

# 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

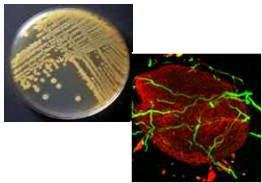
Champignons phytopath. transmis par semences (*FungiSem*) P. Poupard

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



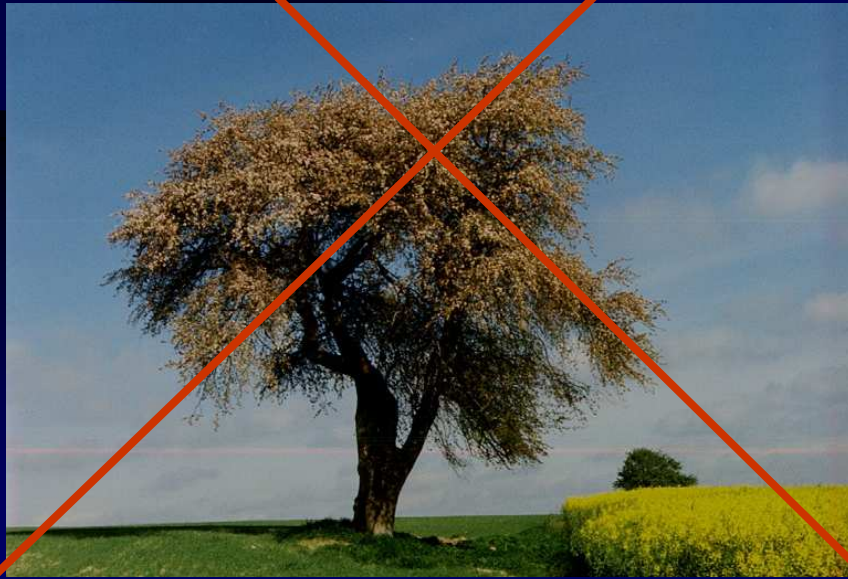
Serres (*INEM*) R. Gardet

# 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*

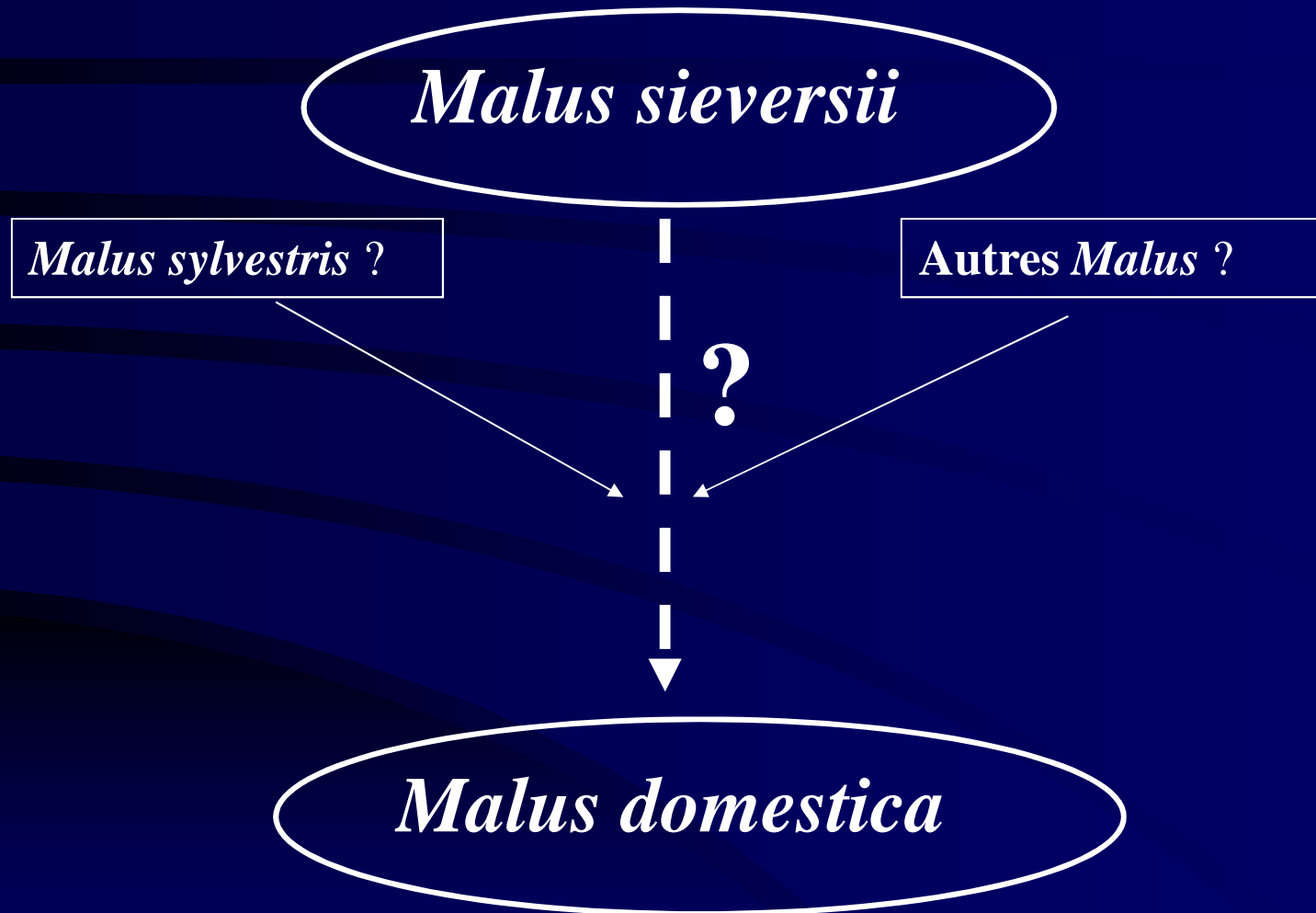
7-10M ans : Transport des graines et des petits fruits  
par les oiseaux et les mammifères (ours, ...) et  
sélection



*Malus sieversii*



# Origine du pommier cultivé



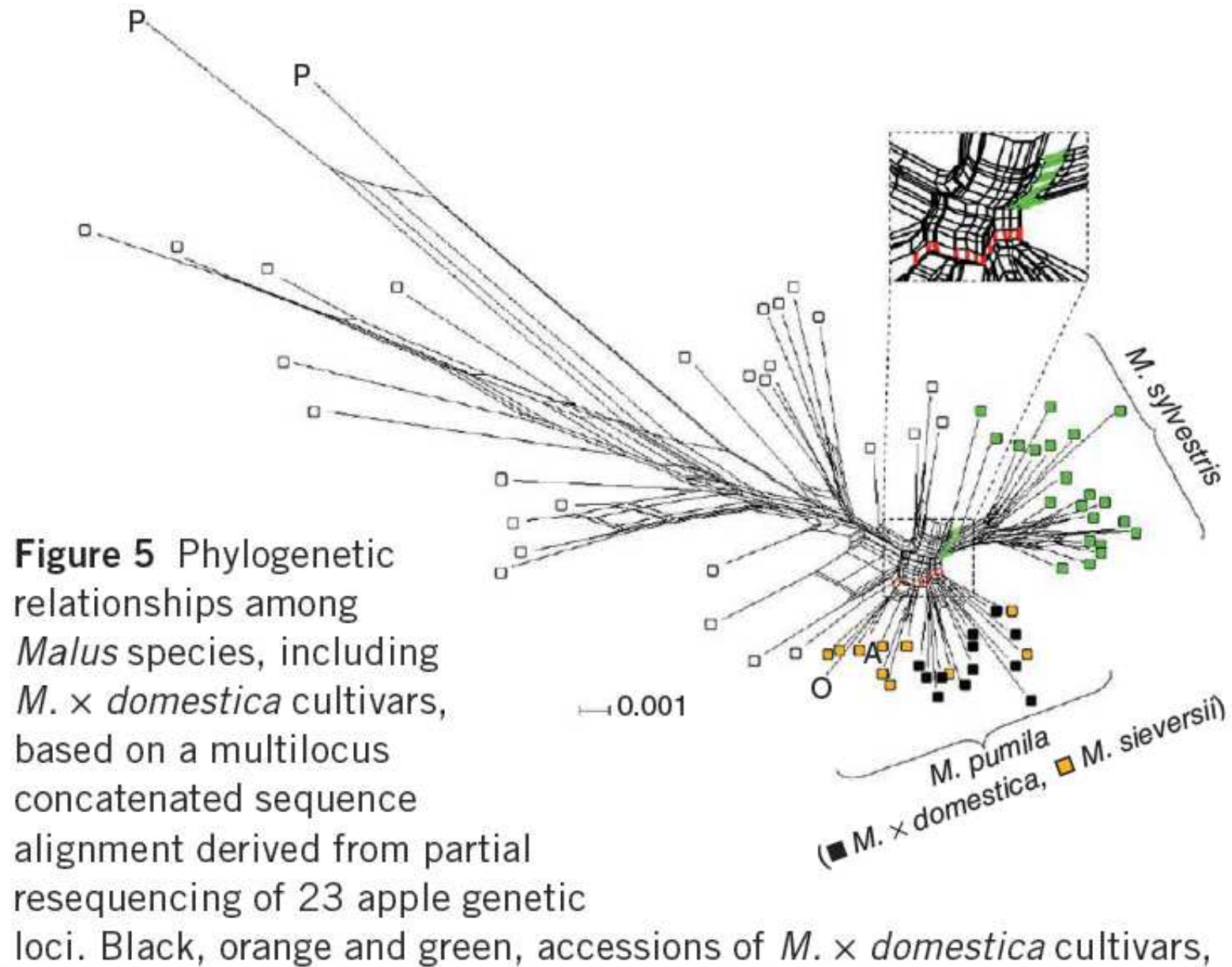
Velasco et al, 2010,  
Cornille et al, 2012



---

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

Riccardo Velasco<sup>1,20</sup>, Andrey Zharkikh<sup>2,20</sup>, Jason Affourtit<sup>3</sup>, Amit Dhingra<sup>4</sup>, Alessandro Cestaro<sup>1</sup>, Ananth Kalyanaraman<sup>5</sup>, Paolo Fontana<sup>1</sup>, Satish K Bhatnagar<sup>2</sup>, Michela Troggio<sup>1</sup>, Dmitry Pruss<sup>2</sup>, Silvio Salvi<sup>1,6</sup>, Massimo Pindo<sup>1</sup>, Paolo Baldi<sup>1</sup>, Sara Castelletti<sup>1</sup>, Marina Cavaiuolo<sup>1</sup>, Giuseppina Coppola<sup>1</sup>, Fabrizio Costa<sup>1</sup>, Valentina Cova<sup>1</sup>, Antonio Dal Ri<sup>1</sup>, Vadim Goremykin<sup>1</sup>, Matteo Komjanc<sup>1</sup>, Sara Longhi<sup>1</sup>, Pierluigi Magnago<sup>1</sup>, Giulia Malacarne<sup>1</sup>, Mickael Malnoy<sup>1</sup>, Diego Micheletti<sup>1</sup>, Marco Moretto<sup>1</sup>, Michele Perazzolli<sup>1</sup>, Azeddine Si-Ammour<sup>1</sup>, Silvia Vezzulli<sup>1</sup>, Elena Zini<sup>1</sup>, Glenn Eldredge<sup>2</sup>, Lisa M Fitzgerald<sup>2</sup>, Natalia Gutin<sup>2</sup>, Jerry Lanchbury<sup>2</sup>, Teresita Macalma<sup>2</sup>, Jeff T Mitchell<sup>2</sup>, Julia Reid<sup>2</sup>, Bryan Wardell<sup>2</sup>, Chinnappa Kodira<sup>3</sup>, Zhoutao Chen<sup>3</sup>, Brian Desany<sup>3</sup>, Faheem Niazi<sup>3</sup>, Melinda Palmer<sup>3</sup>, Tyson Koepke<sup>4</sup>, Derick Jiwan<sup>4</sup>, Scott Schaeffer<sup>4</sup>, Vandhana Krishnan<sup>5</sup>, Changjun Wu<sup>5</sup>, Vu T Chu<sup>7</sup>, Stephen T King<sup>7</sup>, Jessica Vick<sup>7</sup>, Quanzhou Tao<sup>8</sup>, Amy Mraz<sup>8</sup>, Aimee Stormo<sup>8</sup>, Keith Stormo<sup>8</sup>, Robert Bogden<sup>8</sup>, Davide Ederle<sup>9</sup>, Alessandra Stella<sup>9</sup>, Alberto Vecchietti<sup>9</sup>, Martin M Kater<sup>10</sup>, Simona Masiero<sup>11</sup>, Pauline Lasserre<sup>12</sup>, Yves Lespinasse<sup>12</sup>, Andrew C Allan<sup>13</sup>, Vincent Bus<sup>14</sup>, David Chagné<sup>15</sup>, Ross N Crowhurst<sup>13</sup>, Andrew P Gleave<sup>13</sup>, Enrico Lavezzo<sup>16</sup>, Jeffrey A Fawcett<sup>17,18</sup>, Sebastian Proost<sup>17,18</sup>, Pierre Rouzé<sup>17,18</sup>, Lieven Sterck<sup>17,18</sup>, Stefano Toppo<sup>19</sup>, Barbara Lazzari<sup>9</sup>, Roger P Hellens<sup>13</sup>, Charles-Eric Durel<sup>12</sup>, Alexander Gutin<sup>2</sup>, Roger E Bumgarner<sup>7</sup>, Susan E Gardiner<sup>15</sup>, Mark Skolnick<sup>2</sup>, Michael Egholm<sup>3</sup>, Yves Van de Peer<sup>17,18</sup>, Francesco Salamini<sup>1,9</sup> & Roberto Viola<sup>1</sup>



# 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<sup>e</sup> : Rtte grise de Saintonge, Coeur de Boeuf

XIV<sup>e</sup> : Faros, Châtaignier

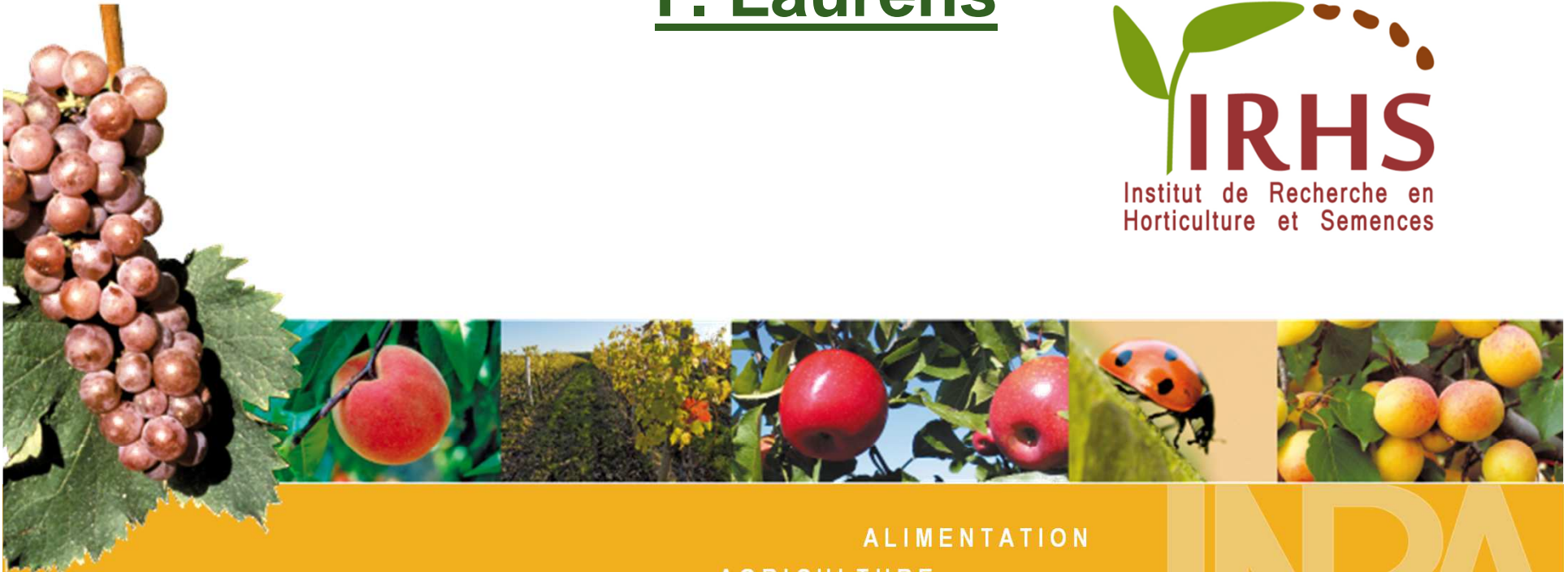
XV<sup>e</sup> : Court Pendu, Coeur de Pigeon, Calville Blanc

XVI<sup>e</sup> : Api, Rambour d'été, Rtte Blanche, Rtte Rouge, Rtte d'Angleterre

XVII<sup>e</sup> : Bondy, Bon Gros, Calville Rouge, Fenouillets, Drap d'or, Pomme Figue, Transparente, Violette, ...

# Amélioration génétique du pommier à couteau

F. Laurens



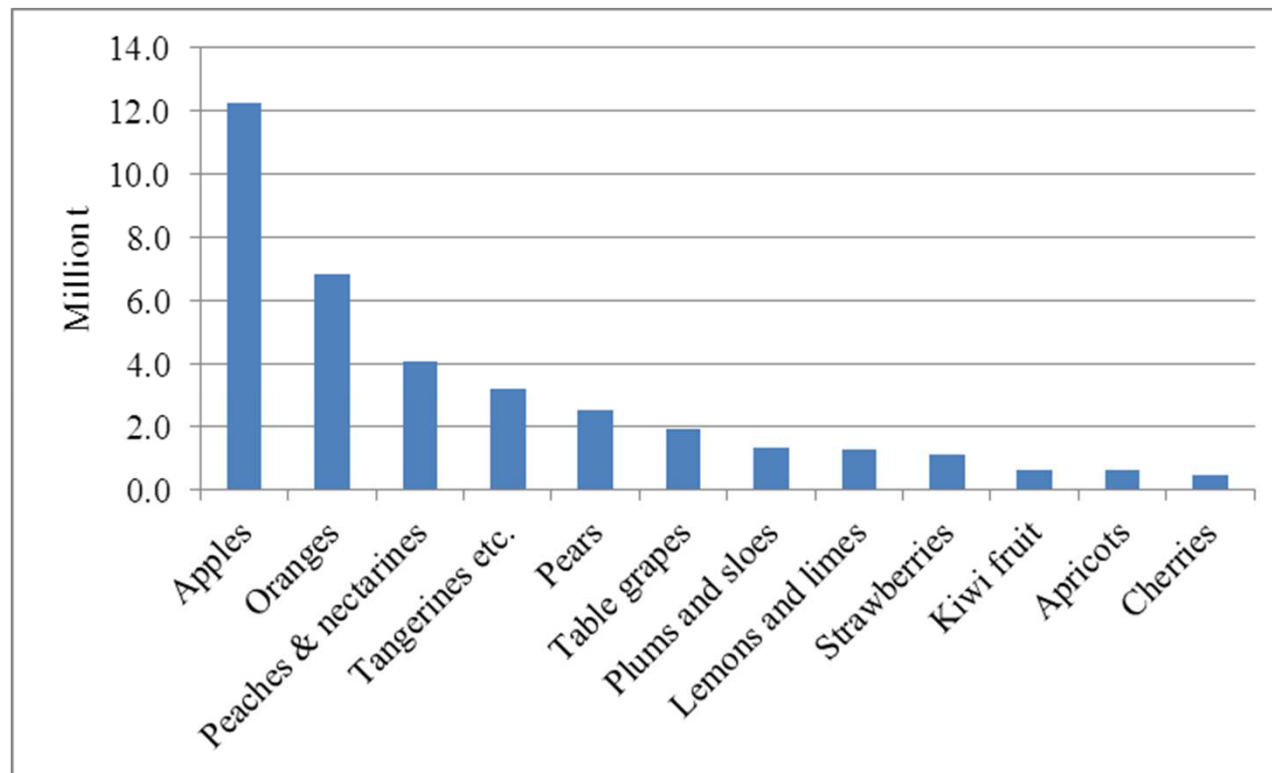
ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA



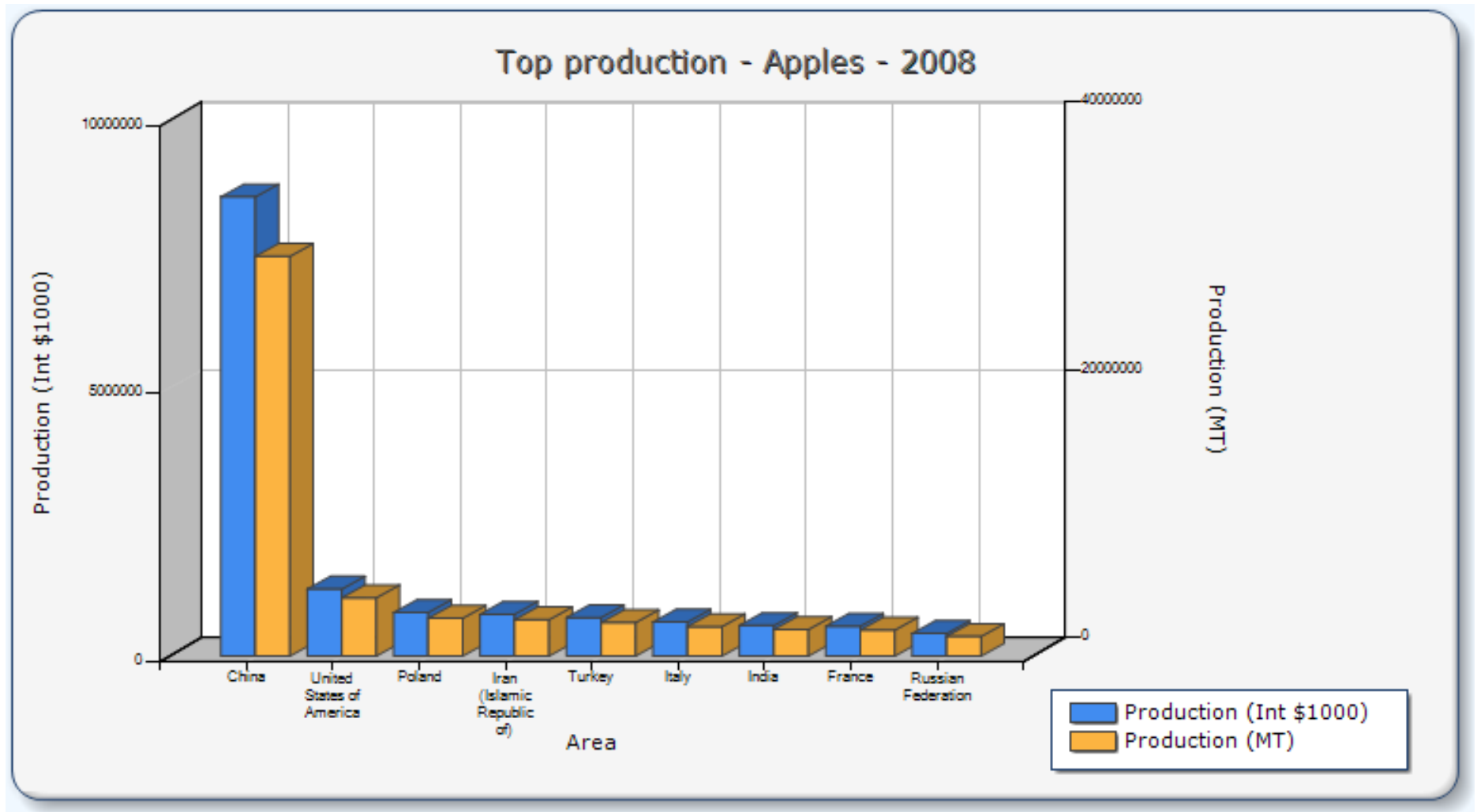
# Total fruit production in EU 27 Member states

2008



# World apple production

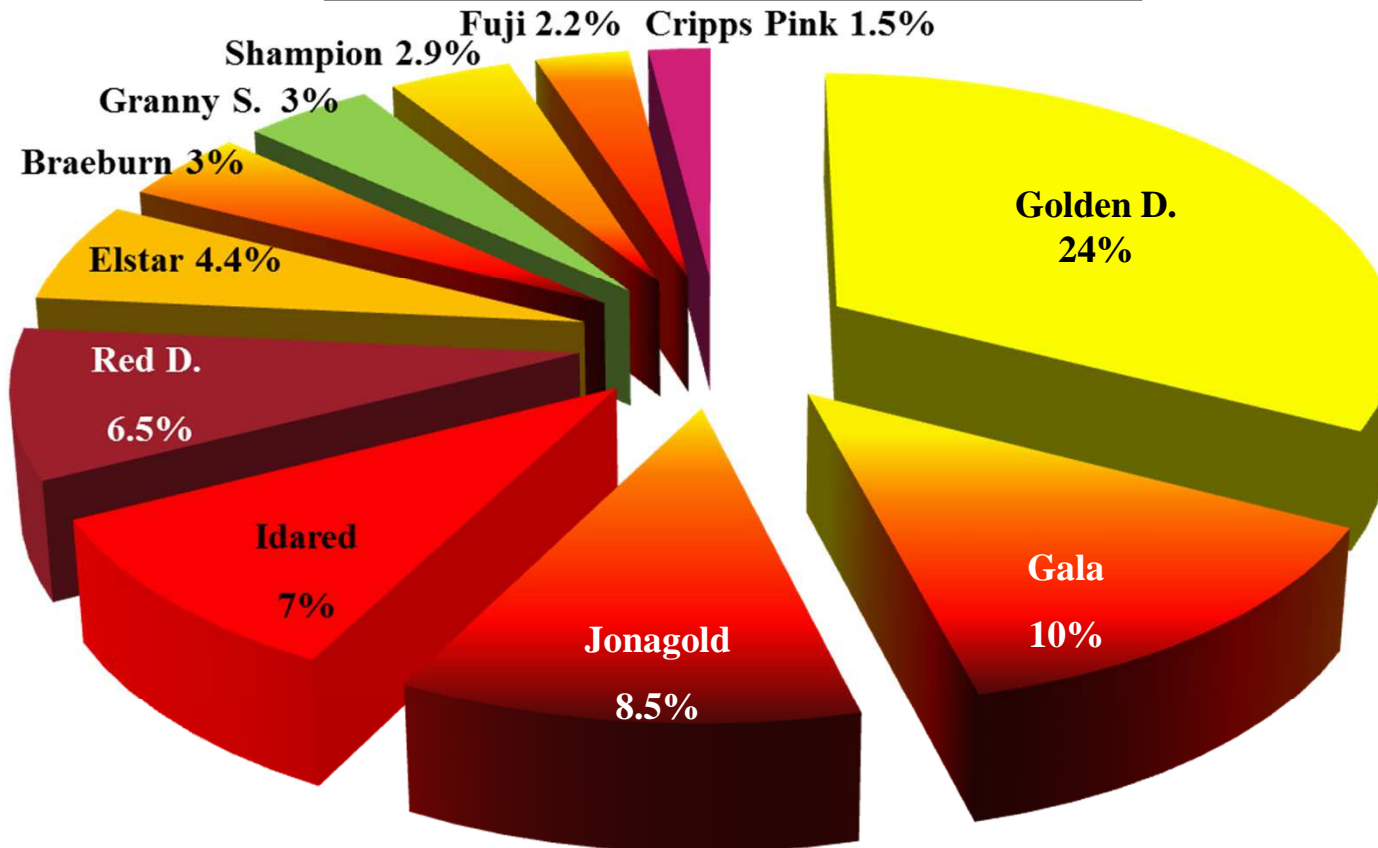
~70 Mt



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

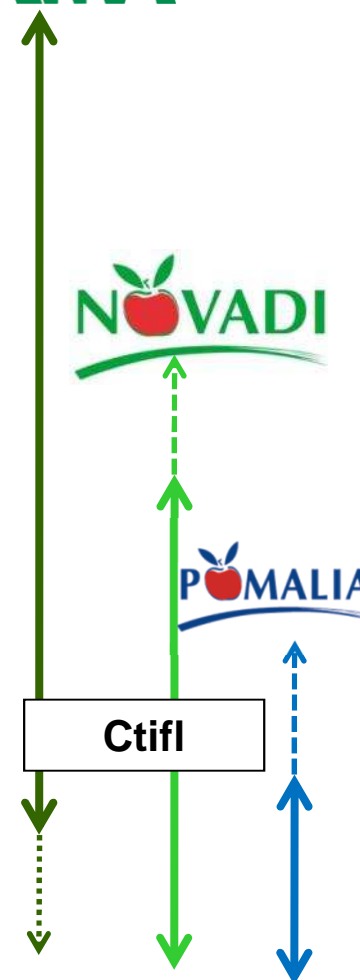
**Hybridation** => créer les meilleures combinaisons

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

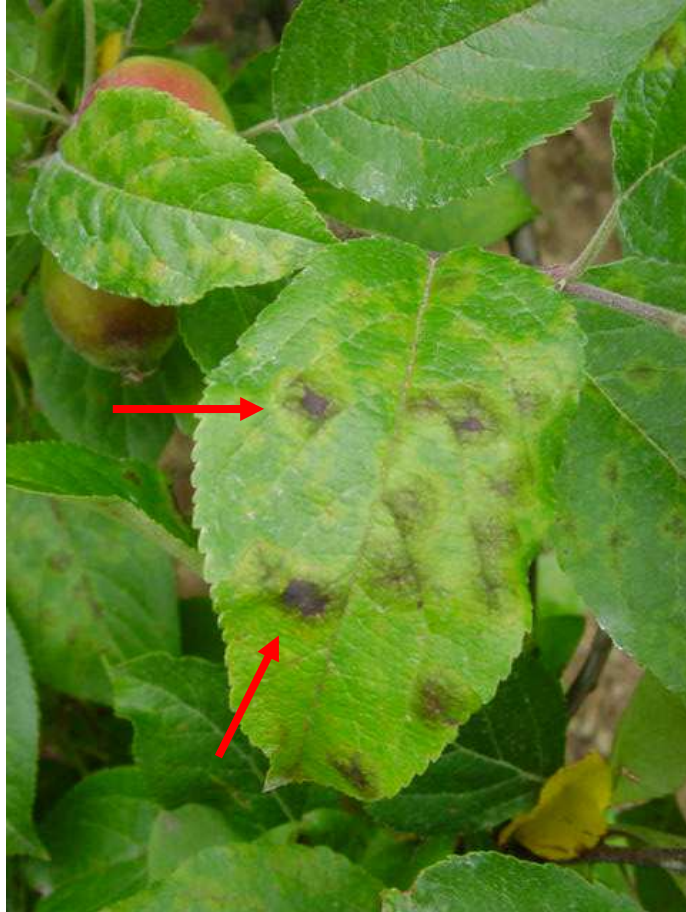


**Puceron cer**





# 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

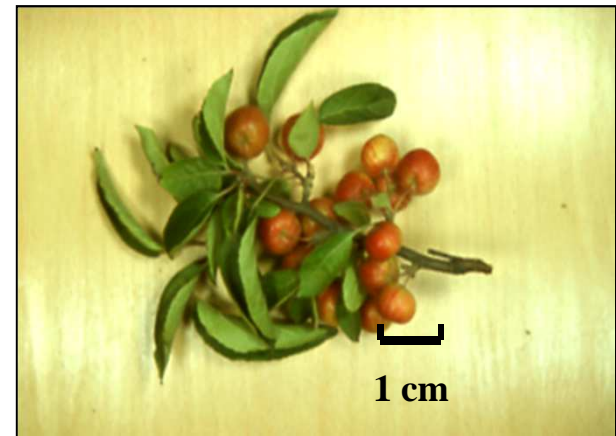




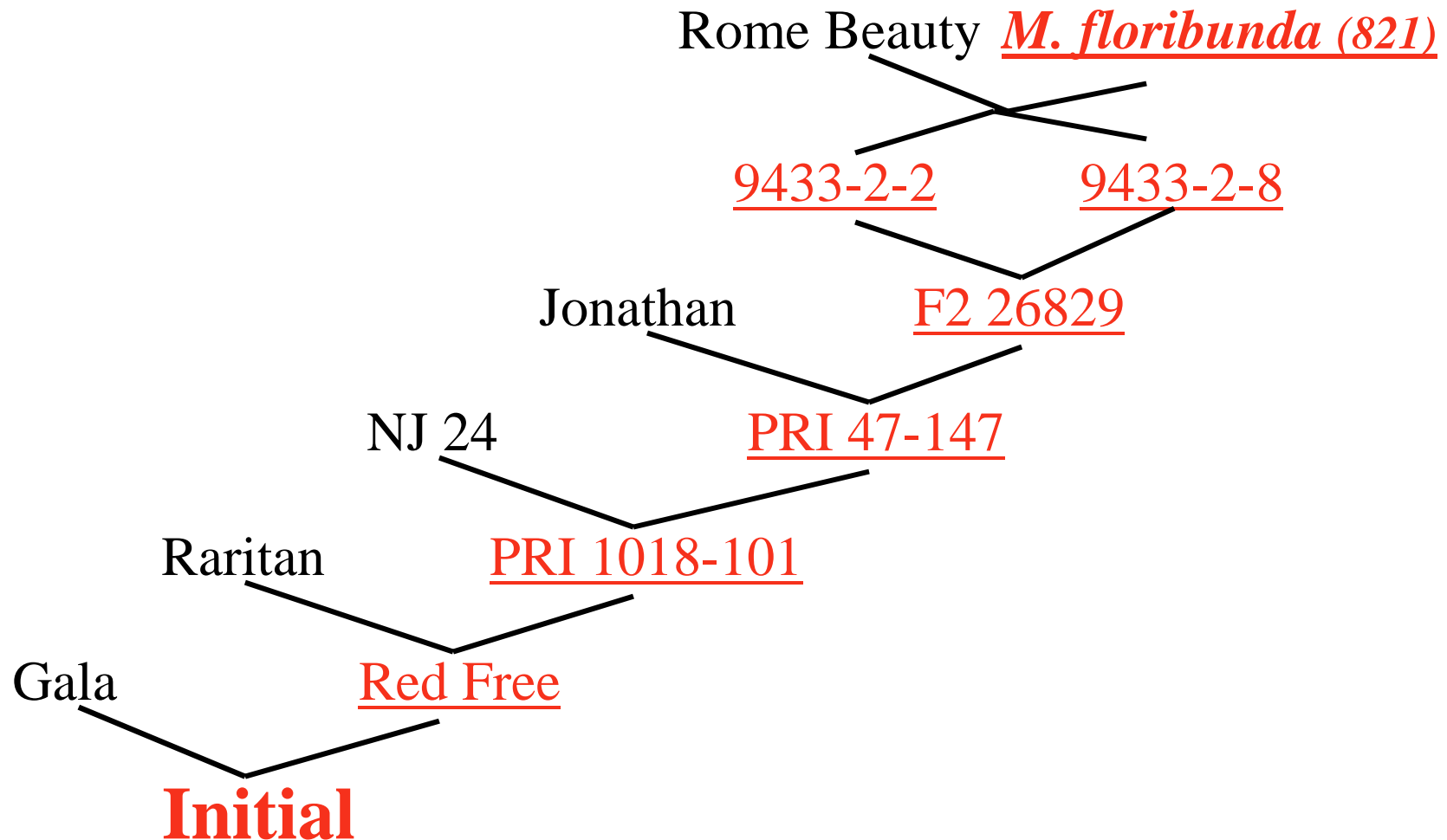
# Généalogie des hybrides résistant à la tavelure

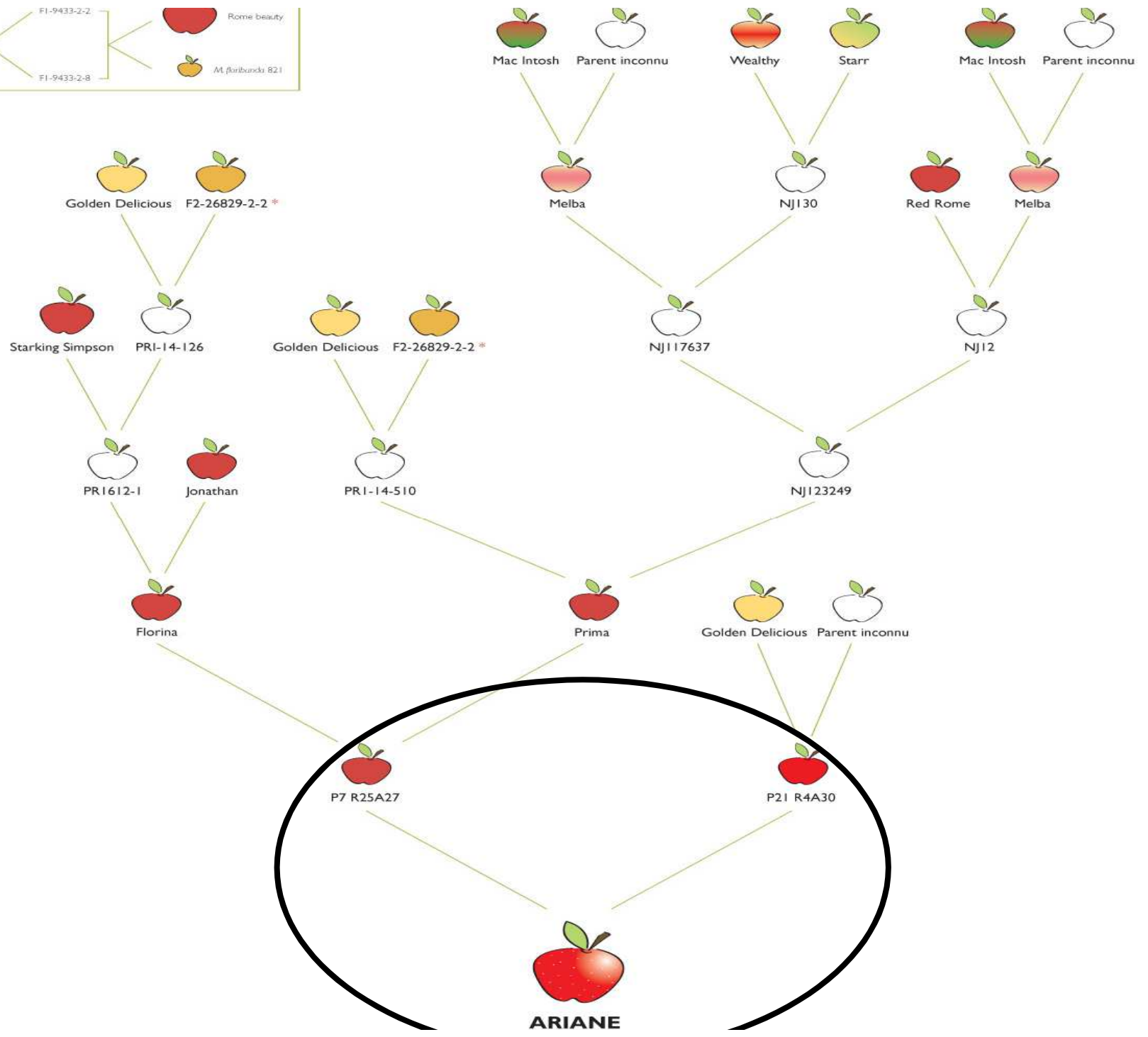
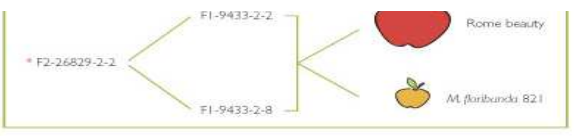
Rome Beauty x *M. floribunda* (821)

V<sub>f</sub>



# 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

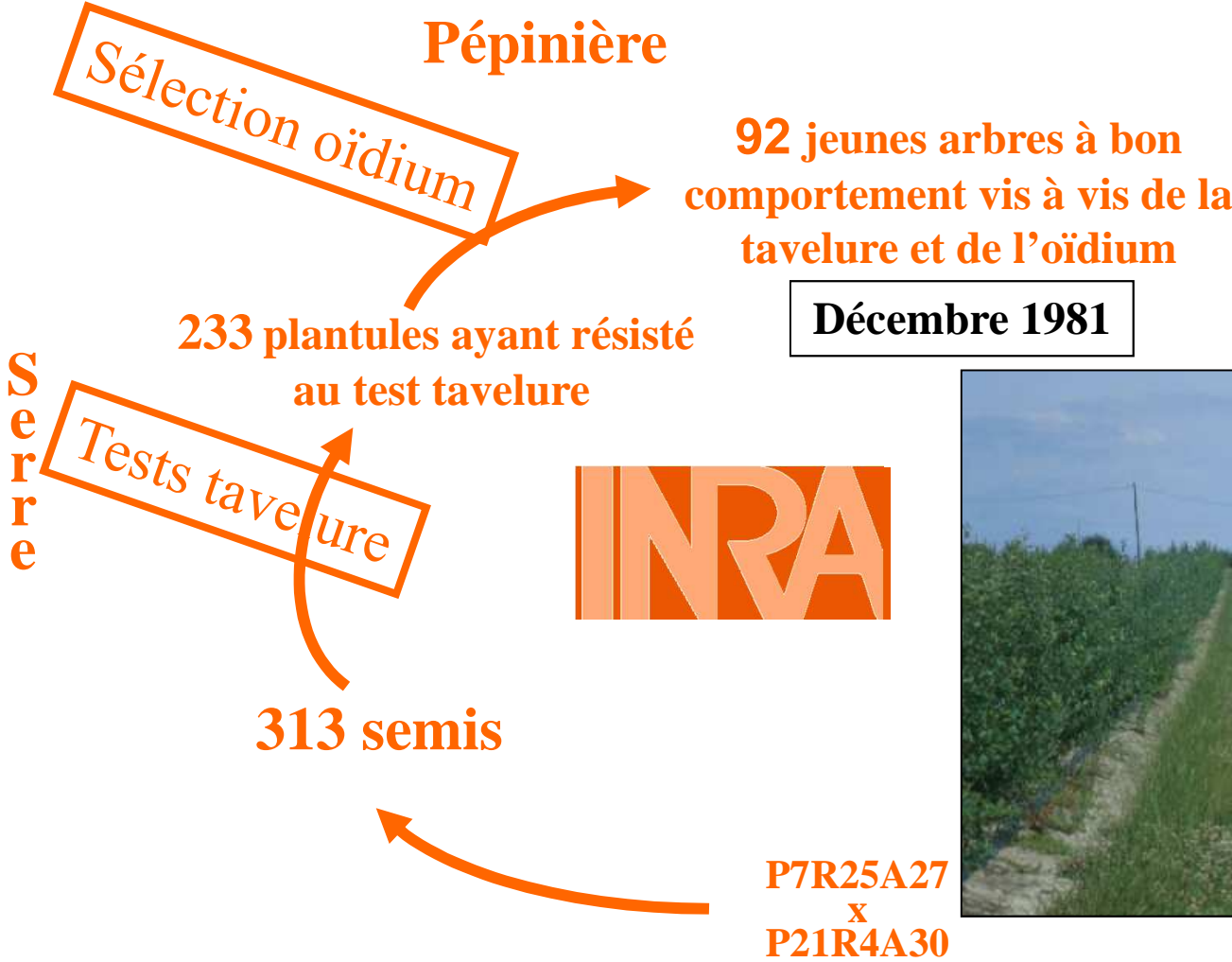
Février 1980

313 semis

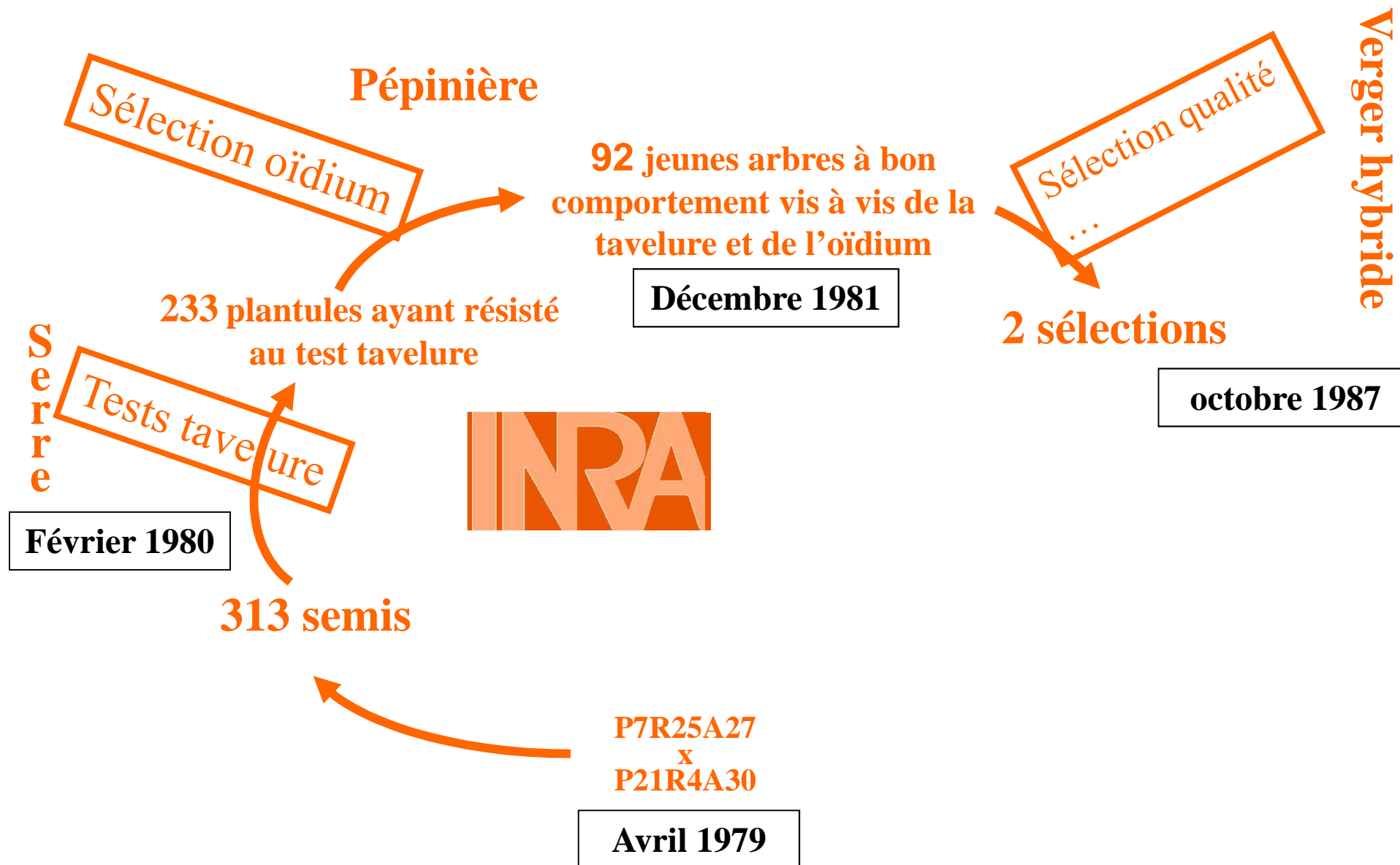


P7R25A27  
x  
P21R4A30

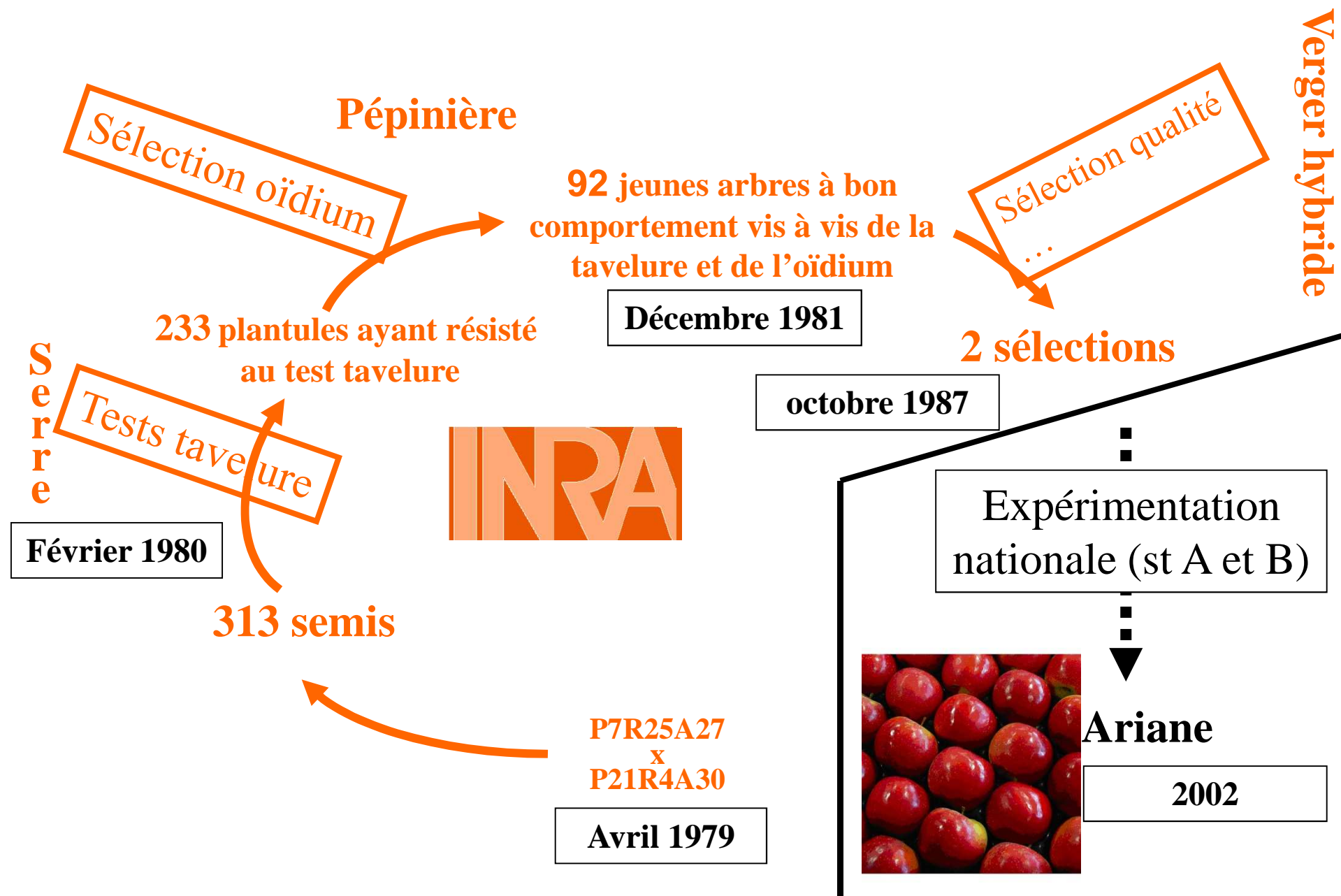
# Sélection d'Ariane



# Sélection d'Ariane



# Sélection d'Ariane



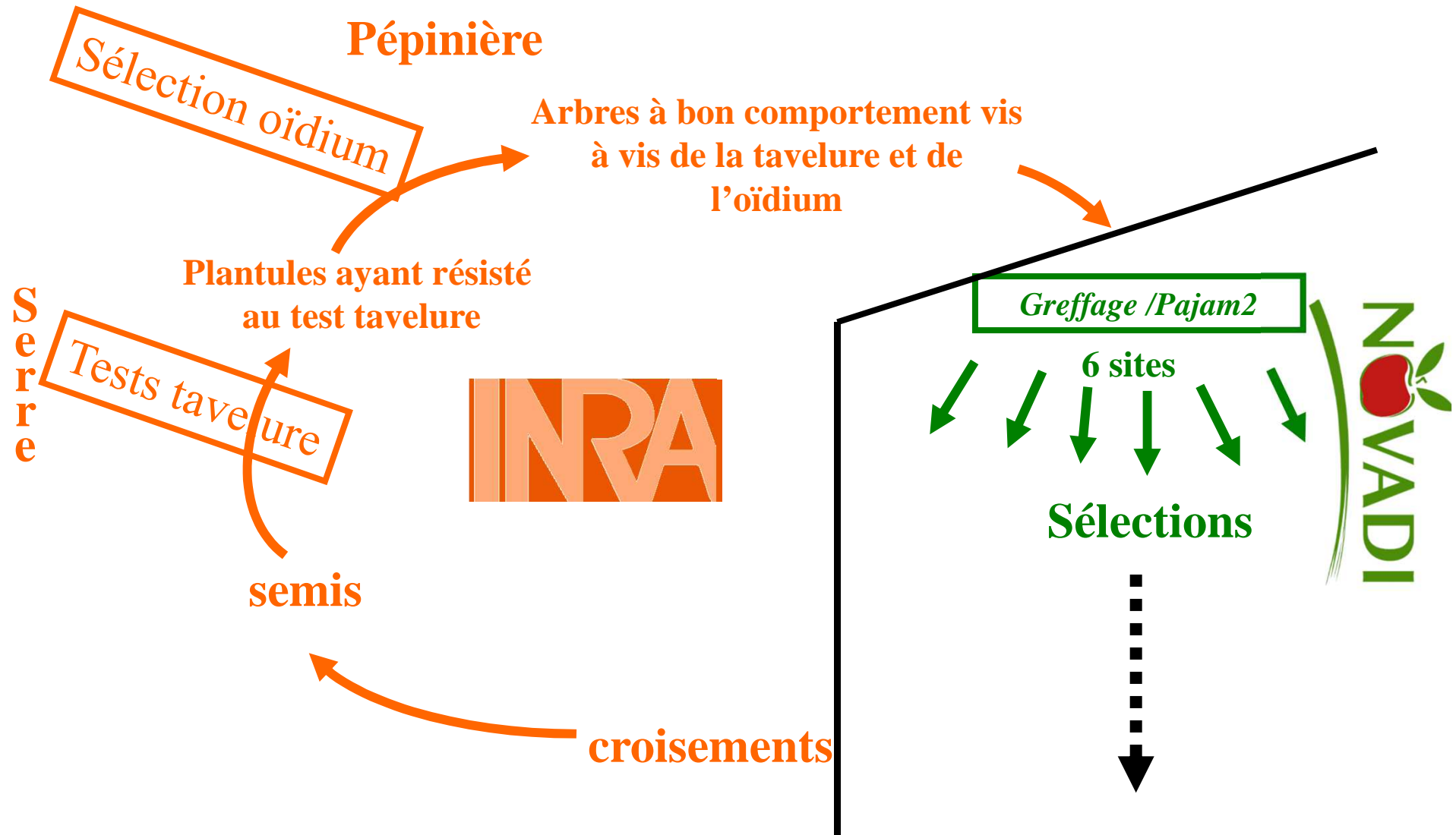


# Evolution du partenariat INRA-profession dans le programme de création variétale pommier

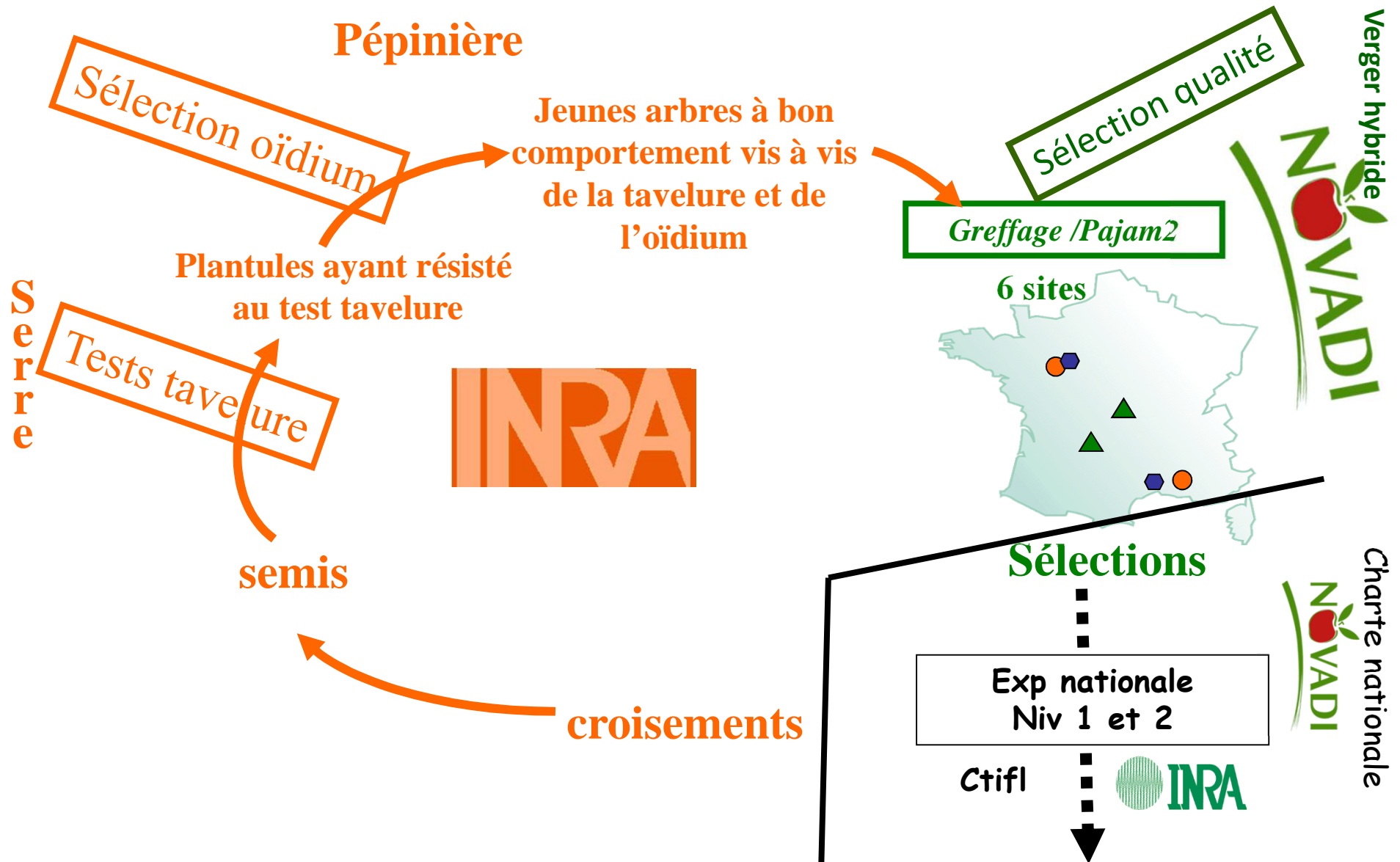
Programme  
INRA-Novadi



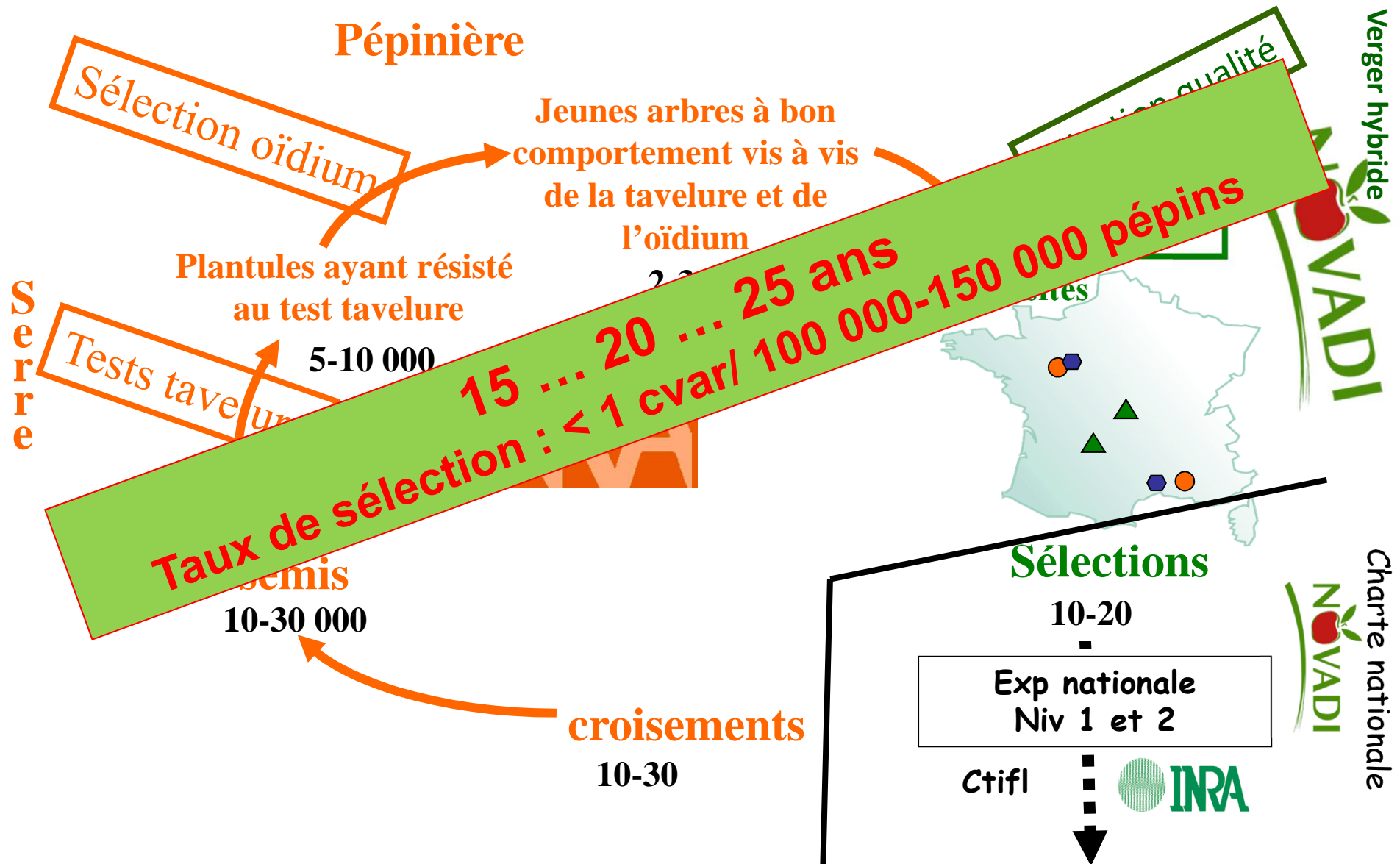
# Nouveau schéma de sélection programme INRA-Novadi



# 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
<b>Gala</b>	Sensible	+	+	+
<b>Golden del.</b>	Sensible	+	+	+
<b>Priscilla</b>	'résistante'	-	-	-
<b>Prima</b>	'résistante'	-	-	-
<b><i>M. flor. 821</i></b>	'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
<b>Gala</b>	aucune	+	+	+	+	+	+
<b>Golden del.</b>	$V_g$	+	+	+	+	-	+
<b>Priscilla</b>	$V_f$	-	-	-	+	+	+
<b>Prima</b>	$V_f + V_g$	-	-	-	+	-	+
<b><i>M. flor.</i> 821</b>	$V_f + V_{fh}$	-	-	-	-	+	+

‘+’ = 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 »



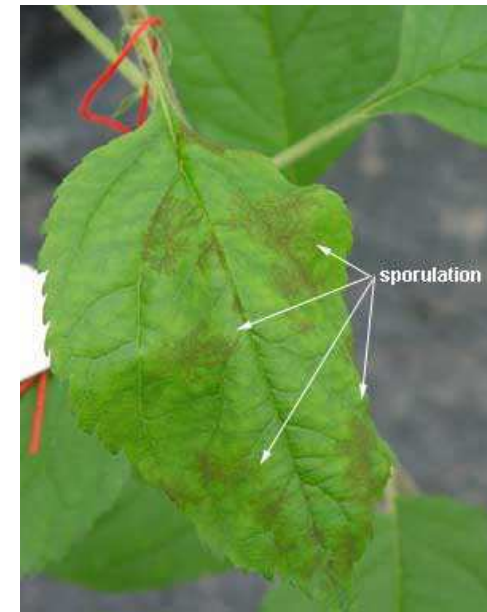
# Recherche de “nouveaux” géniteurs porteurs de résistance durable

- 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	yellow	red	red	1	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	green	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	green	red	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	red	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	yellow	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	red	yellow	yellow	yellow	
Discovery	red	1	green	na	na	yellow	green	green	green	green	green	green	green	green	green	yellow	yellow	yellow	green	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	green	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
<b>Gala</b>	aucune	+	+	+	+	+	+
<b>Golden del.</b>	$V_g$	+	+	+	+	-	+
<b>Priscilla</b>	$V_f$	-	-	-	+	+	+
<b>Prima</b>	$V_f + V_g$	-	-	-	+	+	+
<b><i>M. flor.</i> 821</b>	$V_f + V_{fh}$	-	-	-	-	+	+
<b>Nouveaux hybrides</b>	$V_f +$ 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**

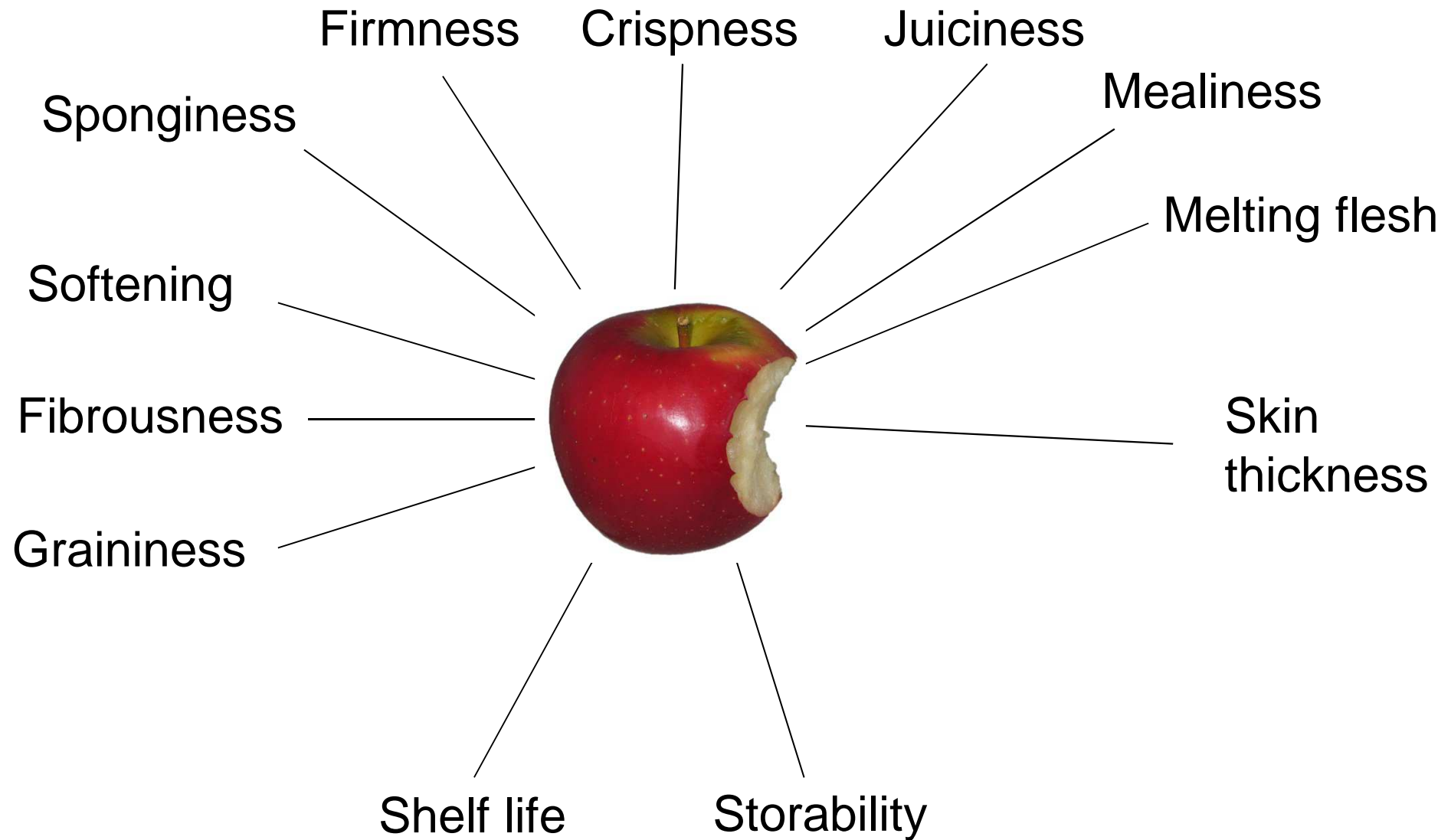
**Mêmes caractères évalués tout au long de la conservation**



# 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

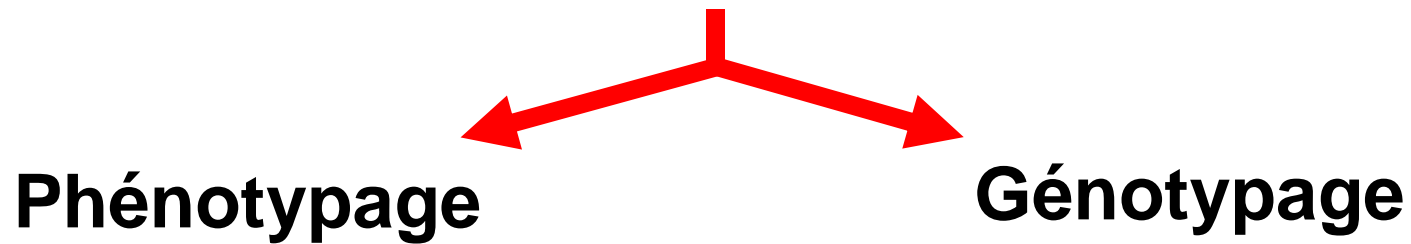
## – **Cartographie** des gènes majeurs et QTLs :

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



# Principales étapes de la cartographie génétique

## Descendance d'un croisement

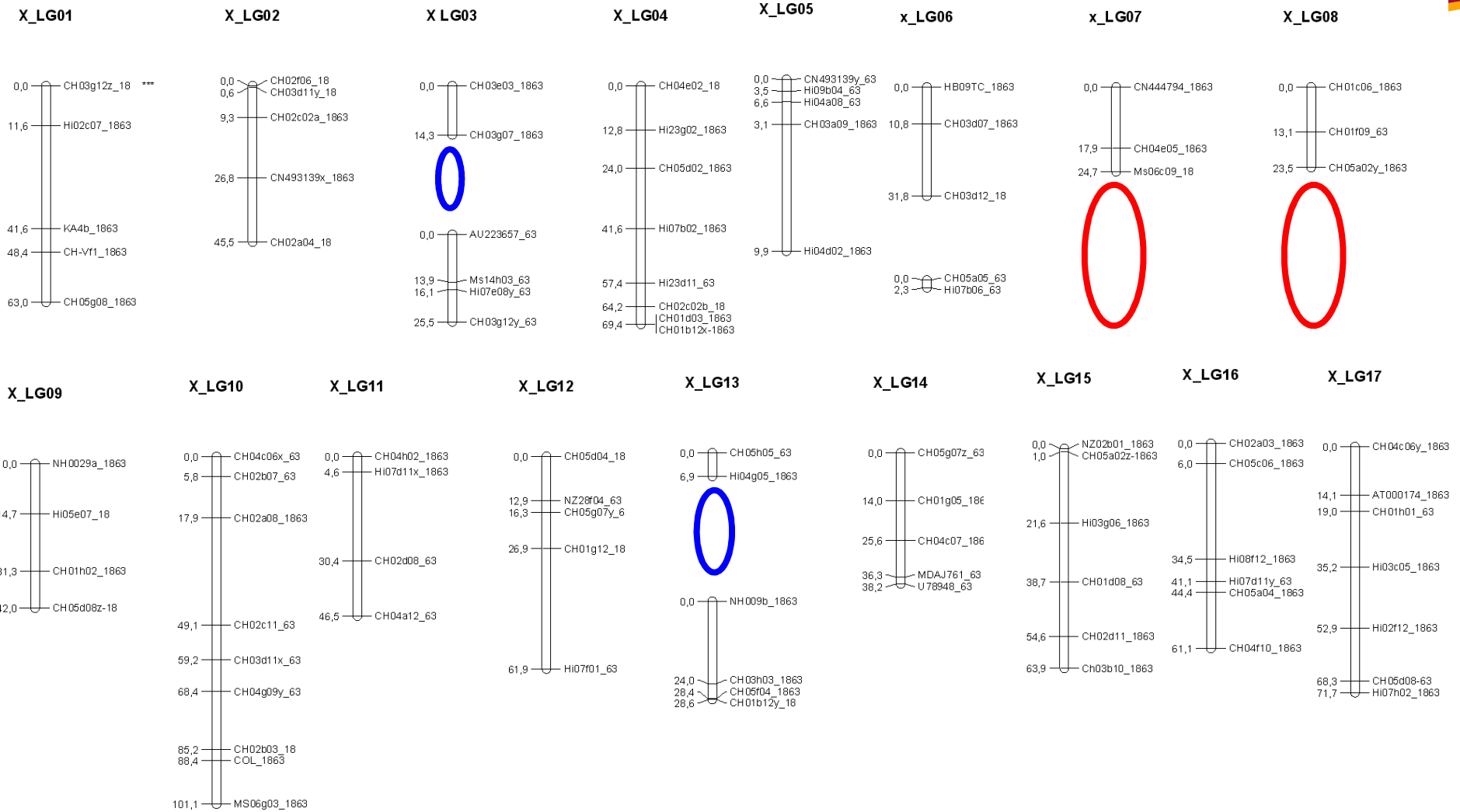


**Carte génétique**

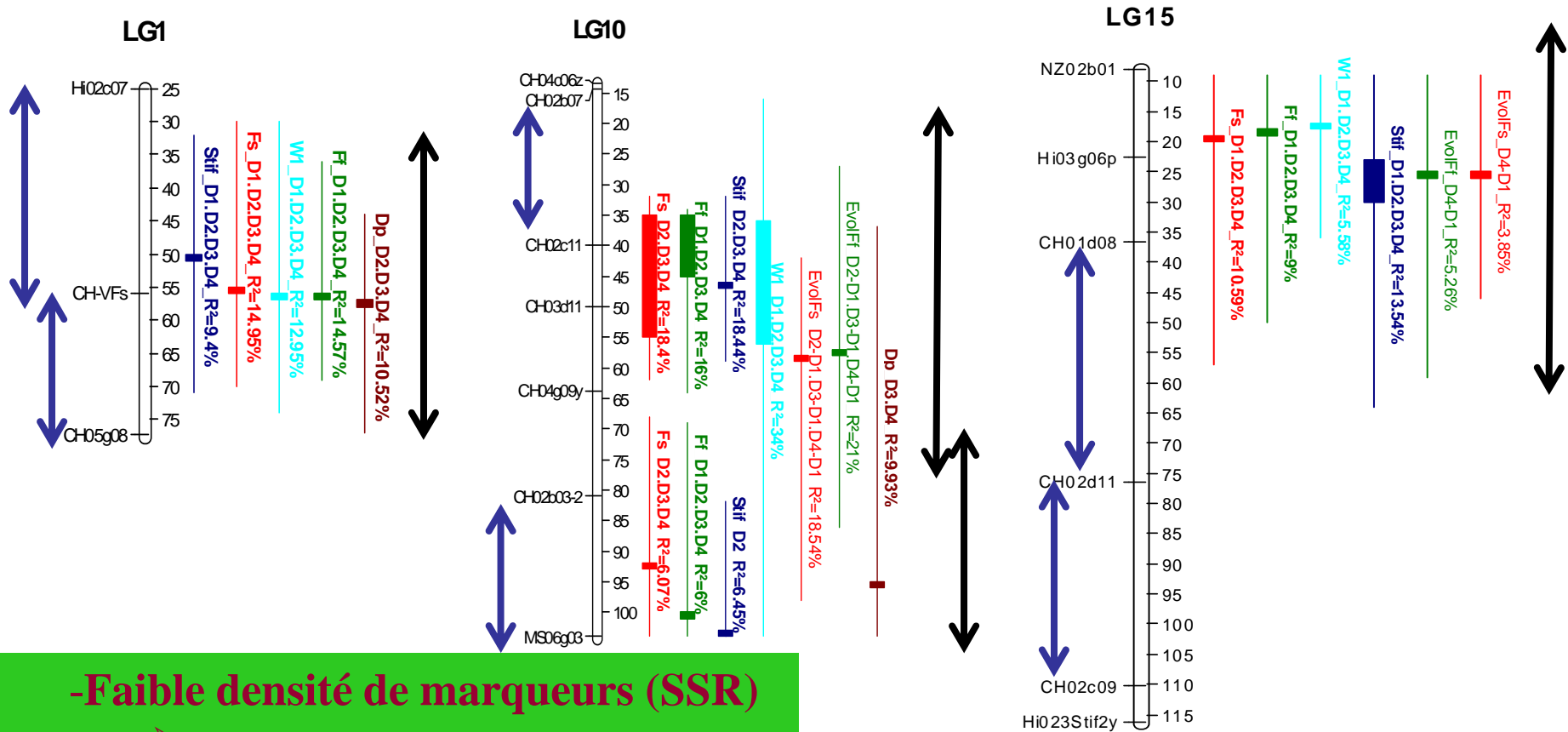
**Localisation sur le génome des caractères d'intérêt**

**SAM**

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



# 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

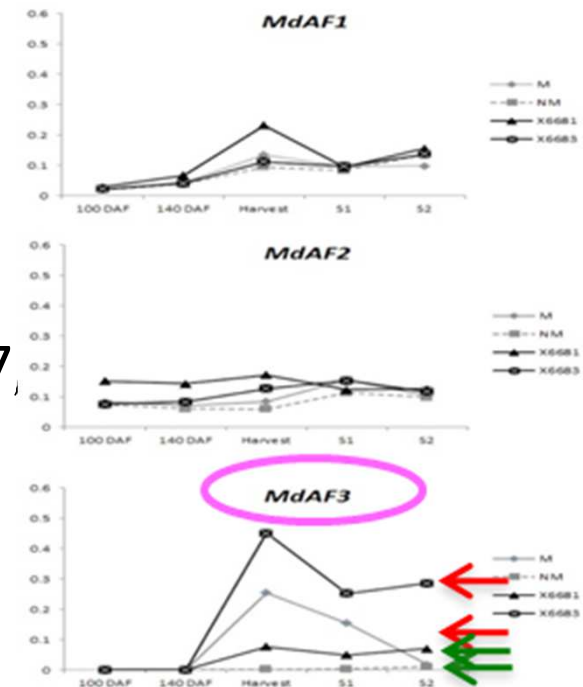
# Etudes génétiques sur les fruits

## – Cartographie de gènes majeurs et QTLs :

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

## – Génomique fonctionnelle

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



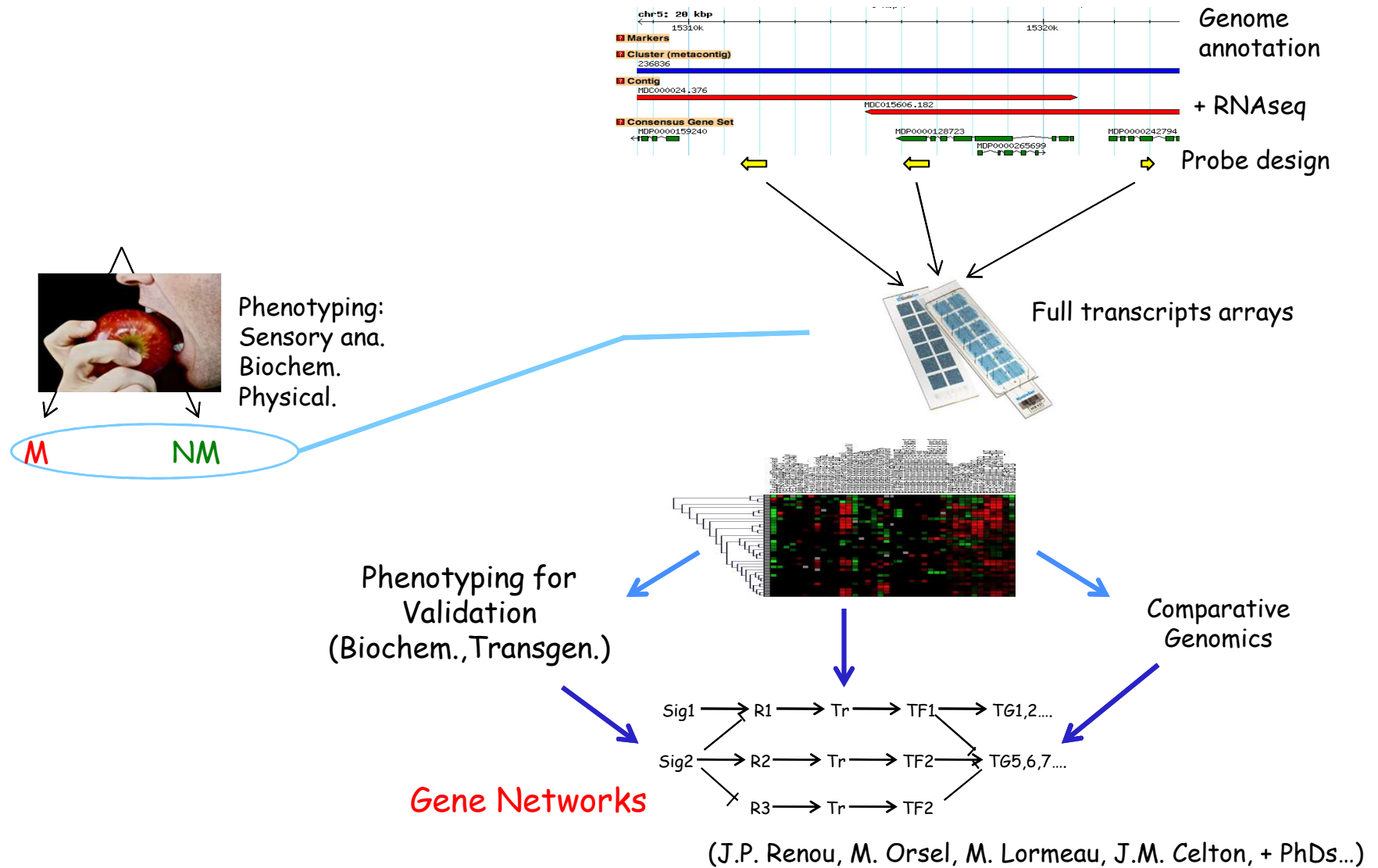
AF expression

Nobile et al, 2011



# Qualité des fruits et réseaux de gènes

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



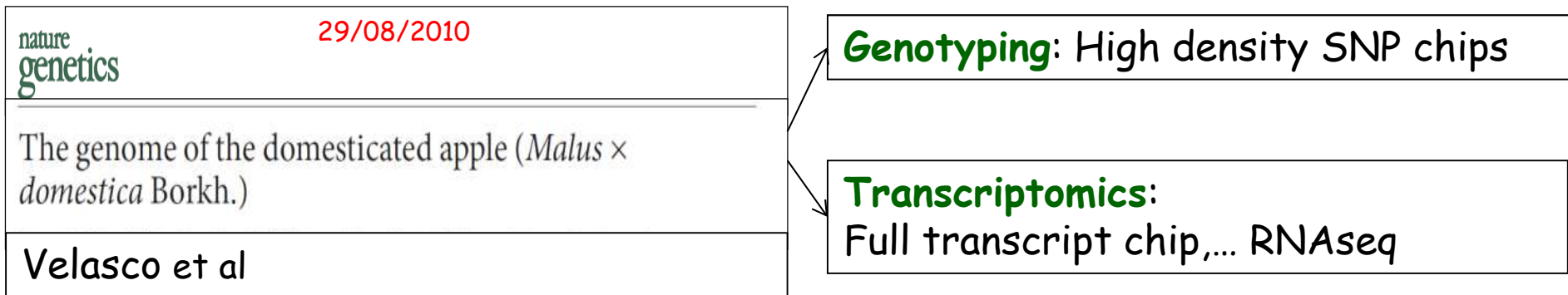
# Etudes génétiques sur les fruits

- **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<sub>f</sub>/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<sub>f</sub>/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

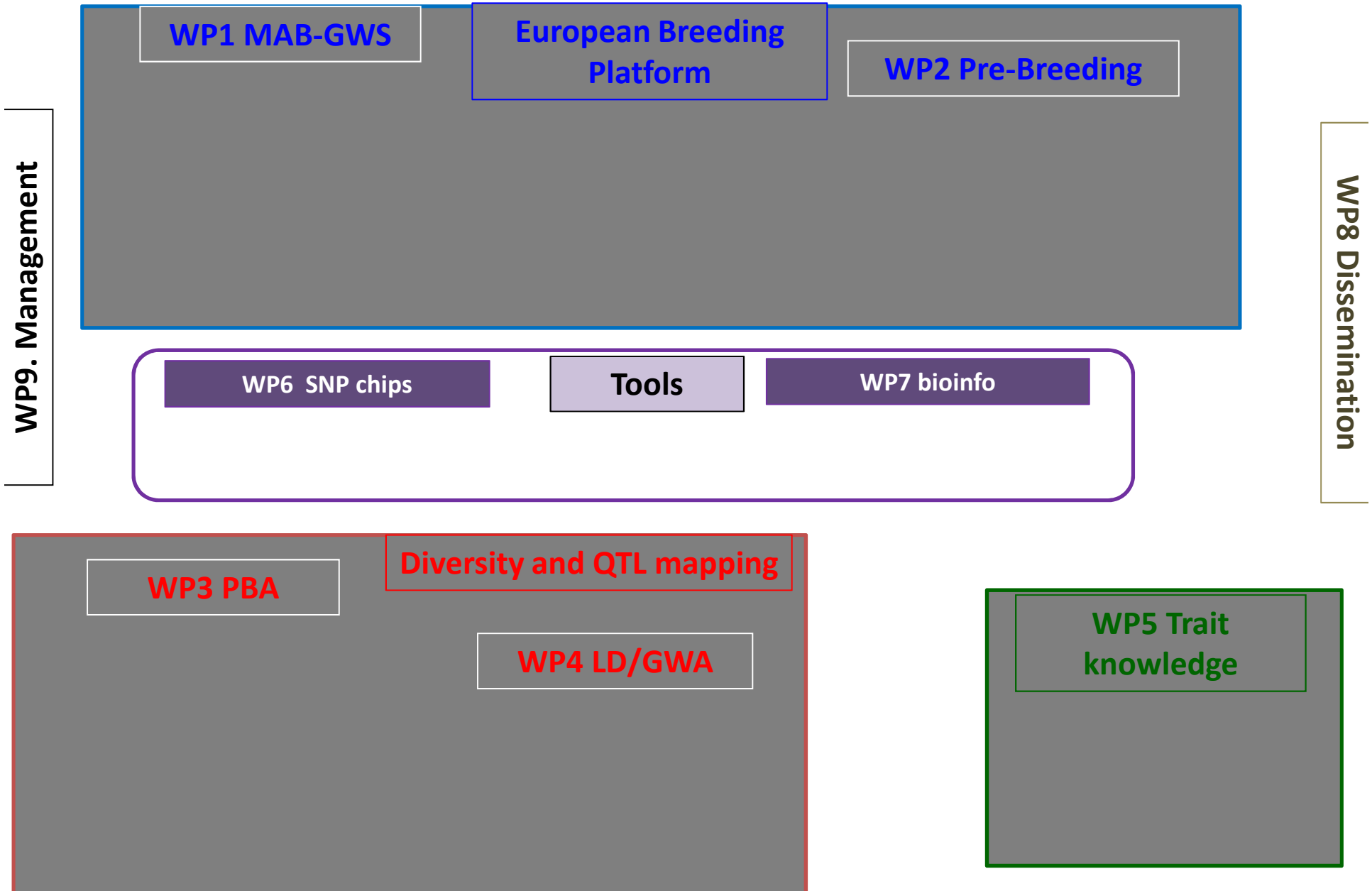
**→ Matériel végétal + outils + méthodologies  
/sélectionneurs**



# Structure



FruitBreedomics





# Fine genetic mapping



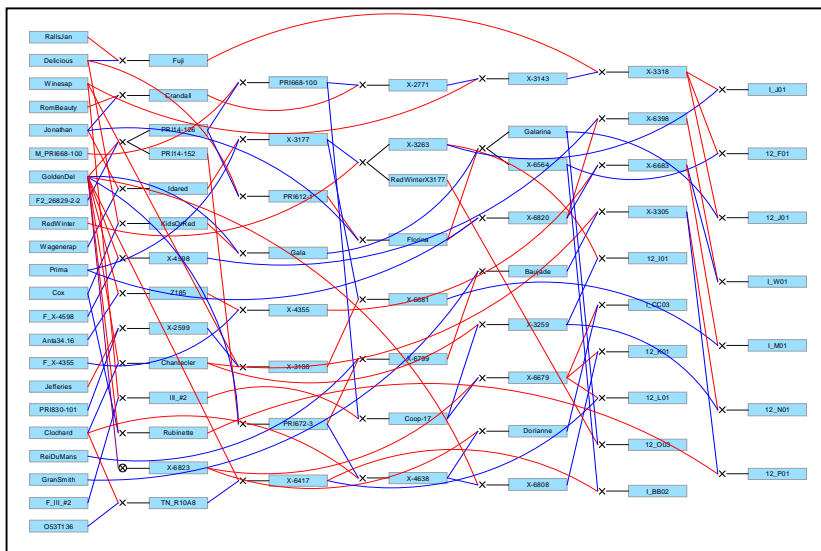
Allelic diversity

Pedigree Based Analysis

Association Genetics

MAPPING POPULATIONS

LOCAL CVARS



Apple  
30 progenies  
20K SNP chip

Apple  
>400K SNP chip

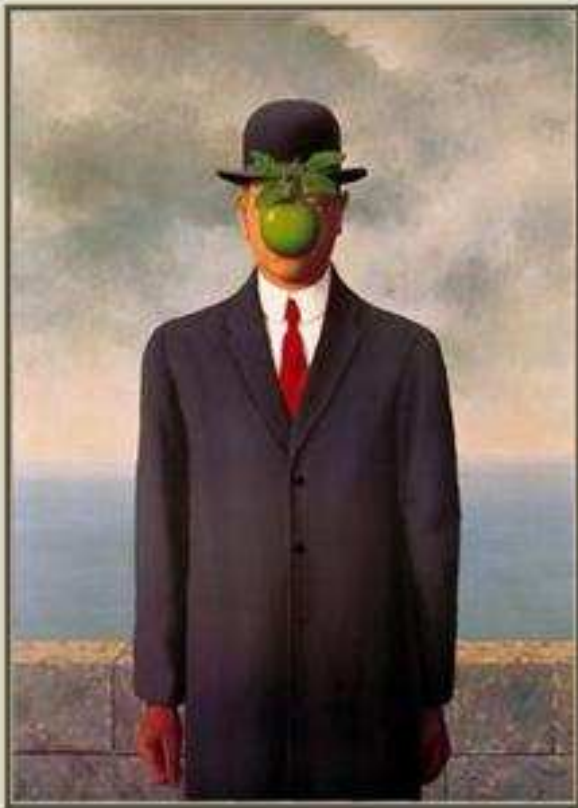
# Qqs mots pour conclure...

**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*

