



**HAL**  
open science

## Les stratégies génétiques de résistance des plantes aux insectes: Innovation vs conservation, faut-il vraiment choisir ?

Yvan Rahbé, Frederic Gressent, Corinne Royer, Pedro da Silva

### ► To cite this version:

Yvan Rahbé, Frederic Gressent, Corinne Royer, Pedro da Silva. Les stratégies génétiques de résistance des plantes aux insectes: Innovation vs conservation, faut-il vraiment choisir?. CIFE 8. Conférence Internationale Francophone d'Entomologie, Jun 2014, Hammamet, Tunisie. 2014, 8ème Conférence Internationale Francophone d'Entomologie (CIFE). hal-01189984

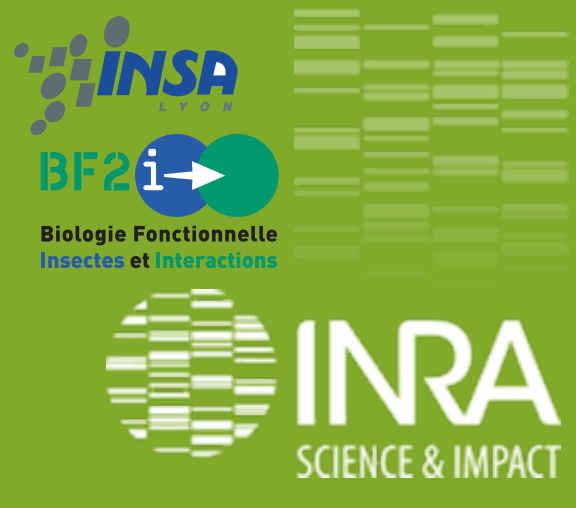
**HAL Id: hal-01189984**

**<https://hal.science/hal-01189984>**

Submitted on 3 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Yvan Rahbé, Frédéric Gréssent, Corinne Royer, Pedro da Silva

Yvan Rahbé

# Les stratégies génétiques de résistance des plantes aux insectes

*Innovation vs conservation, faut-il vraiment choisir ?*



# INTRODUCTION

**Définitions**

**Vocabulaire et concepts**

**Mécanismes généraux**

**Histoire de la résistance des plantes**

# INTRODUCTION

**Définitions**

**Vocabulaire et concepts**

**Mécanismes généraux**

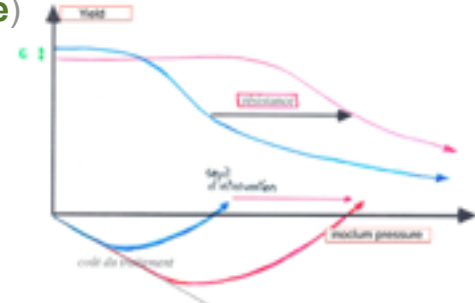
**Histoire de la résistance des plantes**

# La Résistance est toujours relative

## Qu'est ce que la résistance des plants aux insectes ?

Caractéristique mesurable et utilisable, notamment d'origine génétique, permettant à une plante ou un peuplement végétal de s'opposer à l'infestation, au développement ou aux dégâts causés par une population d'agents biologiques agresseurs (pathogènes, parasites ou ravageurs).

- ❖ **La spécialisation** (souvent d'origine chimique) et la situation **non-hôte** est la règle
  - Les plantes ne peuvent pas se déplacer ou se défendre physiquement (se battre)
  - Elles ont donc développé des fortes capacités chimiques biosynthétiques, notamment avec les ressources de la photosynthèse
- ❖ **La résistance est toujours une situation relative**, soit vis à vis des standards humains (agriculturaux, y compris économiques), soit en se rapportant à une situation écologique «standard» (**c'est un concept de variabilité intra-spécifique**)

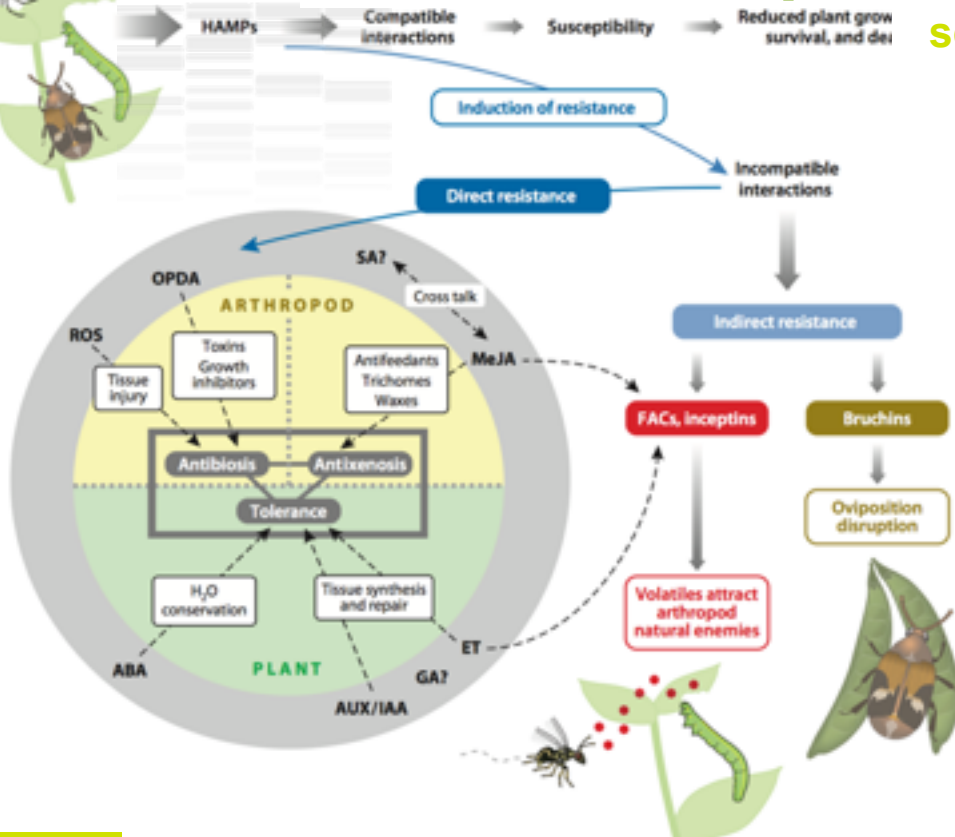


- ❖ Résistances **hôte** et **non-hôte** (pas de variabilité interspécifique -plante-)
- ❖ **Forte** et **Faible** resistance (phenotype)
  - un gène de résistance fort génère un fort impact sur les principaux paramètres de fitness de l'agresseur biologique.
  - un gène de résistance faible génère un impact faible à modéré sur la fitness d'un parasite.
- ❖ Monogénique (**R-genes**) ou polygénique (**QTL**) : la structure génétique sous tendant le trait considéré
- ❖ Les anciens standards de classification des résistances (SI) sont néanmoins utiles:
  - Antixénose** (installation altérée). *Cible = comportement.*
  - Antibiose** (bénéfice faible de l'accès aux ressources de la plante). *Cible = physiologie.*
  - Tolérance** (la plante n'est pas impactée par installation du parasite -sous un seuil donné-)

intro

# La mécanique du système de défense

## schema général de défense des plantes



spécificité  
(coût de la résistance)



senseurs  
(inducteurs)

*R-genes*

inductibilité  
(coût de la résistance)

voies de transduction  
& intégration  
(optimisation  
Biologie systémique)



voies de  
signalisation

*ROS & JA*

spécificité  
(course aux armements)



effecteurs

*toxines (Ab)  
allélochimiques (Ax)*

Annu. Rev. Entomol. 2012.57:309-328. Downloaded from www.annualreviews.org by INRA Institut National de la Recherche Agronomique on 12/09/11. For personal use only.

C.M. Smith, S.L. Clement, Molecular Bases of Plant Resistance to Arthropods, Annu Rev Entomol. 57 (2010) 309–328.



# Un (très) bref historique de la résistance des plantes aux insectes

- en **1776**: La mouche de Hesse est introduite aux USA (*Mayetiola destructor* (Say)).
  - 1778: Blés précoces
  - 1792: Utilisation à moyenne échelle de la variété résistante « Underhill » (Havens)
  - 1826: **Préconisation** d'une sélection systématique pour la résistance (Chapman)
- en **1831**: Le puceron lanigère du pommier *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) rentre aux USA
  - ≈1850: Conseils d'utilisation de variété résistantes (Lindley): « Winter Marjetin », « Siberian bitter-sweet »
- vers **1850**: Louis François de Vilmorin & autres. Sélection scientifique et introductions (eg betterave).
- En **1884**: Crise de la viticulture française, due à *Phylloxera vitifoliae* (Fitch)
  - Programmes de recherche de résistance, de sélection
  - Introduction de porte-greffes américains. Situation stable depuis plus de cent ans
- En **1914**: RH Painter entame la sélection raisonnée du blé contre *M. destructor* (Kansas U)



# Plan

- ❖ *Introduction*

- ❖ 01- **Gènes, exemples**

  - ❖ Défenses constitutives, non-hôte: un exemple (graines de légumineuses, A1b:v-ATPase)

  - ❖ Défenses inductibles: le melon (Vat), le pêcher (Rm1)

- ❖ 02- **Gènes, état des lieux**

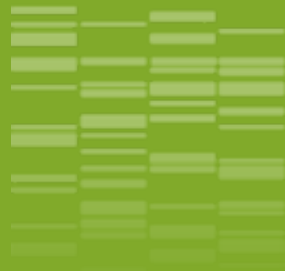
- ❖ 03- **Transgènes, état des lieux**

- ❖ 04- **Transgènes, exemples**

  - ❖ Défenses constitutives: un exemple (oryzacystatine, Cathepsine L)

  - ❖ Générations ultérieures: inductibles, cis-gènes (PTI), dérivées du pathogène (RNA)...

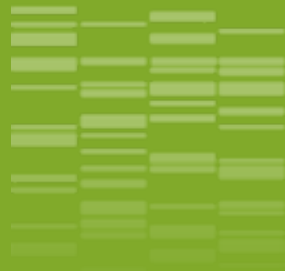
- ❖ *Perspective*



# 01

## Gènes, exemples

Les Albumines 1b des légumineuses, le gène Vat du melon,  
les gènes Rm du pêcher, les gènes Md du blé



# 01

## Gènes, exemples

Les Albumines 1b des légumineuses, le gène Vat du melon,  
les gènes Rm du pêcher, les gènes Md du blé

# La Résistance non hôte des albumines A1b



- ❖ **Les graines de légumineuses**, sont un ressource protéiques exceptionnelle
- ❖ **Elles sont défendues par de nombreuses défenses chimiques**, souvent à base d'azote (acides aminés non-protéiques, alcaloïdes) et majoritairement à l'aide de protéines toxiques (lectines, inhibiteurs enzymatiques, RIPs)
- ❖ **Les charançons des céréales** sont incapables de coloniser les légumineuses domestiques



*Rhynchophorus palmarum*



*Cosmopolites sordidus*



*Sitophilus oryzae*



*Sitophilus linearis*



2%



98%



Grenier AM, Mbaiguinam M, Delobel B: **Genetical analysis of the ability of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) to breed on split peas.** Heredity 1997, 79:15-23.

*S. oryzae* and *S. zeamais* breed most rapidly under humid tropical conditions. *S. granarius* is cold-hardy, and the low minimum temperature at which this species breeds allows it to be an important pest in temperate regions.

### Economic importance

*Caulophilus oryzae* is a minor pest of maize most frequently encountered under conditions of tropical subsistence agriculture, where **infestation** can begin prior to harvest.

***Sitophilus*** spp. are major pests of whole cereal grains and dried root crops such as cassava. Along with *Rhyzopertha dominica* and *Prostephanus truncatus* (Col. Bostrichidae), they rank as the most important pests of whole grain. ***Sitophilus oryzae*** is a well known pest of dried pasta. Certain strains of *S. oryzae* can attack stored pulses, including chickpeas (*Cicer arietinum*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) and peas (*Pisum sativum*).

If left unchecked, infestations of ***Sitophilus*** spp. can cause devastating damage to stored grain. Currently, in well-run bulk grain storage systems, ***Sitophilus*** infestations are generally kept under control, but the potential threat remains. They remain a serious pest of farm-stored grain and of bag-stored grain in warehouses, especially under tropical conditions.

*S. linearis* can cause severe damage to tamarind pods when stored under tropical conditions.

2%



98%



Grenier AM, Mbaiguinam M, Delobel B: Genetical analysis of the ability of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) to breed on split peas. Heredity 1997, 79:15-23.





2%

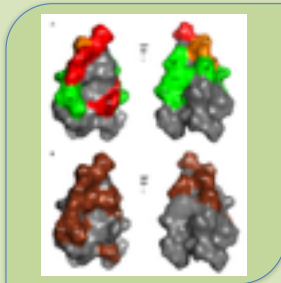
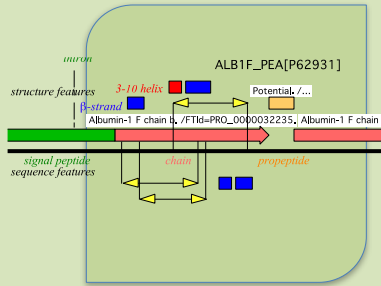


98%



Grenier AM, Mbaiguinam M, Delobel B: **Genetical analysis of the ability of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera, Curculionidae) to breed on split peas.** Heredity 1997, 79:15-23.

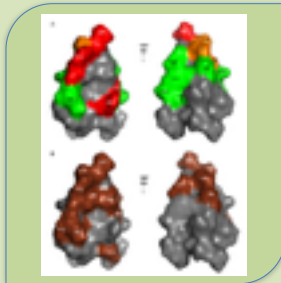
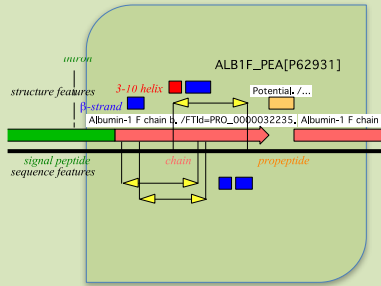
# Un toxine généraliste de graines



- Les graines de légumineuses sont toxiques pour les charançons des céréales
- Certaines souches semblent totalement résistantes. Génétique simple (*monogénique récessif*)
- Le facteur de résistance: **PA1b** (Albumine 1b)
- Un peptide de 37 aa riche en cystéines, très résistant et hydrophobe (amphipathique)
- Une structure de knottine (nœud de cystines)
- Présent chez toutes les Papilionoideae (crible 82 espèces de Fabaceae, pas – encore ? – trouvé chez Caesalpinoidae ou Mimosoidae)
- Certaines espèces ont le gène, pas le peptide dans la graine (*Medicago*)
- Protéine multifonctionnelle (Plante, Insecte, Mammif.)
- La fonction insecticide est portée par un pôle de la molécule (un pôle, une boucle un résidu massif positif)

Delobel B, Grenier AM, Gueguen J, Ferrasson E, Mbaiguinam M. 1998. Brevet  
Louis S. et al. 2007. *Phytochemistry* 68: 521-35  
Da Silva P. et al. 2010. *The Journal of biological chemistry*

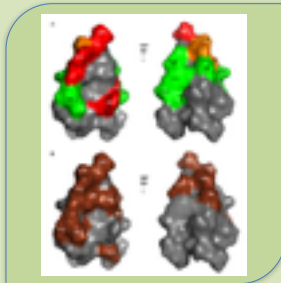
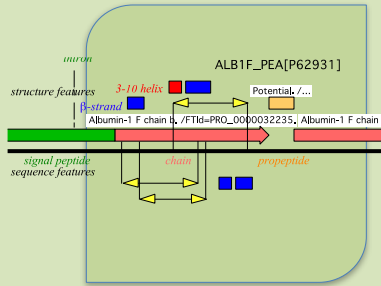
# Un toxine généraliste de graines



- Les graines de légumineuses sont toxiques pour les charançons des céréales
- Certaines souches semblent totalement résistantes. Génétique simple (*monogénique récessif*)
- Le facteur de résistance: **PA1b** (Albumine 1b)
- Un peptide de 37 aa riche en cystéines, très résistant et hydrophobe (amphipathique)
- Une structure de knottine (nœud de cystines)
- Présent chez toutes les Papilionoideae (crible 82 espèces de Fabaceae, pas – encore ? – trouvé chez Caesalpinoïdæ ou Mimosoidæ)
- Certaines espèces ont le gène, pas le peptide dans la graine (*Medicago*)
- Protéine multifonctionnelle (Plante, Insecte, Mammif.)
- La fonction insecticide est portée par un pôle de la molécule (un pôle, une boucle un résidu massif positif)

Delobel B, Grenier AM, Gueguen J, Ferrasson E, Mbaiguinam M. 1998. Brevet  
Louis S. et al. 2007. *Phytochemistry* 68: 521-35  
Da Silva P. et al. 2010. *The Journal of biological chemistry*

# Un toxine généraliste de graines

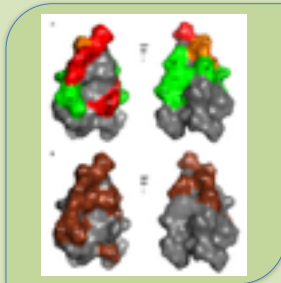
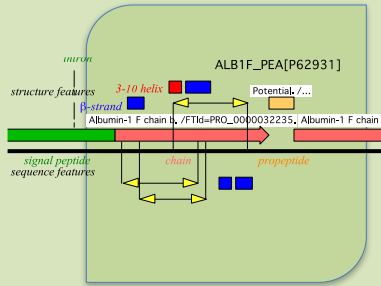


- Les graines de légumineuses sont toxiques pour les charançons des céréales
- Certaines souches semblent totalement résistantes. Génétique simple (*monogénique récessif*)
- Le facteur de résistance: **PA1b** (Albumine 1b)
- Un peptide de 37 aa riche en cystéines, très résistant et hydrophobe (amphipathique)
- Une structure de knottine (nœud de cystines)
- Présent chez toutes les Papilionoideae (crible 82 espèces de Fabaceae, pas – encore ? – trouvé chez Caesalpinoidae ou Mimosoidae)
- Certaines espèces ont le gène, pas le peptide dans la graine (*Medicago*)
- Protéine multifonctionnelle (Plante, Insecte, Mammif.)
- La fonction insecticide est portée par un pôle de la molécule (un pôle, une boucle un résidu massif positif)

Delobel B, Grenier AM, Gueguen J, Ferrasson E, Mbaiguinam M. 1998. Brevet  
Louis S. et al. 2007. *Phytochemistry* 68: 521-35  
Da Silva P. et al. 2010. *The Journal of biological chemistry*



# Un toxine généraliste de graines



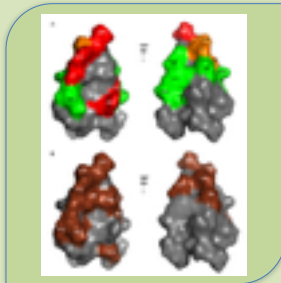
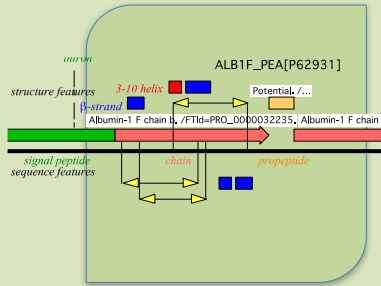
- Les graines de légumineuses sont toxiques pour les charançons des céréales
- Certaines souches semblent totalement résistantes. Génétique simple (*monogénique récessif*)
- Le facteur de résistance: **PA1b** (Albumine 1b)
- Un peptide de 37 aa riche en cystéines, très résistant et hydrophobe (amphipathique)
- Une structure de knottine (nœud de cystines)
- Présent chez toutes les Papilionoideae (crible 82 espèces de Fabaceae, pas – encore ? – trouvé chez Caesalpinoïdæ ou Mimosoïdæ)
- Certaines espèces ont le gène, pas le peptide dans la graine (*Medicago*)
- Protéine multifonctionnelle (Plante, Insecte, Mammif.)
- La fonction insecticide est portée par un pôle de la molécule (un pôle, une boucle un résidu massif positif)

Delobel B, Grenier AM, Gueguen J, Ferrasson E, Mbaiguinam M. 1998. Brevet  
 Louis S. et al. 2007. *Phytochemistry* 68: 521-35  
 Da Silva P. et al. 2010. *The Journal of biological chemistry*



- Anne-Marie Grenier
- Sandrine Louis
- CBM Orléans

# Un toxine généraliste de graines



- Les graines de légumineuses sont toxiques pour les charançons des céréales
- Certaines souches semblent totalement résistantes. Génétique simple (*monogénique récessif*)
- Le facteur de résistance: **PA1b** (Albumine 1b)
- Un peptide de 37 aa riche en cystéines, très résistant et hydrophobe (amphipathique)
- Une structure de knottine (nœud de cystines)
- Présent chez toutes les Papilionoideae (crible 82 espèces de Fabaceae, pas – encore ? – trouvé chez Caesalpinoïdæ ou Mimosoïdæ)
- Certaines espèces ont le gène, pas le peptide dans la graine (*Medicago*)
- Protéine multifonctionnelle (Plante, Insecte, Mammif.)
- La fonction insecticide est portée par un pôle de la molécule (un pôle, une boucle un résidu massif positif)

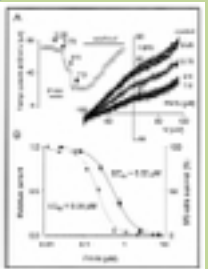
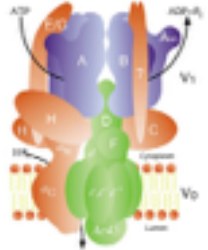
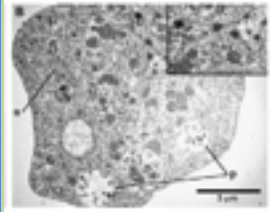
Delobel B, Grenier AM, Gueguen J, Ferrasson E, Mbaiguinam M. 1998. Brevet  
Louis S. et al. 2007. *Phytochemistry* 68: 521-35  
Da Silva P. et al. 2010. *The Journal of biological chemistry*



- Anne-Marie Grenier
- Sandrine Louis
- CBM Orléans



# Un récepteur cellulaire ubiquiste: la v-ATPase



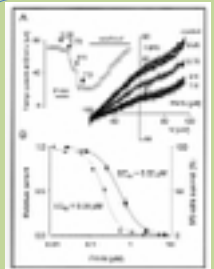
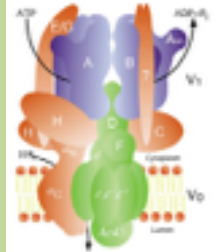
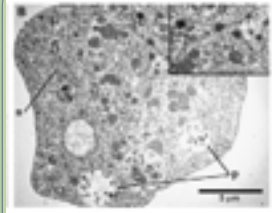
- Il existe un récepteur, unique, à PA1b
- De nombreux insectes sont sensibles. Certains sont résistants, d'autres in(-)sensibles.
- La cellule Sf9 (Lépidoptères) est un bon modèle cellulaire. PA1b induit une apoptose
- L'activité électrique membranaire est sensible à PA1b, au pH, et à des inhibiteurs d'une pompe à protons.
- PA1b est le premier inhibiteur protéique de la **v-ATPase**, une pompe et un moteur moléculaire majeur des cellules eucaryotes
- C'est le premier inhibiteur *jusqu'ici* spécifique des insectes.

Rahioui I, *et al.* 2007. Biochimie 89: 1539-43

Chouabe C *et al.* 2011. J Biol Chem 286: 36291-6



# Un récepteur cellulaire ubiquiste: la v-ATPase



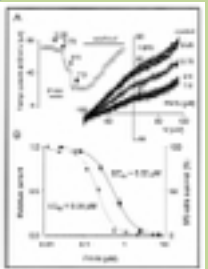
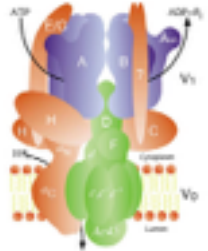
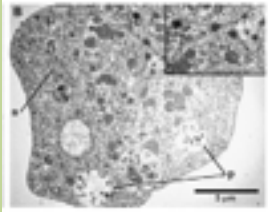
- Il existe un récepteur, unique, à PA1b
- De nombreux insectes sont sensibles. Certains sont résistants, d'autres in(-)sensibles.
- La cellule Sf9 (Lépidoptères) est un bon modèle cellulaire. PA1b induit une apoptose
- L'activité électrique membranaire est sensible à PA1b, au pH, et à des inhibiteurs d'une pompe à protons.
- PA1b est le premier inhibiteur protéique de la **v-ATPase**, une pompe et un moteur moléculaire majeur des cellules eucaryotes
- C'est le premier inhibiteur *jusqu'ici* spécifique des insectes.



Rahioui I, *et al.* 2007. Biochimie 89: 1539-43

Chouabe C *et al.* 2011. J Biol Chem 286: 36291-6

# Un récepteur cellulaire ubiquiste: la v-ATPase



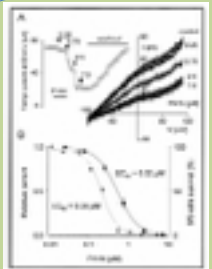
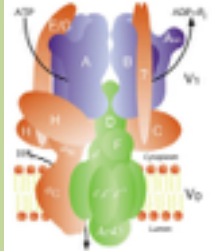
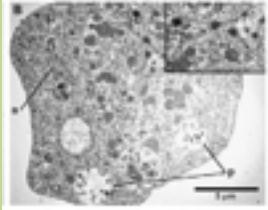
- Il existe un récepteur, unique, à PA1b
- De nombreux insectes sont sensibles. Certains sont résistants, d'autres in(-)sensibles.
- La cellule Sf9 (Lépidoptères) est un bon modèle cellulaire. PA1b induit une apoptose
- L'activité électrique membranaire est sensible à PA1b, au pH, et à des inhibiteurs d'une pompe à protons.
- PA1b est le premier inhibiteur protéique de la **v-ATPase**, une pompe et un moteur moléculaire majeur des cellules eucaryotes
- C'est le premier inhibiteur *jusqu'ici* spécifique des insectes.



Rahioui I, *et al.* 2007. *Biochimie* 89: 1539-43

Chouabe C *et al.* 2011. *J Biol Chem* 286: 36291-6

# Un récepteur cellulaire ubiquiste: la v-ATPase



- Il existe un récepteur, unique, à PA1b
- De nombreux insectes sont sensibles. Certains sont résistants, d'autres in(-)sensibles.
- La cellule Sf9 (Lépidoptères) est un bon modèle cellulaire. PA1b induit une apoptose
- L'activité électrique membranaire est sensible à PA1b, au pH, et à des inhibiteurs d'une pompe à protons.
- PA1b est le premier inhibiteur protéique de la **v-ATPase**, une pompe et un moteur moléculaire majeur des cellules eucaryotes
- C'est le premier inhibiteur *jusqu'ici* spécifique des insectes.

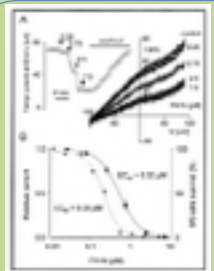
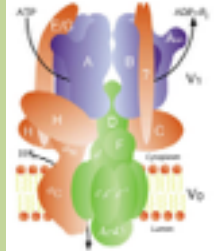
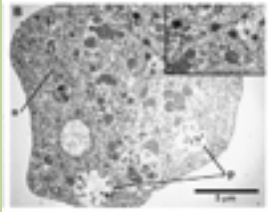


Isabelle  
Rahioui

Rahioui I, *et al.* 2007. *Biochimie* 89: 1539-43

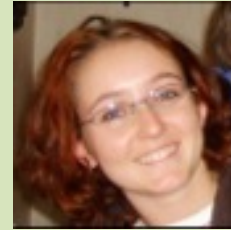
Chouabe C *et al.* 2011. *J Biol Chem* 286: 36291-6

# Un récepteur cellulaire ubiquiste: la v-ATPase



- Il existe un récepteur, unique, à PA1b
- De nombreux insectes sont sensibles. Certains sont résistants, d'autres in(-)sensibles.
- La cellule Sf9 (Lépidoptères) est un bon modèle cellulaire. PA1b induit une apoptose
- L'activité électrique membranaire est sensible à PA1b, au pH, et à des inhibiteurs d'une pompe à protons.
- PA1b est le premier inhibiteur protéique de la **v-ATPase**, une pompe et un moteur moléculaire majeur des cellules eucaryotes
- C'est le premier inhibiteur *jusqu'ici* spécifique des insectes.

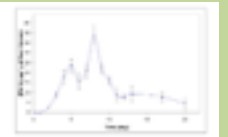
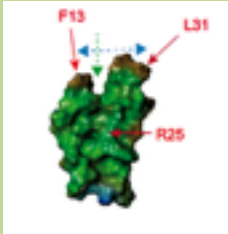
Rahioui I, *et al.* 2007. *Biochimie* 89: 1539-43  
Chouabe C *et al.* 2011. *J Biol Chem* 286: 36291-6



Isabelle  
Rahioui

Christophe  
Chouabe

## Souvent toxine varie



Protein	Accession	Score
Protein 1	Q12345	100
Protein 2	Q12346	95
Protein 3	Q12347	90
Protein 4	Q12348	85
Protein 5	Q12349	80

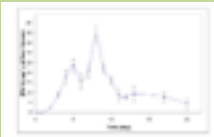
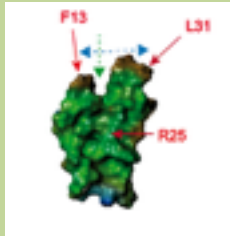
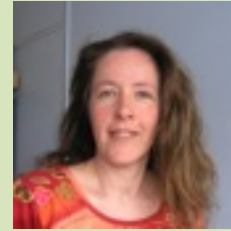
- *Medicago truncatula* possède une variété unique d'albumines de type 1 (> 50 gènes)
- L'expression dans la graine y est une exception; elles sont ubiquistes mais principalement racinaires
- Les pressions de sélection analysées sur la séquence, et 2 sites structurellement importants (R et la pointe de la boucle hydrophobe) sont sous sélection positive. Neofonctionnalisations, et quelques pseudogénisations. Signal peptide conservé.
- Un clade de « nodulines », à expression racinaire, sans PA1a, non insecticides.
- Trois « souches » insecticides, dont un champion, **AG41**, « 10 X PA1b ». **Brevet Dec 2013**.
- PA1b produit en tabac (riz, maïs), et PA1a avec enfin un rôle ?

Karaki L et al. 2013. soumis Genome Biology

Royer C, Da Silva P, Gressent F, Karaki L, Rahbé Y. 2013. Brevet France

Eyraud V et al. 2013. PLoS One 8: e81619

# Souvent toxine varie



Protein	Accession	Length	Score
Protein 1	... ..	...	...
Protein 2	... ..	...	...
Protein 3	... ..	...	...
Protein 4	... ..	...	...
Protein 5	... ..	...	...

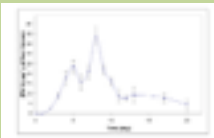
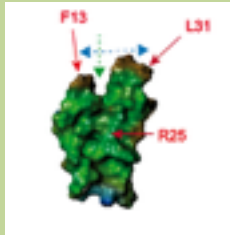
- *Medicago truncatula* possède une variété unique d'albumines de type 1 (> 50 gènes)
- L'expression dans la graine y est une exception; elles sont ubiquistes mais principalement racinaires
- Les pressions de sélection analysées sur la séquence, et 2 sites structurellement importants (R et la pointe de la boucle hydrophobe) sont sous sélection positive. Neofonctionnalisations, et quelques pseudogénisations. Signal peptide conservé.
- Un clade de « nodulines », à expression racinaire, sans PA1a, non insecticides.
- Trois « souches » insecticides, dont un champion, **AG41**, « 10 X PA1b ». **Brevet Dec 2013**.
- PA1b produit en tabac (riz, maïs), et PA1a avec enfin un rôle ?

Karaki L et al. 2013. soumis Genome Biology

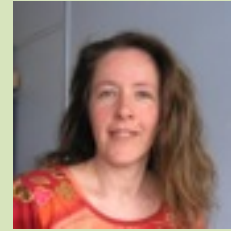
Royer C, Da Silva P, Gressent F, Karaki L, Rahbé Y. 2013. Brevet France

Eyraud V et al. 2013. PLoS One 8: e81619

# Souvent toxine varie



- *Medicago truncatula* possède une variété unique d'albumines de type 1 (> 50 gènes)
- L'expression dans la graine y est une exception; elles sont ubiquistes mais principalement racinaires
- Les pressions de sélection analysées sur la séquence, et 2 sites structurellement importants (R et la pointe de la boucle hydrophobe) sont sous sélection positive. Neofonctionalisations, et quelques pseudogénisations. Signal peptide conservé.
- Un clade de « nodulines », à expression racinaire, sans PA1a, non insecticides.
- Trois « souches » insecticides, dont un champion, **AG41**, « 10 X PA1b ». **Brevet Dec 2013.**
- PA1b produit en tabac (riz, maïs), et PA1a avec enfin un rôle ?



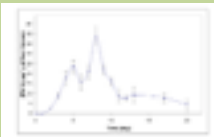
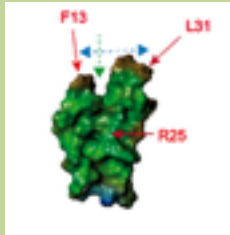
Karaki L et al. 2013. soumis Genome Biology

Royer C, Da Silva P, Gressent F, Karaki L, Rahbé Y. 2013. Brevet France

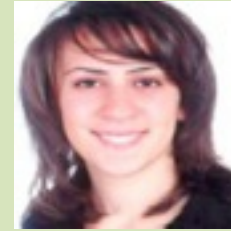
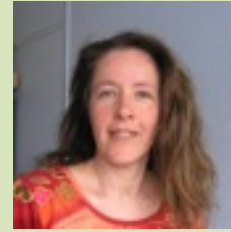
Eyraud V et al. 2013. PLoS One 8: e81619



# Souvent toxine varie



- *Medicago truncatula* possède une variété unique d'albumines de type 1 (> 50 gènes)
- L'expression dans la graine y est une exception; elles sont ubiquistes mais principalement racinaires
- Les pressions de sélection analysées sur la séquence, et 2 sites structurellement importants (R et la pointe de la boucle hydrophobe) sont sous sélection positive. Neofonctionalisations, et quelques pseudogénisations. Signal peptide conservé.
- Un clade de « nodulines », à expression racinaire, sans PA1a, non insecticides.
- Trois « souches » insecticides, dont un champion, **AG41**, « 10 X PA1b ». **Brevet Dec 2013.**
- PA1b produit en tabac (riz, maïs), et PA1a avec enfin un rôle ?



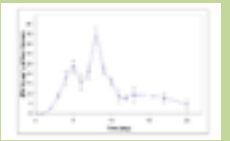
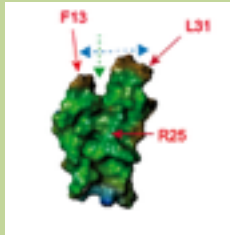
Catherine  
Sivignon

Karaki L et al. 2013. soumis Genome Biology

Royer C, Da Silva P, Gressent F, Karaki L, Rahbé Y. 2013. Brevet France

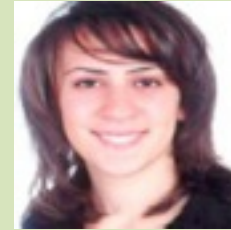
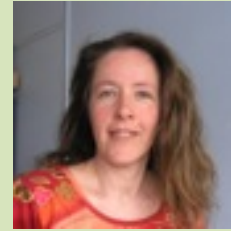
Eyraud V et al. 2013. PLoS One 8: e81619

# Souvent toxine varie

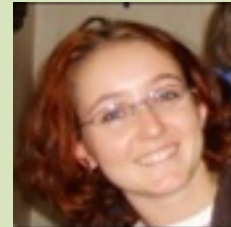


Protein	Accession	Length (aa)	PI	MW (kDa)
Albumin	U00001	585	5.1	66
Albumin	U00002	585	5.1	66
Albumin	U00003	585	5.1	66
Albumin	U00004	585	5.1	66
Albumin	U00005	585	5.1	66

- *Medicago truncatula* possède une variété unique d'albumines de type 1 (> 50 gènes)
- L'expression dans la graine y est une exception; elles sont ubiquistes mais principalement racinaires
- Les pressions de sélection analysées sur la séquence, et 2 sites structurellement importants (R et la pointe de la boucle hydrophobe) sont sous sélection positive. Neofonctionnalisations, et quelques pseudogénisations. Signal peptide conservé.
- Un clade de « nodulines », à expression racinaire, sans PA1a, non insecticides.
- Trois « souches » insecticides, dont un champion, **AG41**, « 10 X PA1b ». **Brevet Dec 2013**.
- PA1b produit en tabac (riz, maïs), et PA1a avec enfin un rôle ?



Catherine Sivignon

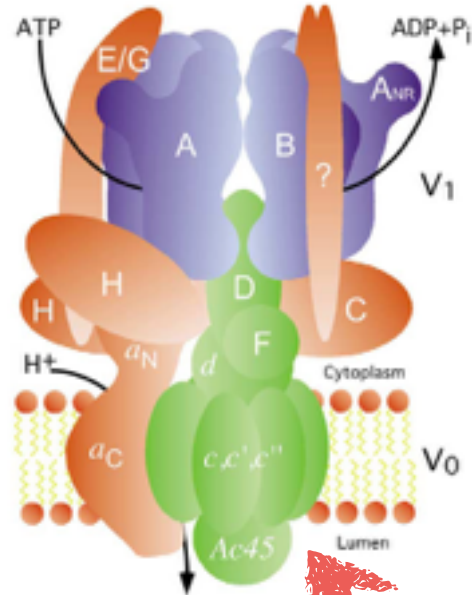


Karaki L et al. 2013. soumis Genome Biology

Royer C, Da Silva P, Gressent F, Karaki L, Rahbé Y. 2013. Brevet France

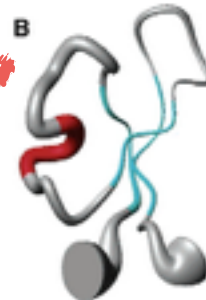
Eyraud V et al. 2013. PLoS One 8: e81619

# La Résistance non hôte des albumines A1b



légumineuses vs insectes non-hôtes  
résistance forte (58 MY)  
déterminisme moléculaire simple,  
résistance génétiquement simple,  
spécificité insectes

« *venin de petit pois* »  
(bafilomycine, concanamycine...)



<http://en.wikipedia.org/wiki/V-ATPase>

# Le gène Vat du melon (inductible)

Un cas unique de double phénotype (virus et vecteur), pas d'effecteur identifié

## Mapping and validation of QTLs for resistance to aphids and whiteflies in melon

Nathalie Boissot · Sophie Thomas · Nicolas Sauvion ·  
Cécile Marchal · Claudie Pavis · Catherine Dogimont

Theor Appl Genet (2010) 121:9–20  
DOI 10.1007/s00122-010-1287-8

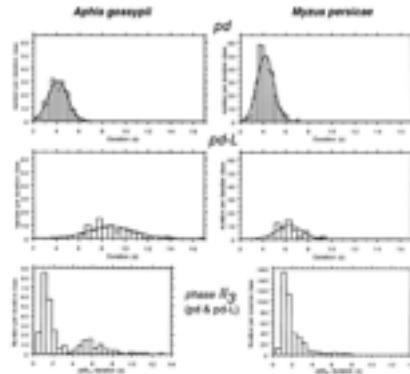
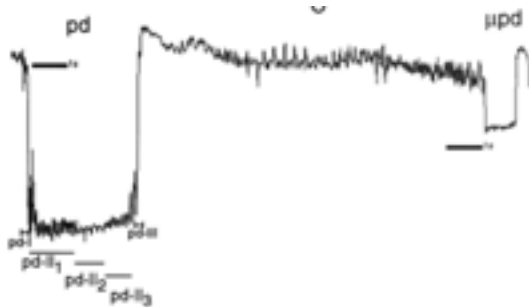
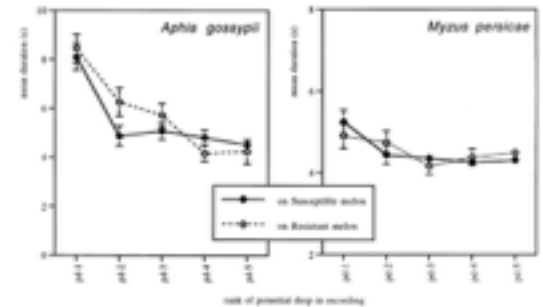


Figure 1 Distribution of penetration attempts for both aphid species (Aphis gossypii and Myzus persicae) on melon lines with different Vat gene alleles (pd-I1, pd-I2, pd-I3). The histograms show the distribution of penetration attempts per line for each allele (n = 10 lines per allele).



Chen, J. Q., B. Martin, Y. Rahbé, and A. Fereres. 1997. Early intracellular punctures of two aphids on near-isogenic melon lines with and without the virus aphid transmission (Vat) resistance gene. Eur. J. Plant Pathol. 103: 521-536.

# Le gènes Rm du pêcher (inductible)

Un R-gene quasi-identifié, une systémie (SAR), un **effecteur identifié**

ORIGINAL ARTICLE

## Co-localisation of host plant resistance QTLs affecting the performance and feeding behaviour of the aphid *Myzus persicae* in the peach tree

M-H Sauge<sup>1</sup>, P Lambert<sup>2</sup> and T Pascal<sup>2</sup>



Heredity (2012) 108, 292–301  
© 2012 Macmillan Publishers Limited All rights reserved 0018-067X/12  
www.nature.com/hdy

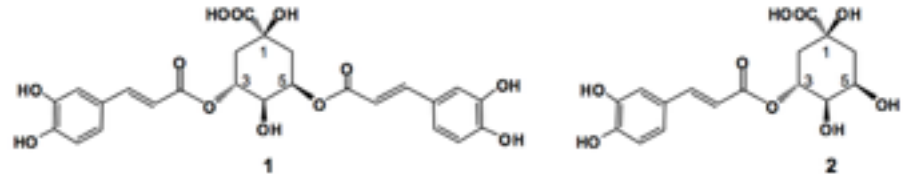


Figure 1-3,5-dicQ, acide 3,5 dicaféoylquinique 1 et acide chlorogénique 2

Poëssel, J., M. Collet, and Y. Rahbé. 2008. Procédé de préparation d'acides dicaféoylquiniques et leur utilisation dans la lutte contre les pucerons. INRA [ed.]. Brevet, Grosset-Fournier & Demachy, France.  
Poëssel, J. L., M. Collet-Sauge, and Y. Rahbé. 2014. Utilisation phytosanitaire de l'acide chicorique ou de l'un de ses dérivés INRA [ed.].

# Les gènes Md du blé (inductible)

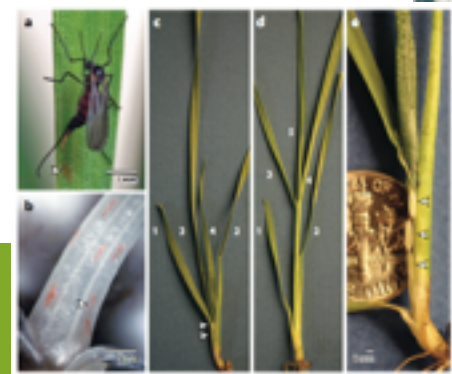
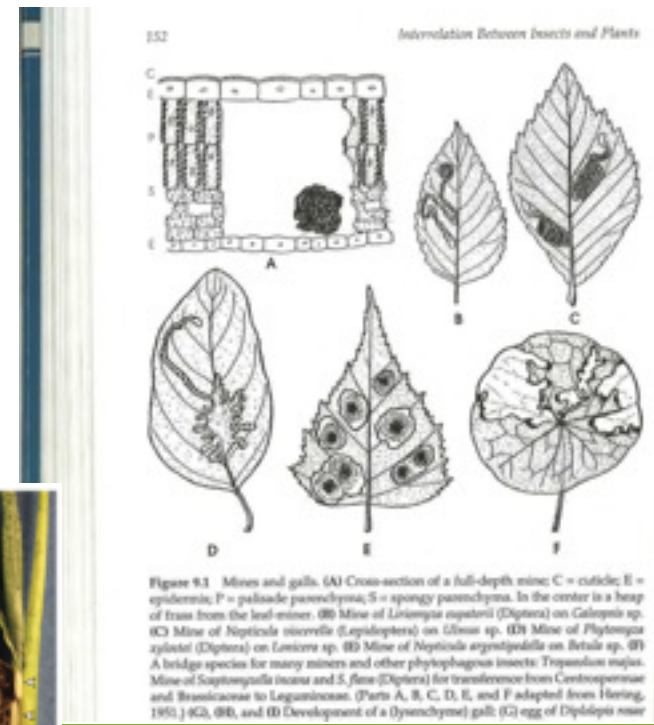
Un réseau d'allèles identifiés, et de signalisation en voie d'identification, pas d'effecteur clairement identifié

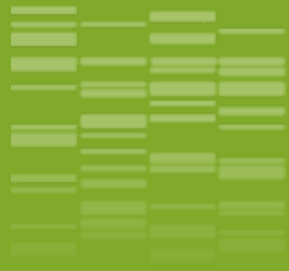
## Genetic association of *OPR* genes with resistance to Hessian fly in hexaploid wheat

Chor Tee Tan<sup>1</sup>, Brett F Carver<sup>1</sup>, Ming-Shun Chen<sup>2</sup>, Yong-Qiang Gu<sup>3</sup> and Liuling Yan<sup>1\*</sup>

Tan et al. *BMC Genomics* 2013, **14**:369  
<http://www.biomedcentral.com/1471-2164/14/369>

Un candidat pour un des loci de R-genes (OPR = 12-oxophytodienoate reductase, une enzyme précurseur dans la voie de biosynthèses des oxylipines et de l'acide jasmonique). Les principaux effecteurs restent toujours inconnus.



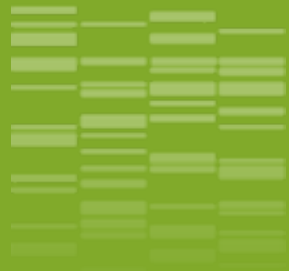


# 02

## Gènes et résistance aux insectes

Un état des lieux, de la préhistoire à l'histoire





# 02

## Gènes et résistance aux insectes

Un état des lieux, de la préhistoire à l'histoire

# Les gènes de résistance aux insectes dans les plantes cultivées

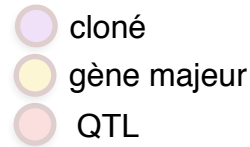


Tableau 1: Synthèse des données relatives aux sources de résistance aux insectes.

Désignation	Source	Spécies	Plante	Chromosome	Carte de position	Carte génétique	Localisation
Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé
Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs
Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz

Tableau 2: Détails des gènes de résistance aux insectes.

Désignation	Source	Spécies	Plante	Chromosome	Carte de position	Carte génétique	Localisation
Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé
Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs
Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz

Tableau 3: Synthèse des données relatives aux sources de résistance aux insectes.

Désignation	Source	Spécies	Plante	Chromosome	Carte de position	Carte génétique	Localisation
Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé
Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs
Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz

Tableau 4: Synthèse des données relatives aux sources de résistance aux insectes.

Désignation	Source	Spécies	Plante	Chromosome	Carte de position	Carte génétique	Localisation
Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé	Blé
Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs
Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz	Riz

**Phénotypes et tests de résistance**  
 (1) Résistance aux insectes...  
 (2) Résistance aux insectes...  
 (3) Résistance aux insectes...

# Genes & QTLs pour la Résistance aux pucerons

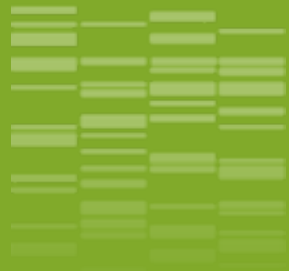
identifiés dans des espèces cultivées

Table 1

Major genes and QTLs for aphid resistance in cultivated crops.

Crop species	Aphid		Inheritance of aphid resistance and genes	
	Genus and species	Common name(s)		
<b>Legumes</b>				
Alfalfa, <i>Medicago sativa</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i> Harris	Pea aphid	Polygenic	[84,85]
Barrel medic, <i>Medicago truncatula</i>	<i>Acyrtosiphon kondoi</i> Shinji	Bluegreen aphid	AKR	[12,41,84]
	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Pea aphid	RAP1	[18]
	<i>Therioaphis trifolii</i> Monell f. <i>maculata</i>	Spotted alfalfa aphid	TTR	[41,84]
Cowpea, <i>Vigna unguiculata</i>	<i>Aphis craccivora</i> Koch	Cowpea aphid	Rac1, Rac2	[86]
Peanut, <i>Arachis hypogaea</i>	<i>Aphis craccivora</i> Koch	Groundnut aphid	One recessive gene	[31]
Soybean, <i>Glycine max</i>	<i>Aphis glycines</i> Matsumura	Soybean aphid	Rug1, Rug2, Rug3, two recessive genes, two QTLs + 1 epistatic interaction between these two QTLs	[4,28,29,33, 37,87,58]
<b>Fruit trees</b>				
Apple, <i>Malus domestica</i> and spp.	<i>Aphis pomi</i> De Geer	Green apple aphid	Polygenic, one QTL mapped	[38]
	<i>Dysaphis devecta</i> Walker	Rosy leaf curling aphid	Sd-1 and Sd-2 closely linked or alleles, Sd3 from <i>M. robusta</i>	[26,38,88]
	<i>Dysaphis platanifera</i> Passerini	Rosy apple aphid	Sm from <i>M. robusta</i>	[89]
	<i>Eriosoma lanigerum</i> Hausmann	Woolly apple aphid	Er1, Er2, Er3 (Er1 and Er3 closely linked or alleles)	[42]
Pear, <i>Pyrus</i> spp.	<i>Dysaphis pyri</i> Boyer de Fonscolombe	Pear bedstraw aphid	Dp-1 from <i>P. nivalis</i>	[27]
Peach, <i>Prunus persicae</i> and spp.	<i>Myzus persicae</i> Sulzer	Green peach aphid	Rm1, Rm2, polygenic in <i>P. davidiana</i> , 8 QTLs	[21,22]
Raspberry, <i>Rubus idaeus</i>	<i>Amphorophora agathonica</i> Hottes	Larger raspberry aphid	Ag1, two complementary dominant genes Ag2 and Ag3	[69]
	<i>Amphorophora idaei</i> Börn	European raspberry aphid	13 dominant genes A1-A10, AK4a, Acor1, Acor2 (only A1 mapped)	[65,69]
<b>Vegetables</b>				
Lettuce, <i>Lactuca sativa</i> and spp.	<i>Nasonovia ribisnigri</i> Mosely	Lettuce aphid	Nr from <i>L. virosa</i> , mapped in <i>L. seriola</i>	[5]
	<i>Pemphigus bursarius</i> L.	Lettuce root aphid	Ru or Lrs mapped	[59]
Melon, <i>Cucumis melo</i>	<i>Aphis gossypii</i> Glover	Melon-cotton aphid	Vat cloned, polygenic, four QTLs + two pairs of epistatic QTLs mapped	[40,51,52]
Tomato, <i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Macrosiphum euphorbiae</i> Thomas	Potato aphid	Mi-1 (or Meu) cloned	[44,45,46]
<b>Cereales</b>				
Barley, <i>Hordeum vulgare</i>	<i>Diuraphis noxia</i> Mordvilko	Russian wheat aphid	Polygenic, three QTLs mapped	[32,36]
Maize, <i>Zea mays</i>	<i>Rhopalosiphum maidis</i> Fitch	Corn leaf aphid	Two recessive genes <i>oph</i> and <i>oph2</i> , polygenic ( <i>oph2</i> mapped)	[32]
Sorghum, <i>Sorghum bicolor</i>	<i>Schizaphis graminum</i> Rondani	Greenbug	Polygenic, from three to nine QTLs mapped	[34,35]
Wheat, <i>Triticum aestivum</i> and related species	<i>Diuraphis noxia</i> Mordvilko	Russian wheat aphid	Dn1, Dn2, dn3 from <i>T. tauschii</i> , Dn4, Dn5, Dn6, Dn7 from rye, Dn8, Dn9, Dnx, Dn2414 (all mapped except dn3)	[6,24,72]
	<i>Schizaphis graminum</i> Rondani	Greenbug	gb1 from <i>T. durum</i> , Gb2 from rye, Gb3 and Gb4 from <i>Aegilops tauschii</i> , Gb5 from <i>A. speltoides</i> , Gb6 from rye, Gby (Gb2, Gb3, Gb5, Gb6 mapped)	[6,25,90]

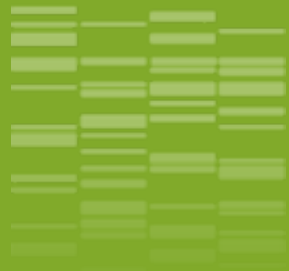
C. Degenhardt et al./C. R. Biologies 333 (2010) 566–573



03

# Transgènes et résistance aux insectes

De l'enfance à l'adolescence



03

# Transgènes et résistance aux insectes

De l'enfance à l'adolescence

# Classification des transgéniques

de **résistance aux** pathogènes, parasites et herbivores (insectes, « pests », **bioagresseurs**)

- stratégie « **trans** » simple basée sur des toxines
  - & *ingénierie*
  - & pyramidage des gènes
  - & ingénierie du promoteur
- stratégie d'ingénierie spatio-temporelle (« **trans-plant i** »)
  - promoteurs inductibles et tissu-spécifiques
- stratégie d'ingénierie des voies de transduction (« **cis** »)
- stratégie d'interférence informationnelle (« **trans-pest i** »)
  - (*résistance dérivée du pathogène*)

1ère génération

2nde génération

3ème génération

4ème generation

categories

générations

# Historique: utilisation d'*Arabidopsis* dans la recherche sur les interactions Plante Insecte

10 ans après le tabac

Santos, M. O., Adang, M. J., All, J. N., Boerma, H. R. & Parrott, W. A. **Testing transgenes for insect resistance using *Arabidopsis***. *Molecular Breeding* 3, 183-194, (1997).

Démonstration que quatre espèces de ravageurs, tous Lépidoptères (3 noctuides -*S.exigua*, *H. zea*, *H. virescens*- plus *Pseudoplusia includens*) pouvaient être étudiés sur *Arabidopsis*.

Le but proximal était l'aide à l'évaluation du pyramidage (= empilage) de gène

Première démonstration que ce pyramidage pouvait ne pas toujours fonctionner (antagonisme)

Santos *et al.* 1997, *Molecular breeding*



# 04

## *Transgènes, exemples*

*G1: oryzacystatine, G2: maize protease inhibitor, G3: Bak1, G4: C002 et GroEL*





# 04

## *Transgènes, exemples*

*G1: oryzacystatine, G2: maize protease inhibitor, G3: Bak1, G4: C002 et GroEL*

# Les cystatines et la résistance aux insectes

Contre les pucerons, chez le Colza (2003), chez *Arabidopsis* (2011) ...

Effects of the cysteine protease inhibitor oryzacystatin (OC-I) on different aphids and reduced performance of *Myzus persicae* on OC-I expressing transgenic oilseed rape

Yvan Rahbé<sup>a,\*</sup>, Céline Deraison<sup>a,b</sup>, Michel Bonadé-Bottino<sup>b</sup>, Cécile Girard<sup>b</sup>,  
Christiane Nardon<sup>a</sup>, Lise Jouanin<sup>b</sup>

<sup>a</sup> INRA-INSA, UMR BF21 Biologie Fonctionnelle Insectes et Interactions 406, Bat Louis-Pasteur, 20 av. A. Einstein, 69621 Villeurbanne Cedex, France

<sup>b</sup> INRA-CNRS, Laboratoire de Biologie Cellulaire, route de St Cyr, 78026 Versailles Cedex, Plant Science 164 (2003) 441-450

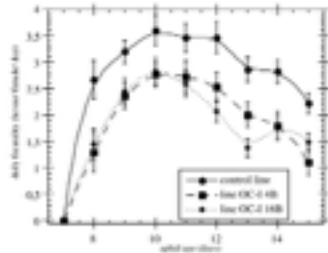


Fig. 4. Daily fecundity of the first generation of *M. persicae* reared on control (solid line) or transgenic (dashed lines) oilseed rape plants, lines 48 and 158. Error bars are standard errors; 30 initial females were used per modality; fecundity is reported per surviving female.

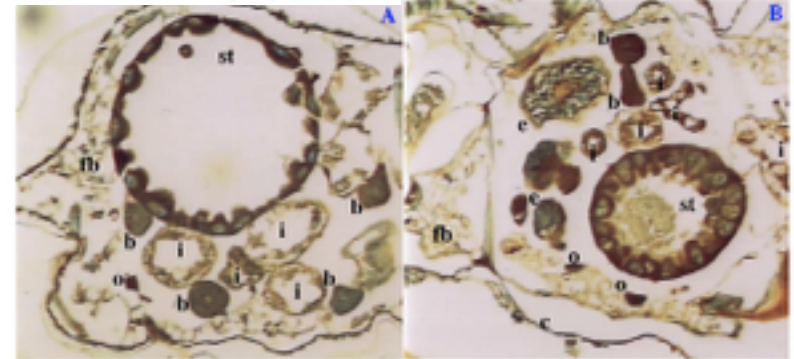


Fig. 5. Immunohistochemical detection of oryzacystatin in adult *M. persicae* aphids reared on oilseed rape plants expressing (B) or not (A) the OC-I gene. Transverse sections at the level of stomach (st) show the brownish peroxidase stain coating the digestive tract (i, st), intestine, and labeling aphid ommatocytes (o) and haemolymphocytes (h, compare W-A). c, Cuticle; a, anterior; fb, fat body.

Rahbé et al. 2003, Insect Biochem. Ceci et al. 2003, Plant J. Rahbé et al. 2003, Plant Sci. Carillo et al. 2011, Transgenic research

# La Cathepsine L des pucerons

Une cible intestinale, mais non digestive

New insight into the RNA interference response against *cathepsin-L* gene in the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*: Molting or gut phenotypes specifically induced by injection or feeding treatments

Panagiotis Sapountzis <sup>a,1</sup>, Gabrielle Duport <sup>a</sup>, Séverine Balmand <sup>a</sup>, Karen Gaget <sup>a</sup>,  
Stéphanie Jaubert-Possamai <sup>b</sup>, Gérard Febvay <sup>a</sup>, Hubert Charles <sup>a,c</sup>, Yvan Rahbé <sup>a,c</sup>,  
Stefano Colella <sup>a,\*</sup>, Federica Calevro <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> UMR203 BF2I, Biologie Fonctionnelle Insectes et Interactions, INRA, INSA de Lyon, Université de Lyon, 20 Avenue

<sup>b</sup> UMR INRA 1355-UNSA-CNRS 7254, Institut Sophia Agrobiotech (ISA), 400 Route des Chappes BP167, F-06903

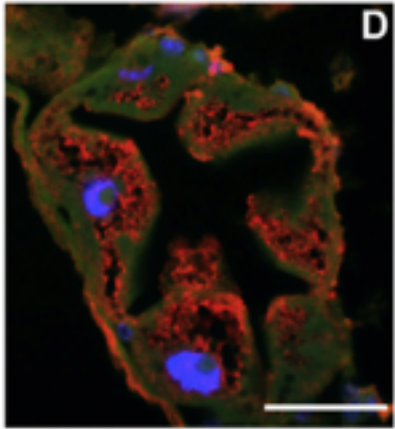
<sup>c</sup> Inria Rhône-Alpes, Bamboo, F-38330 Monbonnot Saint-Martin, France

# La Cathepsine L des pucerons

Une cible intestinale, mais non digestive

New insight into the RNA interference response against *cathepsin-L* gene in the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*: Molting or gut phenotypes specifically induced by injection or feeding treatments

Panagiotis Sapountzis <sup>a,1</sup>, Gabrielle Duport <sup>a</sup>, Séverine Balmand <sup>a</sup>, Karen Gaget <sup>a</sup>,  
Stéphanie Jaubert-Possamai <sup>b</sup>, Gérard Febvay <sup>a</sup>, Hubert Charles <sup>a,c</sup>, Yvan Rahbé <sup>a,c</sup>,  
Stefano Colella <sup>a,\*</sup>, Federica Calevro <sup>a,\*</sup>



**D** Insectes et Interactions, INRA, INSA de Lyon, Université de Lyon, 20 Avenue  
Institut Sophia Agrobiotech (ISA), 400 Route des Chappes BP167, F-06903  
Monbonnot Saint-Martin, France

Insect Biochemistry and Molecular Biology xxx (2014) 1–13



# 04- G1

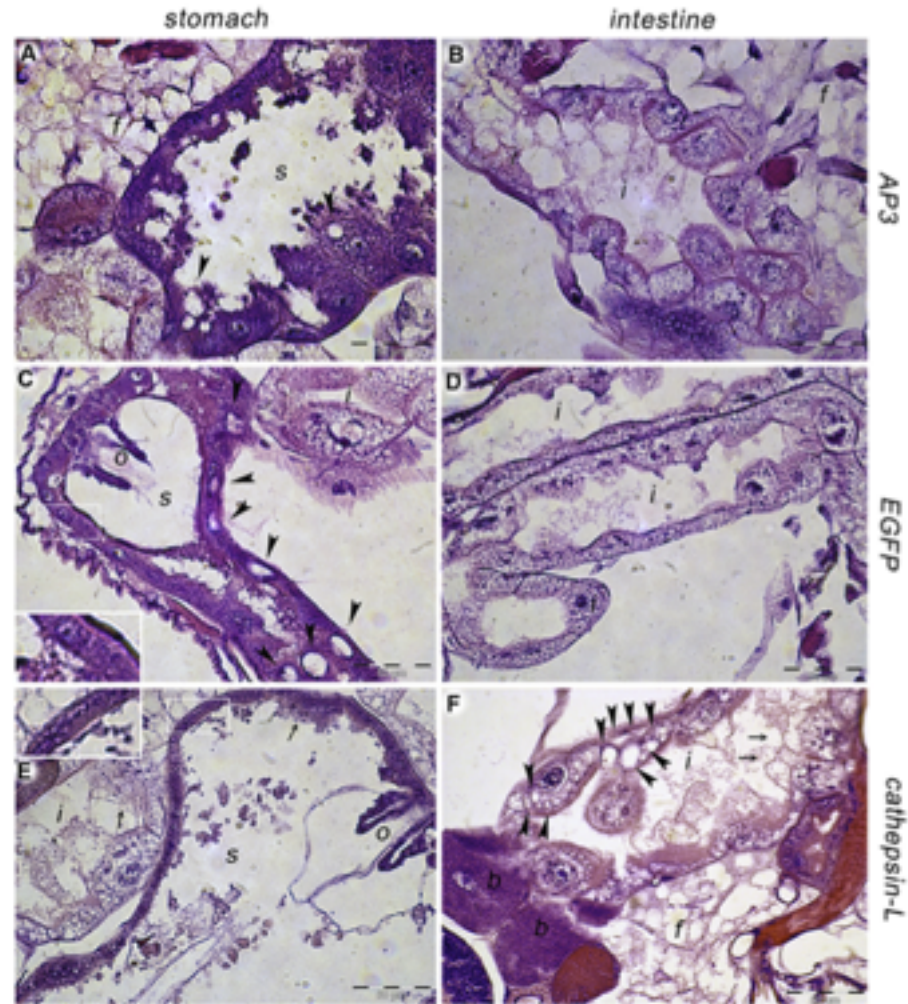
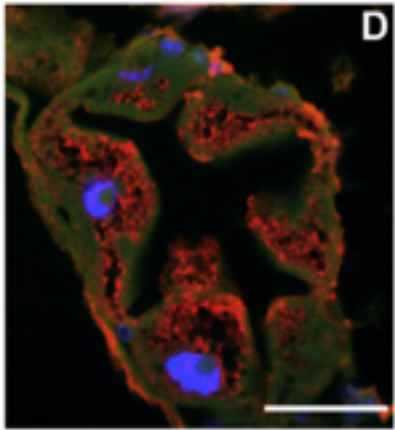
## La Cathepsine L des

Une cible intestinale, mais non di

New insight into the RNA interference r  
gene in the pea aphid, *Acyrtosiphon pis*  
phenotypes specifically induced by injec

Panagiotis Sapountzis <sup>a,1</sup>, Gabrielle Duport <sup>a</sup>, Séverin  
Stéphanie Jaubert-Possamai <sup>b</sup>, Gérard Febvay <sup>a</sup>, Hub  
Stefano Colella <sup>a,\*</sup>, Federica Calevro <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Insectes et Interactions, INRA, INSA de Lyon, Univ  
nstitut Sophia Agrobiotech (ISA), 400 Route des Cl  
Monbonnot Saint-Martin, France



# 04- G2 Les inhibiteurs de protéases et la résistance aux insectes

Contre un foreur des tiges, sous induction spécifique, chez le Riz (2014)

## Inducible expression of a fusion gene encoding two proteinase inhibitors leads to insect and pathogen resistance in transgenic rice

Jordi Quilis<sup>1,†</sup>, Belén López-García<sup>1,†</sup>, Donaldo Meynard<sup>2</sup>, Emmanuel Guiderdoni<sup>2</sup> and Blanca San Segundo<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Centre for Research in Agricultural Genomics (CRAG), CSIC-IRTA-UAB-UB, Edifici CRAG, Barcelona, Spain

<sup>2</sup>CIRAD, UMR AGAP, Montpellier Cedex 5, France

*Plant Biotechnology Journal* (2014) **12**, pp. 367–377

# 04- G2 Les inhibiteurs de protéases et la résistance aux insectes

Contre un foreur des tiges, sous induction spécifique, chez le Riz (2014)

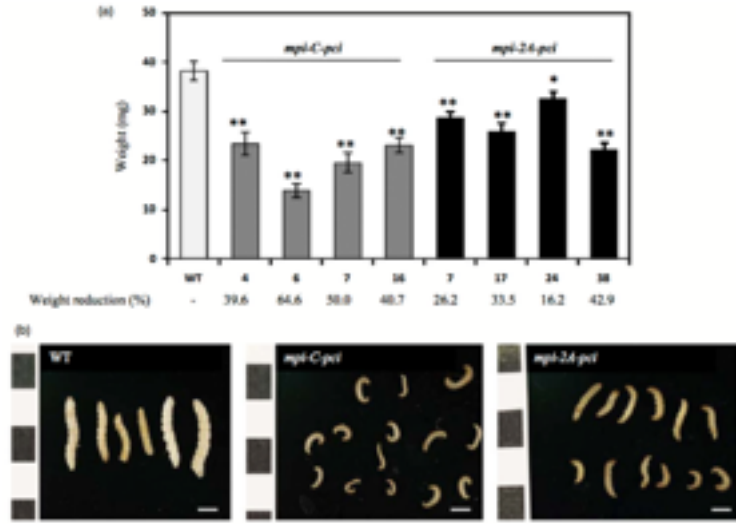
## Inducible expression of a fusion gene encoding two proteinase inhibitors leads to insect and pathogen resistance in transgenic rice

Jordi Quilis<sup>1,†</sup>, Belén López-García<sup>1,†</sup>, Donaldo Meynard<sup>2</sup>, Emmanuel Guiderdoni<sup>2</sup> and Blanca San Segundo<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Centre for Research in Agricultural Genomics (CRAG), CSIC-IRTA-UAB-UB, Edifici CRAG, Barcelona, Spain

<sup>2</sup>CIRAD, UMR AGAP, Montpellier Cedex 5, France

*Plant Biotechnology Journal* (2014) **12**, pp. 367–377



# 04- G2 Les inhibiteurs de protéases et la résistance aux insectes

Contre un foreur des tiges, sous induction spécifique, chez le Riz (2014)

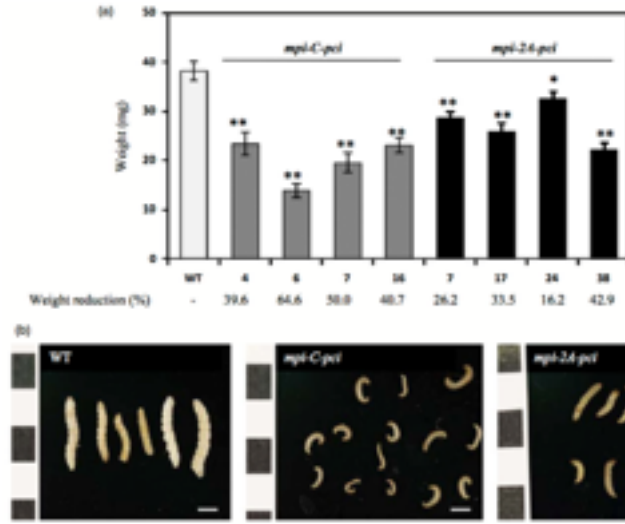
## Inducible expression of a fusion gene encoding two proteinase inhibitors leads to insect and pathogen resistance in transgenic rice

Jordi Quilis<sup>1,†</sup>, Belén López-García<sup>1,†</sup>, Donaldo Meynard<sup>2</sup>, Emmanuel Guiderdoni<sup>2</sup> and Blanca San Segundo<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Centre for Research in Agricultural Genomics (CRAG), CSIC-IRTA-UAB-UB, Edifici CRAG, Barcelona, Spain

<sup>2</sup>CIRAD, UMR AGAP, Montpellier Cedex 5, France

Plant Biotechnology Journal (2014) 12,





# Tout est-il dans le nom ? un transgene , un QTL ?

Tous les **gènes majeurs clonés à ce jour (6)** dans des plantes cultivées :

sont **soit**:

- des **NBS-LRR** Mir1, Vat, Rm1, Bph14 (récepteurs senseurs de facteurs de virulence) avec des effecteurs majeurs encore inconnus

**soit**:

- **Maïs**: **mir1** (une protéase toxique attaquant la membrane périthroïque)
- **Haricot mungo**: **Br** (alcaloïdes cyclopeptidiques, acides viginatiques)

## un locus synthétisant une toxine protéique ou alcaloïdale

Tous les **QTL moléculairement identifiés à ce jour (9)** dans des plantes cultivées :

- **Maïs**: Dimboa **bx**, maysin **p1**
- **Haricot**: arcelines **ArcN**; inhibiteurs d'alpha-amylase, **aAl1**
- **Raygrass pérenne** and **tall Fescue**: alcaloïdes endophytes, péramine & loline (**perA** & **Lol**)
- **Pomme de terre**: alcaloïdes leptiniques (**Lep** & **Al**)

## sont des loci biosynthétiques de toxines

sauf **Glossy15** dans le **Maïs** (locus de structure foliaire contre le lépidoptère *Diatraea grandiosella*)

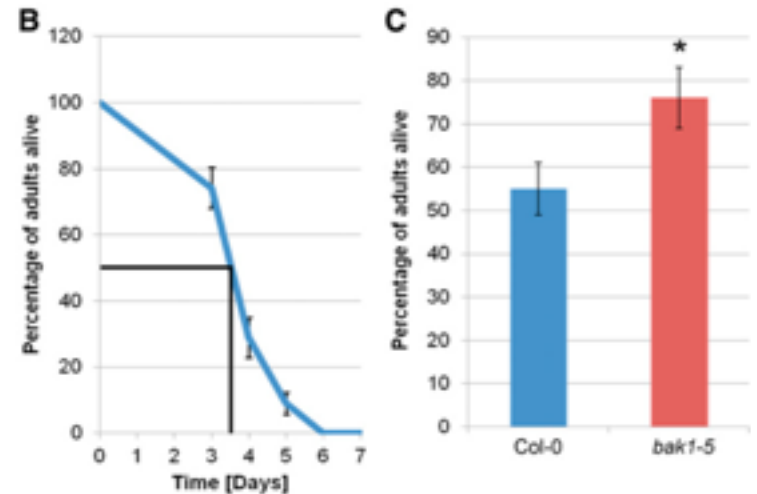
C.M. Smith, S.L. Clement, Molecular Bases of Plant Resistance to Arthropods, Annu Rev Entomol. 57 (2010) 309–328.

**The Leucine-Rich Repeat Receptor-Like Kinase  
BRASSINOSTEROID INSENSITIVE1-ASSOCIATED  
KINASE1 and the Cytochrome P450 PHYTOALEXIN  
DEFICIENT3 Contribute to Innate Immunity to  
Aphids in Arabidopsis<sup>1</sup>[C][W][OPEN]**

David C. Prince<sup>2</sup>, Claire Drurey, Cyril Zipfel, and Saskia A. Hogenhout\*

Department of Cell and Developmental Biology, John Innes Centre, Norwich Research Park, Norwich  
7UH, United Kingdom (D.C.P., C.D., S.A.H.); and The Sainsbury Laboratory, Norwich Research Park, NR4  
7UH, United Kingdom (C.Z.)

*Plant Physiology*<sup>®</sup>, April 2014, Vol. 164



**Figure 6.** BAK1 is involved in pea aphid resistance. A, Elicitors derived from several aphid species trigger up-regulation of PTI marker genes.

# 04-G4 Une protéine inconnue peut être une cible

Une protéine salivaire inhibée induit un phénotype léthal

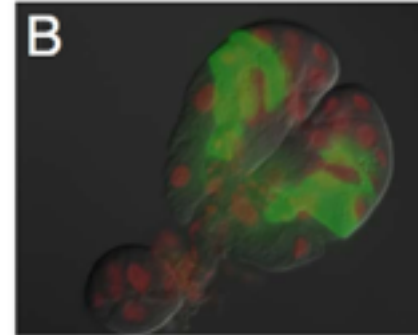
## A protein from the salivary glands of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, is essential in feeding on a host plant

PNAS | July 22, 2008 | vol. 105 | no. 29 | 9965-9969

Navdeep S. Mutti<sup>\*†‡</sup>, Joe Louis<sup>\*</sup>, Loretta K. Pappan<sup>†5</sup>, Kirk Pappan<sup>†5</sup>, Khurshida Begum<sup>\*</sup>, Ming-Shun Chen<sup>†1</sup>, Yoonseong Park<sup>\*</sup>, Neal Dittmer<sup>†1</sup>, Jeremy Marshall<sup>\*</sup>, John C. Reese<sup>\*</sup>, and Gerald R. Reeck<sup>†\*\*</sup>

Departments of <sup>\*</sup>Entomology and <sup>†</sup>Biochemistry, Kansas State University, Manhattan, KS 66506; <sup>‡</sup>U.S. Department of Agriculture, Department of Entomology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506; and <sup>1</sup>Cooperative Research Centre for National Plant Biosecurity, Canberra ACT 2617, Australia

Edited by Barry J. Beaty, Colorado State University, Fort Collins, CO, and approved March 26, 2008 (received for review September 20, 2007)



# 04-G4 Une protéine

Une protéine

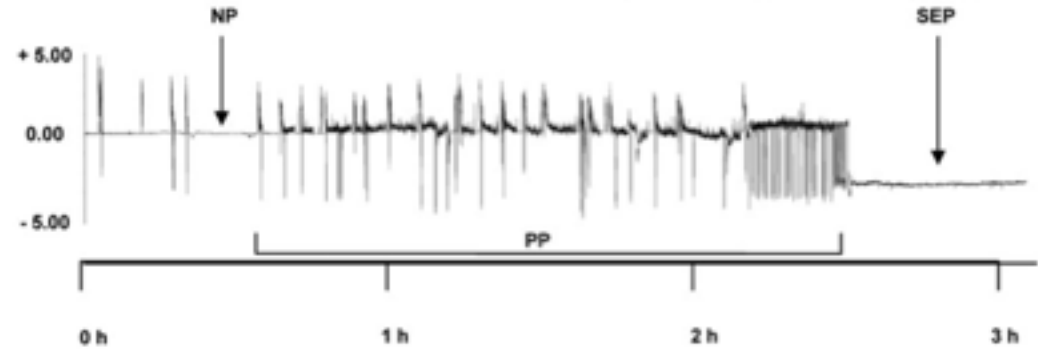
## A protein from the salivary gland of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*, host plant

Navdeep S. Mutti<sup>\*†‡</sup>, Joe Louis<sup>\*</sup>, Loretta K. Papp<sup>§</sup>, Yoonseong Park<sup>\*</sup>, Neal Dittmer<sup>¶||</sup>, Jeremy Marshall<sup>||</sup>

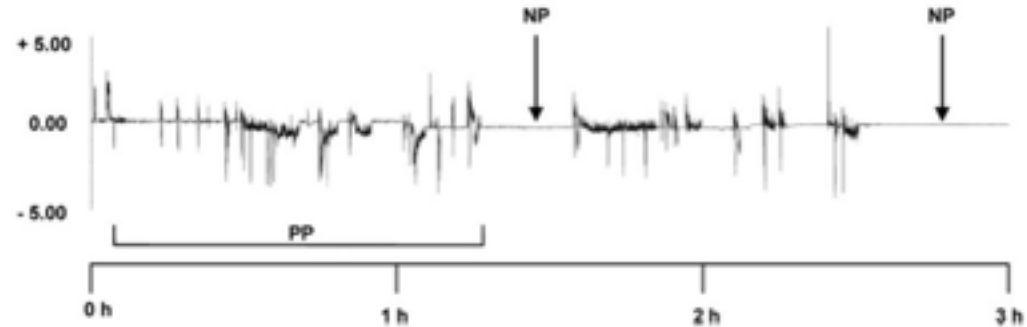
Departments of <sup>\*</sup>Entomology and <sup>†</sup>Biochemistry, Kansas State University, Manhattan, KS 66506; and <sup>‡</sup>Entomology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506; and <sup>§</sup>Entomology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506; and <sup>¶</sup>Entomology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506; and <sup>||</sup>Entomology, Kansas State University, Manhattan, KS 66506

Edited by Barry J. Beaty, Colorado State University, Fort Collins, Colorado

### a EPG from an siGFP-RNA injected (control) aphid



### b EPG from an siC002-RNA injected (knockdown) aphid



**Fig. 5.** Representative EPG waveforms of *c002*-knockdown insects (a) and control-injected insects (b) on fava beans. NP, nonprobing; PP, pathway phase. SEP, sieve element phase.

# 04-G3 Inducteurs (facteurs de virulence): Les symbiotes font partie de l'insecte (Holobionte)

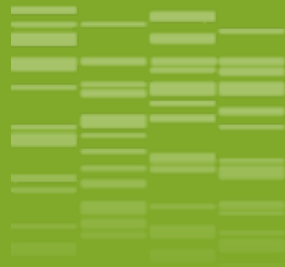
## GroEL from the endosymbiont *Buchnera aphidicola* betrays the aphid by triggering plant defense

Ritu Chaudhary<sup>a,b</sup>, Hagop S. Atamian<sup>a,b,1</sup>, Zhouxin Shen<sup>c</sup>, Steven P. Briggs<sup>c,2</sup>, and Isgouhi Kaloshian<sup>a,b,d,2</sup>

<sup>a</sup>Graduate Program in Genetics, Genomics and Bioinformatics, <sup>b</sup>Department of Nematology, and <sup>d</sup>Institute of Integrative Genome Biology, University of California, Riverside, CA 92521; and <sup>c</sup>Division of Biological Sciences, University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093

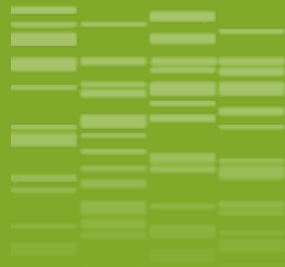
Contributed by Steven P. Briggs, April 28, 2014 (sent for review March 16, 2014)

PNAS | June 17, 2014 | vol. 111 | no. 24 | 8919–8924



# Perspective

L'agriculture a (plus de) 10 000 ans, c'est une invention de l'homme  
Comme dans tous les domaines à fort apport scientifique, le temps s'accélère...



# Perspective

L'agriculture a (plus de) 10 000 ans, c'est une invention de l'homme  
Comme dans tous les domaines à fort apport scientifique, le temps s'accélère...



# une approche multiéchelles



**la biologie**

*200 000 000 années*



**l'agriculture**

*20 000 ans*



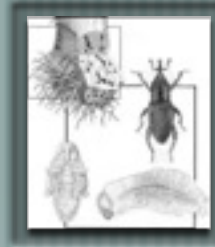
**l'économie**

*20 ans*





*Rhynchophorus palmarum*



*Cosmopolites sordidus*



*Sitophilus oryzae*



*Sitophilus linearis*

# Les charançons des céréales

— [ **Sitophilus oryzae** (Coleoptera: Curculionoidea, Dryophthoridae)

— [ Une espèce cosmopolite infestant les graines de céréales stockées

— n'existe plus à l'état sauvage probablement en lien avec la révolution néolithique (3 espèces: *oryzae*, *zeamais*, *granarius*)

Plare Eur. J. Entomol. 107: 1–11, 2010

Obata H, Manabe A, Nakamura N, Onishi T, Senba Y (2011) A New Light on the Evolution and Propagation of Prehistoric Grain Pests: The World's Oldest Maize Weevils Found in Jomon Potteries, Japan. PLoS ONE 6: e14785.

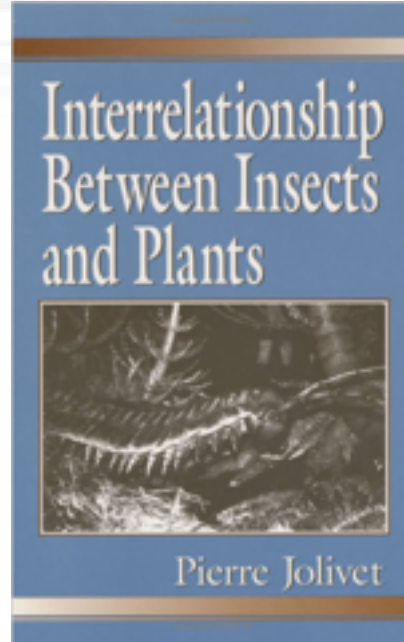
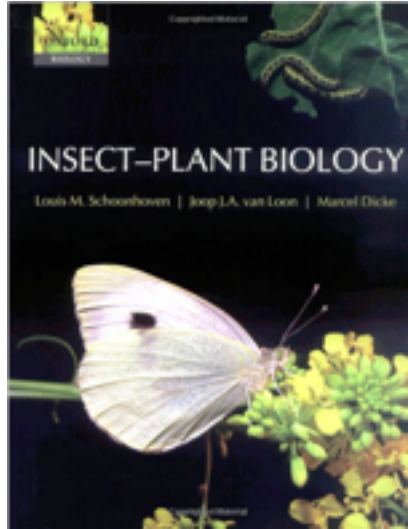
— [ A «récemment» colonisé les céréales, à partir d'un ancêtre vivant sur les tiges de Poaceae (en passant par ?)

— [ A acquis un symbiote récent par remplacement symbiotique du clade bactérien ancestral (Lefevre et al. 2007, SymSImm group, BF2I)

Lefèvre C, Charles H, Vallier A, Delobel B, Farrell B, Heddi A: Endosymbiont phylogenesis in the Dryophthoridae weevils: Evidence for bacterial replacement. *Mol Biol Evol* 2004, 21(6):965-973.

Oakeson, K. F. et al. Genome degeneration and adaptation in a nascent stage of symbiosis. *Genome Biol Evol* 6, 76–93 (2014).

# 4 livres et une liste de diffusion



<https://listes.inra.fr/sympa/info/bioinsecte>

# Pipoles

*Néologisme* français dérivé de l'*anglicisme* *people* au sens de « gens célèbres » et réécrit à la française. Apparu dans les années 2000 avec le développement de la *presse* du même nom (souvent encore écrit *people*). La fréquence de son emploi est un bon indicateur de la « *starisation* » constatée depuis les années 1980. Le terme anglais *people* étant issu du français *peuple*, on assiste à un amusant retour aux sources... latines : *populus* (« habitants, peuple »).

## Groupe Lyon BF2I

**Pedro Da Silva**  
(Bernard Delobel †)  
Vanessa Eyraud  
**Frédéric Gressent**  
Lamis Karaki  
(Sandrine Louis)  
(Zhang, Yi)  
**Yvan Rahbé**  
Isabelle Rahioui  
**Corinne Royer**  
Catherine Sivignon

## Groupe Avignon INRA GAFL & PSH

Jean-Philippe Croze  
**Catherine Dogimont**  
**Jean-Luc Poessel**  
**Marie-Hélène Sauge**

## Groupe Lyon ICBMS

Xiu Bin  
**Sylvie Moebs**

## Groupe Lyon LBBE

**Céline Bochier-Armanet**  
**Daniel Kahn**  
(Nadia Touati)

## Groupe Montpellier CIRAD AGAP

**Jean-Christophe Breitler**  
**Nathalie Chantret**  
**Emmanuel Guiderdoni**  
**Julie Petit**

## Groupe Dijon INRA AgroEco

**Grégoire Aubert**  
**Judith Burstin**  
**Karine Gallardo**  
**Pascal Marget**

## Groupe Orléans CNRS CBM

**Laurence Jouvensal**  
**Agnès Delmas**  
**Karine Loth**  
**Céline Landon**

## Groupe U. Osnabrück

(Markus Huss)

## Groupe U. Leeds

**Stephen Muench**

# Pipoles

*Néologisme* français dérivé de l'*anglicisme* *people* au sens de « gens célèbres » et réécrit à la française. Apparu dans les années 2000 avec le développement de la *presse* du même nom (souvent encore écrit *people*). La fréquence de son emploi est un bon indicateur de la « *starisation* » constatée depuis les années 1980. Le terme anglais *people* étant issu du français *peuple*, on assiste à un amusant retour aux sources... latines : *populus* (« habitants, peuple »).

## Groupe Lyon BF2I

**Pedro Da Silva**  
(Bernard Delobel †)  
Vanessa Eyraud  
**Frédéric Gressent**  
Lamis Karaki  
(Sandrine Louis)  
(Zhang, Yi)  
**Yvan Rahbé**  
Isabelle Rahioui  
**Corinne Royer**  
Catherine Sivignon

## Groupe Avignon INRA GAFL & PSH

Jean-Philippe Croze  
**Catherine Dogimont**  
**Jean-Luc Poessel**  
**Marie-Hélène Sauge**

## Groupe Lyon ICBMS

Xiu Bin  
**Sylvie Moebs**

## Groupe Lyon LBBE

**Céline Bochier-Armanet**  
**Daniel Kahn**  
(Nadia Touati)

## Groupe Montpellier CIRAD AGAP

**Jean-Christophe Breitler**  
**Nathalie Chantret**  
**Emmanuel Guiderdoni**  
**Julie Petit**

## Groupe Dijon INRA AgroEco

**Grégoire Aubert**  
**Judith Burstin**  
**Karine Gallardo**  
**Pascal Marget**

## Groupe Orléans CNRS CBM

**Laurence Jouvensal**  
**Agnès Delmas**  
**Karine Loth**  
**Céline Landon**

## Groupe U. Osnabrück

(Markus Huss)

## Groupe U. Leeds

**Stephen Muench**