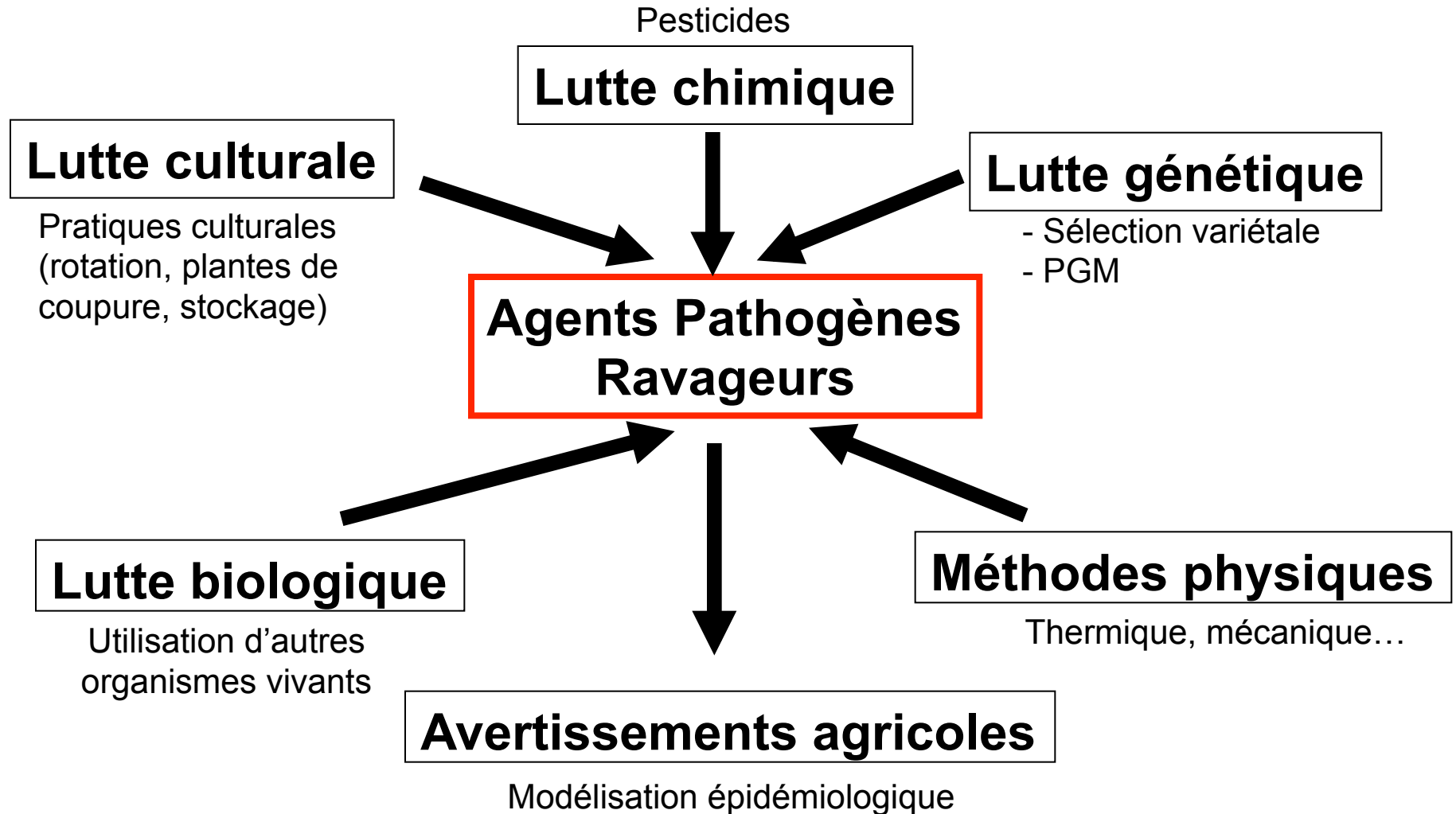




# Les Stimulateurs de Défenses des Plantes: Etat des Lieux

# La Protection des Plantes



# Panorama actuel...

**Lutte chimique**

**Lutte culturale**

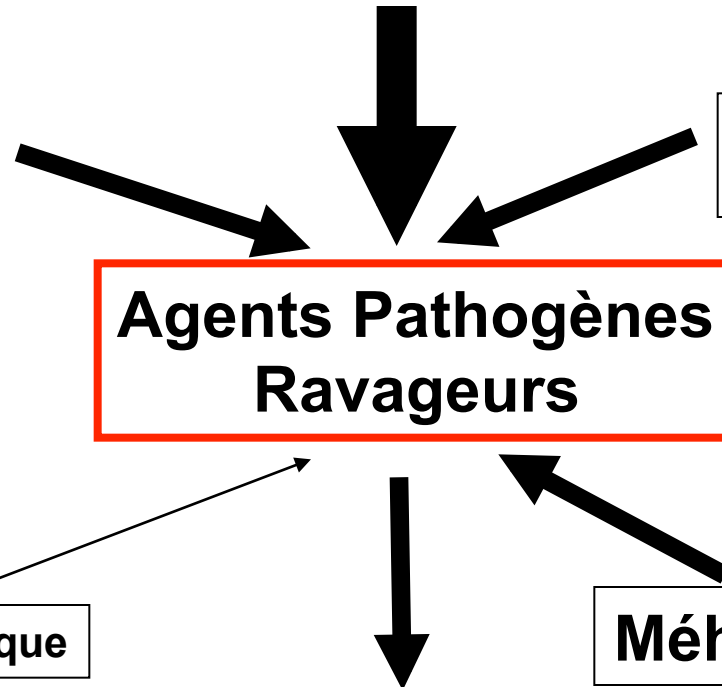
**Lutte génétique**

**Agents Pathogènes  
Ravageurs**

**Lutte biologique**

**Méthodes physiques**

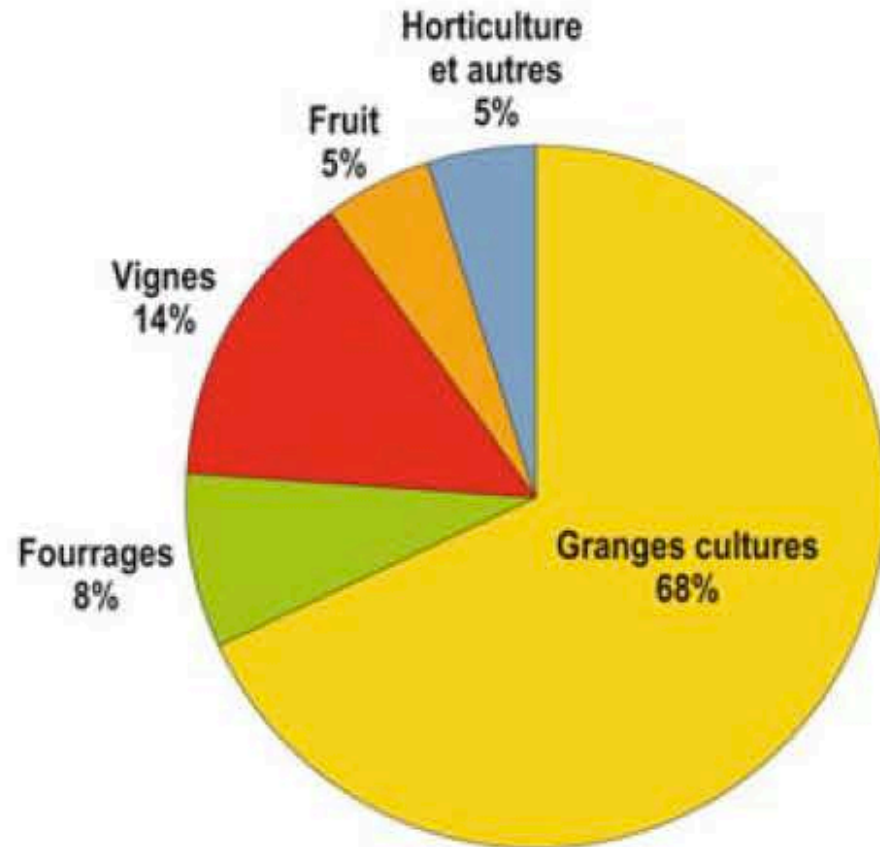
**Avertissements agricoles**



# La Lutte Chimique

**En 2010, 100 000 tonnes de produits phytosanitaires dont:**

- **40% Herbicides**
- **30% Fongicides**
- **15% Insecticides**
- **15% Autres**





# Contexte de l'émergence des SDP

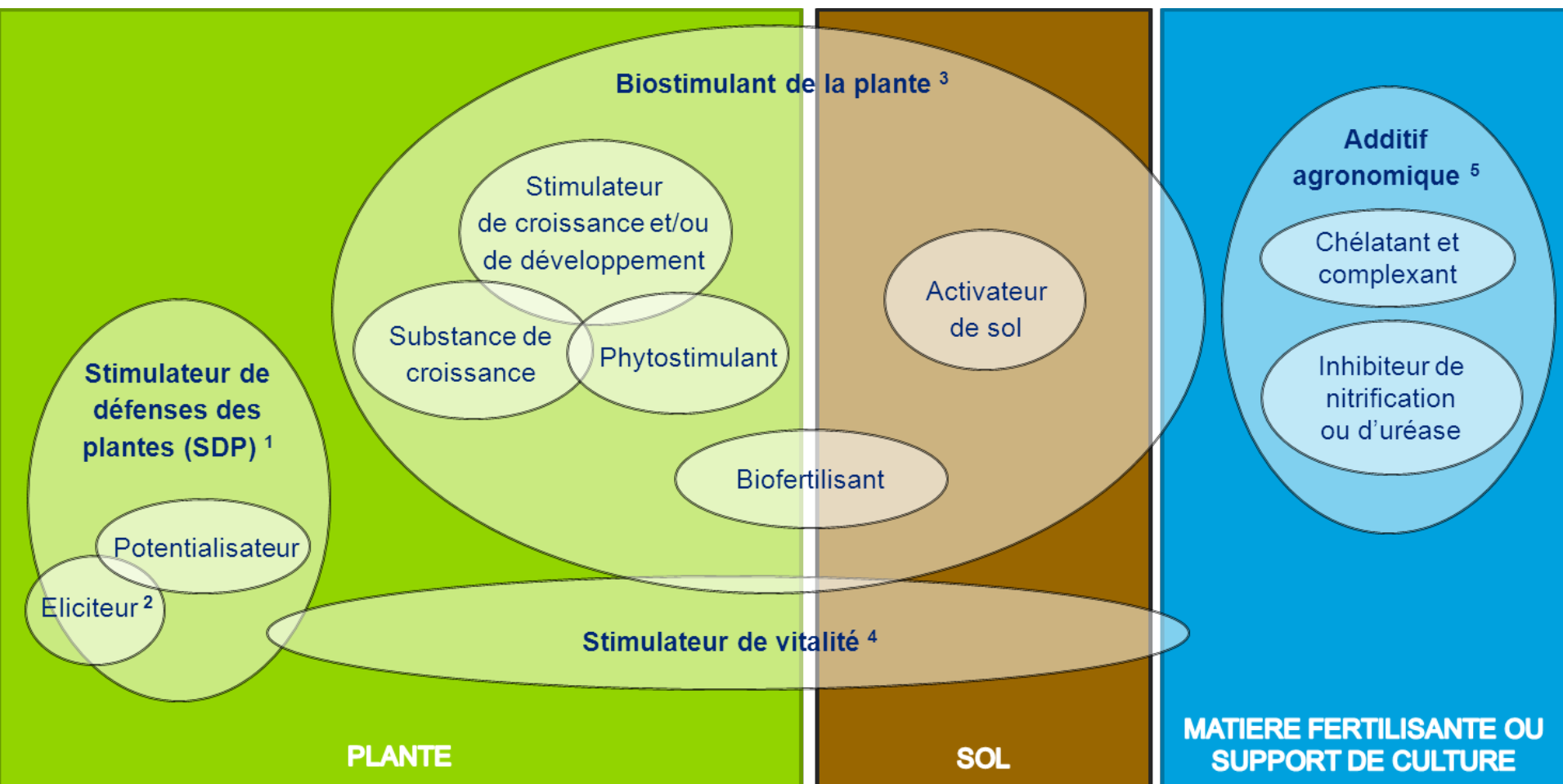
Remise en question de l'utilisation des pesticides par la prise de conscience de leur impact négatif sur l'environnement, voire sur la santé humaine (**Grenelle de l'Environnement - 2007**).

Situation actuelle se traduit par:

(1) un renforcement progressif de la législation.

(2) Le développement de méthodes de lutte alternatives/complémentaires (**Plan Ecophyto 2018**) dont les **SDP**. Usage des pesticides en hausse de 5% entre 2009 et 2013! Extension du plan à 2025.

# Définitions



**Principales terminologies identifiées pour les produits de stimulation des plantes (Deloitte S.A., 2014)**

# Définitions

- **SDP:** Substances naturelles ou non, capables d'induire ou de préparer à l'induction, chez les plantes traitées, un état de résistance aux bio-agresseurs.
- Peu ou pas d'effet sur la croissance des microorganismes in vitro mais réduisent la maladie in planta.
- Mode d'action indirect.
- La dose d'application détermine souvent le mode d'action (élicitation/potentialisation)

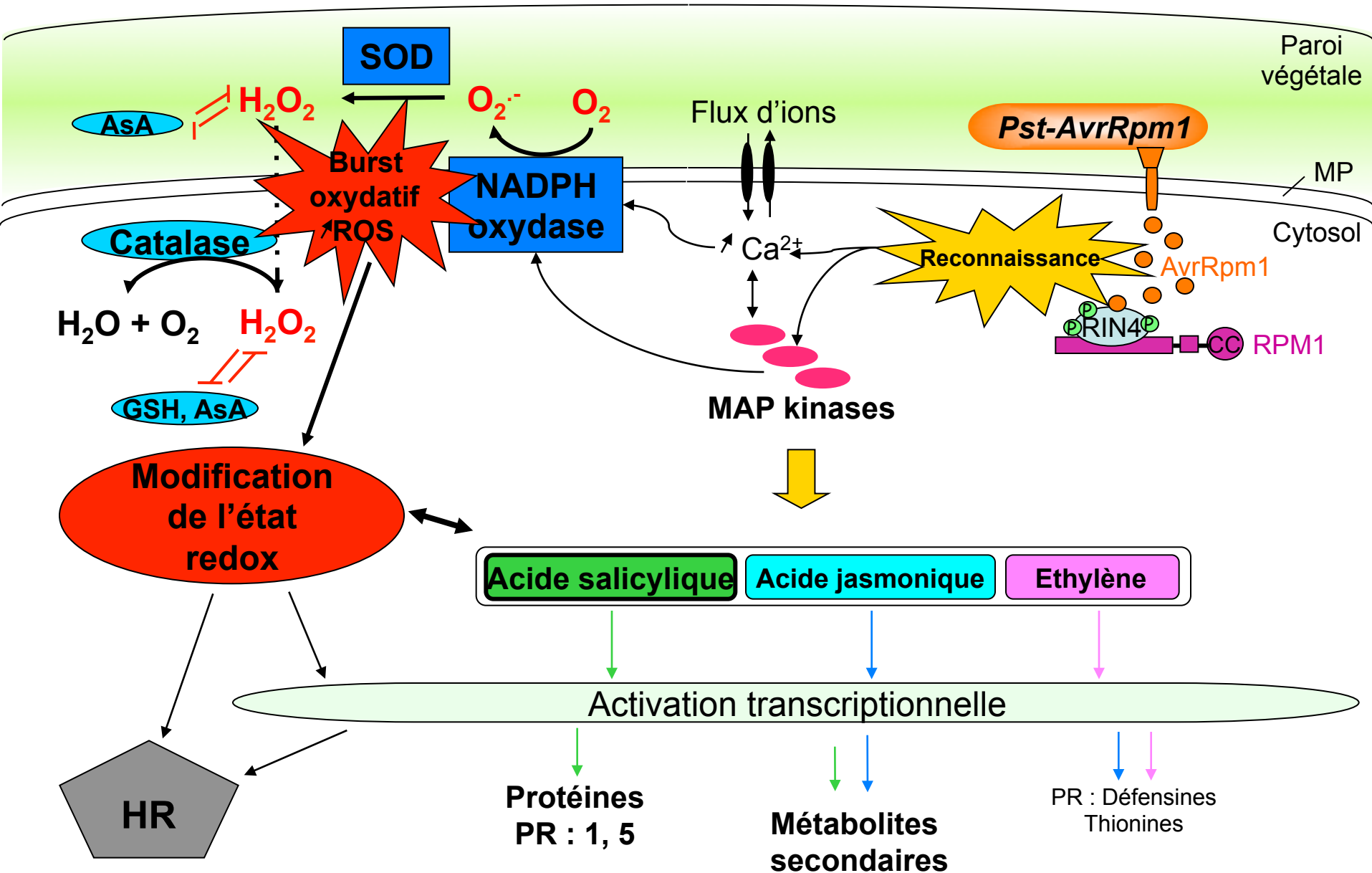
# Définitions

Les SDP agissent via la Résistance induite par:

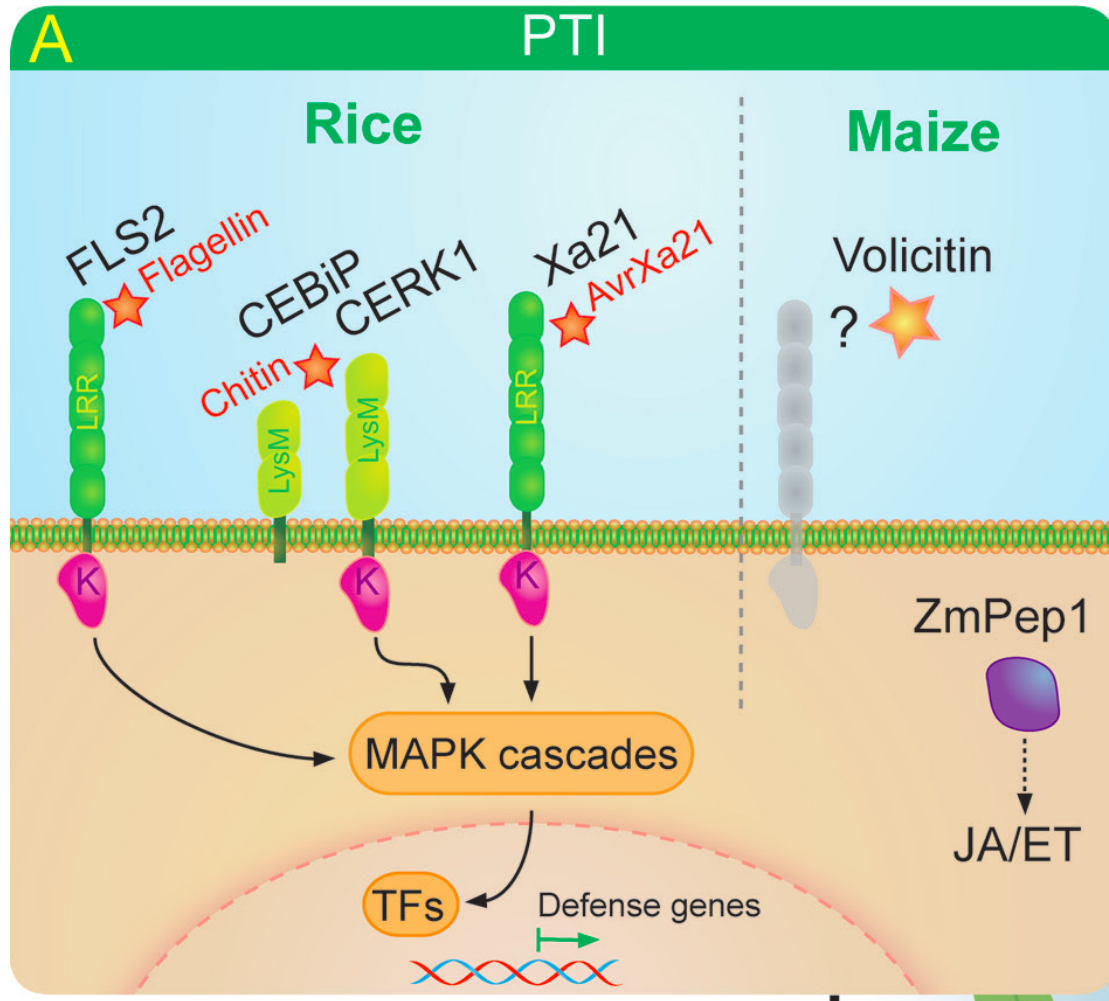
- **Elicitation:** induction des réactions de défense. NB: l'état «élicité» n'implique pas forcément une induction de résistance.

- **Potentialisation:** concerne les systèmes de défense qui ne sont pas induits directement, mais qui sont mobilisés plus rapidement et plus intensément en réponse aux agents pathogènes.

# Résistance Induite: cascade réactionnelle



# Induced Resistance in Monocots: Pathogen-triggered immunity

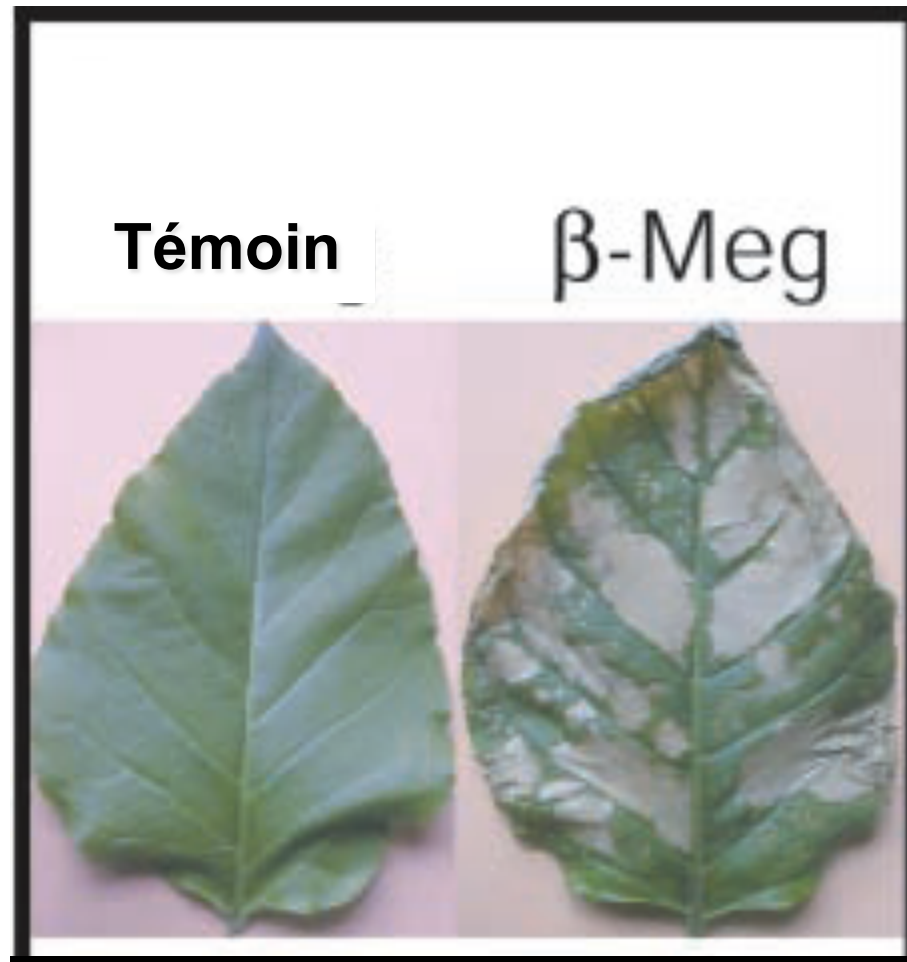


**PTI:** broad spectrum disease resistance.

**PAMPs/MAMPs**=Pathogen- or microbe-associated molecular patterns.

**Rice sensors:** CEBiP/Chitin *Magnaporthe grisea*; OsFLS2/Flagellin *Pseudomonas avenae*, *Acidovorax avenae*; XA21/Sulphated Ax21 *Xanthomonas* spp.; **Maize sensor:** ZmPep1/unknown (Endogenous elicitor) (Balmer et al., 2012).

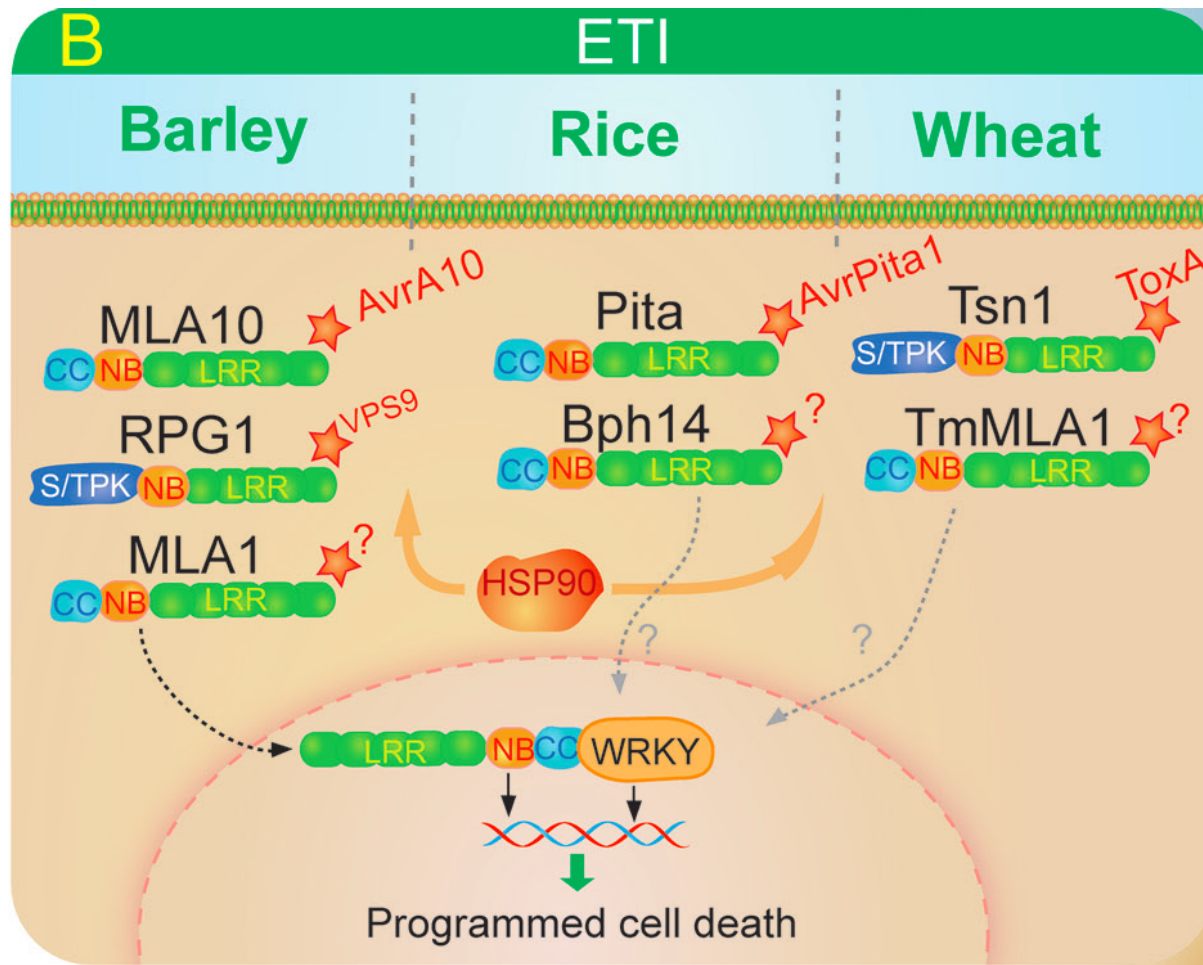
# Un éliciteur général de *Phytophthora*: la $\beta$ -mégaspermine



**Elicitrine: transporteur de stérols**

*S. Kauffmann, Strasbourg*

# Induced Resistance in Monocots: Effector-triggered immunity

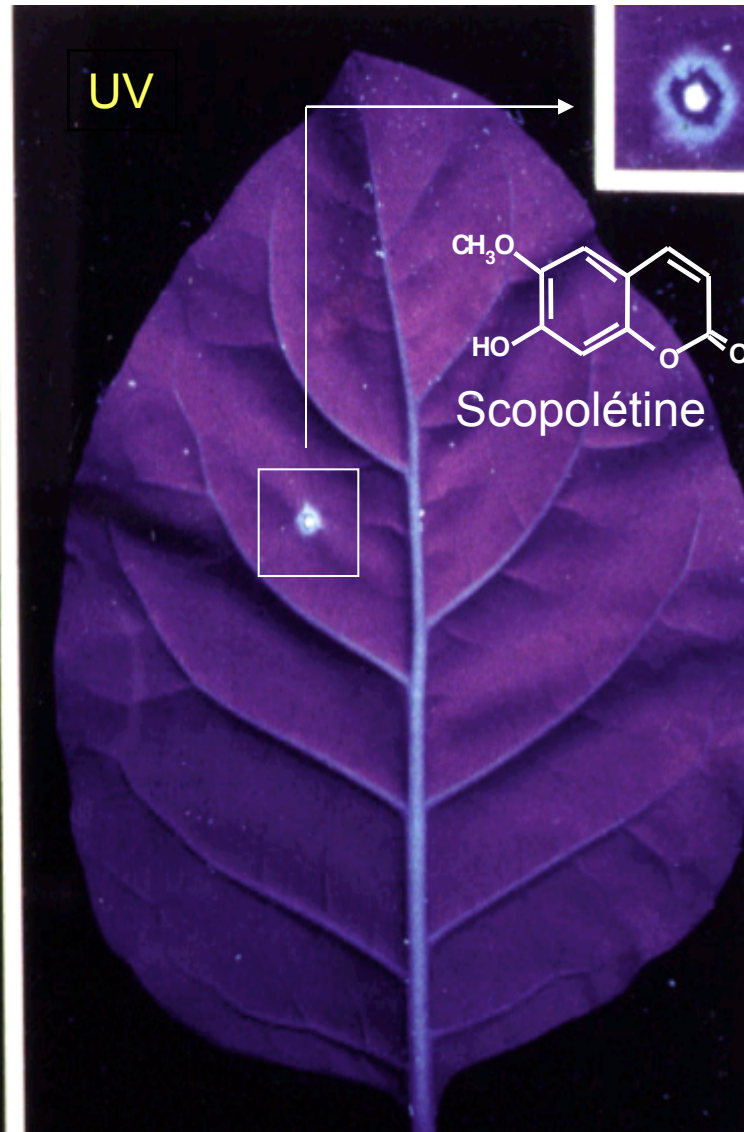


**ETI:** plant resistance (R) gene recognizes avirulence (Avr) gene.

**Rice PRRs:** Bph14/unknown Brown planthopper; Pita/AvrPita1 *Magnaporthe grisea*; **Barley PRRs:** MLA10/AvrA10 *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*; RPG1/VPS9 *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*; **Wheat PRRs:** TmMLA1/unknown *B. graminis* f sp *hordei*; TnS1/ToxA *Stagnospora nodorum* (Balmer et al., 2012).

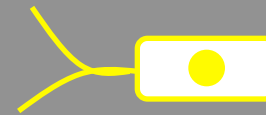
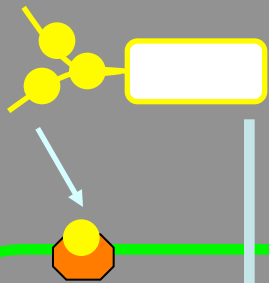


# La réaction d'hypersensibilité : Interaction entre *N. tabacum* cv Samsun NN (N) et le VMT (réplicase)

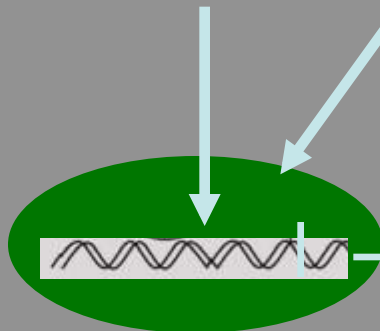


# Induction des Mécanismes de Défense des Plantes

## 1. Perception



## 2. Transduction signaux



## 3. Homéostasie Hormonale, Redox...



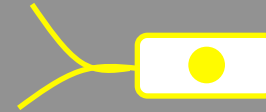
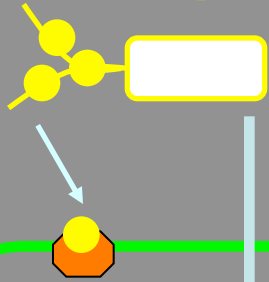
Phytoalexines,  
PR...

Signalisation  
longue distance

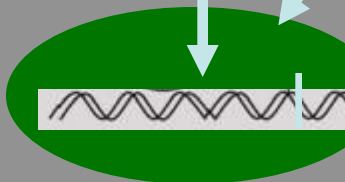
(SAR)

# Induction des Mécanismes de Défense des Plantes

## 1. Perception



## 2. Transduction signaux



## 3. Homéostasie Hormonale, Redox...



Phytoalexines,  
PR...

Signalisation  
longue distance

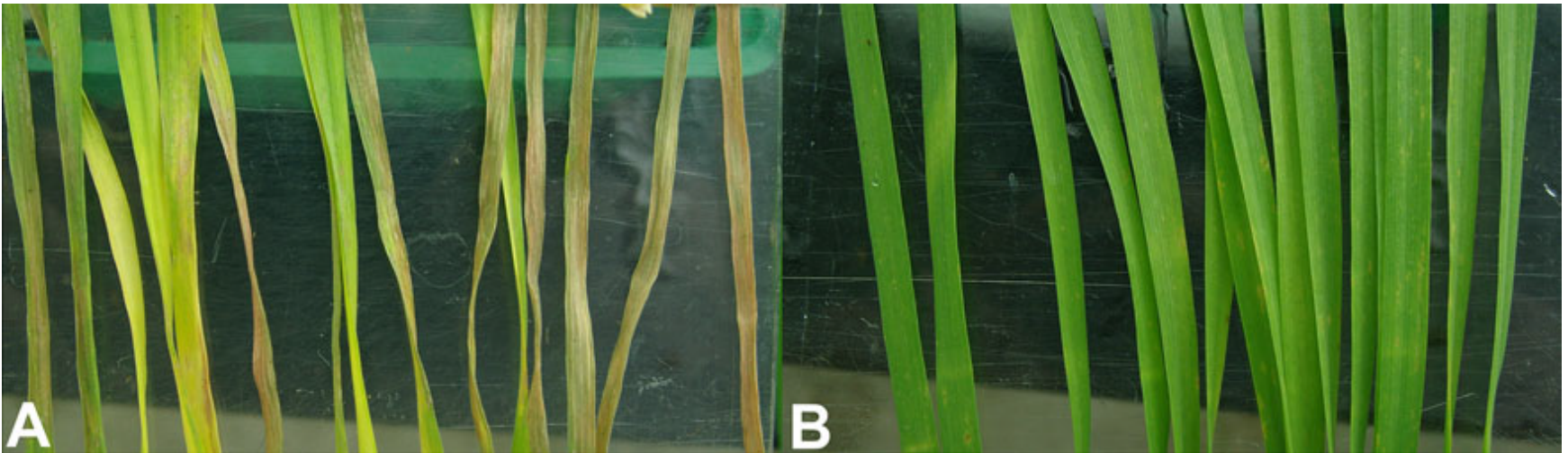
(SAR)

# 1. Perception: les oligosaccharides

- Molécules de reconnaissance générales, relativement indépendantes du génotype de la plante et de celui de l'agent infectieux.
- Libérées lors de la dégradation des parois (microbiennes ou végétales) par des enzymes d'origine microbienne ou végétale.
- Eliciteurs exogènes, elles sont perçues comme des signaux de défense et induisent des réponses de défense.

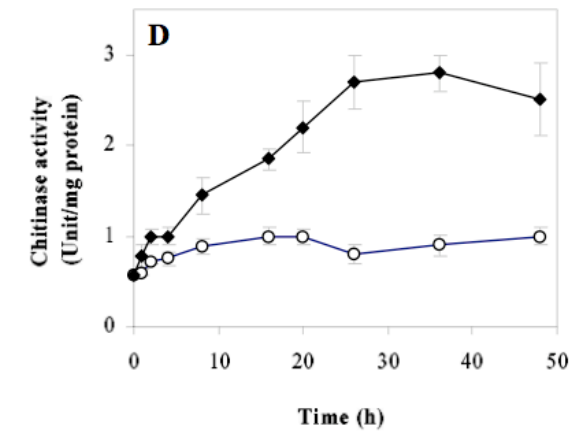
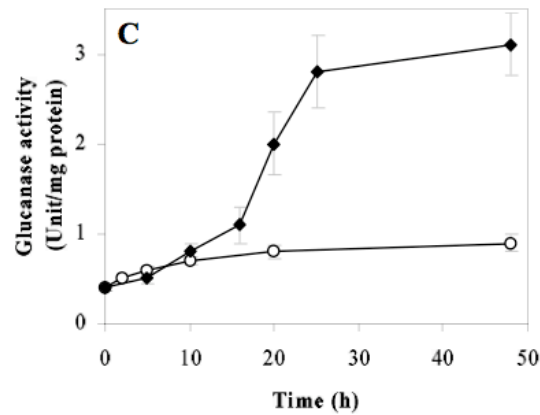
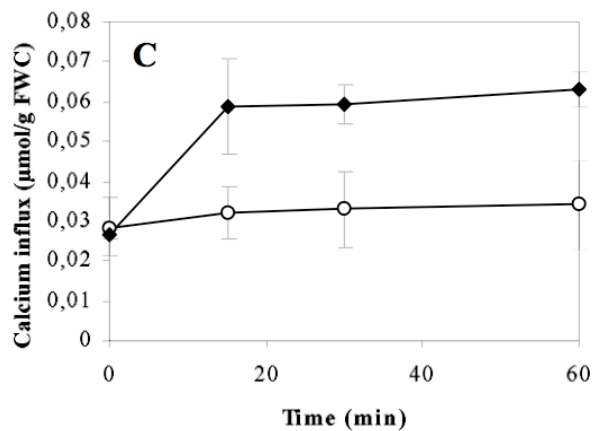
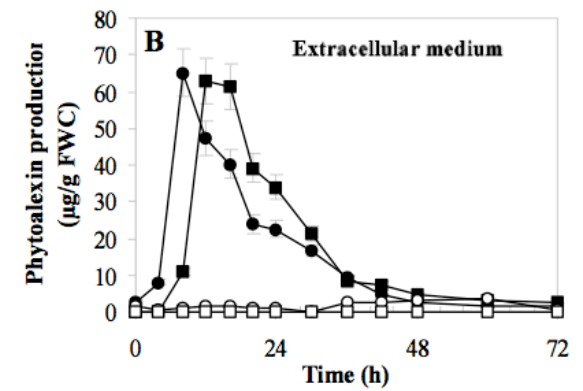
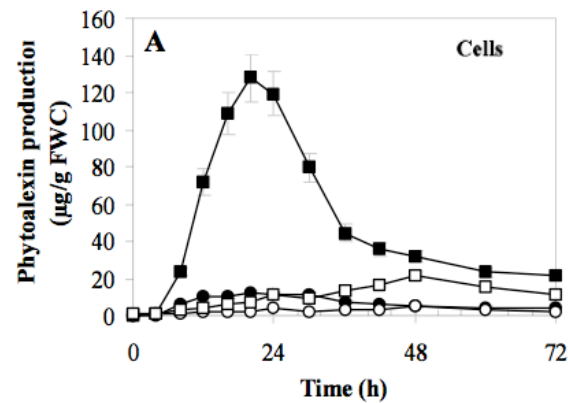
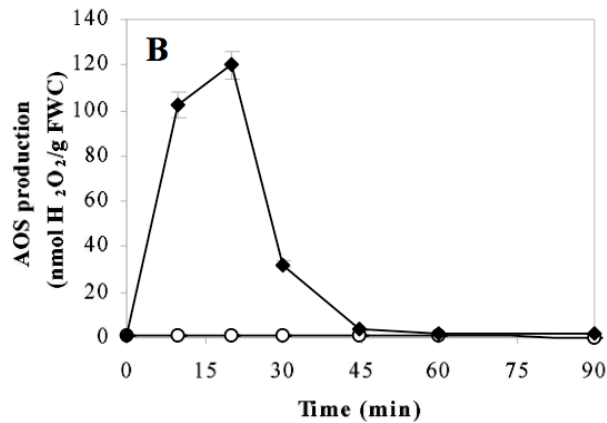
# 1. Perception: les $\beta$ -1,3 glucanes

- Traitement d'un cultivar de blé avec des fragment de  $\beta$ -1,3 glucanes purifiés induits la résistance associée à des dépôts de callose



Traitement du cv. Sevin avec de l'eau (A) ou du  $\beta$ -1-3-glucane (B) de *Mg* et inoculation du pathogène 24 h plus tard. Les symptômes sont observés 15 jai (Shetty et al., 2009).

# 1. Perception: la laminarine

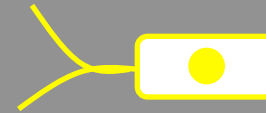
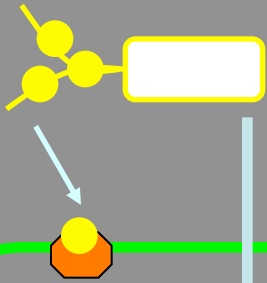


○ Sans laminarine  
◆ Avec laminarine

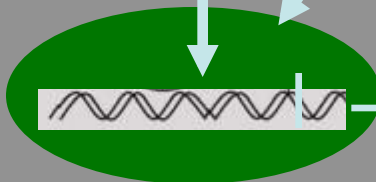
Activation de réponses de défense après pulvérisation sur cellules de vigne (Aziz et al., 2003).

# Induction des Mécanismes de Défense des Plantes

## 1. Perception



## 2. Transduction signaux



## 3. Homéostasie Hormonale, Redox...



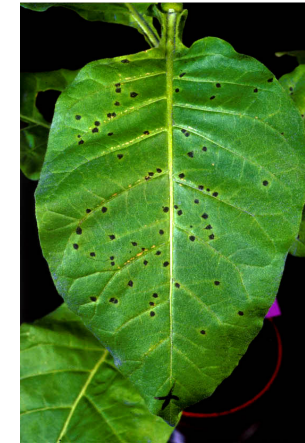
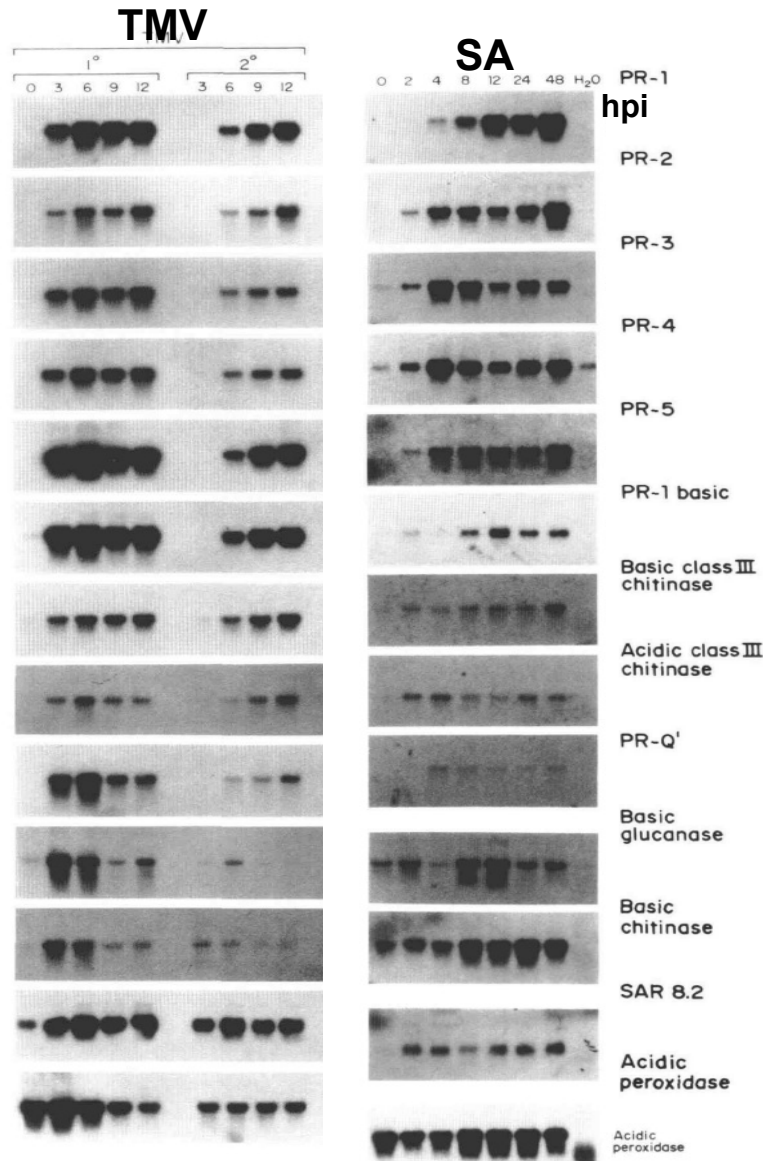
Phytoalexines,  
PR...

Signalisation  
longue distance

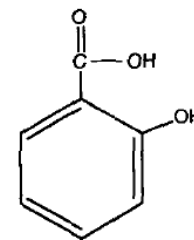
(SAR)



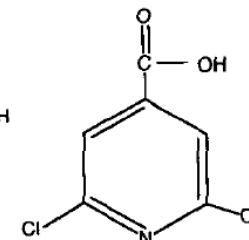
## 2. Signalisation: Acide Salicylique et dérivés fonctionnels



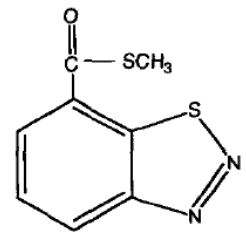
*Nicotiana tabacum*  
+ TMV



SA




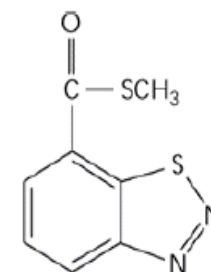
INA



BTH



Main Brand		
	The Plant Activator that enhances and increases the flexibility of crop protection programs.	
Additional brands	ACTIGARD®, BOOST®	
Active ingredient	Acibenzolar-S-methyl	
Mode of action	Activates the plant's own natural defense mechanism (Systemic Acquired Resistance)	
Targets	Wide range of fungal, bacterial and viral diseases	
Main crops	Bananas, tomatoes and tobacco	
Geography	Global	
Main customer benefits		Improves disease management to give better quality produce.
		Unique option for the control of certain bacteria and viruses.



Benzo-(1,2,3)-thiodiazole-  
7-carbothionic acid  
S-methylester  
(BTH)

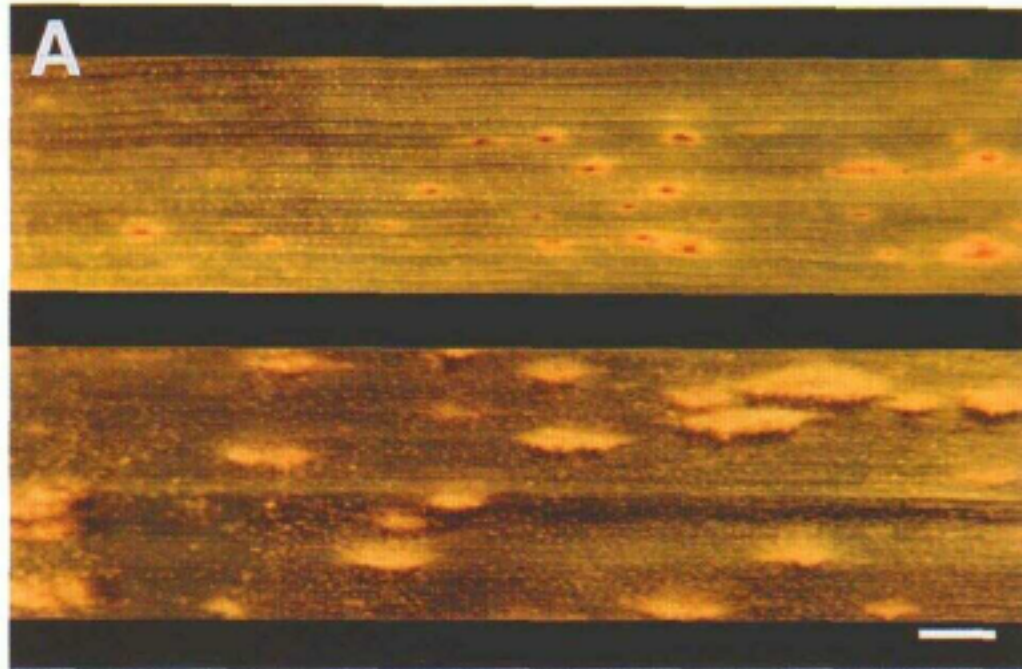
## Benzothiadiazole, a Novel Class of Inducers of Systemic Acquired Resistance, Activates Gene Expression and Disease Resistance in Wheat

Jörn Görlach,<sup>a</sup> Sandra Volrath,<sup>a</sup> Gertrud Knauf-Beiter,<sup>b</sup> Georges Hengy,<sup>b</sup> Uli Beckhove,<sup>c</sup> Karl-Heinz Kogel,<sup>c</sup> Michael Oostendorp,<sup>b</sup> Theo Staub,<sup>b</sup> Eric Ward,<sup>a</sup> Helmut Kessmann,<sup>b</sup> and John Ryals<sup>a,1</sup>

<sup>a</sup> Ciba-Geigy Agricultural Biotechnology Research Unit, Research Triangle Park, North Carolina 27709-2257

<sup>b</sup> Ciba Limited, Plant Protection Division, CH-4002 Basel, Switzerland

<sup>c</sup> Institute for Biology III, Technical University of Aachen, D-52074 Aachen, Germany



**Figure 2.** Phenotypic Expression of BTH-Induced Resistance.

The influence of BTH on the spread of *E. g. tritici* on wheat plants is shown. Field-grown plants were treated with 30 g of BTH per hectare. Plants were photographed 2 months after treatment.

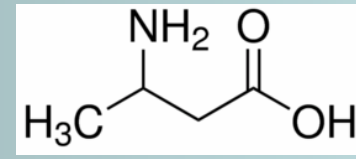
(A) Powdery mildew development on untreated plants.

(B) Powdery mildew development on BTH-treated plants.

## APPROCHE INNOVANTE : la potentialisation (*Priming*)

- Concerne les systèmes de défense qui ne sont pas induits mais qui sont **mobilisés plus rapidement et plus intensément** en réponse aux agents pathogènes (c'est une composante de la SAR)
- Impliquée aussi dans la réponse aux stress abiotiques
- La potentialisation est pour partie, liée à des modifications de la chromatine
- La potentialisation peut être « trans-générationnelle » (phénomènes épigénétiques)

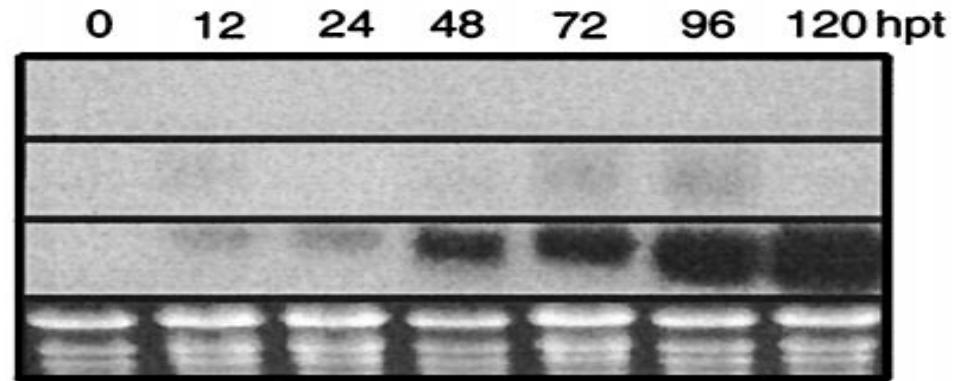
# L'acide $\beta$ -aminobutyrique (BABA)



## Elicitation

**A**

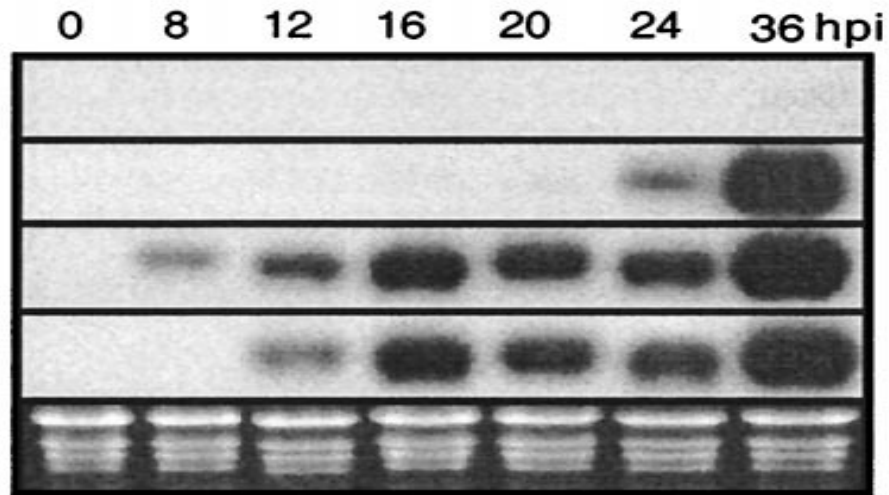
H<sub>2</sub>O  
BABA  
BTH  
rRNA



## Potentialisation

**B**

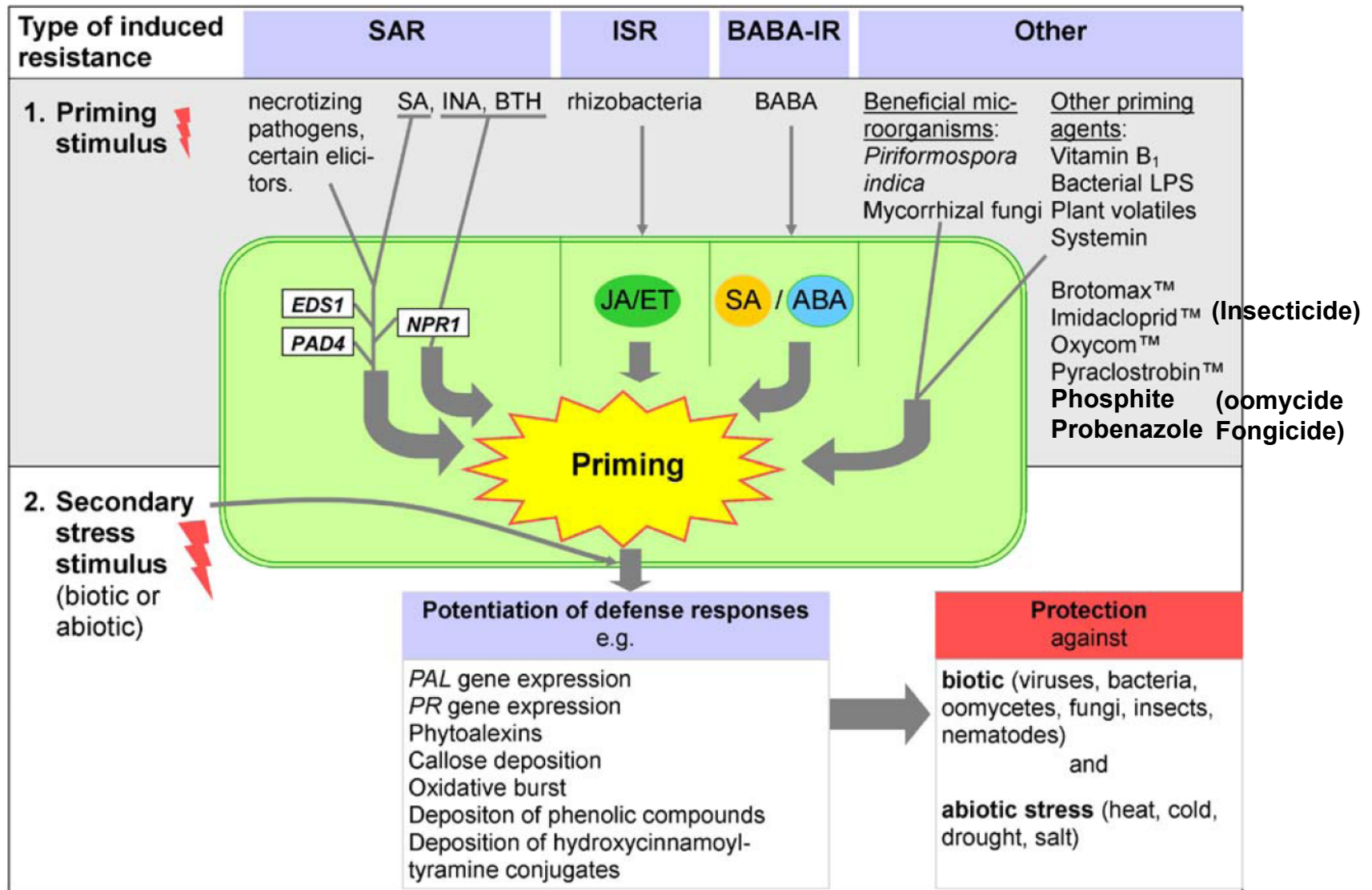
H<sub>2</sub>O  
DC 3000  
BABA +  
DC 3000  
DC 3000  
(avrRpt2)  
rRNA



# La potentialisation (*priming*)

Eur J Plant Pathol (2008) 121:233–242

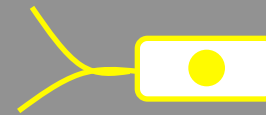
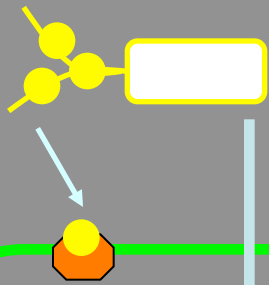
Goellner et Conrath



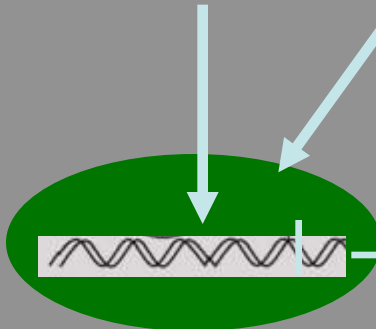


# Induction des Mécanismes de Défense des Plantes

## 1. Perception



## 2. Transduction signaux



## 3. Homéostasie Hormonale, Redox...

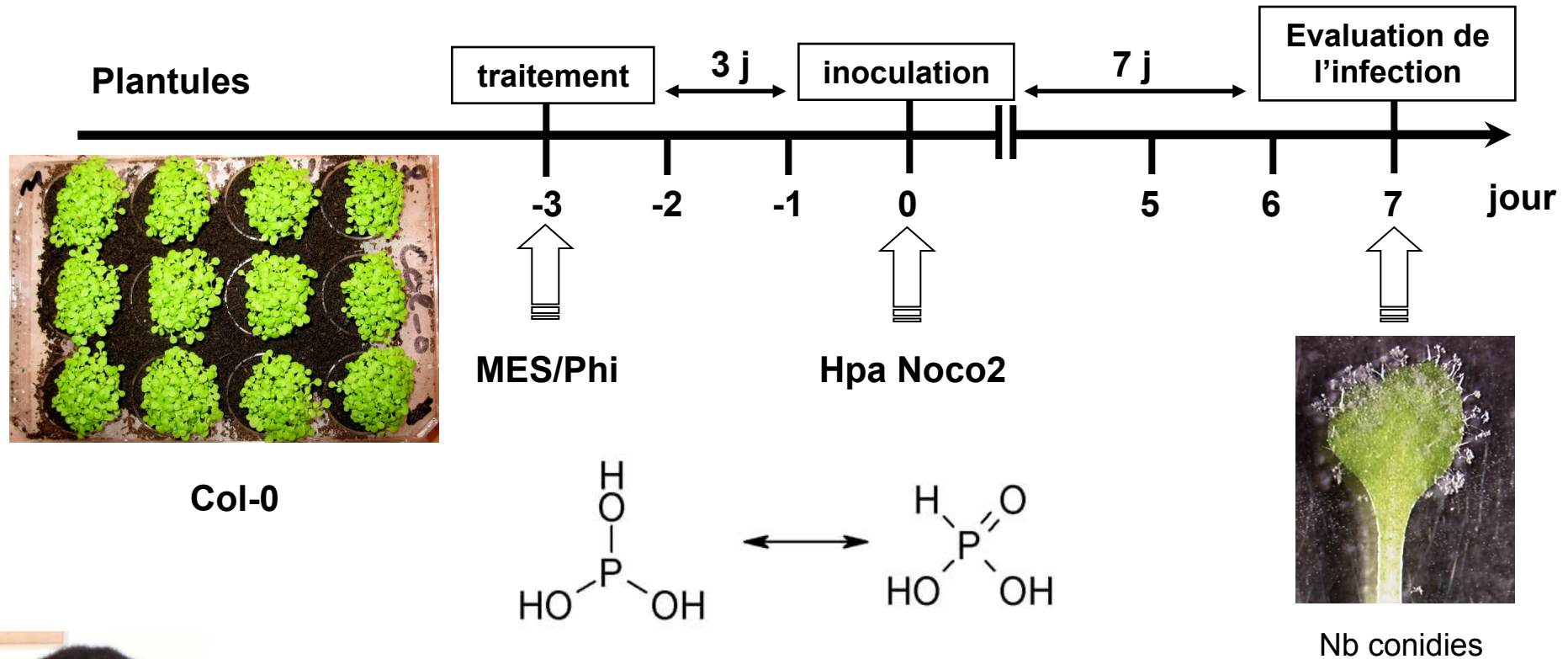


Phytoalexines,  
PR...

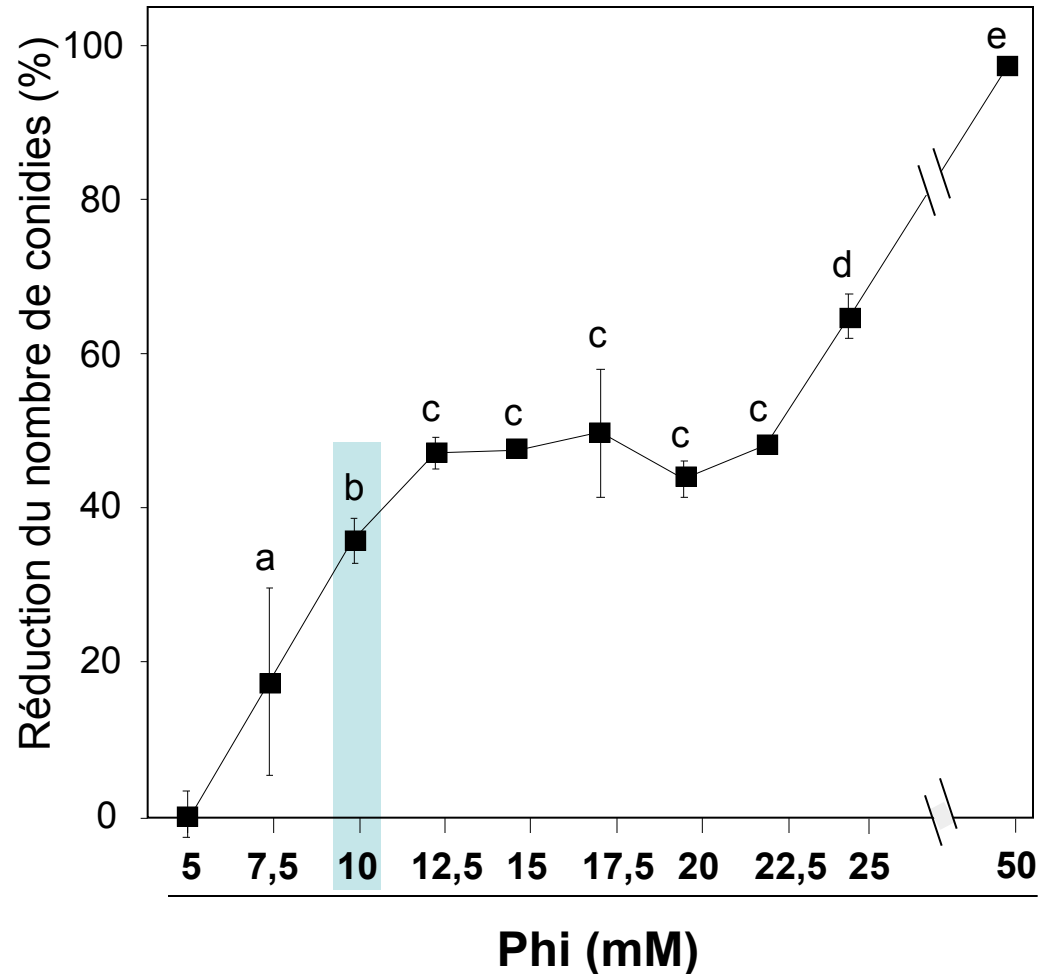
Signalisation  
longue distance

(SAR)

### 3. Modification de l'homéostasie phosphate par le phosphite chez *Arabidopsis* infecté par *Hyaloperonospora arabidopsidis*



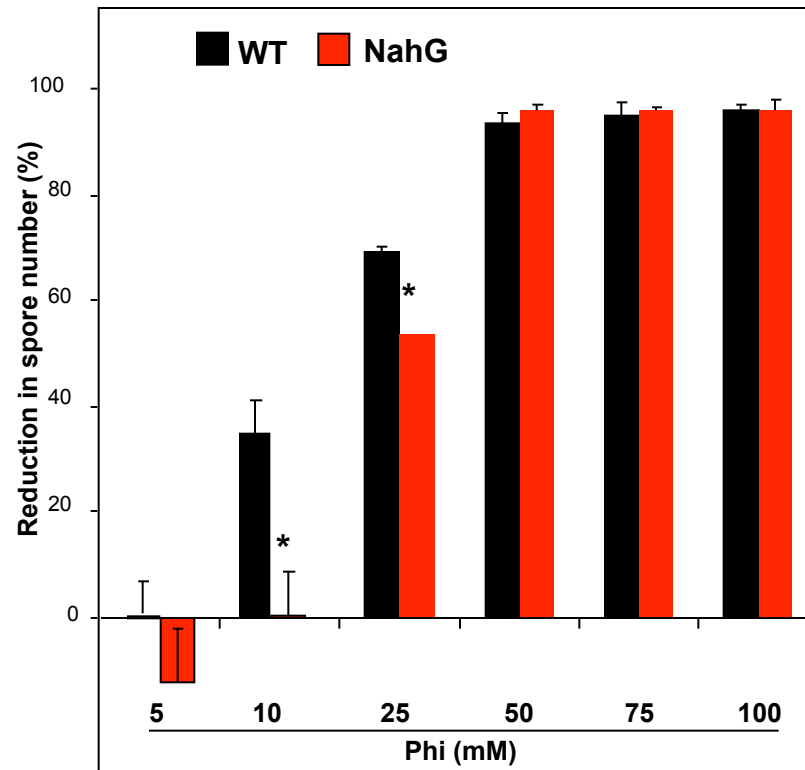
# Effet Dose-Réponse du Phi sur Hpa



- La courbe dose-réponse est du type biphasique (sigmoïdale) suggérant un mode d'action complexe du Phi.



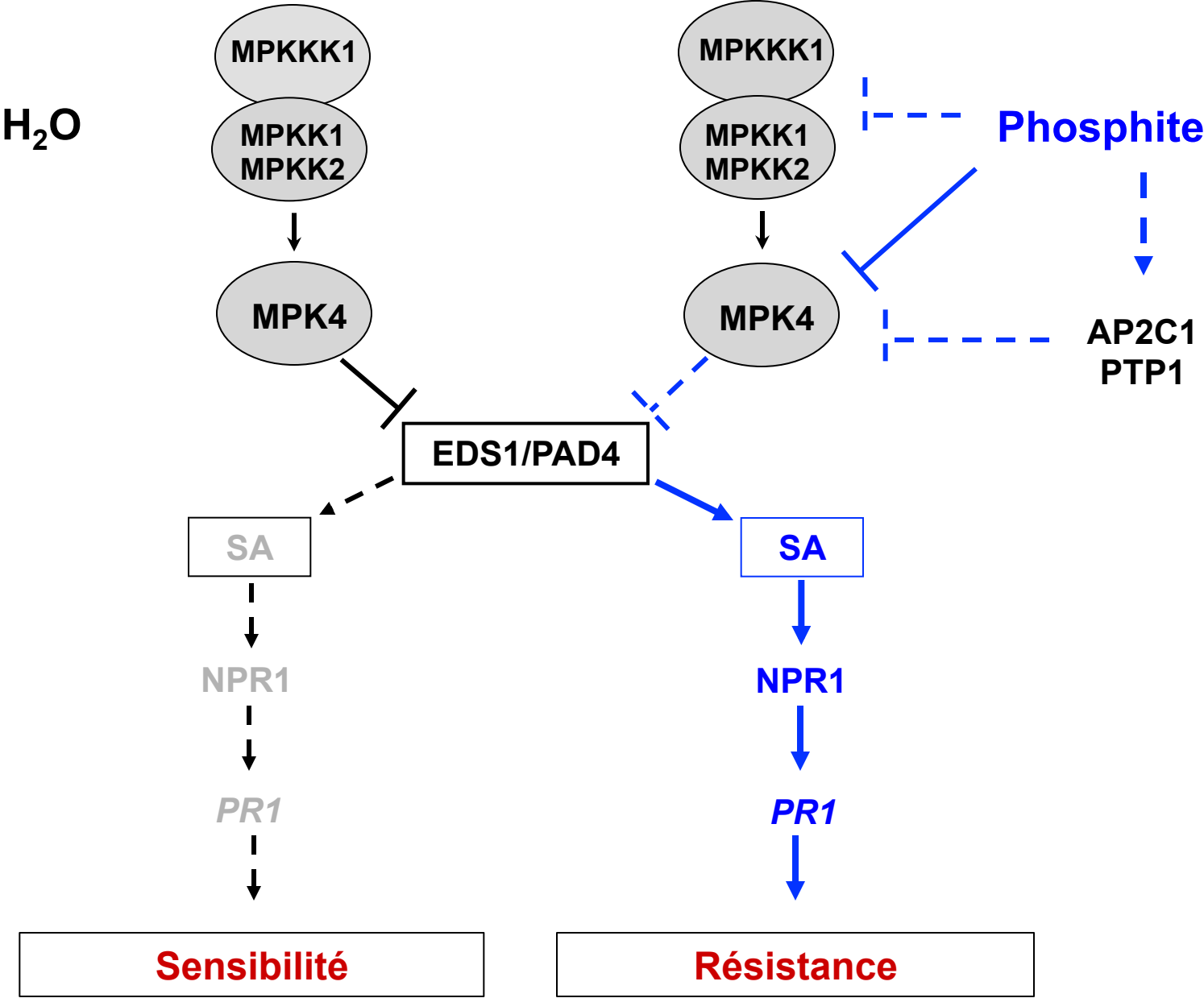
# Activité bimodale dose-dépendante du Phi



SA (actif)  
↓ NahG  
Catéchol (inactif)

- L' action du Phi à 10 mM est : Dépendante du SA et peut être annulée chez les plantes NahG
- L' action du Phi sup. à 25 mM est : Indépendante du SA et ne peut pas être annulée chez les plantes NahG

# Phi : un régulateur négatif de la voie MPK4



**$\beta$ -1-3-glucanes de *S. tritici*/Septoriose Blé**

**Lipopolysaccharides de *X. campestris*/*X. axonopodis*-*Capsicum annuum***

**Rhamnolipides de *P. aeruginosa*/Botrytis-Vigne; parfois activité biocide**

**Oligosaccharides de *Laminaria digitata*/VMT-Tabac, Septoriose Blé**

**Chitine-chitosan de crustacées/Fusariose/*Phytophthora capsici*-*Capsicum annuum*; parfois activité biocide du chitosan**

# Actuellement sur le marché français

**Bion:** benzothiadiazole/Blé-oïdium, bananier-cercosporiose

**Iodus 40:** laminarine/Blé-oïdium-septoriose-piétin verse

**Milsana:** Renouée/concombre, tomate-oïdium-mildiou

**Stifenia:** Fenugrec/oïdium

**Elexa:** chitosan/cucurbitacées, vigne

**Regalis:** prohexadione-calcium/feu bactérien

**Aliette:**éthyle phosphite d'aluminium

**Etonan:** phosphite de potassium

## Offre du marché

Exemples de produits accessibles (officiellement ou non) revendiquant un effet de stimulation des défenses, ou du moins une protection de la plante sans action directe sur le pathogène

Agat-25k	Ema	Mycosin	Semafort
Agro mos	Embiosa	Neudo-vital	Siliforce
<u>Aliette</u>	Fenchelöl	Novosil	<u>Stifenia</u>
Altex	Grünkraft Brottrunk	Oïkomb	Stimulase
Binab	Ilamin	Pen referer	Stimulia
<u>Bion</u>	<u>Iodus 40</u>	Penergetic	Technobiol
Carraghénanes	IRF 84	Phyto3	Terra biosa
Chitoplant	ISR 2000	Promot	Timorex
Cofuna	Kendal	Proval PK2	Triatum
Comcat	Lecithin	Purin d'ortie	Trichosan
Crop set	Lysaplant	Purin de Prêle	Trichostar
Ecobio	Megagreen	<u>Regalis</u>	Ulmasud
Ele-max	Messenger	Rezist	Vitaalin-trichoderma
Elot vis	Milsana	Rootfeed	....

# **Avantages et inconvénients de l'utilisation des SDPs**

# Avantages « techniques » des SDPs

- produits d'origine naturelle (pas toujours!) - acceptabilité.  
« Molécules peu préoccupantes pour l'environnement »
- Censés ne pas induire de résistance aux bio-agresseurs.
- biodégradables pour certains.
- Pas de toxicité avérée aux doses d'utilisation.
- doivent permettre une diminution de l'utilisation des fongicides conventionnels.
- pas de coût pour la plante (pas de réduction de la capacité à survivre et à se reproduire, fitness) lors de la potentialisation, peu en élicitation.

# Désavantages des SDPs

- Efficacité moindre et variable par rapport aux fongicides conventionnels en plein champs.
- Durée d'action variable.
- Haute technicité d'emploi; positionnement doit être précis.
- Dépendance (partielle) de l'état physiologique de la plante, des types variétaux (?) et de la pression d'inoculum.
- Difficile à produire pour les molécules d'origine naturelle; problème de formulation, de pénétration.



# Exploitations des Défenses des Plantes



**Connaître** les mécanismes biochimiques, moléculaires et les acteurs réactionnels de la défense est une approche essentielle pour rationaliser la démarche SDP.



**Cette connaissance indispensable** doit permettre de proposer une méthode de lutte complémentaire... aux fongicides.



**L'évaluation de l'efficacité** de ces nouvelles méthodes de lutte pourrait être la pierre angulaire du système.  
Nécessité *absolue* d'évaluer ces produits (laboratoire/plein champ). Mise en place de méthodologies expérimentales permettant une évaluation précise de l'efficacité des produits (normes CEB-OEPP) et des risques.