

Modélisation de la résistance aux herbicides dans Florsys : évolution conjointe de la résistance liée à la cible et non liée à la cible.

Valérie Le Corre, Christophe Délye, Nathalie Colbach

**INRA Dijon – UMR Agroécologie, Pôle GESTAD,
équipe E2A2**

Résistance aux herbicides en France: les cas publiés



Vulpin

A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandues



Bromes

B (2009)
Grandes cultures
Modérée



Agrostis jouet-du-vent

Grandes cultures
A (1999 env.),
B (2006 env.)
Modérées



Digitaire

A (2005)
Maraîchage
B (2014)
Maïs
1^{ers} cas



Ivraies

A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue
G (2005, Vigne)
Modérée



Avoines

A (1996),
B (2006 env.)
Grandes cultures
Modérées



Panics

B (2013)
Riz, maïs
1^{ers} cas



Sétaire verte

B (2011)
Maïs
1^{ers} cas



Coquelicot

B (2007)
Répandue
O (2013)
1^{ers} cas
Grandes cultures



Tournesol

B (2009)
Tournesol VTH
1^{ers} cas



Matricaires

B (2010)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Ambroisie

B (2014)
Soja, tournesol
VTH, maïs
1^{ers} cas



Séneçon

B (2009)
Vigne
Modérée
Grandes cultures
1^{ers} cas



Stellaire

B (2012)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Vergerette

G (2010)
Vigne
1^{ers} cas

Résistance aux herbicides en France: les cas publiés



Vulpin

A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandues



Bromes

B (2009)
Grandes cultures
Modérée



Agrostis jouet-du-vent

Grandes cultures
A (1999 env.),
B (2006 env.)
Modérées



Digitaire

A (2005)
Maraîchage
B (2014)
Maïs
1^{ers} cas



Ivraies

A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandues
G (2005, vignes)
Modérée



Sétaire verte

B (2011)
Maïs
1^{ers} cas



Coquelicot

B (2007)
Répandue
O (2013)
1^{ers} cas
Grandes cultures



Ambroisie

B (2014)
Soja, tournesol
VTH, maïs
1^{ers} cas



Séneçon

B (2009)
Vigne
Modérée
Grandes cultures
1^{ers} cas



Stellaire

B (2012)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Vergerette

G (2010)
Vigne
1^{ers} cas

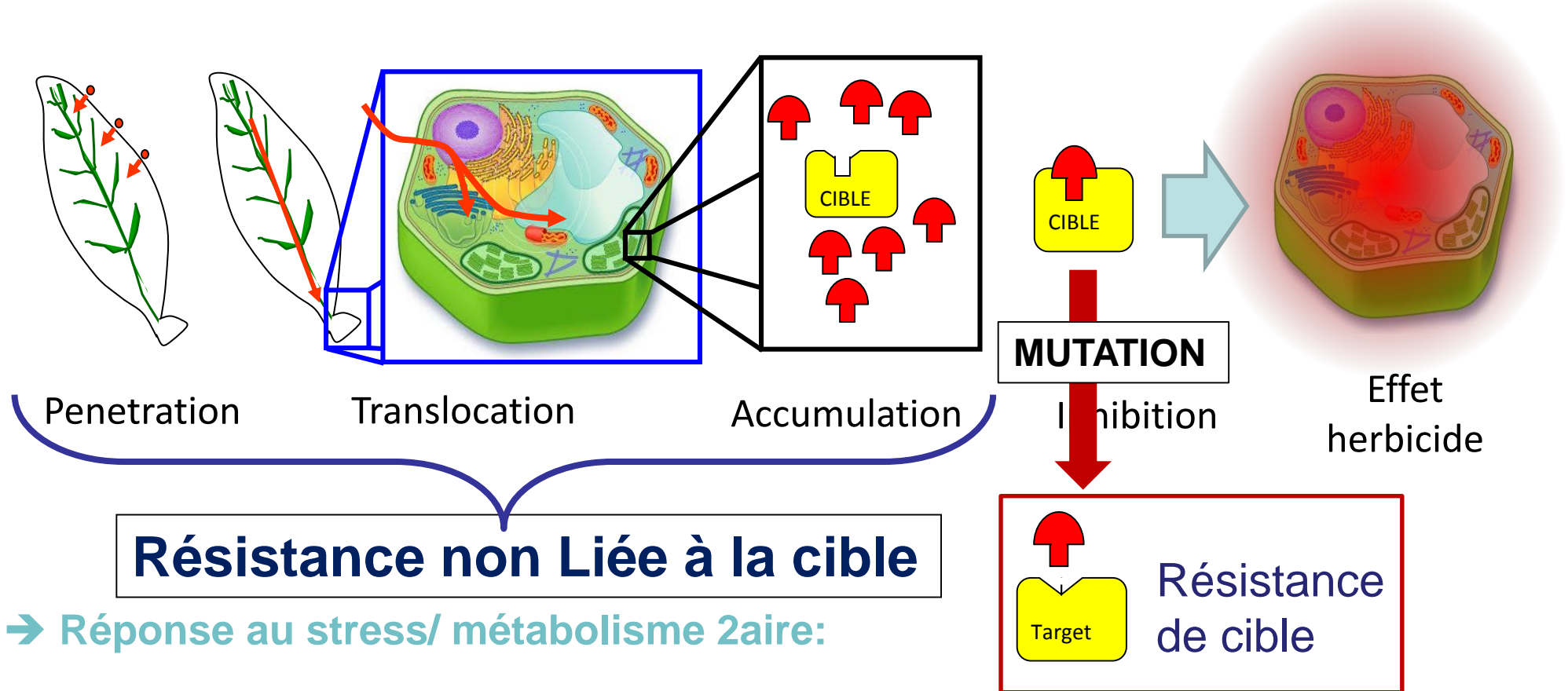
Résistance:

- Aux anti-graminées (groupe A)
- Aux inhibiteurs de l'ALS (groupe B)
 - Aux « hormones » (groupe O)
- Au glyphosate (groupe G) en cultures pérennes

Mécanismes
de résistance:

RLC +
RNLC

Les mécanismes de résistance aux herbicides

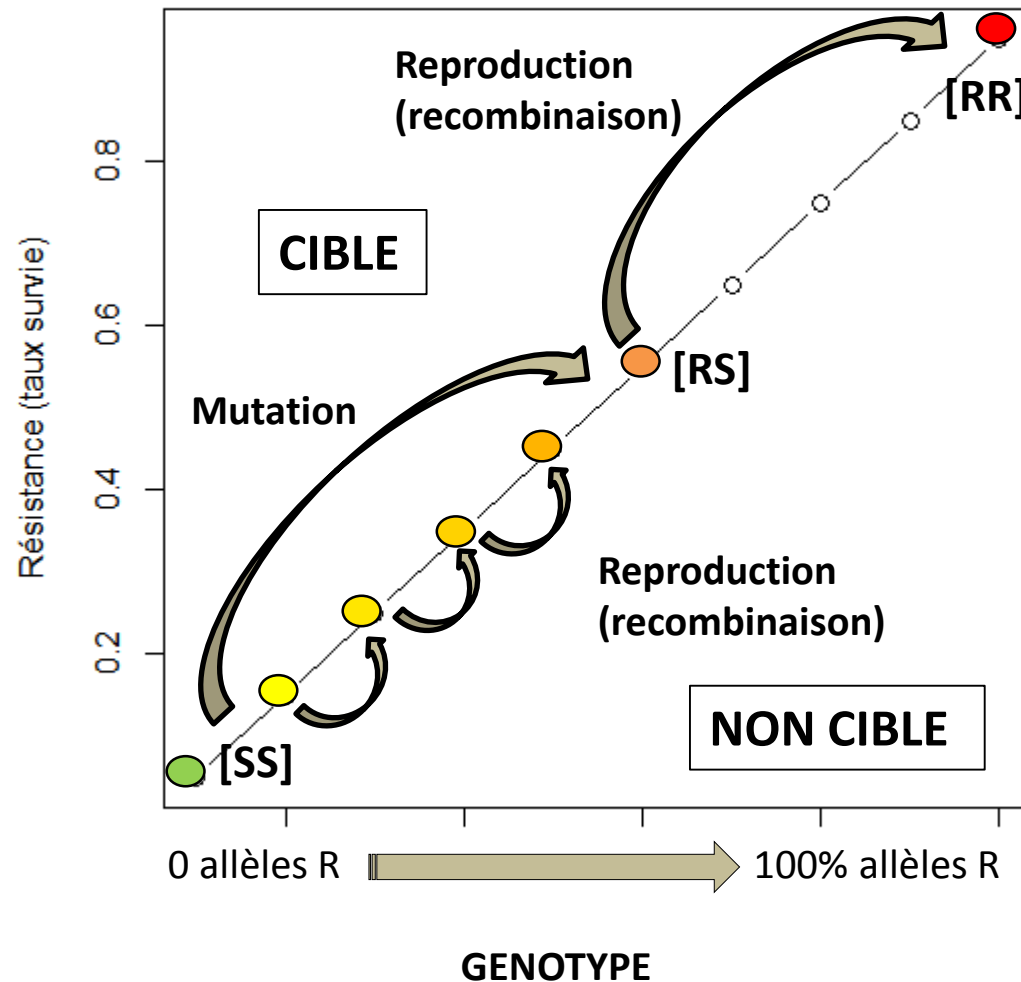


CYPs (cytochromes P₄₅₀) , Oxidases, peroxidases, Esterases

GSTs (glutathione-S-transferases), GTs (Glycosyl-transferases)

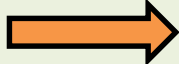
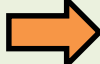
Transporteurs + autres...

Evolution de la résistance : modèle monogénique (cible) vs modèle polygénique (non cible)



Implémentation dans un module de génétique des populations

1 Plante = 1 génotype

N gènes,
2 allèles : S, R  Phénotype  Probabilité de survie

1 population = N plantes

Fréquences des allèles S et R

Reproduction (taux d'autogamie)

Démographie (croissance logistique)

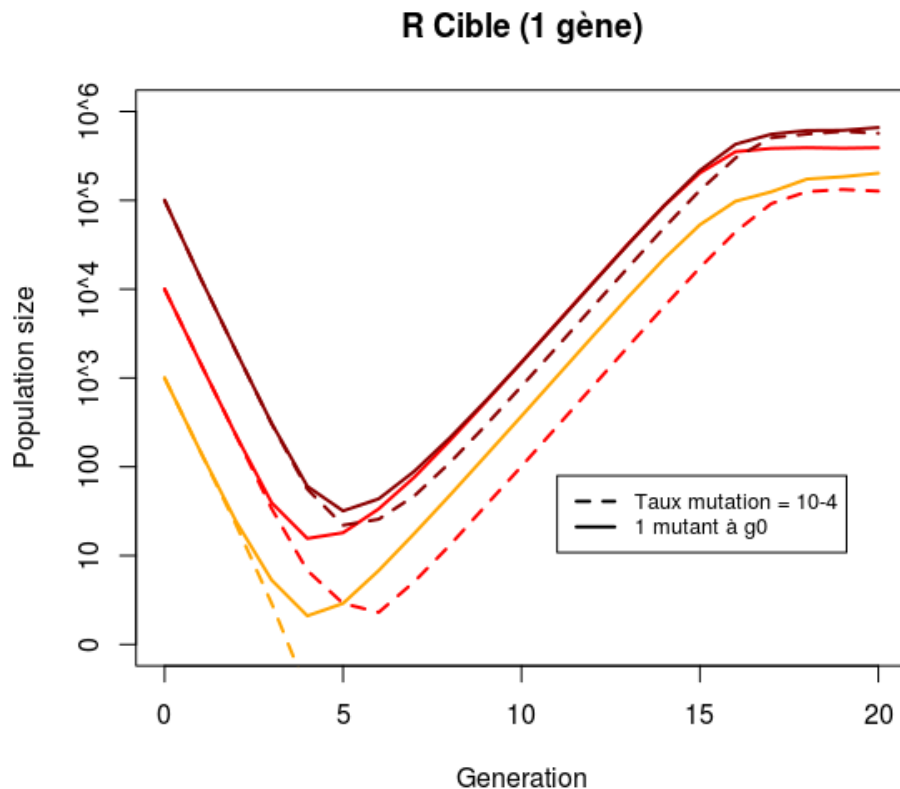
Np populations

flux de pollen et dispersion des graines

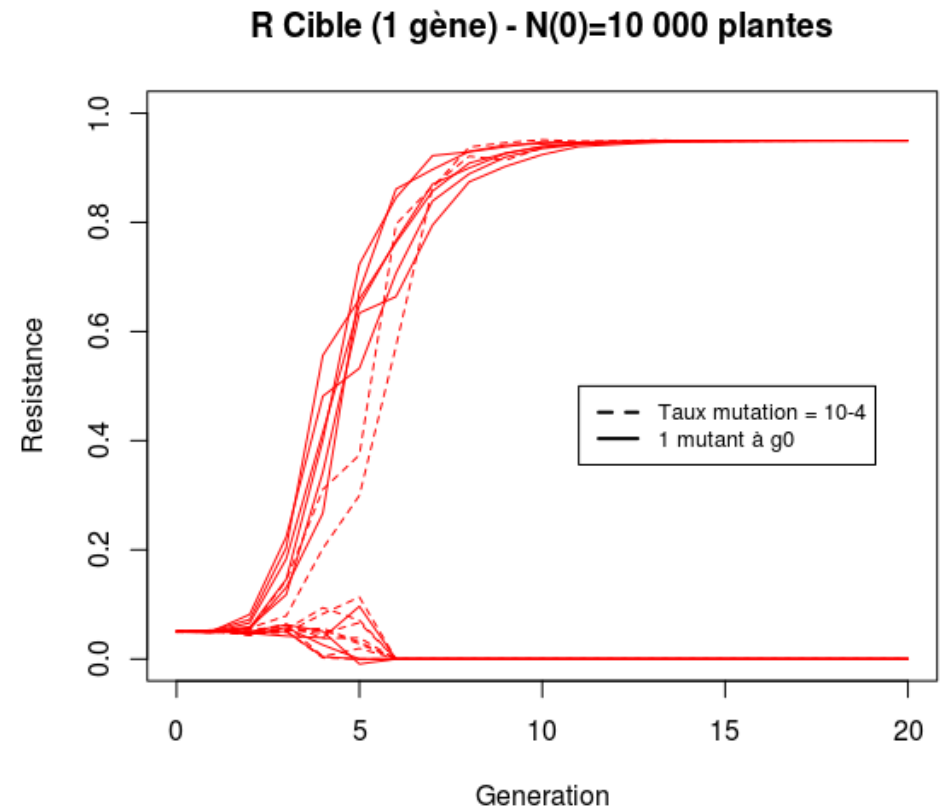
Principale limite du modèle: pas de stock semencier...

Simulations: I. Evolution de la résistance de cible

Taille de la population



Résistance de la population

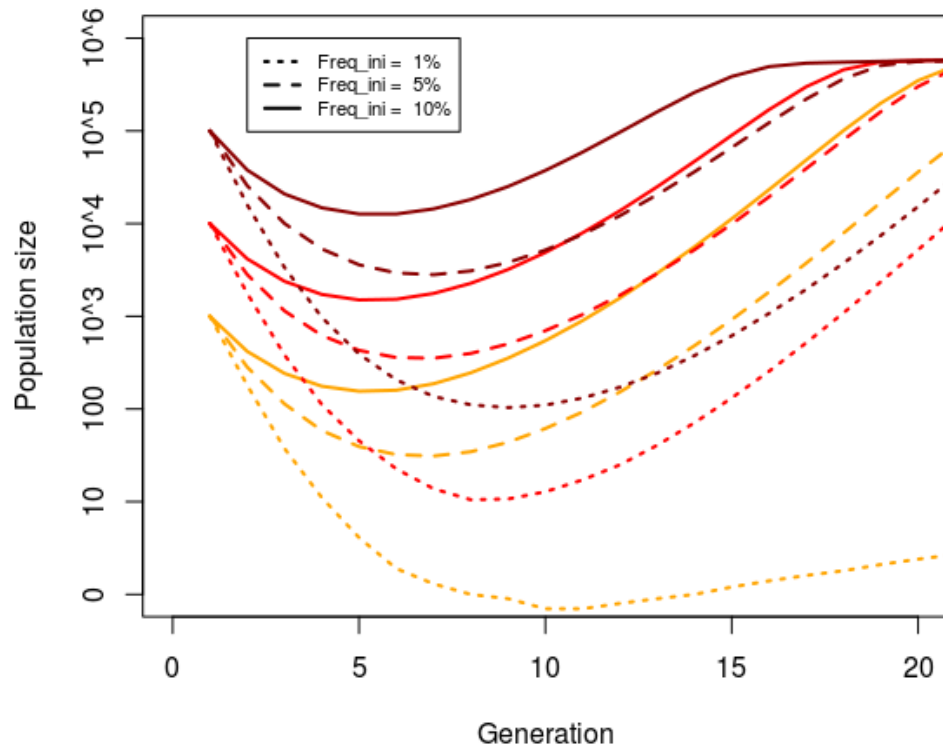


Evolution rapide, d'autant plus probable que la taille de la population est grande

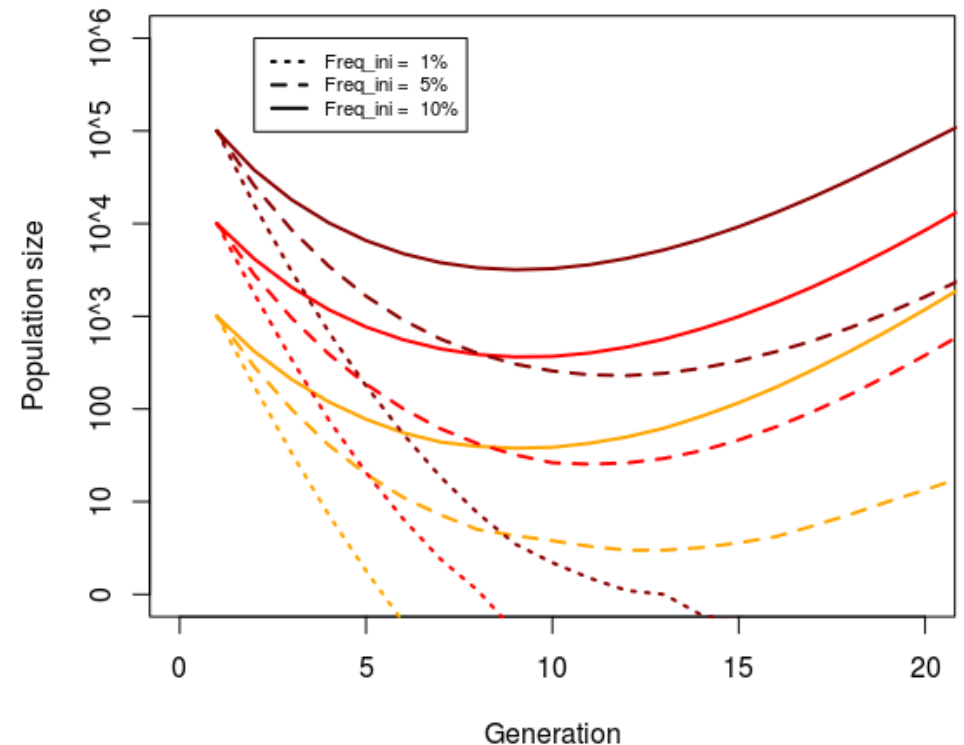
Simulations: II. Evolution de la résistance non cible, multigénique

Taille de la population

R non cible 5 gènes



R non cible 10 gènes



Evolution d'autant plus probable que :

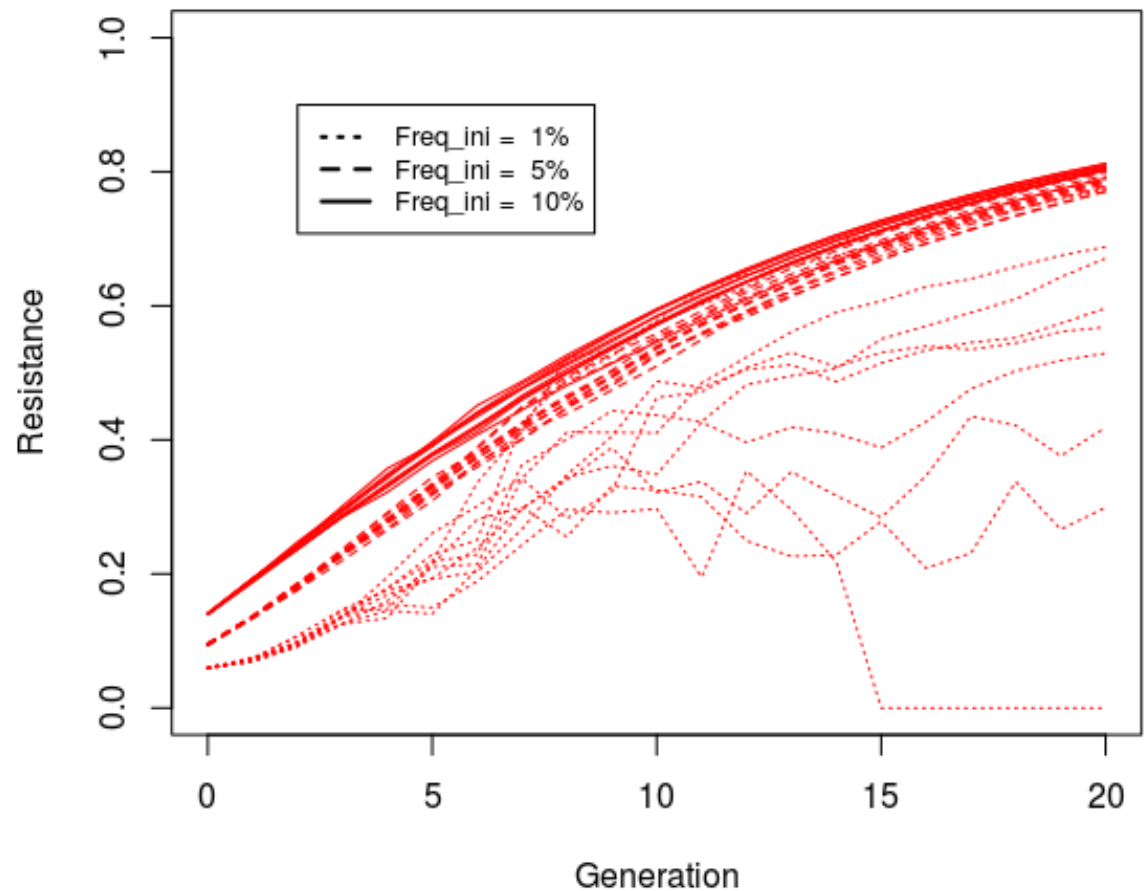
Le nombre de gènes nécessaires est faible

La fréquence initiale des allèles de résistance est élevée

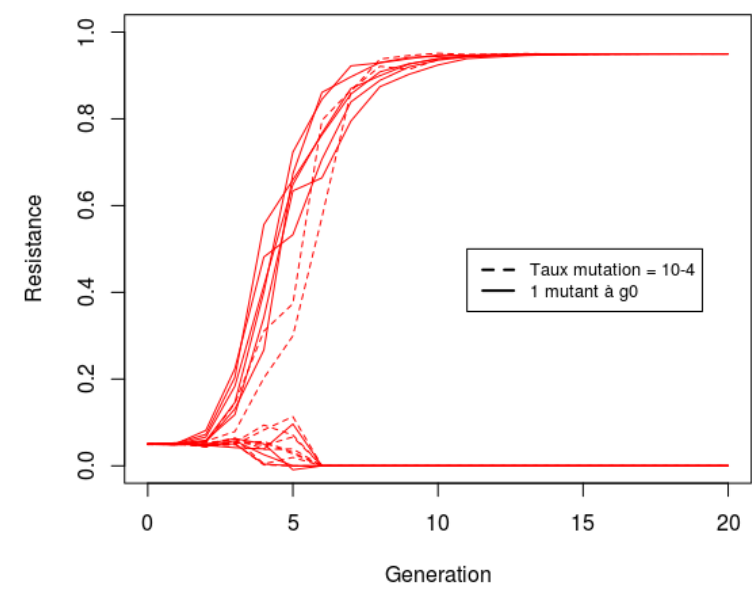
Simulations: II. Evolution de la résistance non cible, multigénique

Résistance de la population

R non cible 5 gènes - N(0)=10 000 plantes



R Cible (1 gène) - N(0)=10 000 plantes

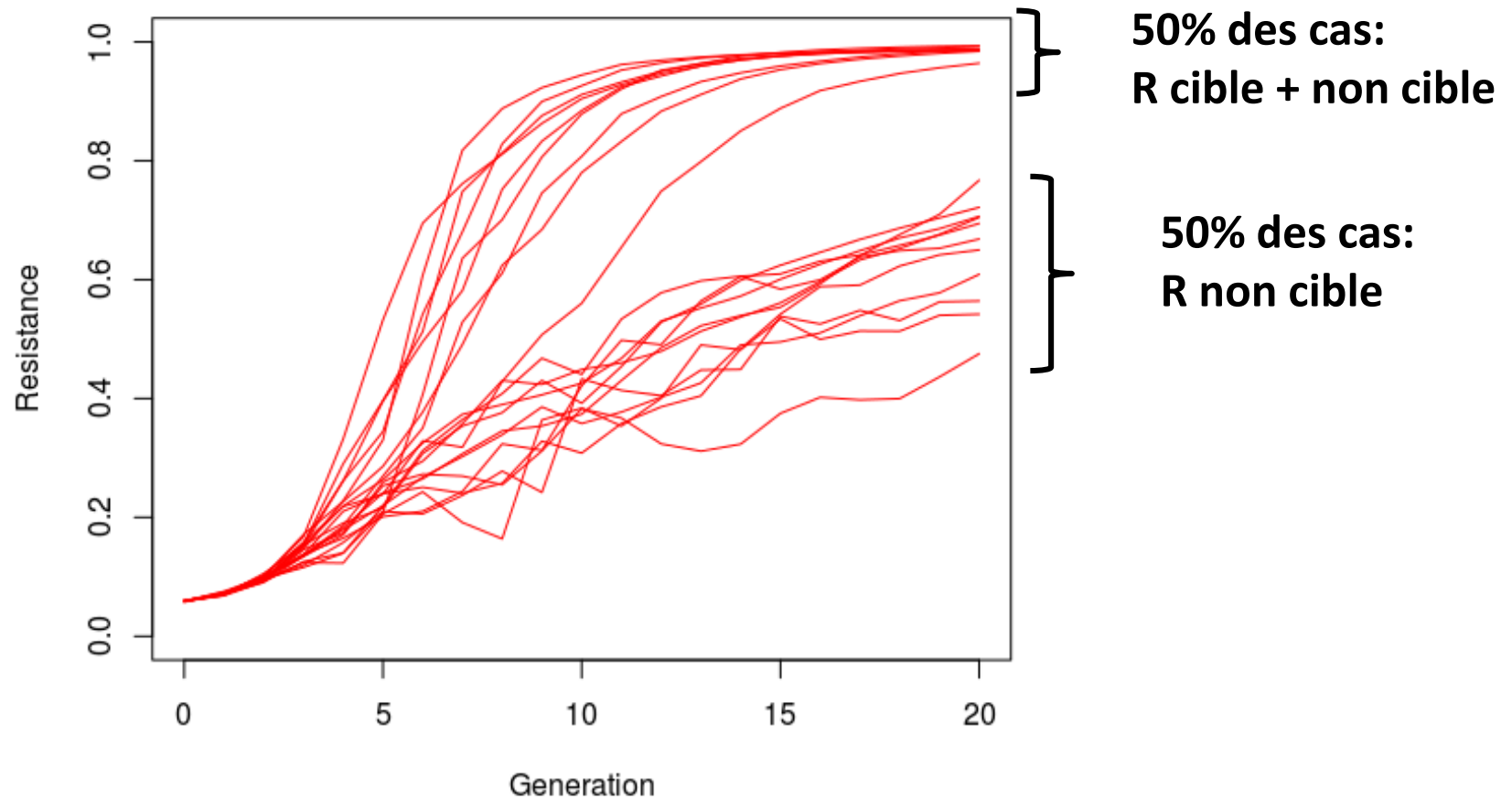


Evolution lente et continue: souvent non détectée ?

Simulations: III. Evolution de la résistance cible + non cible

Taille initiale de la population: 100 000
Taux mutation cible = 0.0001
Fréquence initiale des allèles RNLC: 1%

RC + RLNC 5 gènes



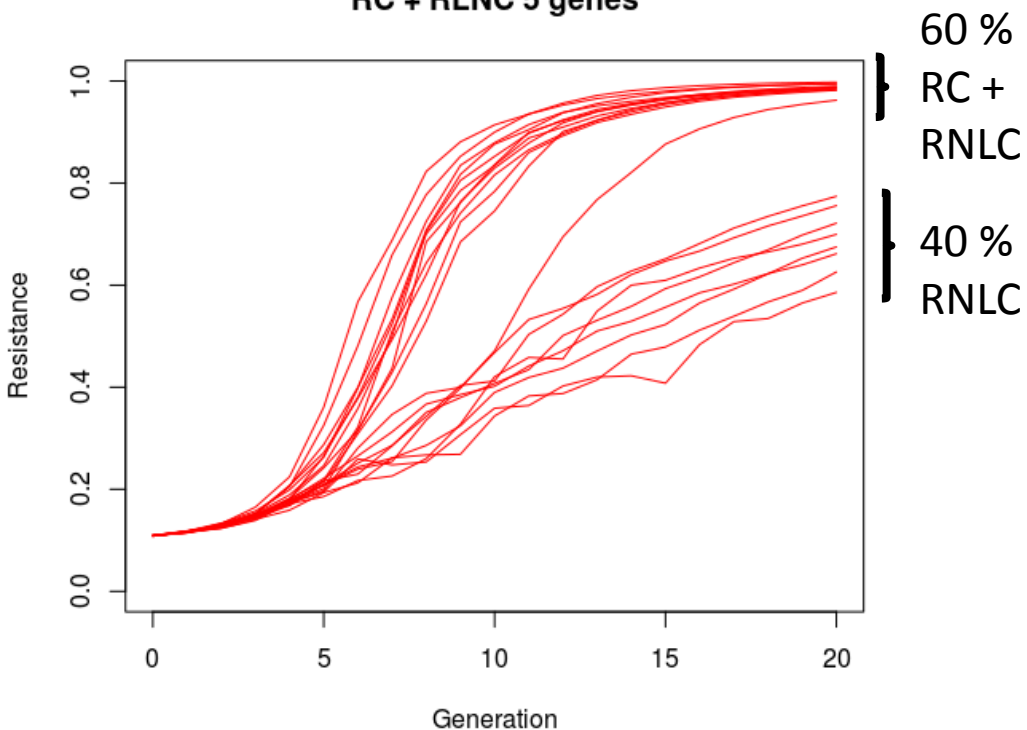
Effet synergique des 2 mécanismes de résistance

Simulations: III. Effet de la dose (efficacité) herbicide

Efficacité faible

Taux survie [S] = 10 %
[R] = 100 %

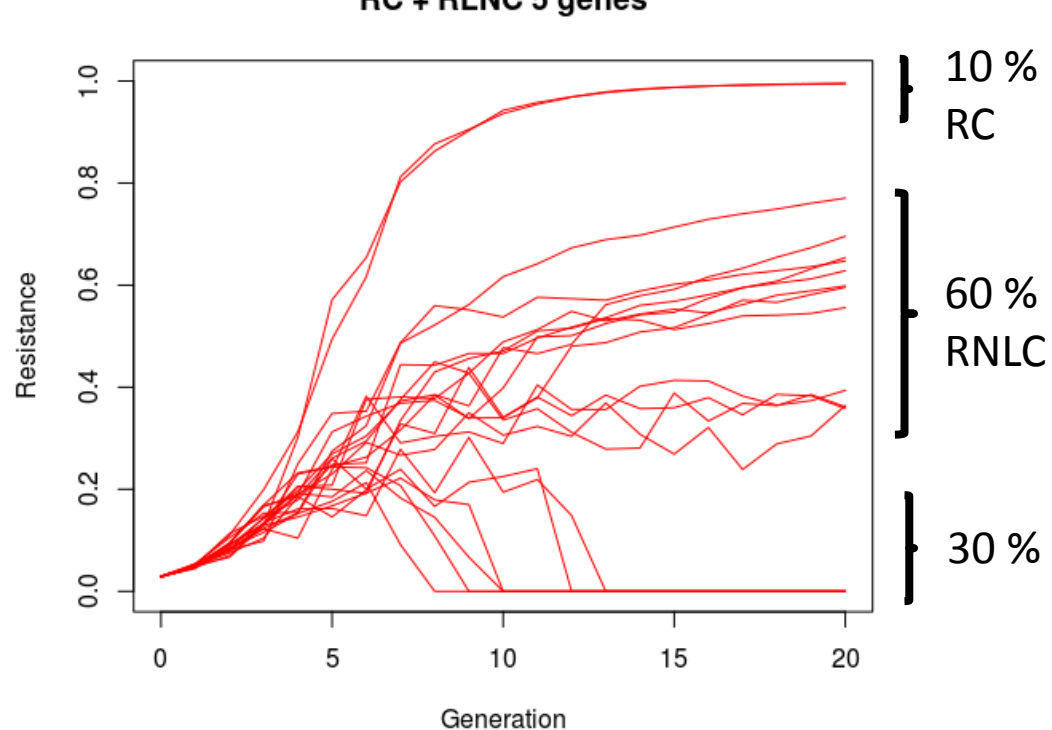
RC + RLNC 5 gènes



Efficacité forte

Taux survie [S] = 02 %
[R] = 90 %

RC + RLNC 5 gènes



Forte efficacité herbicide = meilleur contrôle, moins d'évolution de résistance
... mais toujours sélection de RNLC

Perspectives:

I. Simulations de Génétique des populations

Améliorations du modèle:

stock semencier

cout associé à la résistance en absence d'herbicides

Rôle de la biologie des adventices:

Quelle évolution de la R non-cible chez les espèces autogames?

Alternance des modes d'actions :

sélection discontinue sur la R cible, continue sur la RNLC (résistance croisée)

Scénarios spatialisés:

comparaison du rôle de la dispersion du pollen et des graines sur la R cible et non-cible

II. Intégration dans Florsys

Modèle simplifié

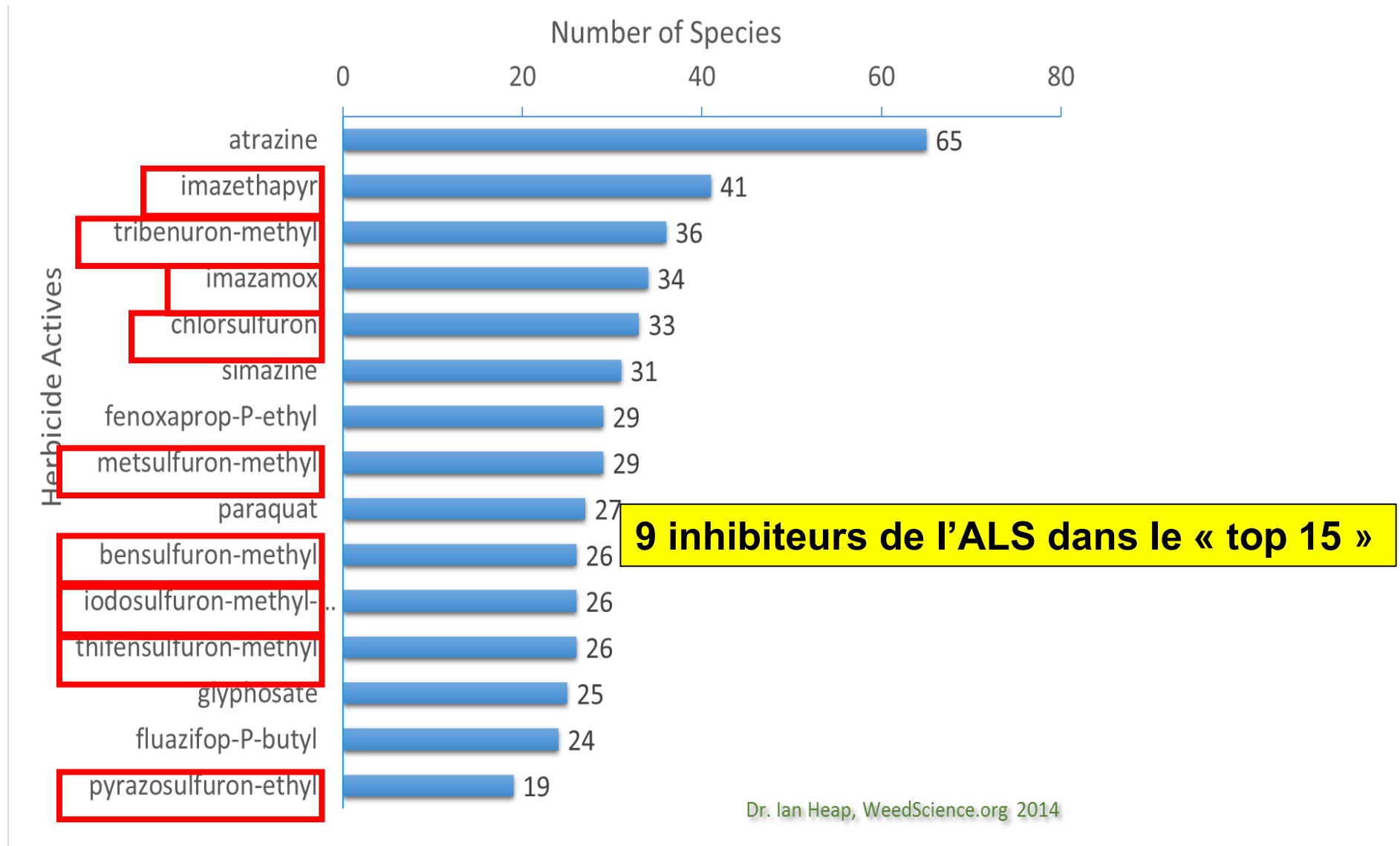
On ne peut pas simuler tous les génotypes individuellement

-> tirage des valeurs de résistance dans des distributions

Validation par comparaison avec le modèle génétique complet

Perspectives: III. Scenarios agronomiques

Le herbicides les plus concernées par la résistance sont ceux de groupe B (inhibiteurs de l'ALS)



Résistance aux herbicides en France: les cas publiés



Vulpin

A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandues



Bromes

B (2009)
Grandes cultures
Modérée



Agrostis

jouet-du-vent
Grandes cultures
A (1999 env.),
B (2006 env.)
Modérées



Digitaire

A (2005)
Maraîchage
B (2014)
Maïs
1^{ers} cas



Ivraies

A (1993),
B (2006)
Grandes cultures
Très répandue
G (2005, Vigne)
Modérée



Avoines

A (1996),
B (2006 env.)
Grandes cultures
Modérées



Panics

B (2013)
Riz, maïs
1^{ers} cas



Sétaire verte

B (2011)
Maïs
1^{ers} cas



Coquelicot

B (2007)
Répandue
O (2013)
1^{ers} cas
Grandes cultures



Tournesol

B (2009)
Tournesol VTH
1^{ers} cas



Matricaires

B (2010)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Ambroisie

B (2014)
Soja, tournesol
VTH, maïs
1^{ers} cas



Séneçon

B (2009)
Vigne
Modérée
Grandes cultures
1^{ers} cas



Stellaire

B (2012)
Grandes cultures
1^{ers} cas



Vergerette

G (2010)
Vigne
1^{ers} cas

Perspectives: III. Scenarios agronomiques

Les variétés cultivées tolérantes: un risque accru ?

- +** : raisonner le désherbage « à vue » (impasse sur le chimique possible)
herbicides à forte efficacité permettant de contrôler les adventices « difficiles »
si appliqués correctement
- : homogénéisation de la pression de sélection sur la rotation, alors que céréales d'hiver, maïs et soja reçoivent déjà souvent des applications d'inhibiteurs de l'ALS

Tournesol En 2015, **150 000 ha** de variétés ClearfieldR ou ExpressSun, ~ **20 %** de la sole.



Adventices visées : **ambroisie**, bidens, chardon, datura, liseron des haies, tournesol sauvage, xanthium.

Herbicides : Pulsar 40 = **Imazamox** ou Express-SX = Tribénuron-méthyle

Colza

semis 2014 : **20 000 ha**, ~ **1 %** de la sole



Adventices visées : géraniums, crucifères (ravenelle, sanve), gaillet, ombellifères.

Herbicides : Cleranda = **Imazamox** + métazachlore
Cleravis = **Imazamox** + Métazachlore + Quinmérac

Proposition de simulations avec FLORSYS:

1. Rotation colza Clearfield-blé-orge et gestion des résistances ALS

Est-il possible de réduire l'usage des herbicides inhibiteurs de l'ALS dans la rotation?

Espèces cibles des simulations: vulpin + géranium (+ coquelicot ?)

Gestion agronomique selon préconisations sur adventices ciblées

Gestion chimique :

Céréales hiver: traitement automne seul, succès fonction des conditions climatiques

Colza désherbage « à vue » : Cleranda/Cleravis

+ rattrapage avec mode d'action autre que ALS (racinaires K)

Différentes situations initiales =

densités initiales

résistance aux inhibiteurs ALS absente/présente/installée



Proposition de simulations avec FLORSYS:

2. Rotation avec Tournesol Clearfield et lutte contre l'ambroisie

Maintenir le tournesol en rotation sur une parcelle infestée est-il viable?



Différentes **rotations** avec différentes fréquences de retour d'un tournesol *Clearfield*

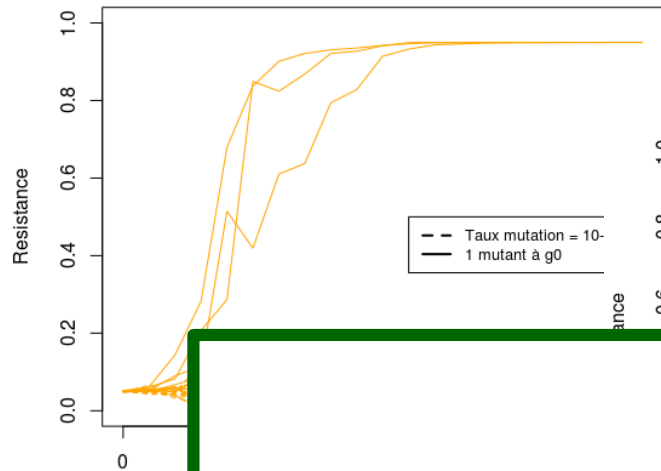
Gestion chimique :

en tournesol, Herbicide pré-levée groupe F (Nikeyl/Cline) + Pulsar40,
succès du traitement dépendant des conditions climatiques et du stade ambroisie

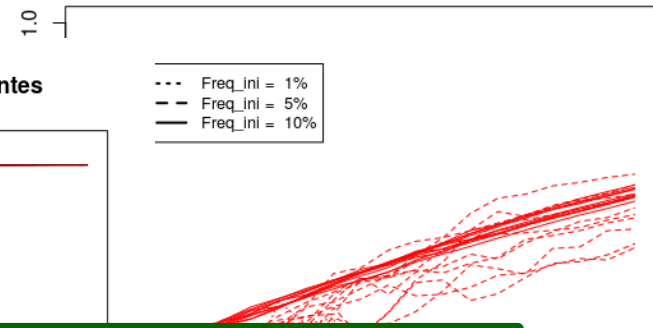
Possibilité d'apparition de **résistance par mutation de cible et/ou non liée à la cible**

Différentes situations initiales = densités initiales d'ambroisie sur la parcelle

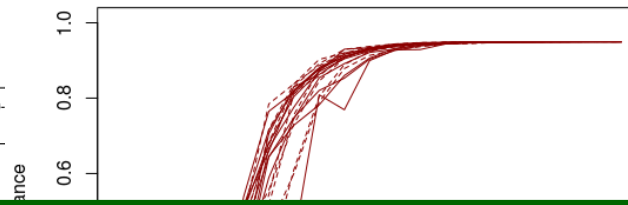
R Cible (1 gène) - $N(0)=1000$ plantes



R non cible 10 gènes - $N(0)=10\ 000$ plantes



R Cible (1 gène) - $N(0)=100\ 000$ plantes



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

