

LUTTE GENETIQUE CONTRE LE MILDIU DE LA POMME DE TERRE : POINT SUR LES TRAVAUX REALISES EN FRANCE ET PERSPECTIVES

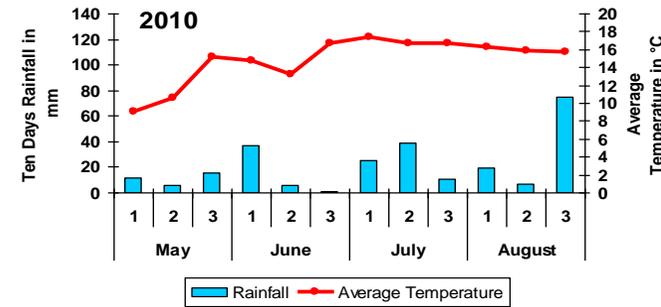
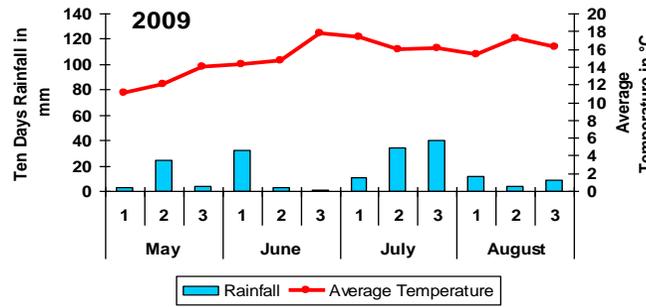
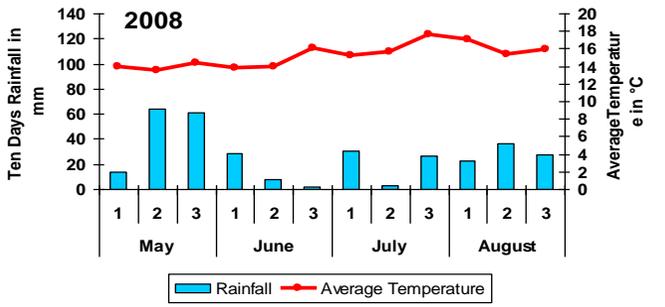
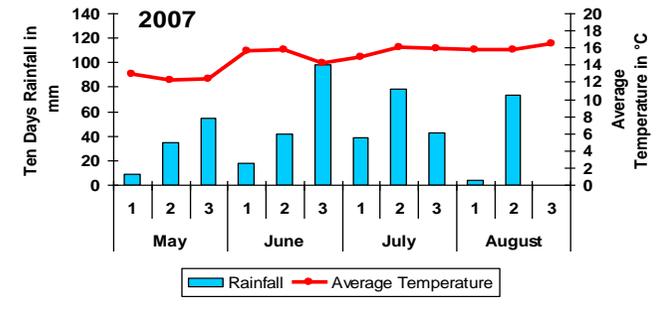
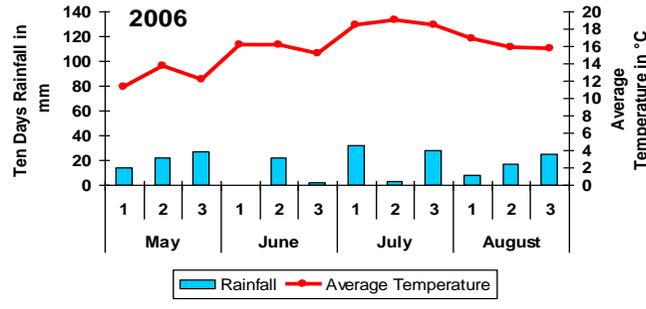
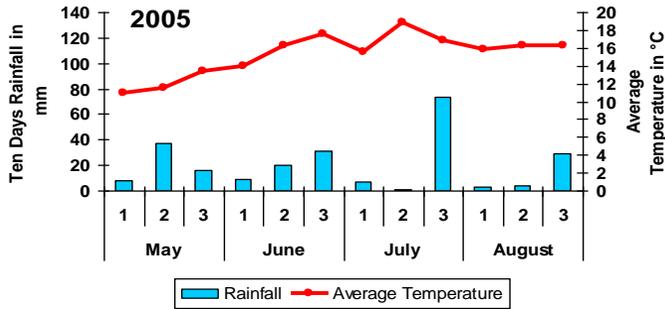
Réunion finale du projet Gerephyti
6 février 2018



**Le site INRA de
Ploudaniel est
situé en
Bretagne, une
région française
avec un climat
océanique très
typique**



Les températures moyennes et précipitations sont très favorables au développement du mildiou de mai à aout



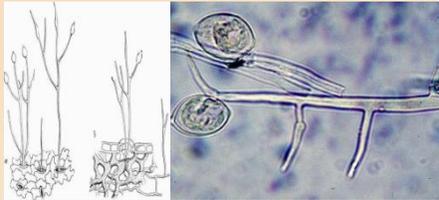
Les missions du site INRA Ploudaniel :

1- recherches sur la pomme de terre

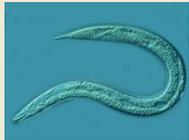
Mildiou

Variété résistante

Variété sensible



Nématodes à kystes et à galle



Virus



- Recherche de résistances chez la pomme de terre ou ses espèces apparentées
- Amélioration de l'espèce cultivée par croisements et suivi des gènes par phénotypage (tests de résistance) et/ou avec des marqueurs moléculaires



Les missions du site INRA Ploudaniel :

2- conservation de matériel végétal au sein du Centre de Ressources Biologiques (CRB) BrACySol (*Brassica, Allium, Cynara, Solanum*)

Pomme de terre

12 000 accessions



Artichaut - Cardon

20 accessions

Echalote – Ail

446 accessions



Choux

1047 accessions



Colza

2976 accessions



1200 variétés
S. tuberosum

1500 clones
dihaploïdes

3000
clones correspondant
à des populations de
cartographie

4700
hybrides intra et inter
spécifiques

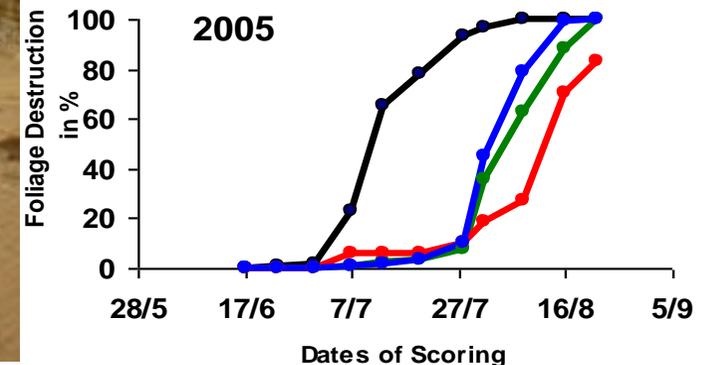
800
clones appartenant à
32 espèces sauvages
apparentées

**La collection française
de solanacées
tubéreuses comprend
plus de 12 000 clones**

**800 géniteurs
améliorés**



Le comportement du matériel végétal est évalué au champ en conditions de contamination naturelle et sans traitement chimique



Screening du matériel en conditions extérieures



Rang
d'infecteurs cv.
Bintje

Clones issus
d'espèces
apparentées
sauvages
testés pour
leur résistance
au mildiou

		Nombre d'accession s testées	Nombre de clones testés	Nombre de clones par note (1 = très sensible – 9 = très résistant)									Moyen ne		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9			
<i>Solanum</i>	<i>acaule</i>	1	1			1									3
<i>Solanum</i>	<i>andigena</i>	21	123		12	59	30	15	7						3,6
<i>Solanum</i>	<i>berthaultii</i>	4	13				1	3	4	4	1				6,1
<i>Solanum</i>	<i>bulbocastanum</i>	3	6								1		5		8,8
<i>Solanum</i>	<i>brachistotrichum</i>	2	4			1	1	1			1				5,0
<i>Solanum</i>	<i>chacoense</i>	19	88		9	64	9	4	2						3,2
<i>Solanum</i>	<i>cardiophyllum</i>	2	3			3									3,0
<i>Solanum</i>	<i>demissum</i>	24	70				1			2	2		65		8,8
<i>Solanum</i>	<i>fendleri</i>	1	1					1							5,0
<i>Solanum</i>	<i>gourlayi</i>	6	12			7	3	2							3,6
<i>Solanum</i>	<i>hougasii</i>	1	5										5		9,0
<i>Solanum</i>	<i>kurtzianum</i>	1	1			1									3,0
<i>Solanum</i>	<i>phureja</i>	26	39		1	11	13	4	4	4	2				4,5
<i>Solanum</i>	<i>polytrichon</i>	1	11				1			6	4				7,1
<i>Solanum</i>	<i>schenckii</i>	2	24								1		23		9,0
<i>Solanum</i>	<i>spgazzinii</i>	12	43			37	4		1	1					3,3
<i>Solanum</i>	<i>sparsipilum</i>	6	14			11	2		1						3,4
<i>Solanum</i>	<i>stenotomum</i>	11	26			17	5	3	1						3,5
<i>Solanum</i>	<i>stoloniferum</i>	4	19			1							18		8,7
<i>Solanum</i>	<i>tarijense</i>	4	14			10	1	1	2						3,6
<i>Solanum</i>	<i>trifidum</i>	3	4				1	1		1	1				6,0
<i>Solanum</i>	<i>vernei</i>	16	47			12	9	12	8	4	1		1		4,8

Total 22 species

170

568

0

22

235

81

47

30

22

131

11 species

De façon assez inattendue on note un bon niveau de résistance chez *S. demissum* alors que presque tous les gènes R identifiés chez cette espèce sont aujourd'hui contournés

		Nombre d'accessions testées	Nombre de clones testés	Nombre de clones par note (1 = très sensible – 9 = très résistant)									Moyenne	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9		
<i>Solanum</i>	<i>acaule</i>	1	1			1								3
<i>Solanum</i>	<i>andigena</i>	21	123	12	59	30	15	7						3,6
<i>Solanum</i>	<i>berthaultii</i>	4	13			1	3	4	4	1				6,1
<i>Solanum</i>	<i>bulbocastanum</i>	3	6							1		5		8,8
<i>Solanum</i>	<i>brachistotrichum</i>	2	4			1	1	1		1				5,0
<i>Solanum</i>	<i>chacoense</i>	19	88	9	64	9	4	2						3,2
<i>Solanum</i>	<i>cardiophyllum</i>	2	3			3								3,0
S.	<i>demissum</i>	24	70			1			2	2	65			8,8
<i>Solanum</i>	<i>fendleri</i>	1	1					1						5,0
<i>Solanum</i>	<i>gourlayi</i>	6	12			7	3	2						3,6
<i>Solanum</i>	<i>hougasii</i>	1	5									5		9,0
<i>Solanum</i>	<i>kurtzianum</i>	1	1			1								3,0
<i>Solanum</i>	<i>phureja</i>	26	39	1	11	13	4	4	4	2				4,5
<i>Solanum</i>	<i>polytrichon</i>	1	11			1			6	4				7,1

Deux des espèces étudiées auraient sûrement été écartées si nous n'avions étudié que leur comportement au champ

		Nombre d'accessions testées	Nombre de clones testés	Nombre de clones par note (1 = très sensible – 9 = très résistant)									Moyenne		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9			
<i>Solanum</i>	<i>acaule</i>	1	1			1									3
<i>Solanum</i>	<i>andigena</i>	21	123	12	59	30	15	7							3,6
<i>Solanum</i>	<i>berthaultii</i>	4	13			1	3	4	4	1					6,1
<i>Solanum</i>	<i>bulbocastanum</i>	3	6								1		5		8,8
<i>Solanum</i>	<i>brachistotrichum</i>	2	4			1	1	1				1			5,0
<i>Solanum</i>	<i>chacoense</i>	19	88	9	64	9	4	2							3,2
<i>Solanum</i>	<i>cardiophyllum</i>	2	3		3										3,0
<i>Solanum</i>	<i>demissum</i>	24	70			1				2	2		65		8,8
<i>Solanum</i>	<i>fendleri</i>	1	1					1							5,0
<i>Solanum</i>	<i>gourlayi</i>	6	12		7	3	2								3,6
<i>Solanum</i>	<i>hougasii</i>	1	5										5		9,0
<i>Solanum</i>	<i>kurtzianum</i>	1	1		1										3,0
<i>Solanum</i>	<i>phureja</i>	26	39	1	11	13	4	4	4	2					4,5
<i>Solanum</i>	<i>polytrichon</i>	1	11			1				6	4				7,1
<i>Solanum</i>	<i>schenckii</i>	2	24								1		23		9,0
S.	<i>spiegazzinii</i>	12	43			37	4		1	1					3,3
S.	<i>sparsipilum</i>	6	14			11	2		1						3,4

Le comportement des clones a également été étudié grâce à des tests réalisés en conditions contrôlées

Test sur feuilles



Efficacité de l'infection, vitesse de croissance de la lésion, période de latence, sporulation

Test sur tiges



Réceptivité, inductibilité d'une réaction de défense, stabilité de la réponse

Chez les deux espèces *S. sparsipilum* et *S. spgazzinii* on trouve des clones présentant des niveaux intéressants de résistance sur tige

Theor Appl Genet (2009) 119:705–719
DOI 10.1007/s00122-009-1081-7

ORIGINAL PAPER

Major-effect QTLs for stem and foliage resistance to late blight in the wild potato relatives *Solanum sparsipilum* and *S. spgazzinii* are mapped to chromosome X

Sarah Danan · Jean-Eric Chauvin · Bernard Caromel ·
Jean-Denis Moal · Roland Pellé · Véronique Lefebvre



Clone résistant
au niveau de la
tige

S. spgazzinii



Clone sensible
au niveau de la
tige

S. tuberosum

Introgression d'allèles de résistance dans le génome de *S. tuberosum*

	Nombre de croisements tentés	Nombre de croisements réussis	Pourcentage de croisements réussis
<i>Total</i>	2359	505	21%

Total de 17 300 graines semées

Activités de phénotypage

4096 clones phénotypés sur tiges et/ou sur plateforme

Activités de génotypage

2729 clones génotypés

Elimination de 625 clones soit 15%

Les croisements qui marchent et ceux qui ne marchent pas

<i>Solanum acaule</i>	
<i>Solanum andigena</i>	
<i>Solanum berthaultii</i>	Oui
<i>Solanum bulbocastanum</i>	Non
<i>Solanum brachistotrichum</i>	Non
<i>Solanum chacoense</i>	
<i>Solanum cardiophyllum</i>	
<i>Solanum demissum</i>	Oui
<i>Solanum fendleri</i>	
<i>Solanum gourlayi</i>	
<i>Solanum hougasii</i>	+ ou -
<i>Solanum kurtzianum</i>	
<i>Solanum phureja</i>	Oui
<i>Solanum polytrichon</i>	Oui
<i>Solanum schenckii</i>	Non
<i>Solanum spagazzinii</i>	
<i>Solanum sparsipilum</i>	
<i>Solanum stenotomum</i>	
<i>Solanum stoloniferum</i>	Non
<i>Solanum tarijense</i>	
<i>Solanum trifidum</i>	Non
<i>Solanum vernei</i>	Oui

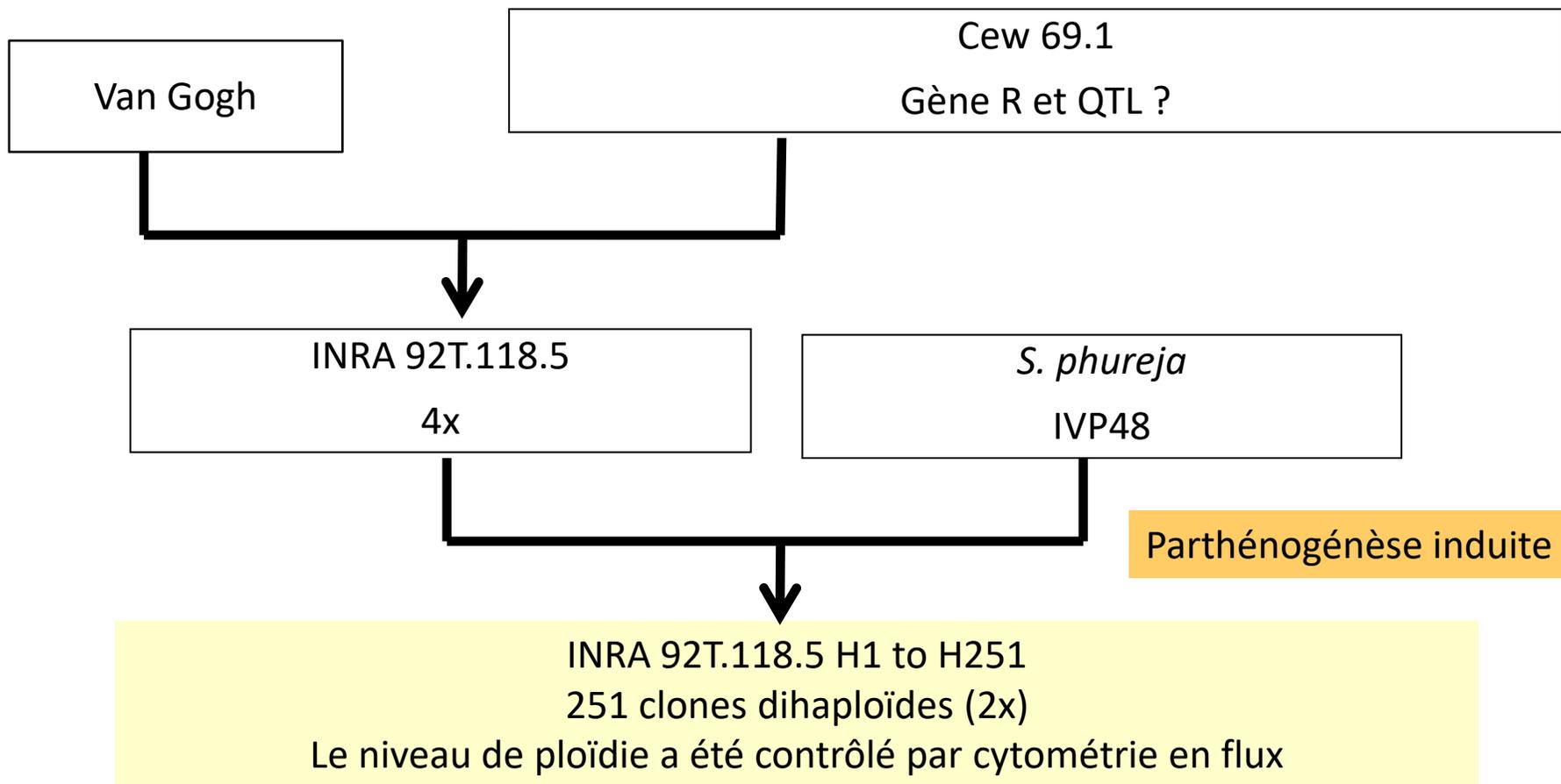
Valorisation

- Les géniteurs améliorés sont distribués sous exclusivité aux obtenteurs français réunis au sein de l'ACVNPT (Convention avec l'INRA depuis 48 ans)
- Les obtenteurs réalisent des croisements supplémentaires pour améliorer les autres caractères (précocité, rendement, aptitude à la transformation industrielle,...)

Variétés françaises résistantes au mildiou

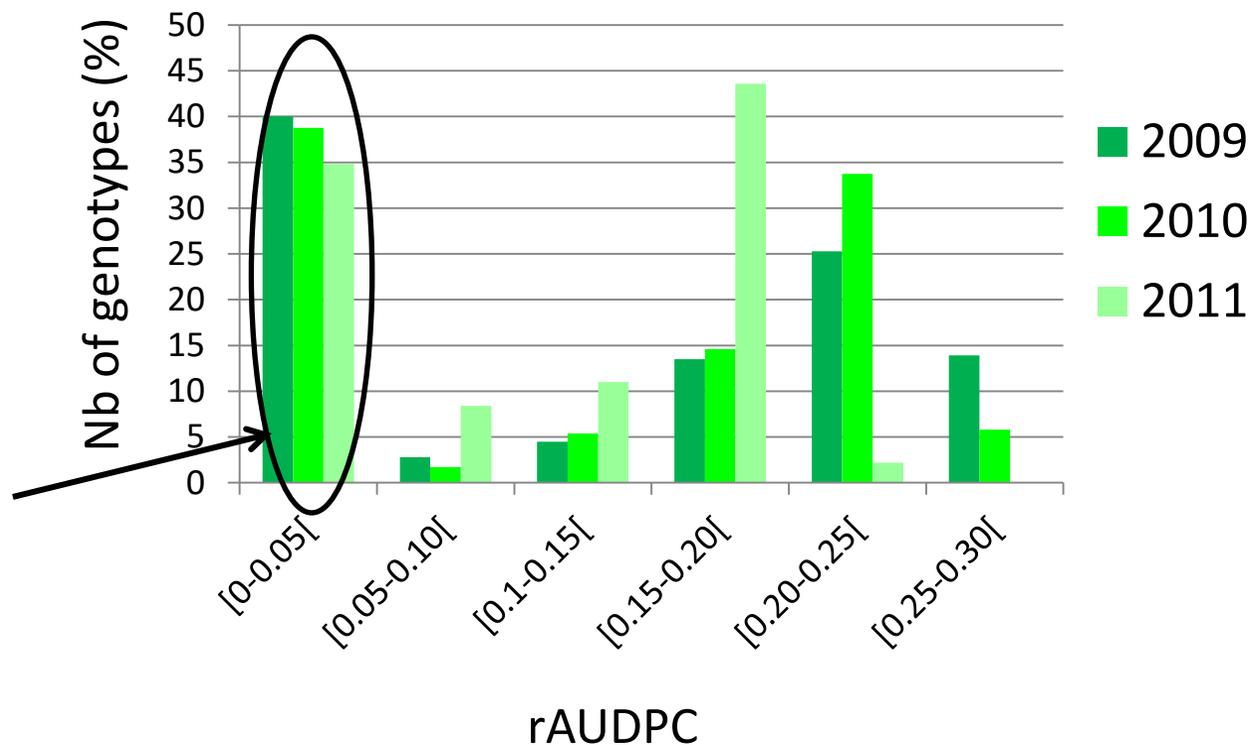
Coquine (2008),
Cephora (2013),
Passion (2014),
Maiwen (2015),
Tentation (2015),
Zen (2016),
Selena (2016),
Kelly (2016),
Makhaï (2017),
Delila (2017),
Azilis (2017)

Architecture de la résistance chez les géniteurs INRA ?



La caractérisation de la résistance au mildiou au champ confirme l'hypothèse d'une résistance combinant des gènes de résistance de type R et des QTL à effets partiels additifs

Génotypes avec des gènes de résistance de type R



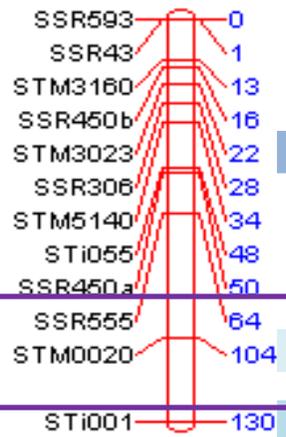
Analyse QTL sur descendance dihaploïde 92T.118. 5

↪ Identification des zones impliquées dans la résistance partielle et dans l'architecture

Zones impliquées dans caractères **Architecture**, **Maturité** et **Résistance partielle**

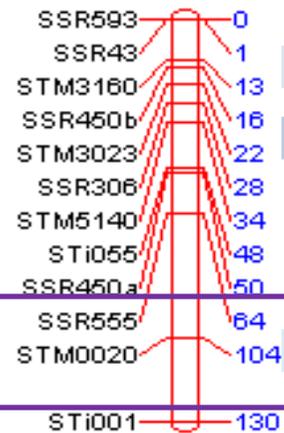
2009

Overall



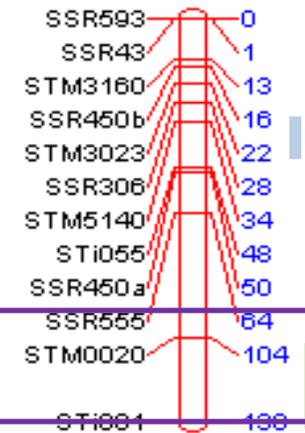
2010

Overall



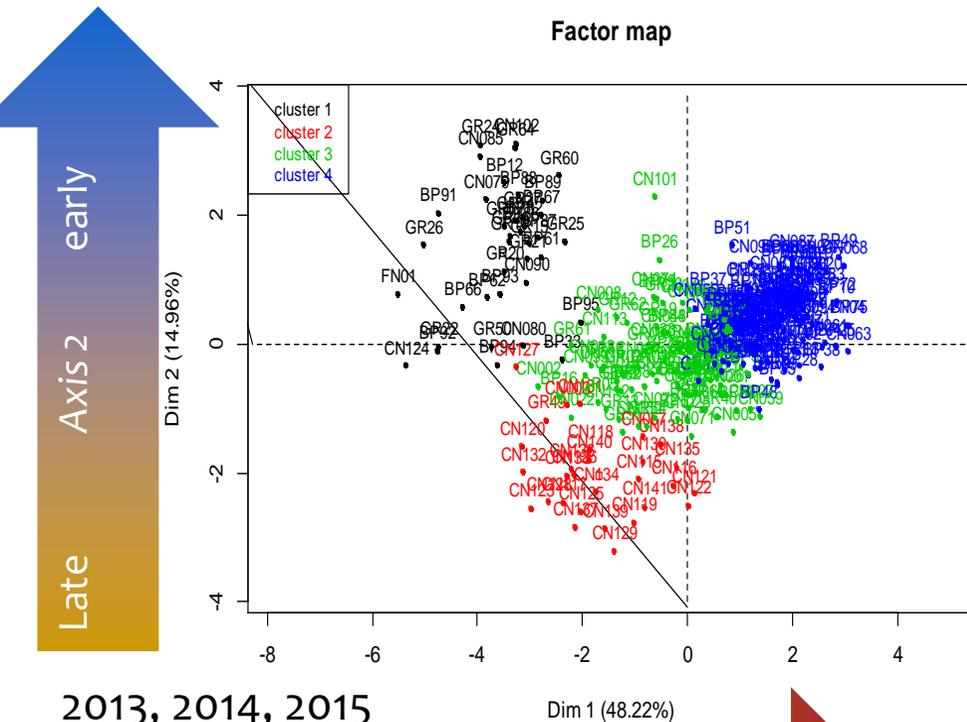
2011

Overall



Chromosome 4

Caractérisation phénotypique précise d'une collection de 280 génotypes



2013, 2014, 2015
n=280
rAUDPC, Δa , Δt
ACP puis CAH

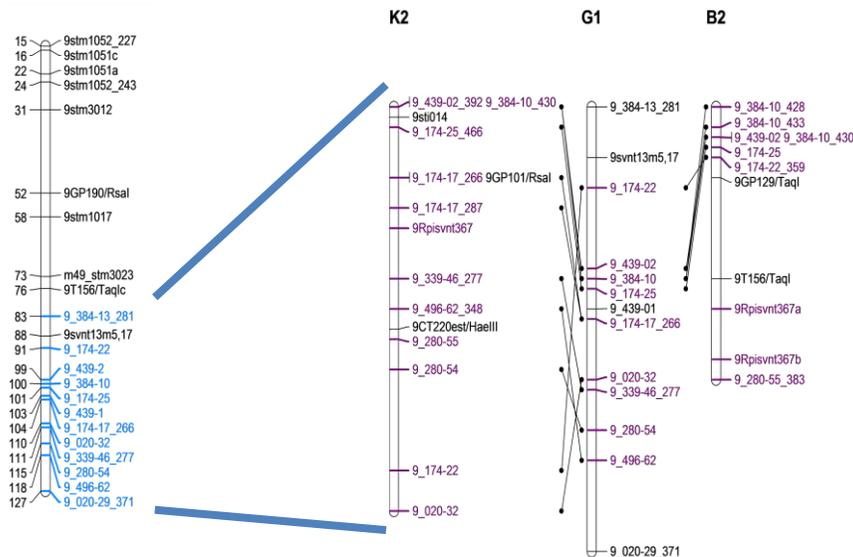
Resistance Axis 1
susceptibility

- Le matériel génétique se répartit en différents groupes
- Identification de
 - résistance stable qq soient années (CL1)
 - résistance quantitative de haut niveau exprimée en 2013 année explosive (CL3)

Marhadour, S., et al EAPR 2017

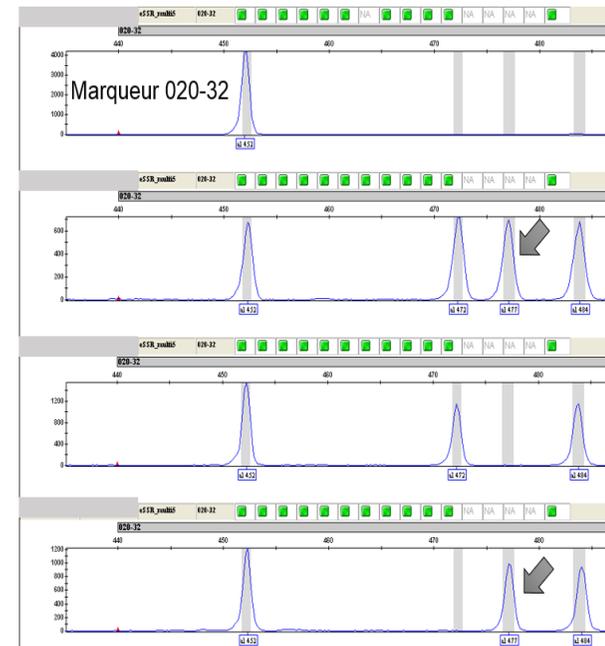
Le génome de référence permet de dériver des marqueurs utilisables en SAM

- Densification des cartes génétiques de plusieurs géniteurs de résistance provenant de la sélection Inra



Méar et al,
EAPR2015

- Dérivation, après validation sur la collection de géniteurs, de marqueurs utilisables en SAM



Marhadour &
Méar 2016
unpublished

Projet G2P-SOL

Linking genetic resources, genomes and phenotypes of solanaceous crops

Call: H2020 – SFS – 2015 – 2

Funding scheme: Research and Innovation action

Durée: 60 mois (1^{er} mars 2016 – 28 février 2021)

Porteur: Prof. Giovanni GIULIANO, ENEA, Italie

19 partenaires (Italie, Pays-Bas, UK, Israel, Allemagne, Espagne, France, Pologne, Pérou, Turquie, Bulgarie, Taiwan)

4 solanacées majeures: Pomme de terre, Tomate, Piment, Aubergine



Appel à projets CASDAR 2016 « Semences et Sélection Végétale »

Stabilité des résistances au mildiou de la pomme de terre et identification de marqueurs associés (PoTStaR)



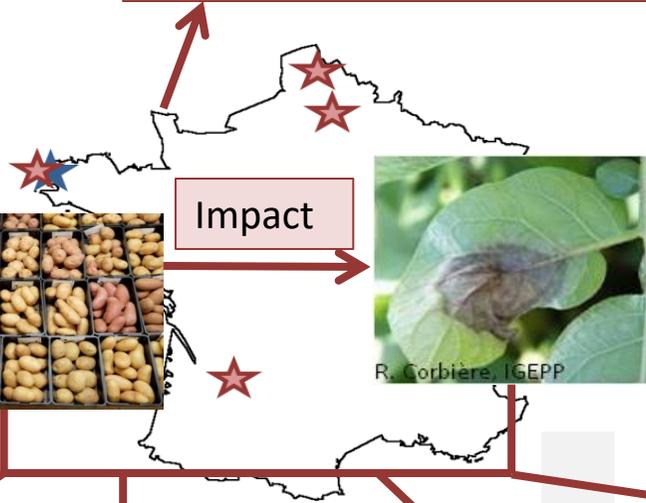
Durée du projet: 3 ans

Coût total du projet: 261 820€

Montant de la subvention demandée: 145 445€

Résultats attendus:

Caractérisation des sites / incidence du mildiou



Evaluation géniteurs Inra



Impact

Caractérisation souches mildiou

Identification de géniteurs de résistance stable Temps / Espace

Identification de marqueurs associés à de la résistance stable (Espace)

Identification de marqueurs portables

Outil Aide Décision

Construction assistée par marqueurs de résistances complexes stables dans des fonds génétiques déjà exploités par ACVNPT

Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, contribuent à ce travail !

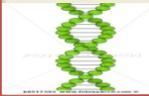
- 28 agents à Ploudaniel



Expérimentation
et culture des
plantes au champ



Biologie
cellulaire et
moléculaire



Expérimentation
et culture des
plantes en serre



Direction,
gestion,
informatique,
communication
et logistique



- 27 agents au Rheu (pathologistes)

Et merci de votre attention !