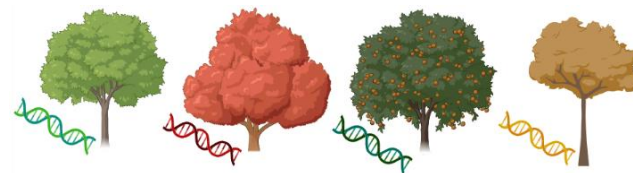
Approche intégrative
multi-traits
pas seulement les bioagresseurs



➤ Construire des idéotypes résilients pour des vergers performants à bas intrants



Des idéotypes résilients



diversité des variétés



Interaction avec l'environnement et les pratiques culturelles



➤ Conclusions & perspectives

Identifier les bases génétiques de la résistance aux bioagresseurs

Recherche

- ✓ Traits à déterminisme complexe chez l'abricotier
- ✓ Dynamiques complexes des différents bioagresseurs
- ✓ Interactions entre bioagresseurs
- ✓ Impact des bioagresseurs sur la croissance et la production
- ✓ Architecture génétique de la réponse aux différents bioagresseurs, dans différents environnements et identification d'interactions GxE

Filière

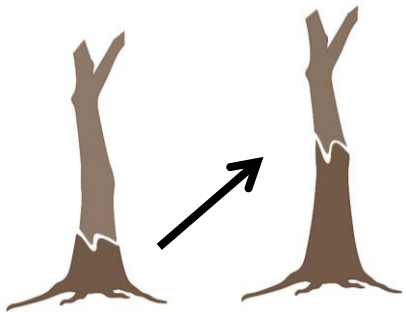
- ✓ **Caractérisation des lieux selon les pressions biotiques**
- ✓ **QTLs robustes et gènes candidats par bioagresseurs**
- ✓ **QTLs réponse aux stress multiples**
→ **SAM**
- ✓ **Sources de résistance**
- ✓ **Accessions résilientes dans les core-collections adaptées localement**
→ **Géniteurs**



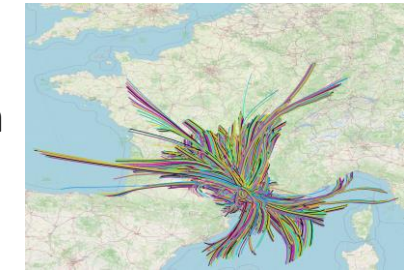
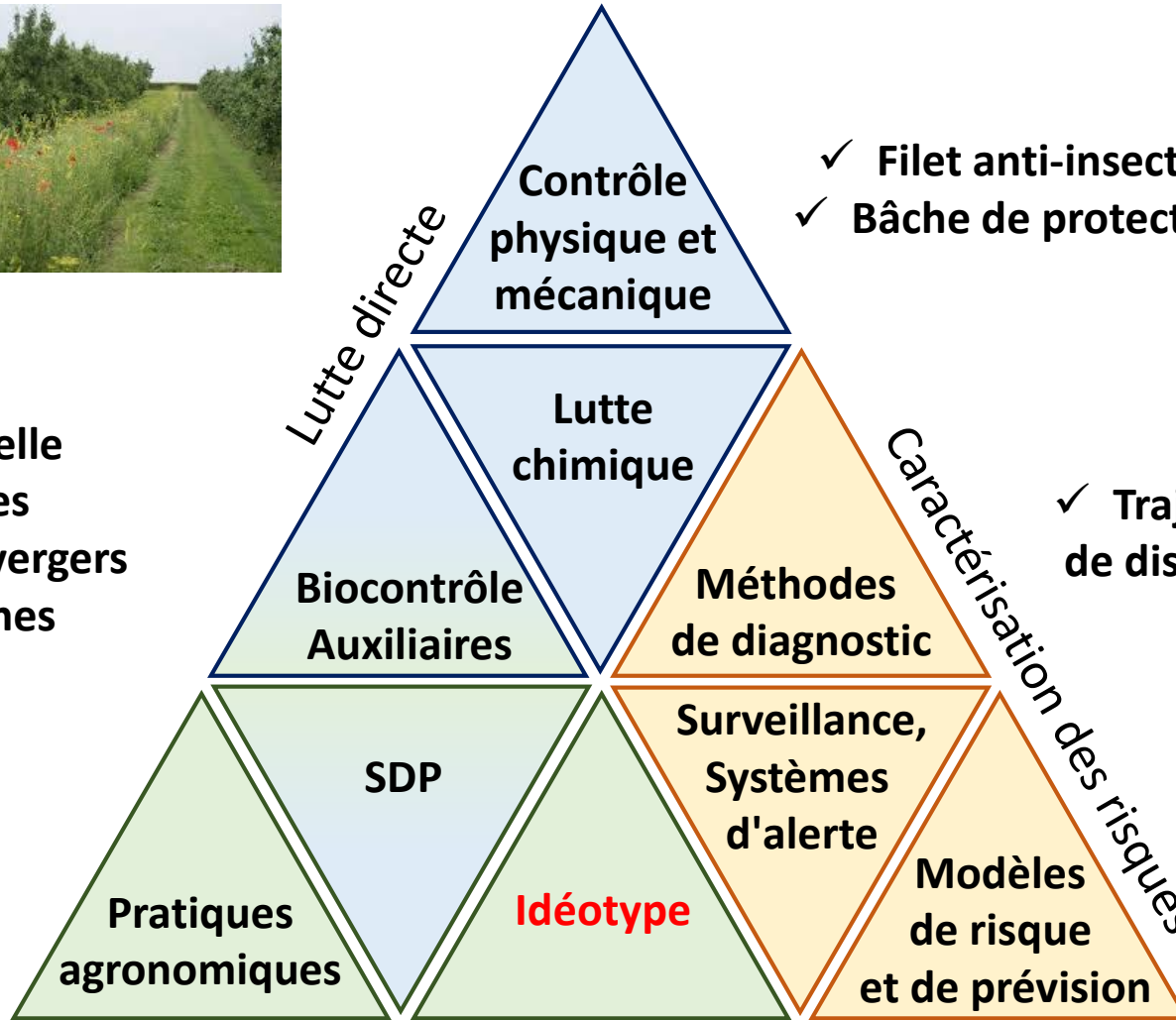
➤ Combiner les méthodes de lutte pour une gestion durable de la santé des arbres fruitiers



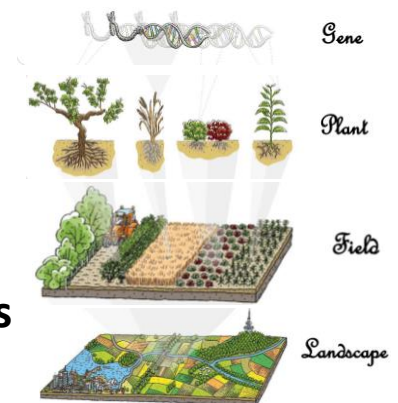
- ✓ Confusion sexuelle
- ✓ Bandes fleuries
- ✓ Animaux dans les vergers
- ✓ Micro-organismes



- ✓ Greffage haut
- ✓ Limitation de la vigueur
- ✓ Chute précoce des feuilles



Margaux Darnis



Rimbaud et al., 2021



Équipe INRAE DADI Prunus – GAFL - Avignon

Bénédicte Quilot

Morgane Roth

Jean-Marc Audergon

Marie Serrie

David Tricon

Véronique Signoret & Sabrina Viret – Entretien des vergers et phénotypage

Naima Dlalah & Laure Heurtevin – Génotypage

Stagiaires et CDD – Phénotypage & analyses de données GWAS

Partenaires

INRAE UE A2M Entretien des vergers/ **Alain Blanc, Béatrice Monnet** – Phénotypage

INRAE UERI Gothéron / **Laurent Brun, Amandine Fleury, Mathilde Le-Pans, Freddy Combe** – Phénotypage

CEP Innovation / **Guillaume Roch, Guy Clauzel** – Entretien des vergers et phénotypage

INRAE UMR Agap / CIRAD UMR PHIM – Analyses de données



Financements



ANR-18-EURE-009