

Histoire, génétique et sélection variétale du pommier (à couteau)

François Laurens



FORMAVIE 5/04/2013

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

DU : J.P. Renou

DU adjoints : M. Briard, F. Laurens, P. Simoneau

Architecture-environnement (*Arch-E*) S. Sakr

Génétique des ornementales (*GDO*) F. Foucher



Qualité des fruits (*Fruitqual*) F. Laurens

Valorisation de diversité génétique Pomoidées (*VaDiPom*) F. Laurens

Resistance pomoidés (*ResPom*) C.E. Durel

Ecologie évolutive champignons phytopath. (*EcoFun*) B. LeCam

Qualité et résistance carottes (*Carrot*) M. Briard



Emergence et Ecologie bactéries Phytopath. (*EmerSys*) M.A. Jacques

Champignons phytopath. transmis par semences (*FungiSem*) P. Poupard

Mitochondries et stress (*Mitostress*) D. Macherel

Tolérance dessiccation et conservation semences (*ConserTo*) J. Buitink

Biologie germination levée (*BGL*) B Teulat-M.

Azote, stress abiotique et semences (*ALSA*) A. Limami



Serres (*INEM*) R. Gardet

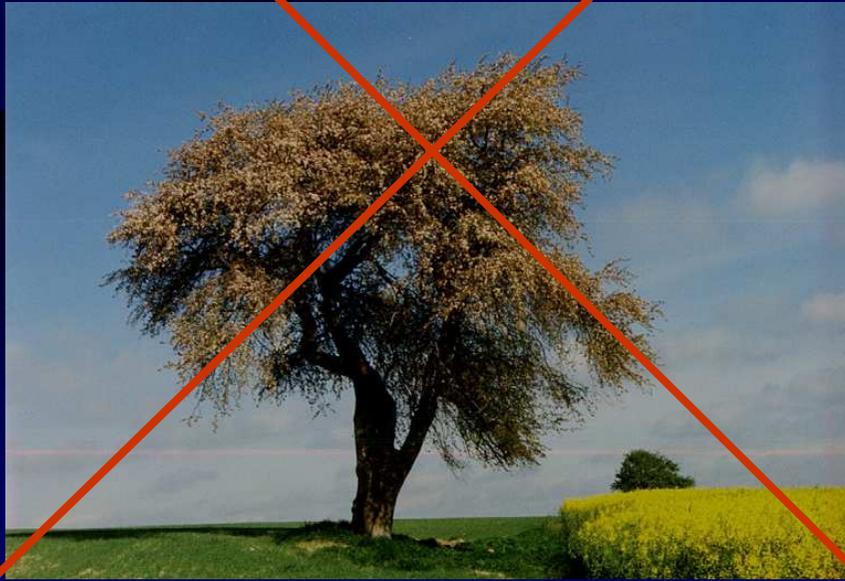


Origine du pommier cultivé

Malus domestica

Observations phénotypiques, Analyses moléculaires

~~*Malus sylvestris*~~



Malus sieversii



Origine du pommier cultivé



Malus Série baccatae



Malus sieversii



Origine du pommier cultivé



Malus Série baccatae

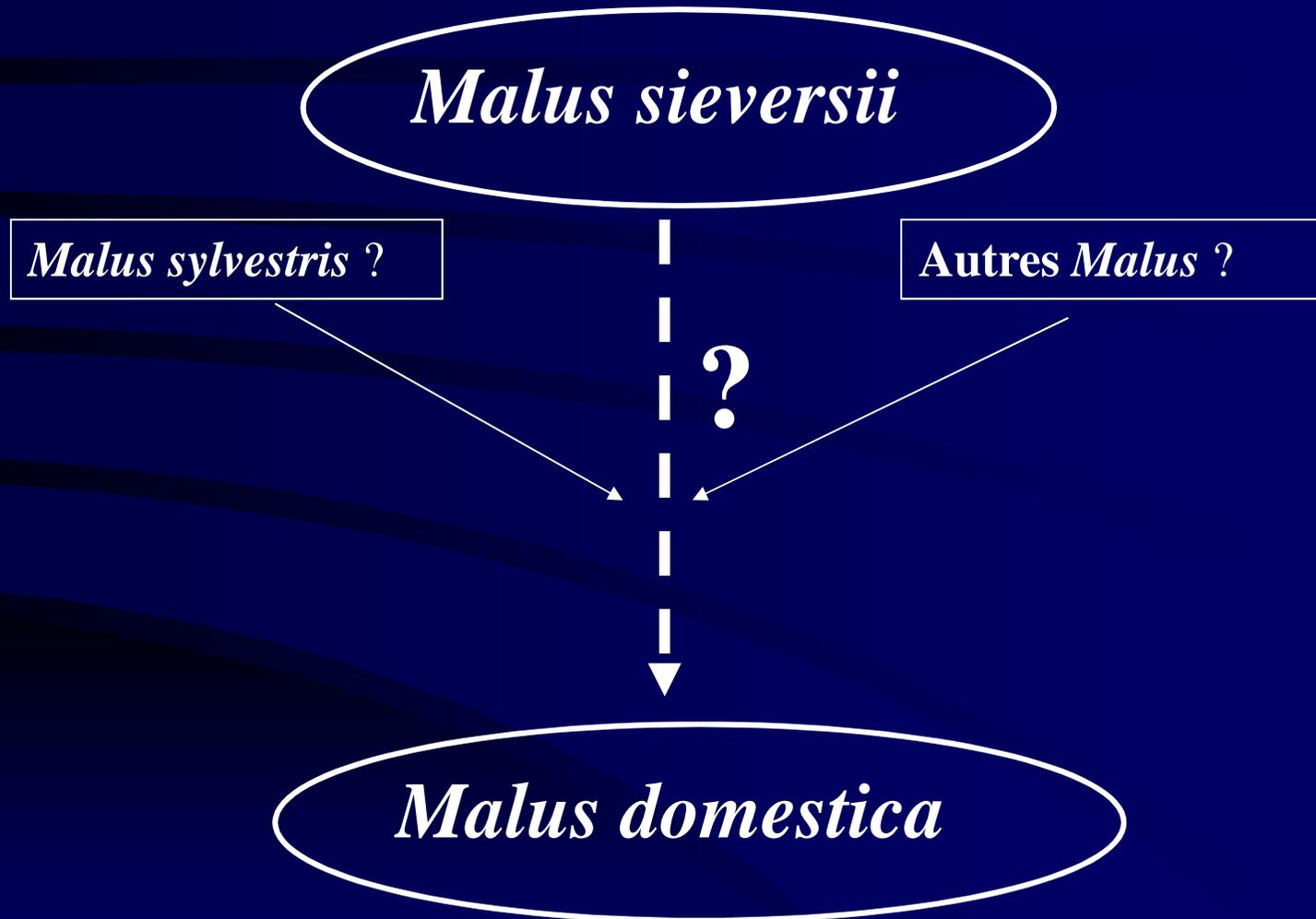
7-10M ans : Transport des graines et des petits fruits
par les oiseaux et les mammifères (ours, ...) et
sélection



Malus sieversii



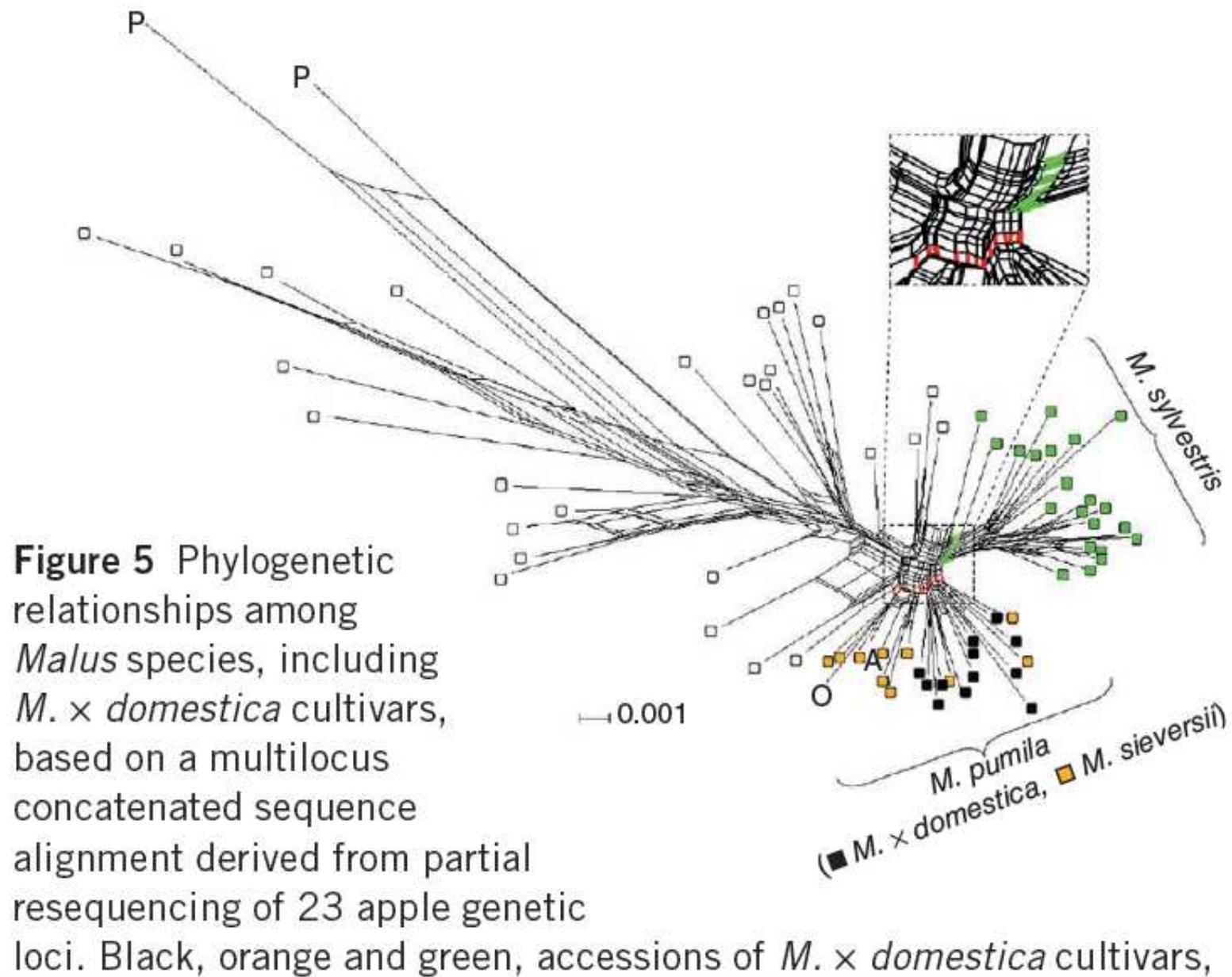
Origine du pommier cultivé



Velasco et al, 2010,
Cornille et al, 2012

The genome of the domesticated apple (*Malus × domestica* Borkh.)

Riccardo Velasco^{1,20}, Andrey Zharkikh^{2,20}, Jason Affourtit³, Amit Dhingra⁴, Alessandro Cestaro¹, Ananth Kalyanaraman⁵, Paolo Fontana¹, Satish K Bhatnagar², Michela Troggio¹, Dmitry Pruss², Silvio Salvi^{1,6}, Massimo Pindo¹, Paolo Baldi¹, Sara Castelletti¹, Marina Cavaiuolo¹, Giuseppina Coppola¹, Fabrizio Costa¹, Valentina Cova¹, Antonio Dal Ri¹, Vadim Goremykin¹, Matteo Komjanc¹, Sara Longhi¹, Pierluigi Magnago¹, Giulia Malacarne¹, Mickael Malnoy¹, Diego Micheletti¹, Marco Moretto¹, Michele Perazzolli¹, Azeddine Si-Ammour¹, Silvia Vezzulli¹, Elena Zini¹, Glenn Eldredge², Lisa M Fitzgerald², Natalia Gutin², Jerry Lanchbury², Teresita Macalma², Jeff T Mitchell², Julia Reid², Bryan Wardell², Chinnappa Kodira³, Zhoutao Chen³, Brian Desany³, Faheem Niazi³, Melinda Palmer³, Tyson Koepke⁴, Derick Jiwan⁴, Scott Schaeffer⁴, Vandhana Krishnan⁵, Changjun Wu⁵, Vu T Chu⁷, Stephen T King⁷, Jessica Vick⁷, Quanzhou Tao⁸, Amy Mraz⁸, Aimee Stormo⁸, Keith Stormo⁸, Robert Bogden⁸, Davide Ederle⁹, Alessandra Stella⁹, Alberto Vecchietti⁹, Martin M Kater¹⁰, Simona Masiero¹¹, Pauline Lasserre¹², Yves Lespinasse¹², Andrew C Allan¹³, Vincent Bus¹⁴, David Chagné¹⁵, Ross N Crowhurst¹³, Andrew P Gleave¹³, Enrico Lavezzo¹⁶, Jeffrey A Fawcett^{17,18}, Sebastian Proost^{17,18}, Pierre Rouzé^{17,18}, Lieven Sterck^{17,18}, Stefano Toppo¹⁹, Barbara Lazzari⁹, Roger P Hellens¹³, Charles-Eric Durel¹², Alexander Gutin², Roger E Bumgarner⁷, Susan E Gardiner¹⁵, Mark Skolnick², Michael Egholm³, Yves Van de Peer^{17,18}, Francesco Salamini^{1,9} & Roberto Viola¹



Origine du pommier cultivé

Malus sieversii



6-3000 av J.C.

Malus domestica

Origine du pommier cultivé

Malus sieversii

3000 av J.C.

Découverte du greffage
(Mésopotamie)

Malus domestica

Histoire du pommier cultivé

Quelques variétés anciennes (Gautier, 1984) :

XIII^e : Rtte grise de Saintonge, Coeur de Boeuf

XIV^e : Faros, Châtaignier

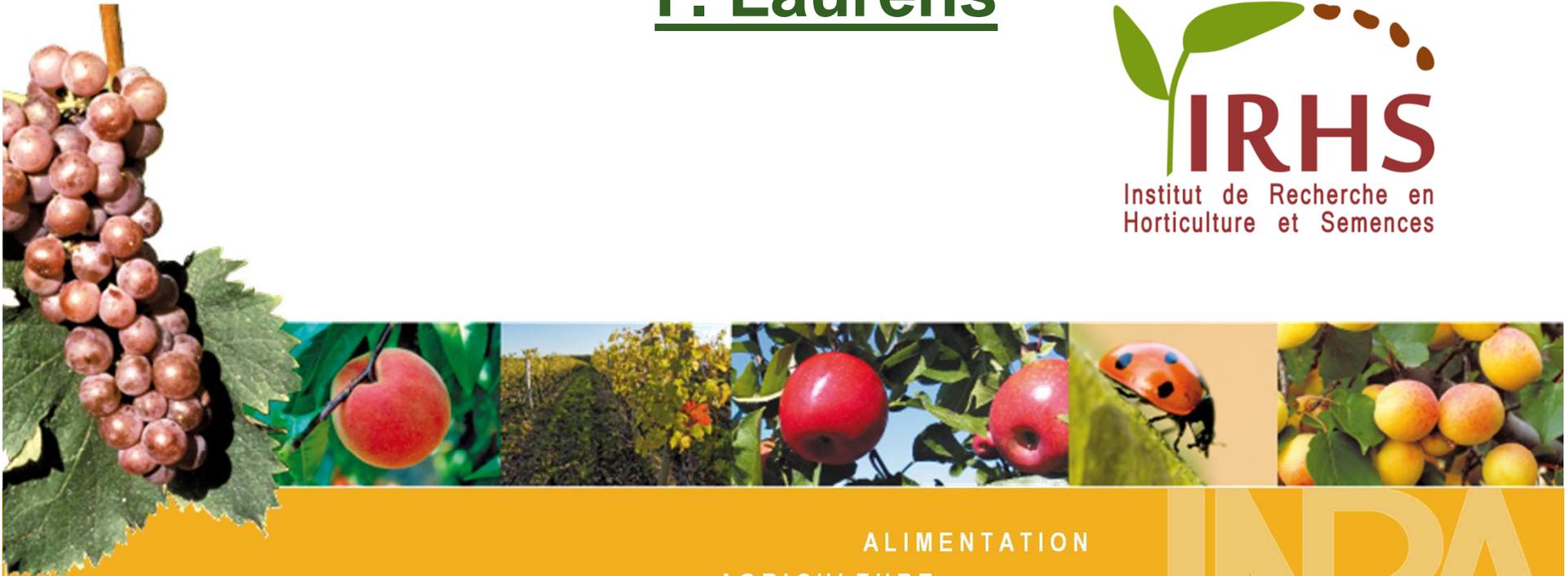
XV^e : Court Pendu, Coeur de Pigeon, Calville Blanc

XVI^e : Api, Rambour d'été, Rtte Blanche, Rtte Rouge, Rtte d'Angleterre

XVII^e : Bondy, Bon Gros, Calville Rouge, Fenouillets, Drap d'or, Pomme Figue, Transparente, Violette, ...

Amélioration génétique du pommier à couteau

F. Laurens

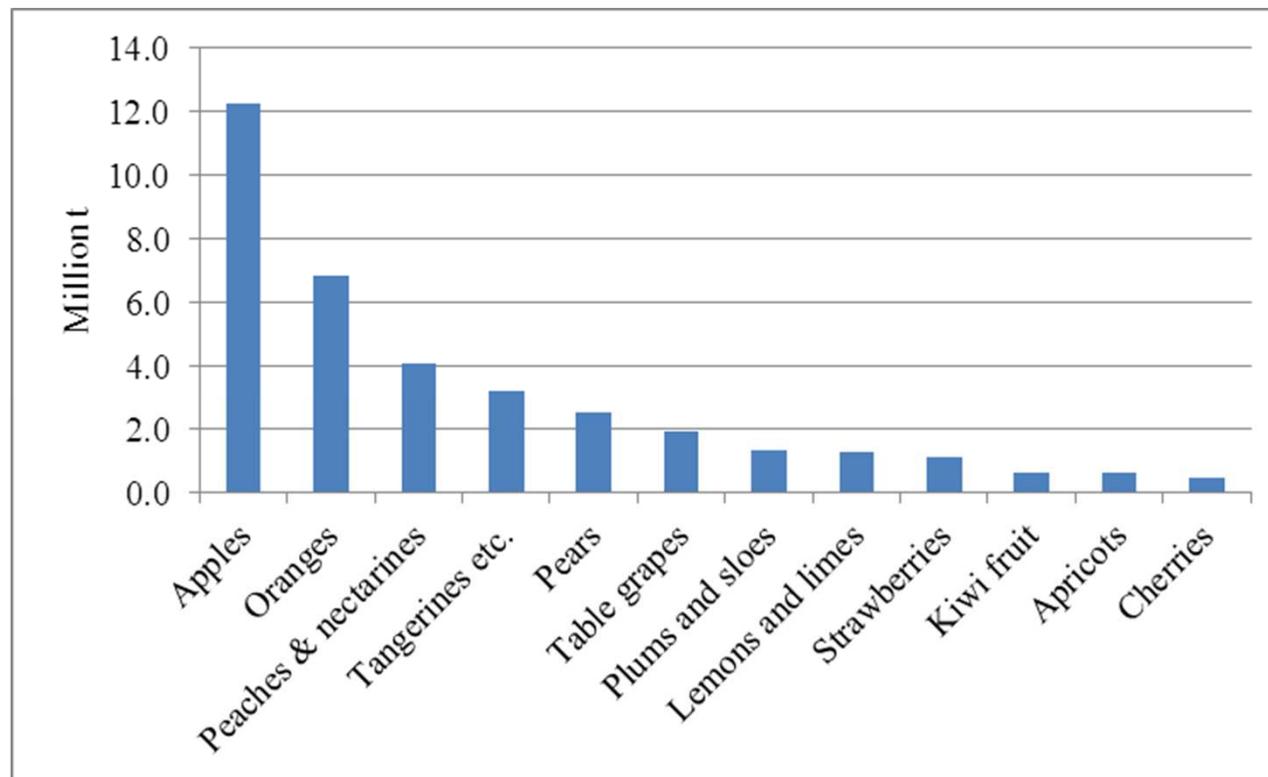


ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

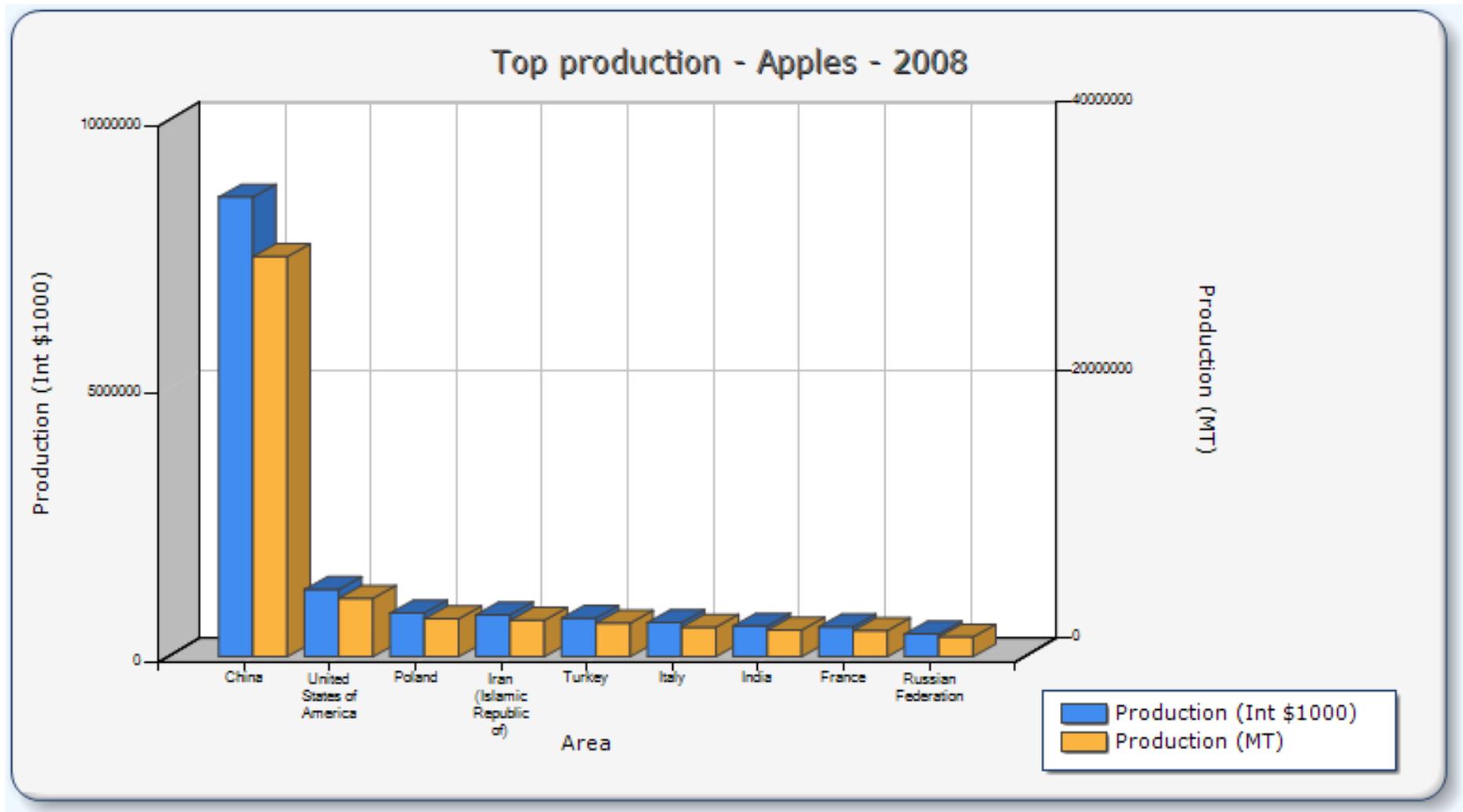
Total fruit production in EU 27 Member states

2008



World apple production

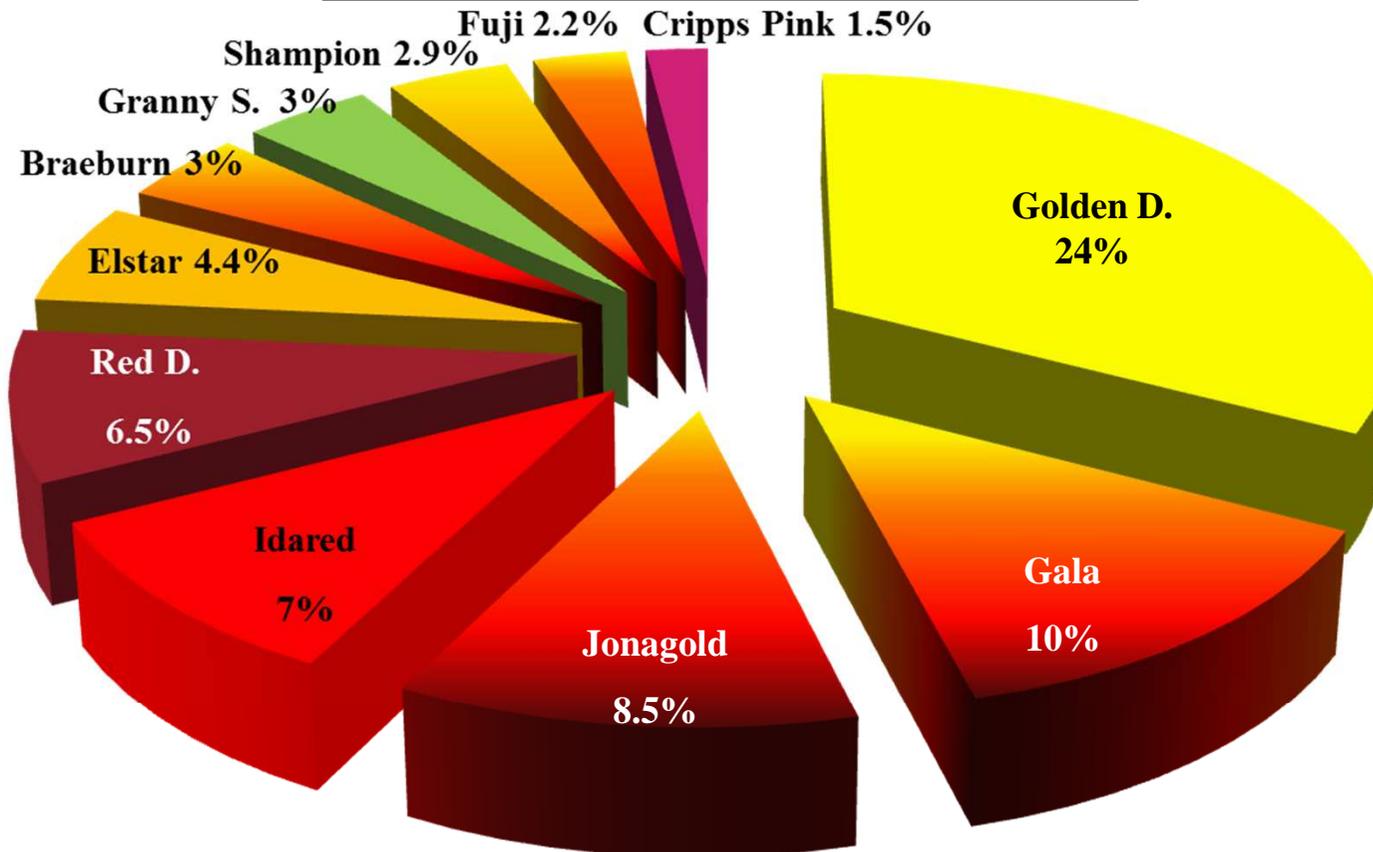
~70 Mt



FAOstat

European apple production

2009: 11 Mt



10 cvs ~ $\frac{3}{4}$ EU production

Problématiques liées à la production commerciale de pomme

- Variétés commerciales sensibles aux principaux bioagresseurs du pommier
⇒ ↗ traitements phytosanitaires
- Coûts élevés de main d'œuvre (taille, récolte, éclaircissage)
- Maintien de la qualité des fruits en conservation ...
- ...

↗ programmes de création variétale

Etapes essentielles d'un programme de création variétale fruitier

Exemple du pommier



Recherches « d'amont »

=> améliorer les connaissances génétiques sur les caractères et les parents

=> développer les outils de sélection

=> améliorer l'efficacité de la sélection

2

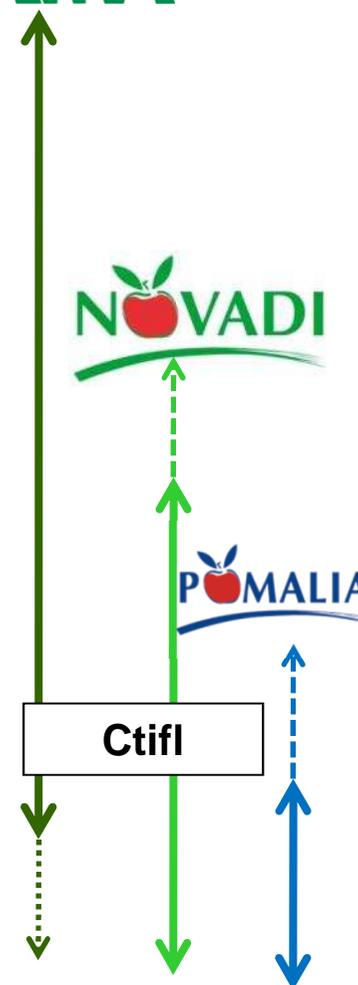
Hybridation => créer les meilleures combinaisons

1

Cycle de sélection

Expérimentation : caractérisation, évaluation du comportement des élites sur plusieurs sites et plusieurs années

Lancement variétal





Objectifs communs des programmes d'amélioration pomme à couteau

- Qualité organoleptique du fruit
- Rusticité => Résistance aux bioagresseurs
- Productivité et régularité de production => Architecture de l'arbre

Principaux objectifs de sélection visés pour la qualité du fruit (pommes de table)

- **Attrait du fruit**
 - calibre, coloration, défauts cosmétiques, ...
- **Qualité gustative**
 - sucre/acide
 - texture
 - parfum
- **Aptitude à la conservation**



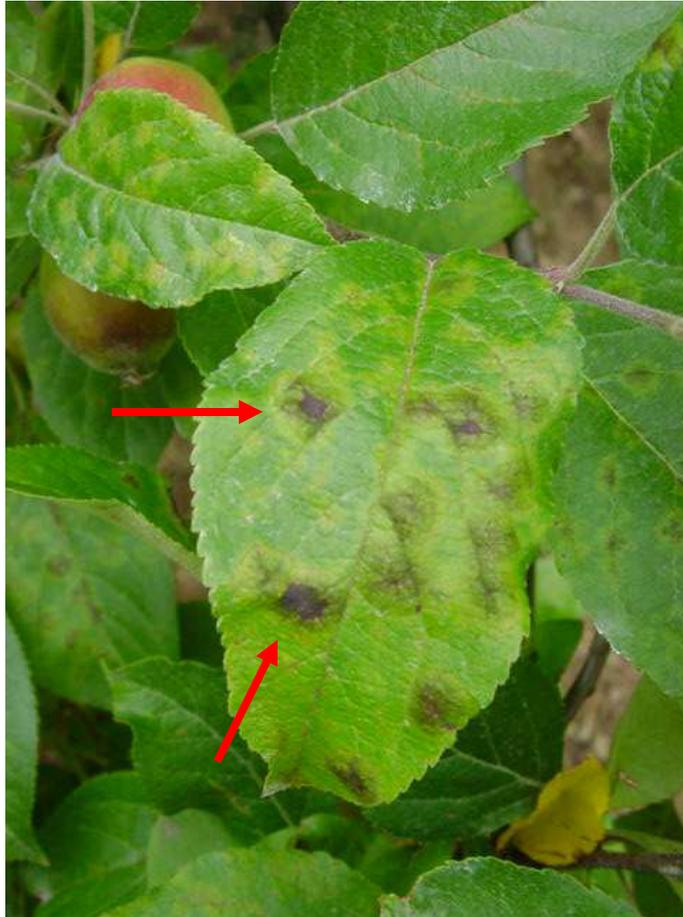
Principaux bioagresseurs travaillés



Puceron cer



Symptômes de tavelure (*Venturia inaequalis*)



ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Amélioration génétique pour la résistance à la tavelure

Les sources de résistance

-Résistance à déterminisme génétique simple (gène majeur) = résistance « spécifique »

-Résistance à déterminisme génétique complexe (QTL) = résistance « générale », « partielle »

Amélioration génétique pour la résistance à la tavelure

Introgression d'un gène majeur de résistance
à la tavelure : R_{vi6}/V_f



Historique de l'amélioration génétique pour la résistance à la tavelure

- ✓ *Vf*: gène « majeur » issu de *Malus floribunda* 821
- ✓ début 194... (Hough, US))
- ✓ Aujourd'hui, plus de 70 variétés nommées porteuses du gène *Vf*



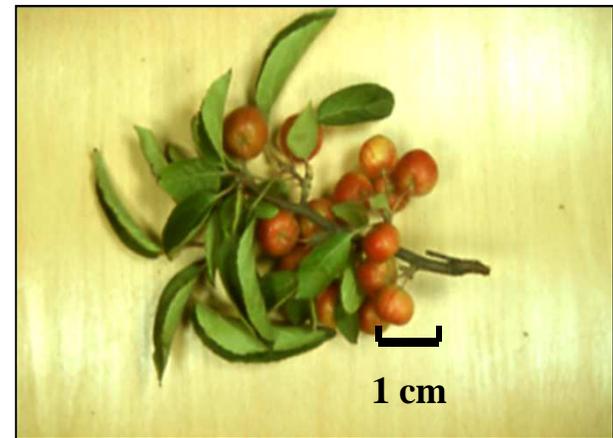
ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



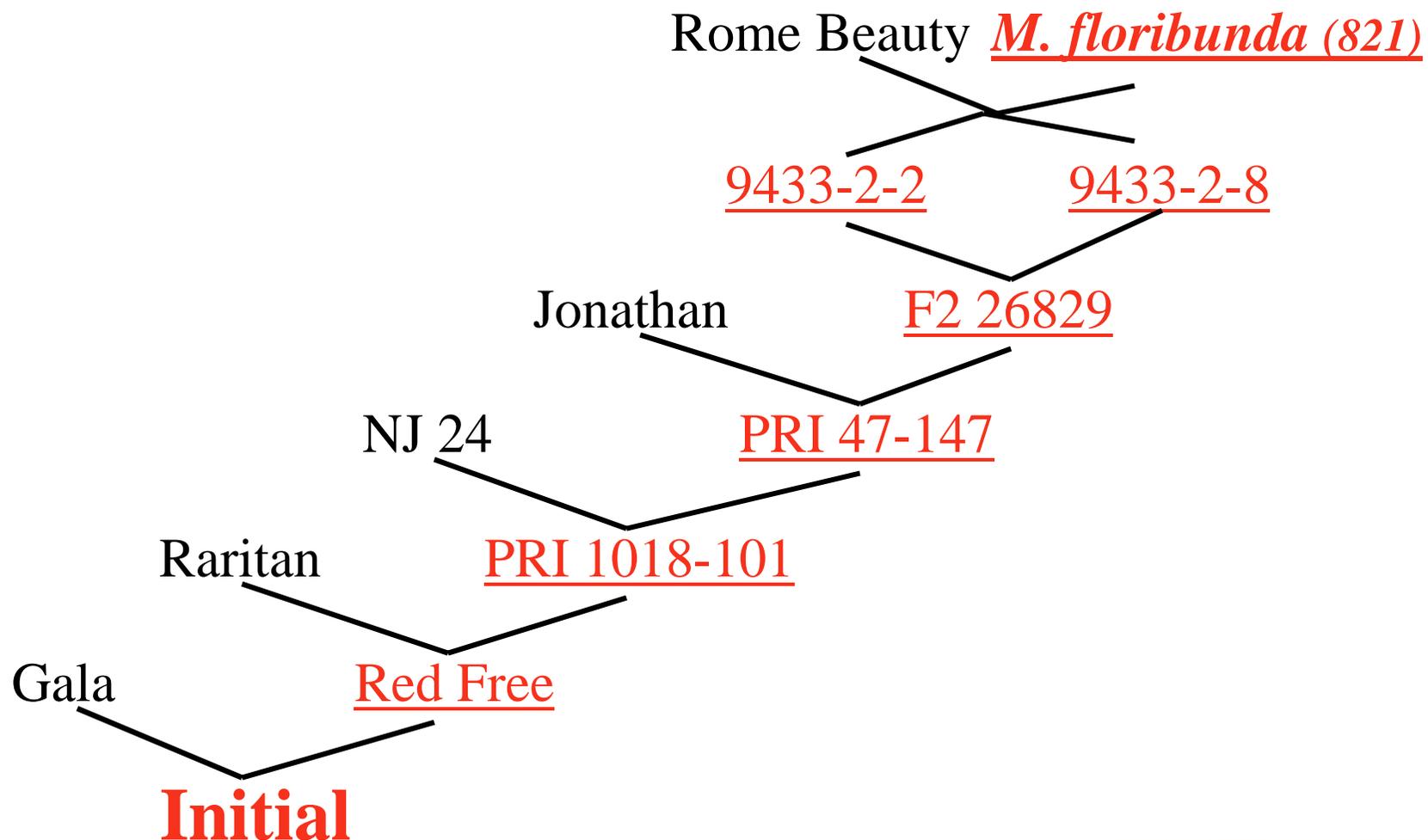
Généalogie des hybrides résistant à la tavelure

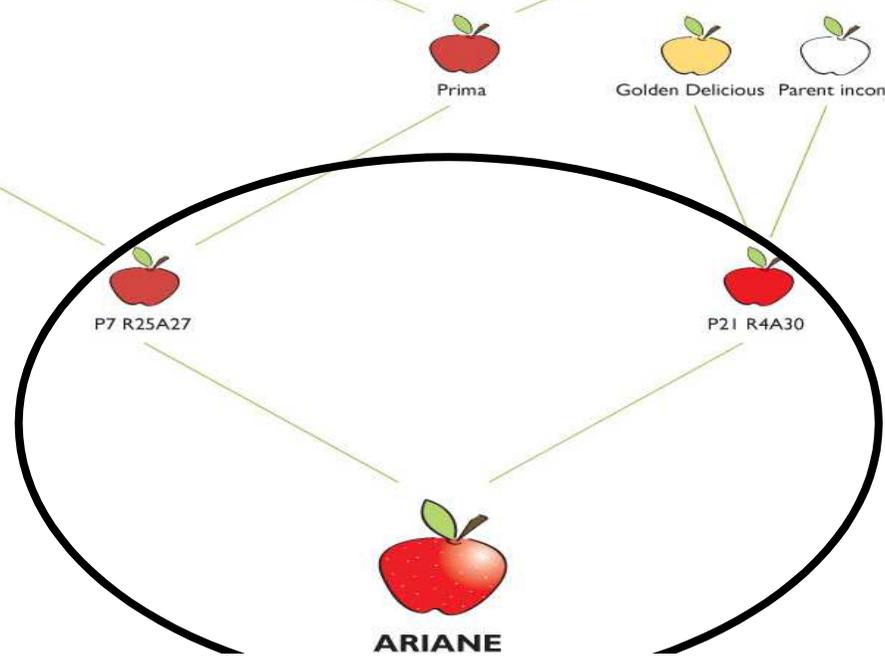
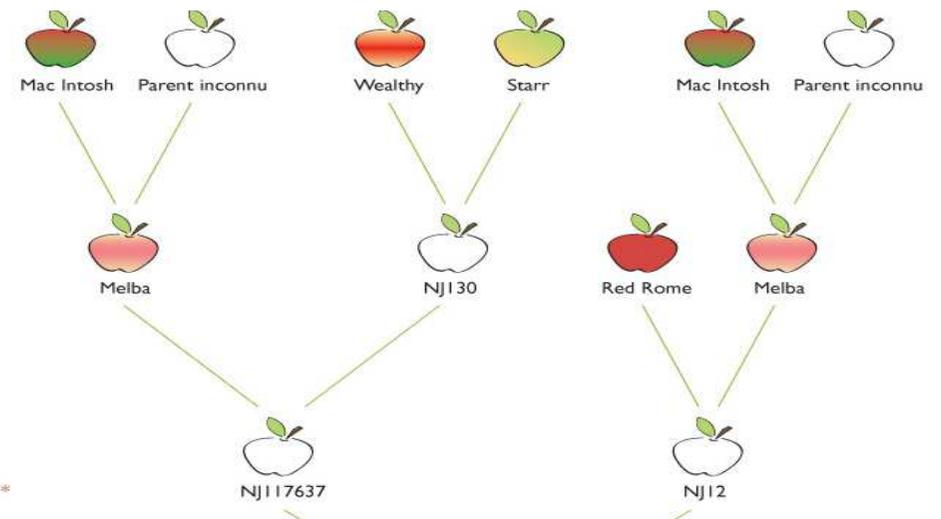
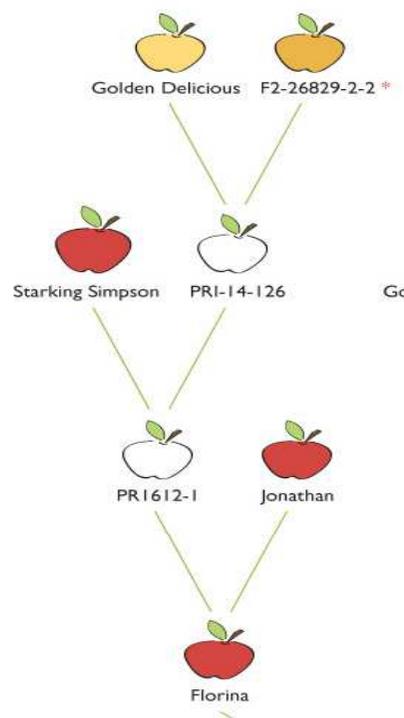
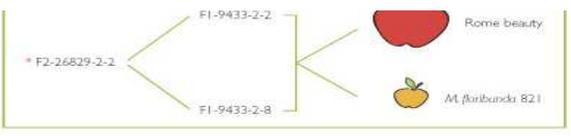
Rome Beauty x *M. floribunda* (821)

V_f



Généalogie des hybrides résistant à la tavelure





Sélection d'Ariane



Avril 1979

Hybridation
P7R25A27
x
P21R4A30



Sélection d'Ariane



313 pépins

**Septembre
1979**

Croisements

Sélection d'Ariane

S
e
r
e

Tests taveure

Février 1980

313 semis



P7R25A27
x
P21R4A30

Sélection d'Ariane

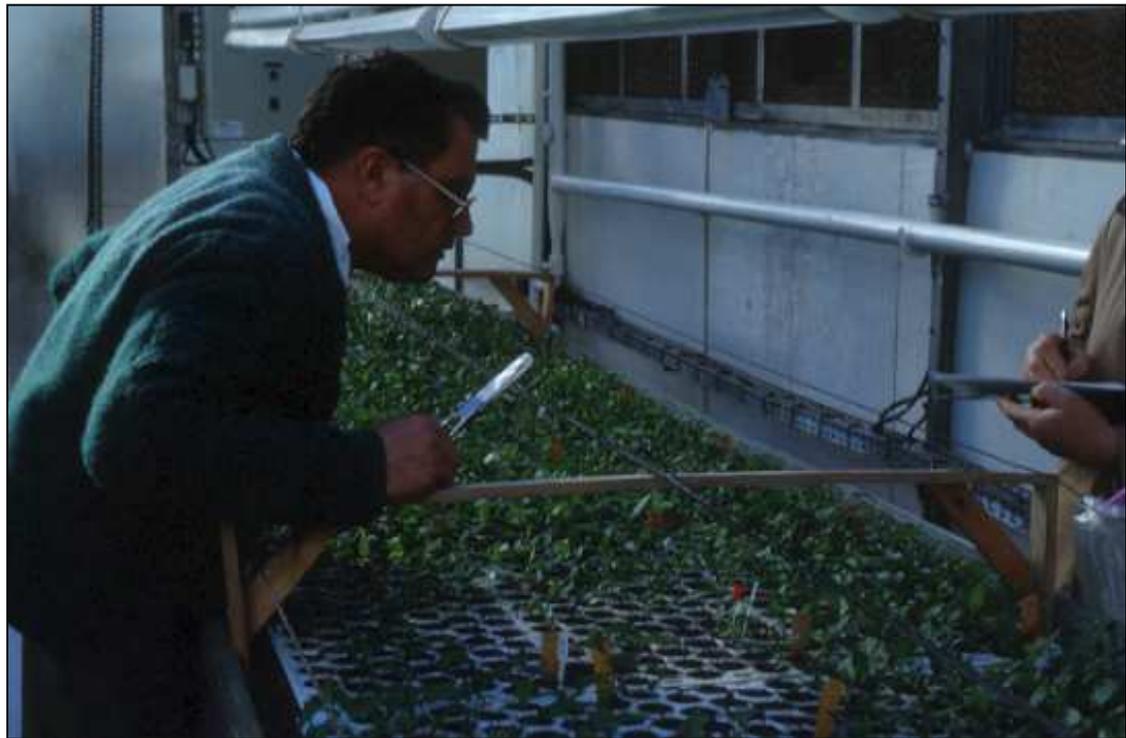
S
e
r
r
e

233 plantules ayant résisté
au test tavelure

Tests tavelure

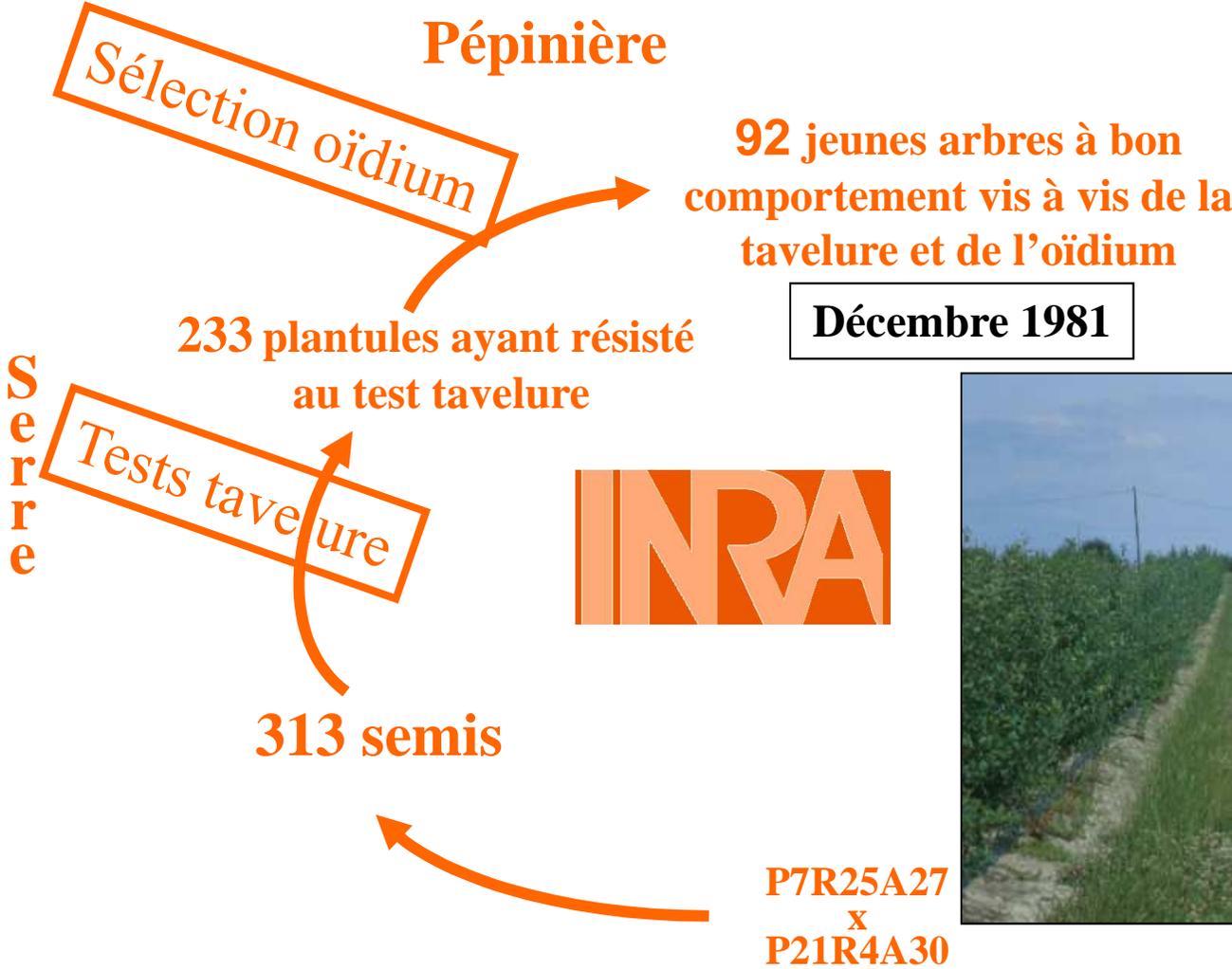
Février 1980

313 semis

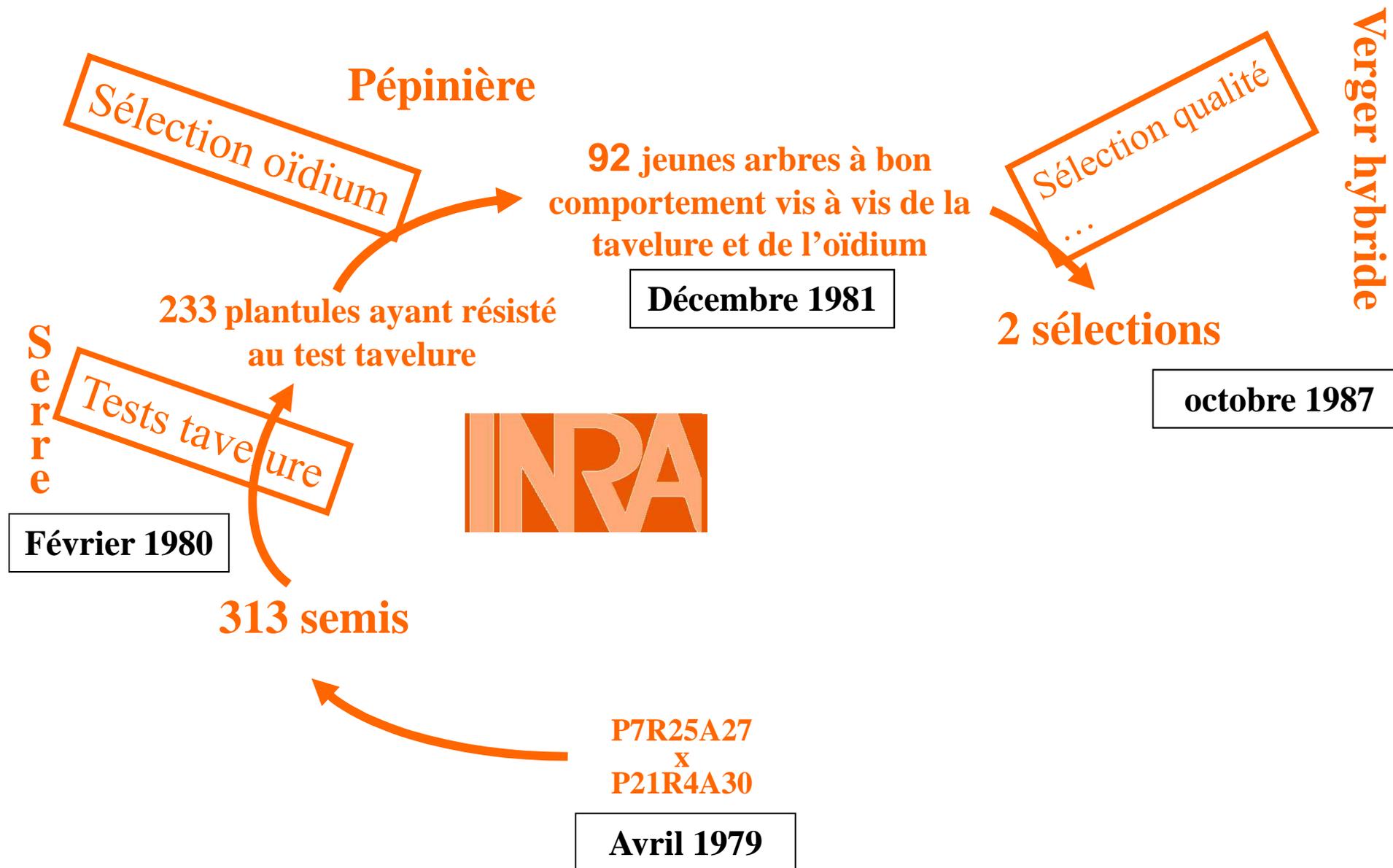


P7R25A27
x
P21R4A30

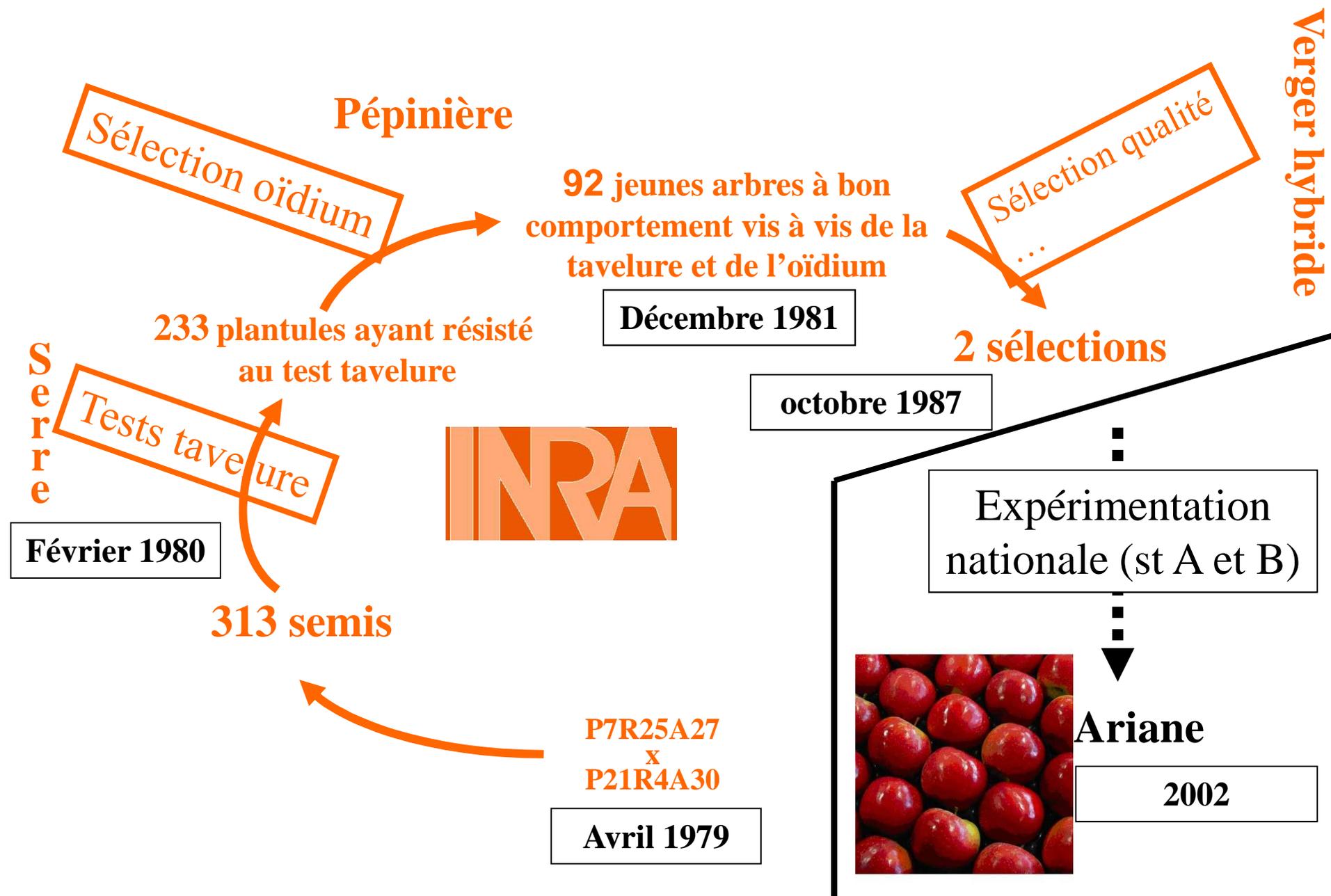
Sélection d'Ariane



Sélection d'Ariane



Sélection d'Ariane

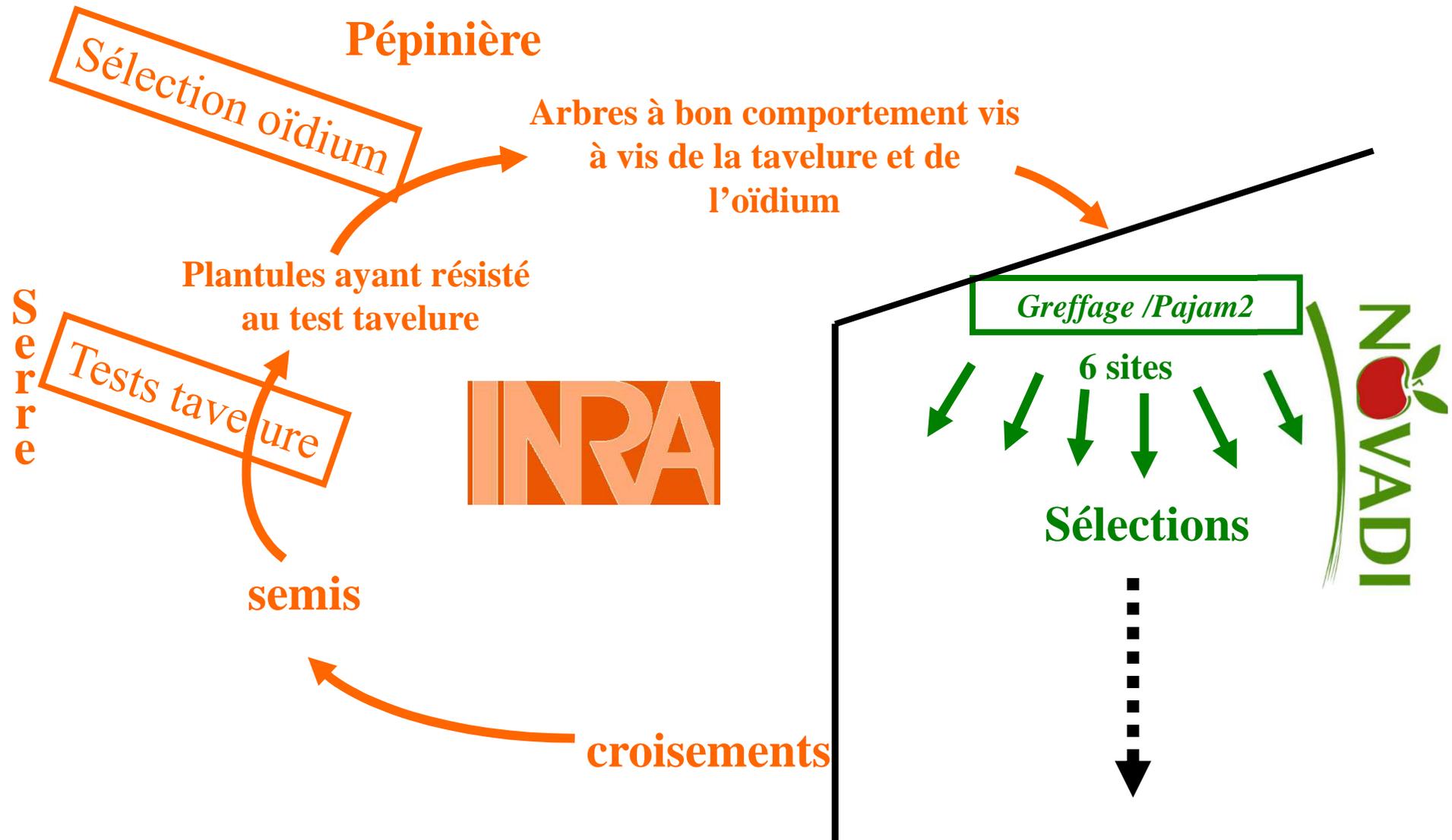


Evolution du partenariat INRA-profession dans le programme de création variétale pommier

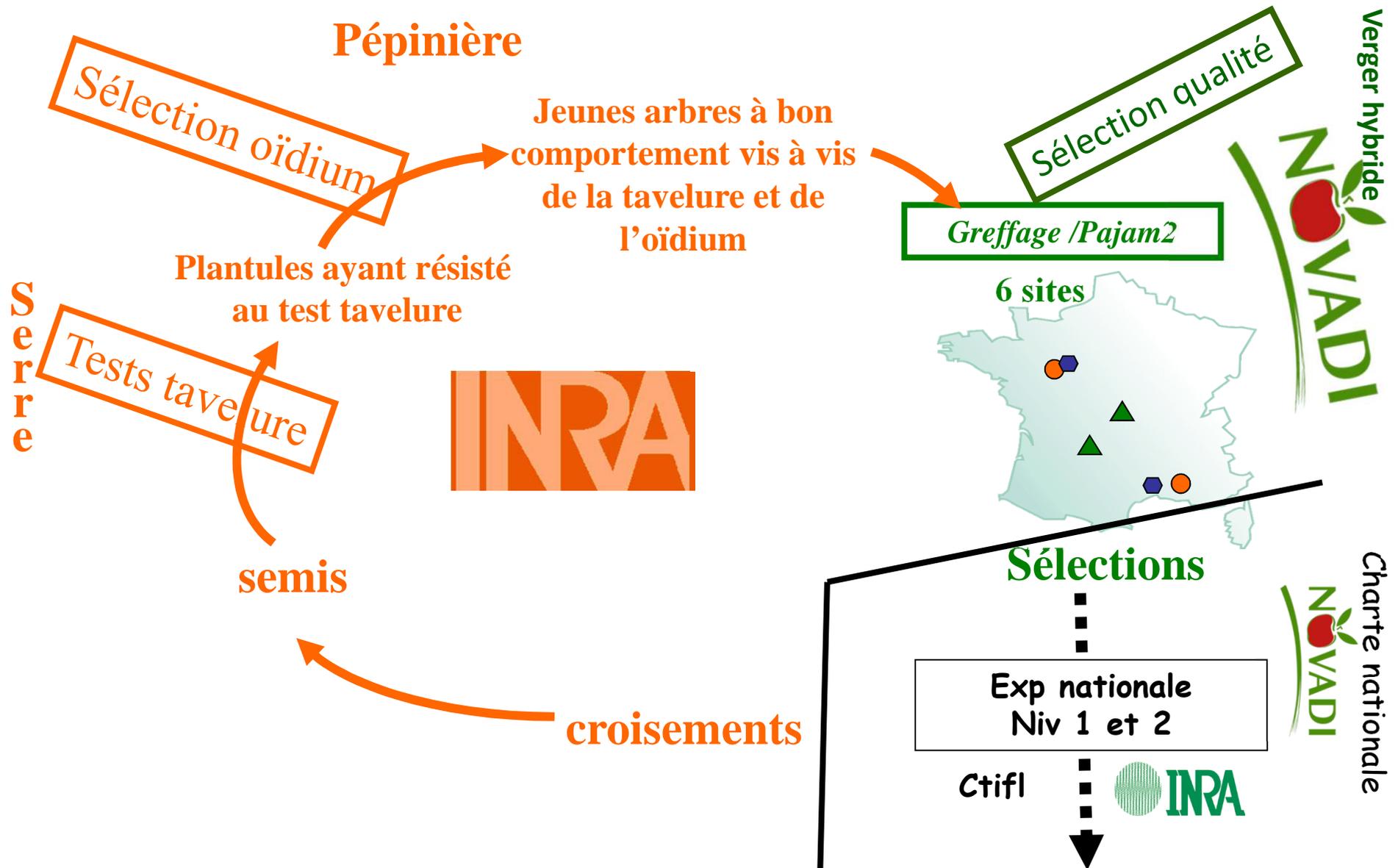
Programme
INRA-Novadi



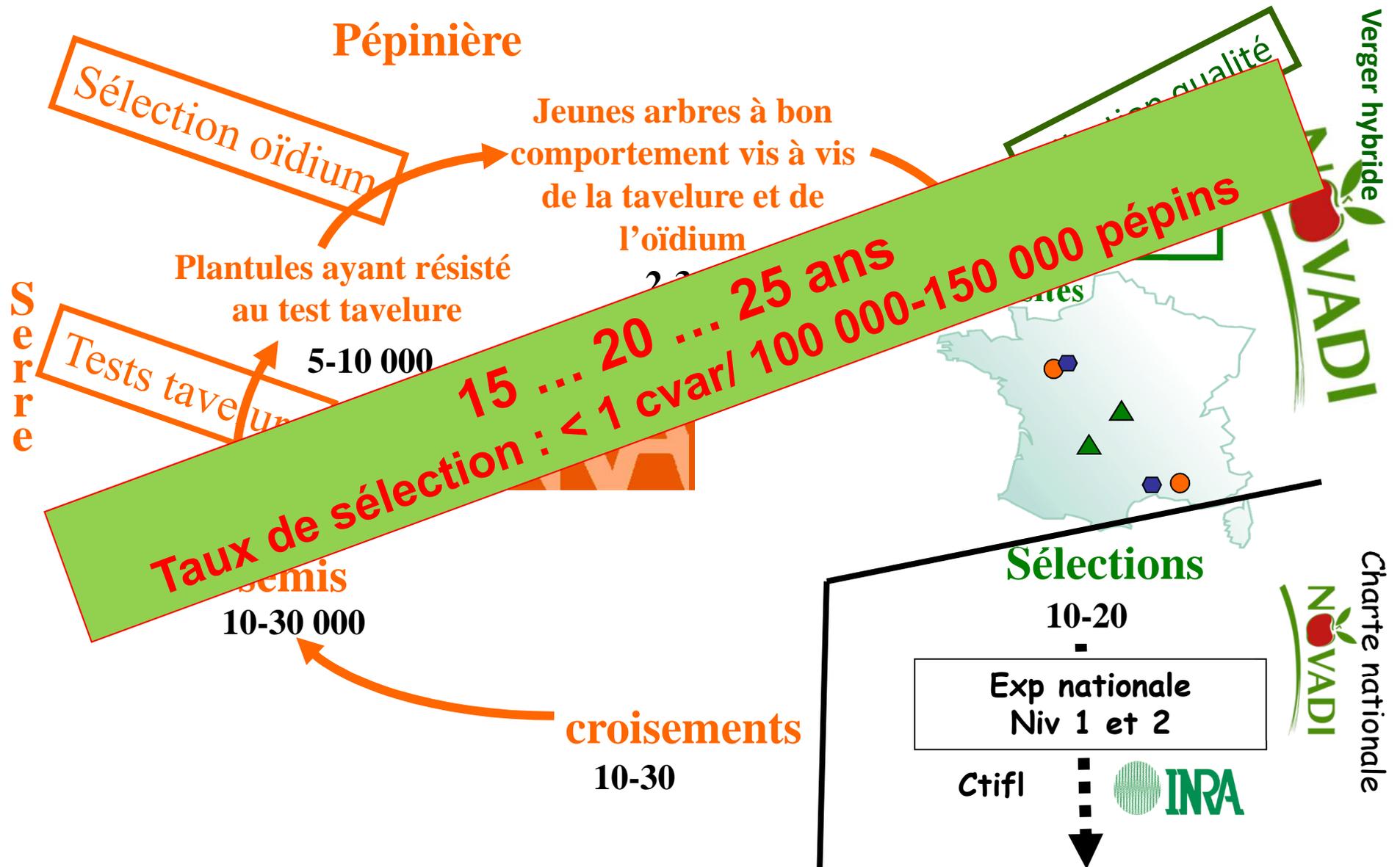
Nouveau schéma de sélection programme INRA-Novadi



Programme INRA-Novadi (1997-)



Programme INRA-Novadi (1997-)



Bilan de la création variétale pour la résistance à la tavelure dans le monde

≈ toutes les équipes impliquées dans la création variétale du pommier s'intéressent à la résistance à la tavelure

→ très nombreux hybrides V_f créés
Mais peu ont les qualités suffisantes pour devenir des variétés

Aujourd'hui, 4-5 variétés V_f ont des niveaux significatifs de plantation

Ariane (500 ha en 2007-2008)

Comportement de quelques variétés vis à vis des races de *Venturia inaequalis*

Situation avant 1990

| | Résistance | Race 1 | Races 2 à 4 | Race 5 |
|----------------------------|--------------|--------|-------------|--------|
| Gala | Sensible | + | + | + |
| Golden del. | Sensible | + | + | + |
| Priscilla | 'résistante' | - | - | - |
| Prima | 'résistante' | - | - | - |
| <i>M. flor. 821</i> | 'résistante' | - | - | - |

'+' = interaction compatible = 'sensibilité' ; '-' = interaction incompatible = 'résistance'

Comportement de quelques variétés vis à vis des races de *Venturia inaequalis*

Situation actuelle

| | Résistance | Race 1 | Races 2 à 4 | Race 5 | Race 6 | Race 7 | Race 6 + 7 |
|----------------------------|----------------|--------|-------------|--------|--------|--------|------------|
| Gala | aucune | + | + | + | + | + | + |
| Golden del. | V_g | + | + | + | + | - | + |
| Priscilla | V_f | - | - | - | + | + | + |
| Prima | $V_f + V_g$ | - | - | - | + | - | + |
| <i>M. flor.</i> 821 | $V_f + V_{fh}$ | - | - | - | - | + | + |

‘+’ = interaction compatible = ‘sensibilité’ ; ‘-’ = interaction incompatible = ‘résistance



Amélioration génétique pour la résistance à la tavelure

Les sources de résistance

-Résistance à déterminisme génétique simple (gène majeur) = résistance « spécifique »

-Résistance à déterminisme génétique complexe (QTL) = résistance « générale », « partielle »

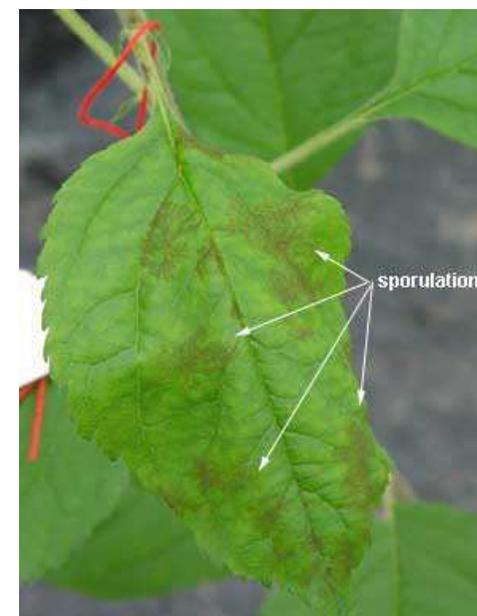
Recherche de “nouveaux” géniteurs porteurs de résistance durable

- Variétés récentes : aucun
- Hybrides RT Vf : peu
- Variétés anciennes et/ou locales : nombreuses

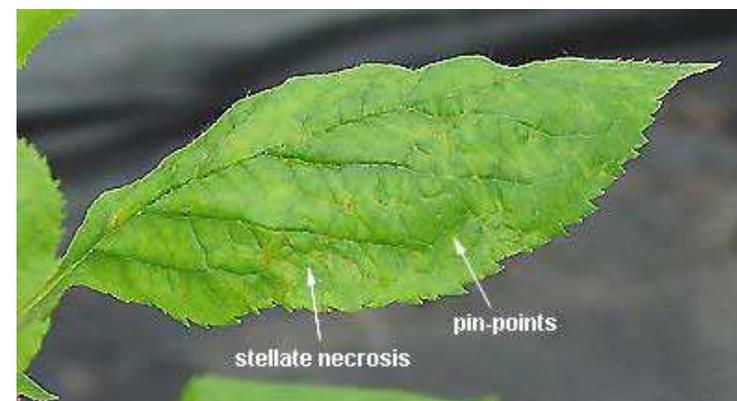
tests



Sporulation severity



Symptom class



Gamme de symptomes de sensibilité/résistance à la tavelure



ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Comportement de 22 variétés locales/gamme de races de tavelure (projet Européen DARE)

| | Local inocula | | | | | | | | | | | Monoconidial strains | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | BAZ | | | CRA | | | DCA | | PRI | | FAW | INRA | race 1 | race 6 | race 7 | NL 24 | NL 24 | NL 05 | NL 19 | | |
| Herrnhut | red | red | red | na | yellow | na | red | red | 2 | 2 | yellow | red | red | red | yellow | red | red | red | red | green | |
| Eg. Russet | red | green | yellow | red | red | na | red | red | 2 | red | yellow | red | red | red | red | red | red | red | red | red | |
| Decio | green | red | red | na | red | na | red | red | 2 | red | green | red | red | red | green | red | red | red | red | red | |
| R G Torria | green | green | yellow | na | red | na | na | yellow | 2 | red | green | red | red | yellow | yellow | red | red | yellow | yellow | yellow | |
| C. Ross | red | green | red | red | red | na | 2 | green | red | na | yellow | yellow | red | red | yellow | 1 | red | red | red | red | |
| Schneider. | red | green | red | red | na | yellow | red | red | na | green | green | red | red | na | green | red | green | yellow | red | green | |
| R. Clochard | yellow | green | red | na | na | red | red | red | na | green | green | red | red | yellow | red | green | red | red | red | red | |
| La Paix | red | green | red | red | red | na | red | red | 1 | na | green | red | red | green | red | red | red | red | red | red | |
| R. Stern. | yellow | green | red | yellow | red | na | na | 2 | yellow | na | na | na | 1 | red | 2 | red | na | yellow | red | yellow | yellow |
| Ob. Glanz. | red | green | green | na | red | na | 1 | red | na | green | green | yellow | red | 2 | green | green | red | red | yellow | green | |
| S. Orang. | red | red | red | na | na | yellow | green | green | green | na | green | yellow | green | red | green | red | red | red | green | red | |
| TN10-8 | green | green | green | green | yellow | na | yellow | yellow | na | green | green | green | yellow | green | red | red | red | red | yellow | green | |
| Pdt Roulin | green | green | green | na | yellow | na | green | green | red | na | green | green | red | red | green | yellow | green | green | yellow | yellow | |
| L. Calville | red | green | green | yellow | red | na | green | green | green | (2) | green | red | yellow | yellow | yellow | green | red | green | green | yellow | |
| Durello | green | yellow | red | yellow | red | na | yellow | yellow | green | na | green | yellow | green | yellow | green | red | green | green | red | green | |
| Colapuis | yellow | green | yellow | green | red | na | green | green | na | green | green | yellow | green | green | red | green | green | yellow | yellow | yellow | |
| Ruban | yellow | green | yellow | yellow | red | na | green | green | green | (2) | green | yellow | green | yellow | green | green | green | green | yellow | green | |
| Z190 | green | green | green | na | yellow | na | green | green | green | na | green | green | green | green | green | green | green | green | green | red | |
| Alkmène | green | green | green | na | na | yellow | green | green | yellow | na | green | green | green | yellow | green | yellow | yellow | red | yellow | yellow | |
| Discovery | red | 1 | green | na | na | yellow | green | green | green | green | green | green | green | green | green | yellow | yellow | yellow | yellow | green | |
| Firiki | green | green | yellow | na | na | yellow | red | yellow | green | yellow | green | yellow | green | yellow | green | yellow | yellow | yellow | yellow | green | |
| D. Rosen. | green | green | green | 2 | na | na | green | green | green | na | green | green | a | green | green | green | 2 | green | green | yellow | |

Comportement de quelques variétés vis à vis des races de *Venturia inaequalis*

| | Résistance | Race 1 | Races 2 à 4 | Race 5 | Race 6 | Race 7 | Race 6 + 7 |
|----------------------------|------------------------------------|--------|-------------|--------|--------|--------|------------|
| Gala | aucune | + | + | + | + | + | + |
| Golden del. | V_g | + | + | + | + | - | + |
| Priscilla | V_f | - | - | - | + | + | + |
| Prima | $V_f + V_g$ | - | - | - | + | + | + |
| <i>M. flor.</i> 821 | $V_f + V_{fh}$ | - | - | - | - | + | + |
| Nouveaux hybrides | $V_f +$ résistance partielle | - | - | - | +/- | +/- | +/- |

Stratégies actuelles de sélection pour une résistance durable à la tavelure

Association dans une variété:

- de \neq gènes majeurs (Vf, Vh2, Vh4, Vm,...)
- de gènes majeurs + QTLs



Nouvelles méthodes de sélection:

Sélection Assistée par Marqueurs (SAM)

La sélection chez les arbres fruitiers est longue et coûteuse :

- **Vergers** => surfaces importantes
- **Long cycles de sélection** : > 15 ans (≠ /espèces)
- **Phase juvénile** => retard pour l'évaluation des fruits
- **Nombreux critères**

Principaux objectifs de sélection visés pour la qualité du fruit (pommes de table)

- **Attrait du fruit** (5-10 caractères)
 - calibre, coloration, défauts cosmétiques, ...

- **Qualité gustative** (10-20 paramètres)
 - sucre/acide
 - texture
 - parfum

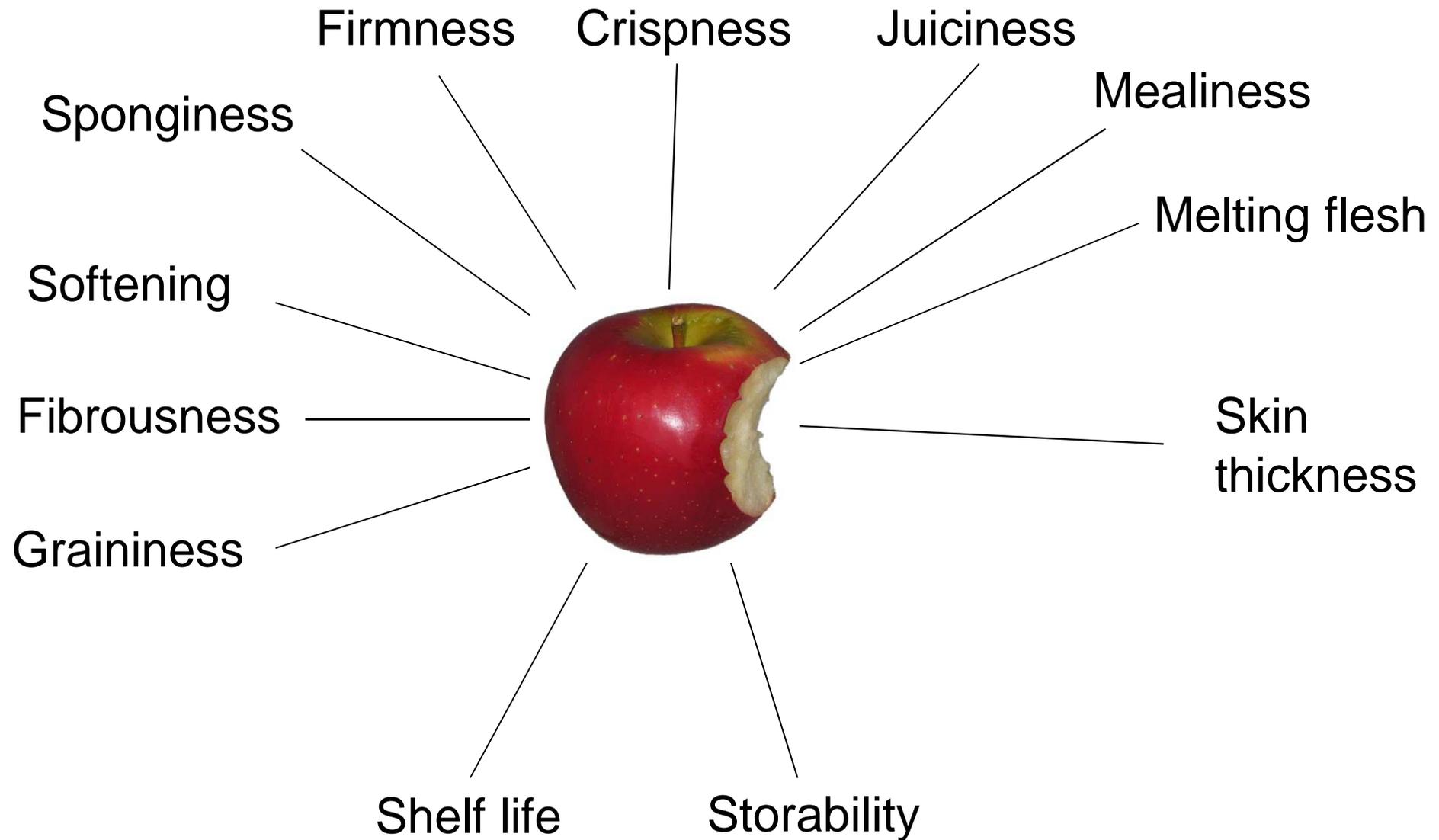
- **Aptitude à la conservation**

Mêmes caractères évalués tout au long de la conservation

La sélection chez les arbres fruitiers est longue et coûteuse :

- **Vergers** => surfaces importantes
- **Long cycles de sélection** : > 15 ans (≠ /espèces)
- **Phase juvénile** => retard pour l'évaluation des fruits
- **Nombreux critères**
 - Souvent complexes
 - Souvent subjectifs

Components of fruit texture



La sélection chez les arbres fruitiers est longue et coûteuse :

- **Vergers** => surfaces importantes
- **Longs cycles de sélection** : > 15 ans (≠ /espèces)
- **Phase juvénile** => retard pour l'évaluation des fruits
- **Nombreux critères**
 - Souvent complexes
 - Souvent subjectifs
 - Dépendants de l'environnement



Peu de connaissances génétiques

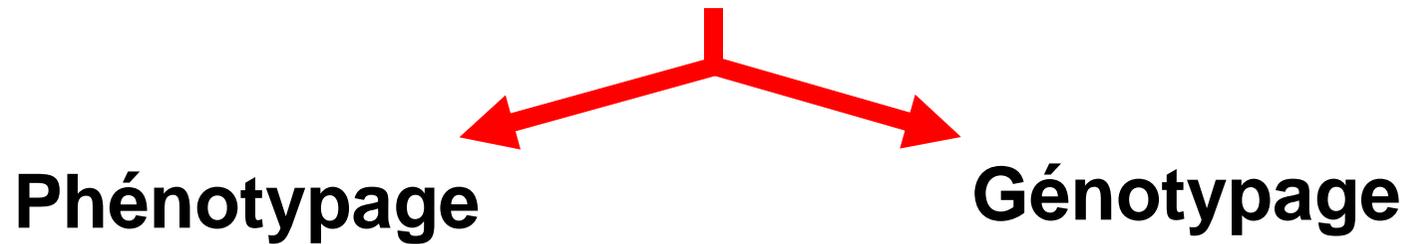
Etudes génétiques sur les fruits

– **Cartographie** des gènes majeurs et QTLs :

- Résistance
- Qualité du fruit
- Architecture de l'arbre
- ...

Principales étapes de la cartographie génétique

Descendance d'un croisement



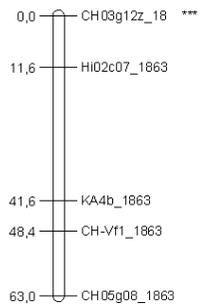
Carte génétique

Localisation sur le génome des caractères d'intérêt

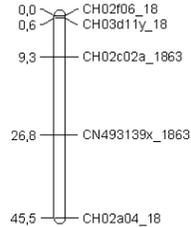
SAM

Exemple d'une carte génétique intégrée chez le pommier (2008)

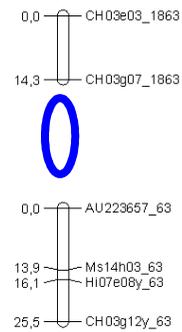
X_LG01



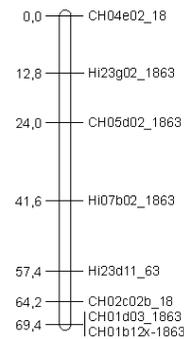
X_LG02



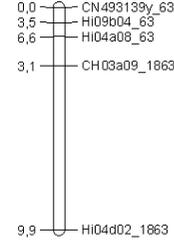
X_LG03



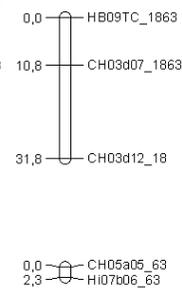
X_LG04



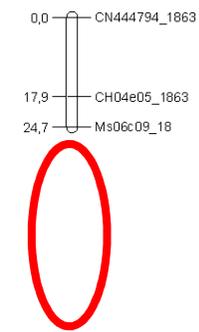
X_LG05



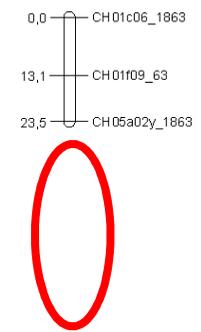
x_LG06



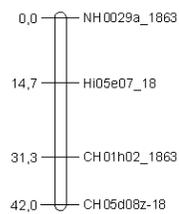
x_LG07



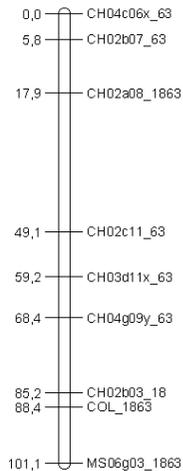
X_LG08



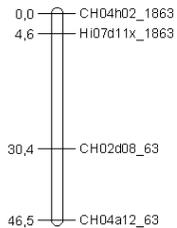
X_LG09



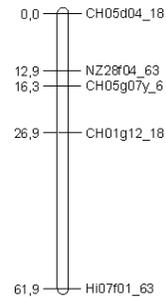
X_LG10



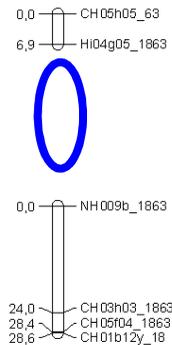
X_LG11



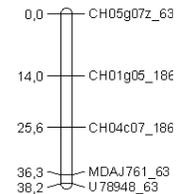
X_LG12



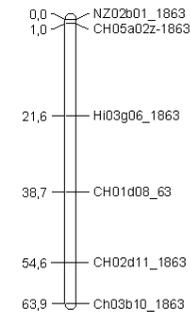
X_LG13



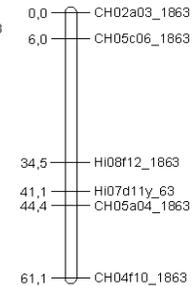
X_LG14



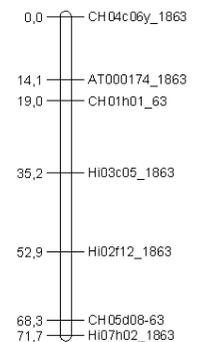
X_LG15



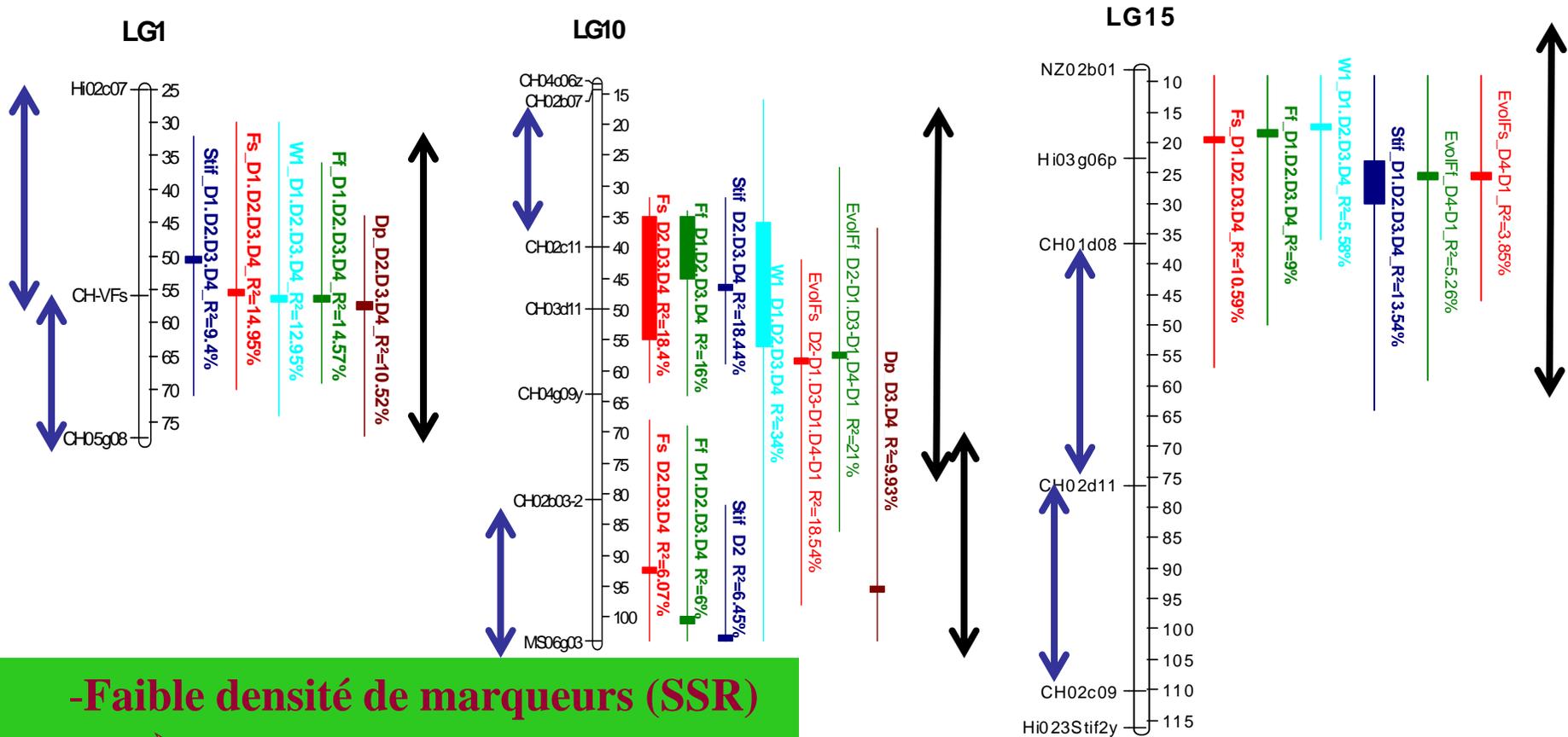
X_LG16



X_LG17



Limite des études génétiques passées (avant 2010)



-Faible densité de marqueurs (SSR)

➤ gaps

➤ faible précision sur la localisation des QTLs

- Pas d'outils de génotypage haut débit

Pas ou peu d'information sur la diversité allélique

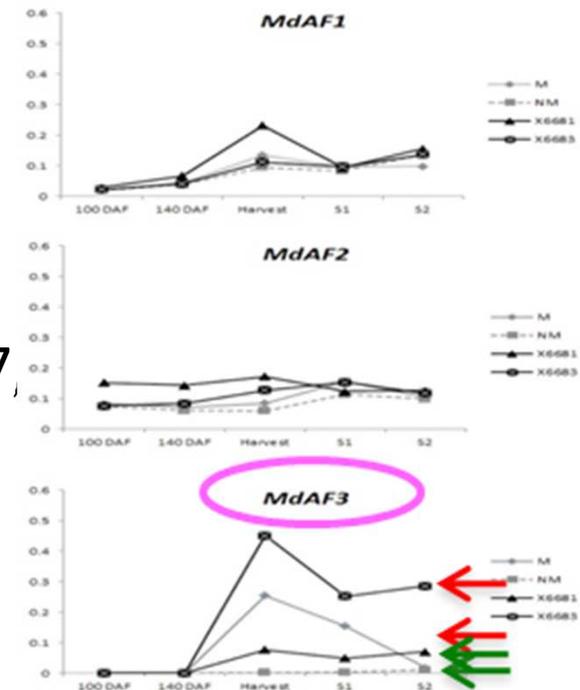
Etudes génétiques sur les fruits

– Cartographie de gènes majeurs et QTLs :

- Résistance
- Qualité du fruit
- Architecture de l'arbre
- ...

– Génomique fonctionnelle

- Gènes candidats (ACO, ACS, Exp7,
- cDNA chips

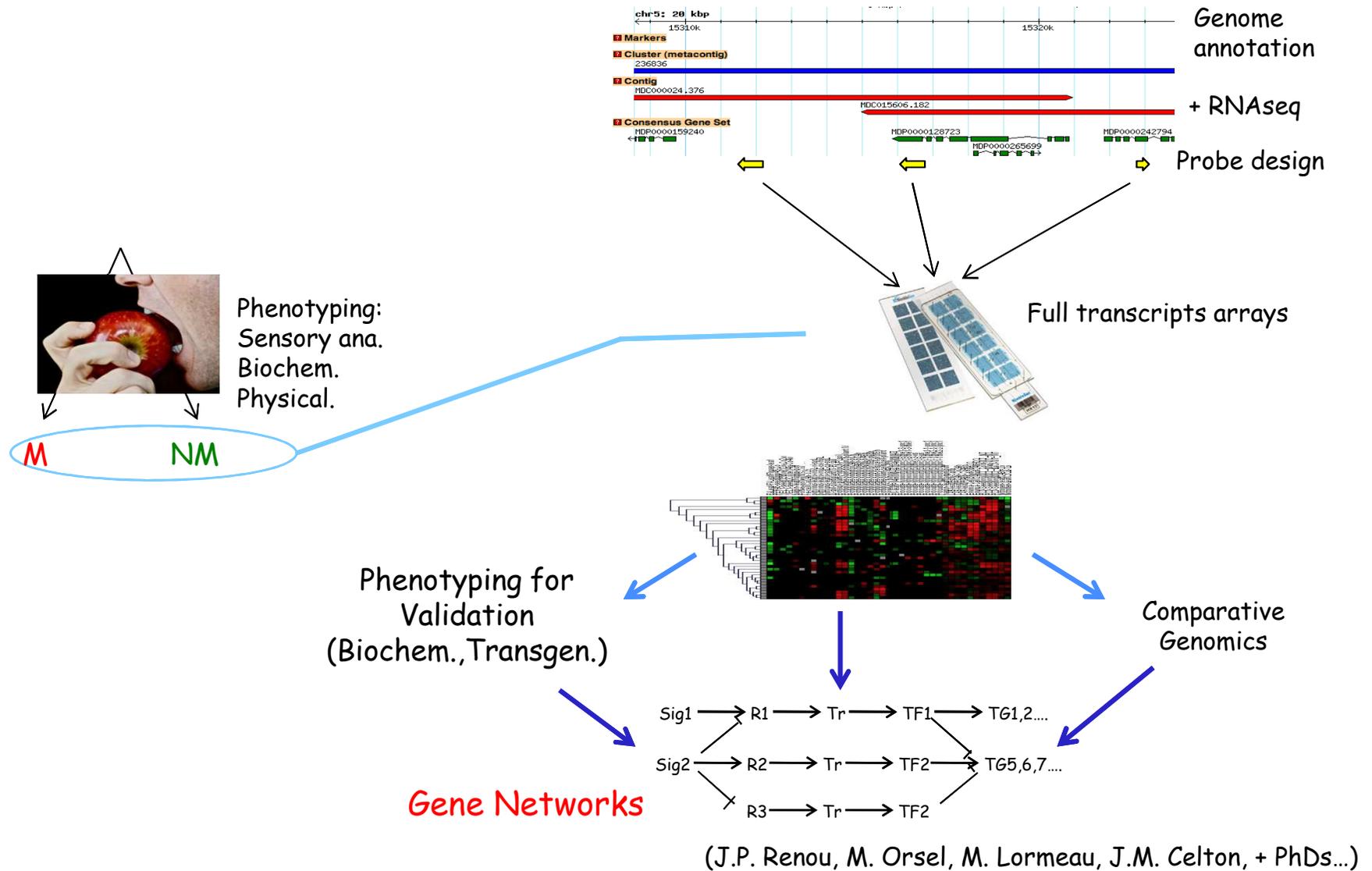


AF expression

Nobile et al, 2011

Qualité des fruits et réseaux de gènes

Exemple des travaux réalisés à l'IRHS d'Angers sur la farinosité



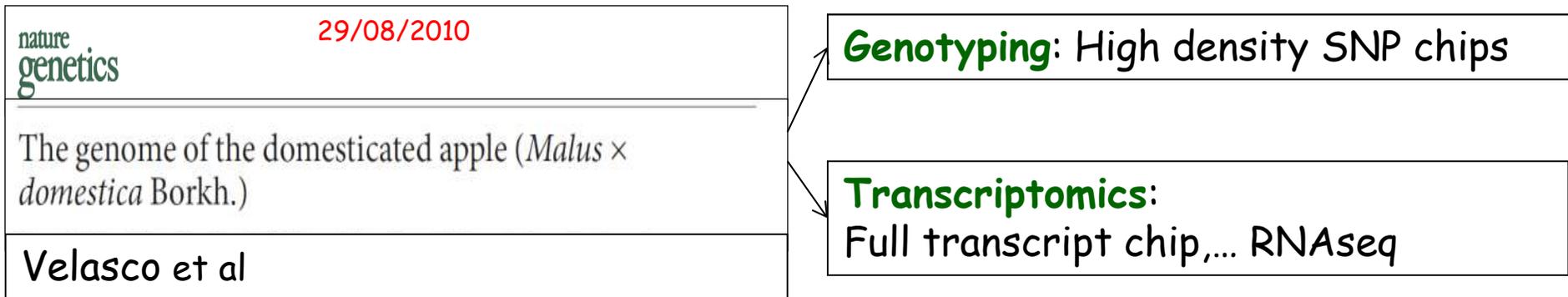
Etudes génétiques sur les fruits

- **Cartographie de gènes majeurs et QTLs :**
 - Résistance
 - Qualité du fruit
 - Architecture de l'arbre
 - ...
- **Génomique fonctionnelle**
 - Gènes candidats (ACO, ACS, Exp7, Araf...)
 - cDNA chips
- **Clonage de gènes** (Rvi6-V_f/pomme; ...)

Etudes génétiques sur les fruits

- **Cartographie de gènes majeurs et QTLs :**
 - Résistance
 - Qualité du fruit
 - Architecture de l'arbre
 - ...
 - **Génomique fonctionnelle**
 - Gènes candidats (ACO, ACS, Exp7, Araf...)
 - cDNA chips
 - **Clonage de gène (Rvi6-V_f/pomme; Ma pêche, ...)**
- **Séquençage des génomes de pommier, pêcher, et ... fraisier**

New tools and technologies available:





Nombreuses recherches , des résultats, des QTLs ...Mais :

**Très peu d 'exemples d'utilisation des marqueurs
moléculaires dans les programmes d'amélioration génétique
... surtout pour la résistance aux bioagresseurs**



FruitBreedomics



**Une approche intégrée pour améliorer
l'efficacité des programmes d'amélioration
en pomme et pêche**

Large collaborative EU-project
March 2011-Sept. 2015



Comblent le gap entre études génétiques/génomiques et amélioration génétique

- Développement + utilisation des outils moléculaires (SNP chip, Full transcript chips) /collaborations internationales
- Connaissances / génétiques + génomiques des principaux caractères agronomiques + diversité allélique

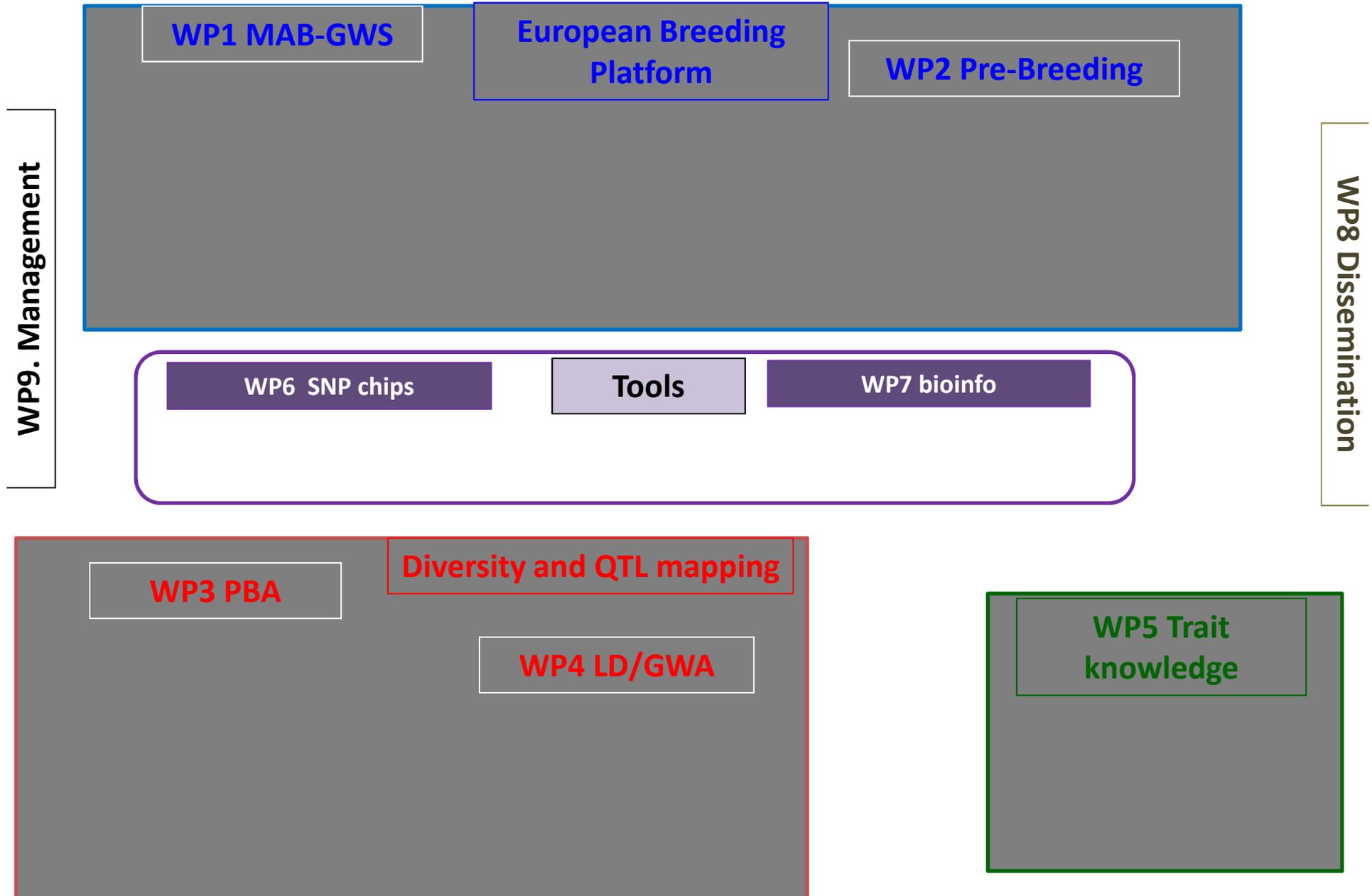
**→ Matériel végétal + outils + méthodologies
/sélectionneurs**



Structure



FruitBreedomics



Fine genetic mapping



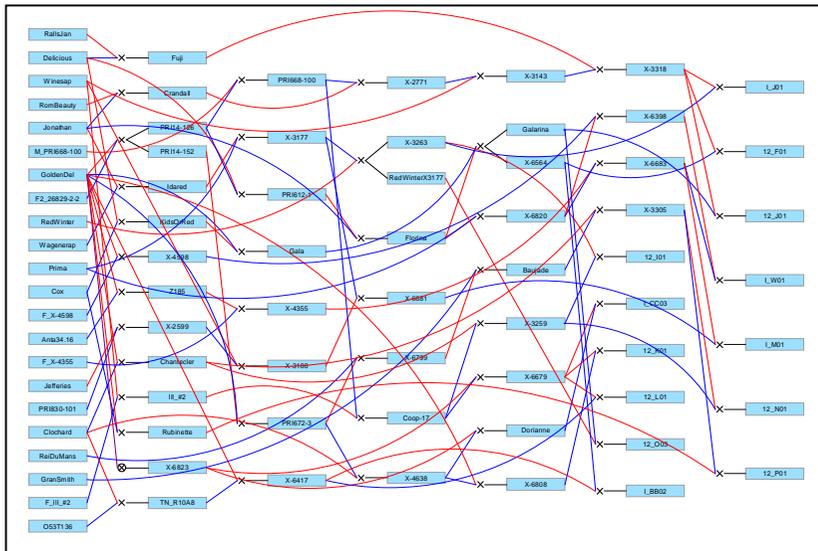
Allelic diversity

Pedigree Based Analysis

Association Genetics

MAPPING POPULATIONS

LOCAL CVARS



Apple
30 progenies
20K SNP chip

Apple
>400K SNP chip

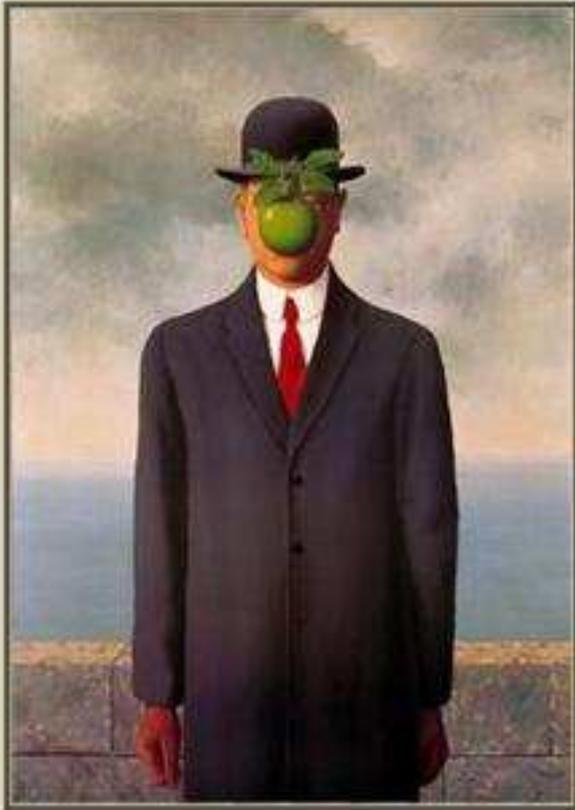
Qqs mots pour conclure...

Les premiers résultats développés dans le cadre de FruitBreedomics montrent que:

- les connaissances issues du séquençage du génome du pommier ont permis de faire de gros progrès sur le développement des outils et les connaissances génétiques
- Cela permet des avancées importantes pour la sélection (SAM ou GWS)
- **Mais le phénotypage reste aujourd'hui le principal facteur limitant de toutes ces études**

**→ message important pour les lycéens et étudiants :
les biotechnologies n'apportent que des outils; ce qui fait la qualité
d'un travail de recherche et de sélection = qualités de réflexion,
d'ouverture d'esprit, d'innovation, d'observation,...!!**

Merci de votre attention ...



Ceci n'est pas une pomme

