

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MICROBIOLOGIE

# COMMENT LES MICROORGANISMES PEUVENT- ILS INFLUENCER LE CLIMAT ?

Odile BERGE  
INRA

Unité de Recherche **Pathologie Végétale**

Équipe MISTRAL

84143 Montfavet

Odile.berge @avignon.inra.fr



- ❑ Notre modèle : la bactérie *Pseudomonas syringae*
- ❑ C'est une des 50 espèces bactériennes connues pour leur capacité à produire une maladie sur les plantes

# DE LA PATHOLOGIE VÉGÉTALE AU CLIMAT....



# *P. SYRINGAE* EST DÉCRITE SUR 400 ESPÈCES VÉGÉTALES



**melon**



**marronnier**



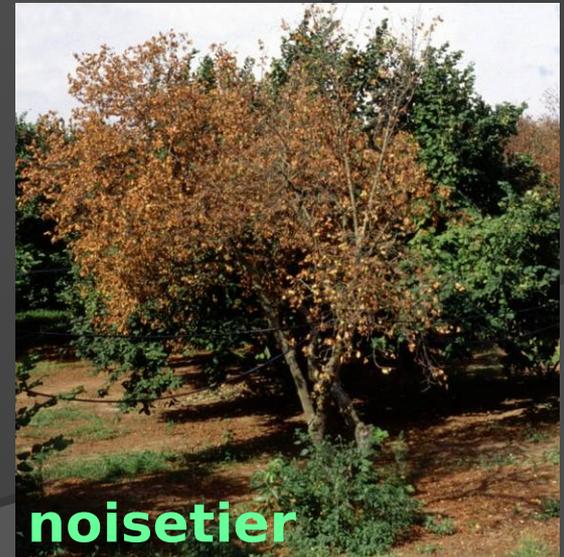
**Brassicacées**



**kiwi**



**tomate**



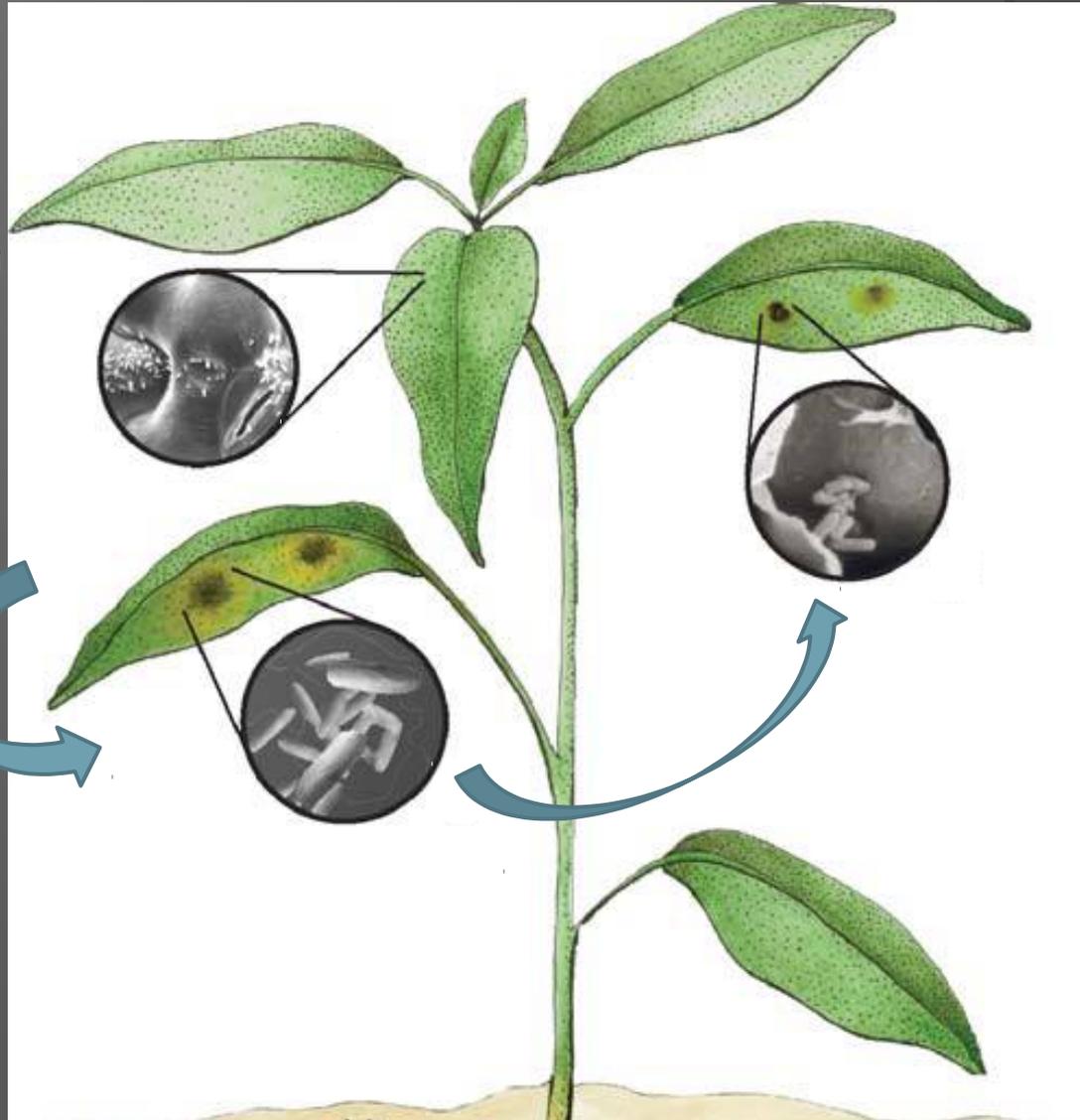
**noisetier**

Exemples de maladies provoquées par ces bactéries

# CYCLE D'INFECTION DE *P. SYRINGAE*

1) Formation d'un biofilm à la surface des feuilles.  
*P. syringae* est une bactérie épiphyte

2) Pénétration dans la plante.  
C'est le début de la phase endophyte



3) *P. syringae* attaque la plante, se multiplie.  
C'est la phase endophyte pathogène

4) Dispersion par le vent, l'eau, les insectes etc...

- ❑ Des stratégies nombreuses
- ❑ un arsenal très vaste de facteurs de virulence



- biofilm
- Seringue moléculaire
- Effecteurs
- Activité glaçogène
- Phyto-toxines
- Sidérophores
- Exopolysaccharides
- Enzymes pectinolytiques
- Quorum sensing
- .....

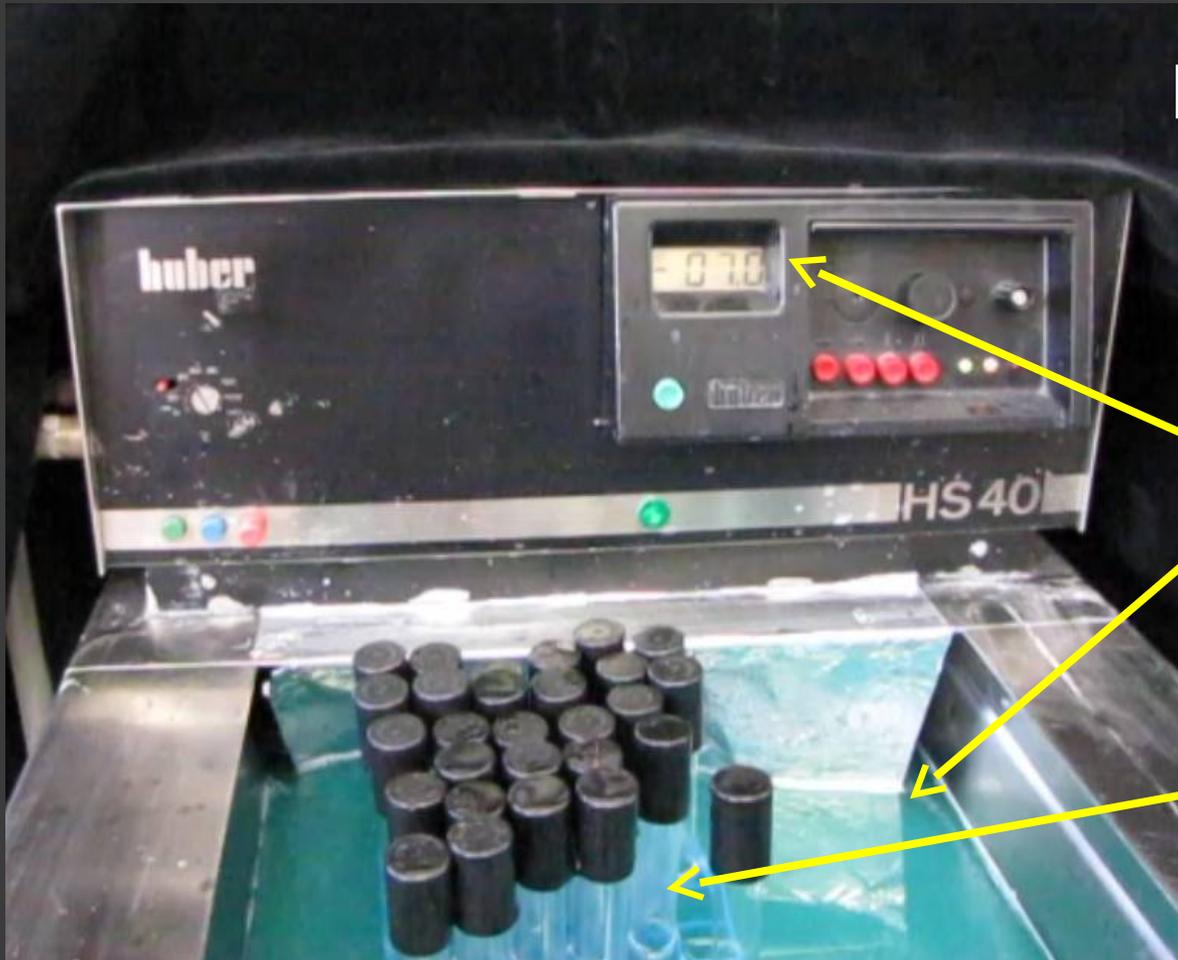
# À QUOI EST DÛ LE POUVOIR PATHOGÈNE DE *P. SYRINGAE*

L'activité glaçogène....  
A quoi pensez-vous ????



***P. SYRINGAE* POSSÈDE  
UNE PROPRIÉTÉ TRÈS  
SPÉCIALE**

# DÉMO SUR VIDÉO



**Bain cryogénique**

**7° C**

**Tubes d'eau  
stérile**

# RAPPELS DE PHYSIQUE



A quelle température l'eau pure



**- 35 °C**

L'eau pure peut geler à des températures négatives

La prise en glace autour de zéro est très improbable sans catalyseur

L'eau pure reste liquide entre 0°C et - 35 °C

Elle est en SURFUSION



la prise en glace de l'eau en surfusion ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ) est provoquée par des particules capables d'organiser les molécules d'eau qui vont former des cristaux minuscules (noyaux glaçogènes)

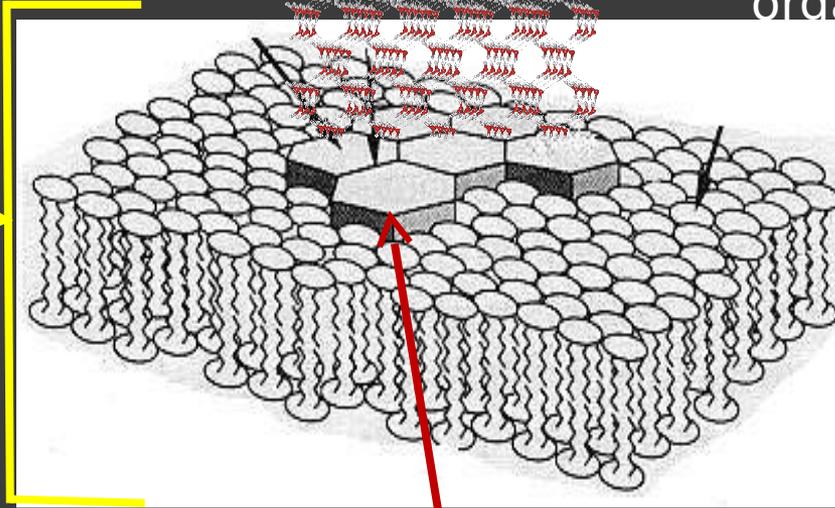
**UNE PARTICULE  
GLAÇOGÈNE CATALYSE LA  
PRISE EN GLACE DE L'EAU  
EN SURFUSION**

*P. syringae* fait geler l'eau à des températures proches de zéro (- 2, - 7 °C)

***P. SYRINGAE* EST UN  
CATALYSEUR DE PRISE  
EN GLACE DE L'EAU**



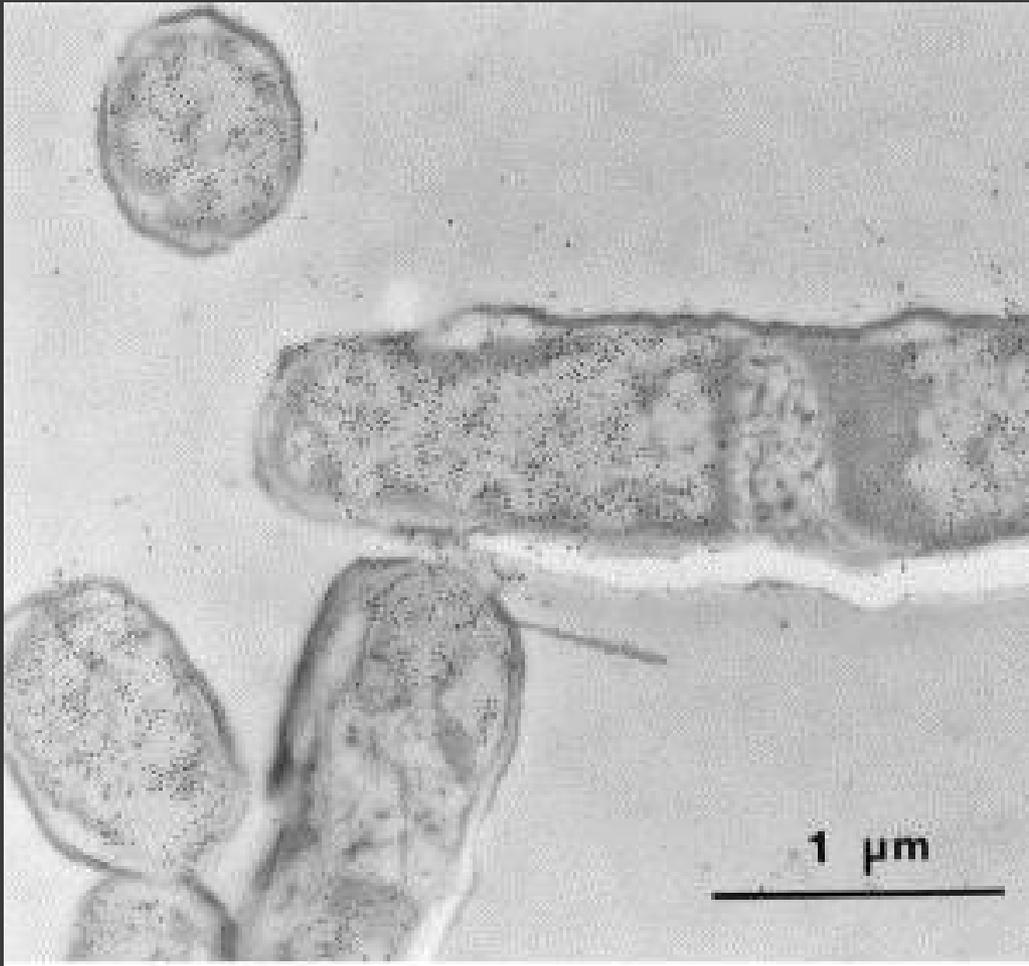
A la surface d'une cellule de *P. syringae*...



Molécules d'eau organisées

...production d'une protéine spécialisée

# COMMENT ÇA MARCHE ?



Microscopie  
électronique:  
marquage spécifique  
de la protéine avec  
des microbilles d'or  
(immuno-gold)

Production des protéines glaçogènes dans le  
cytoplasme puis transport vers la  
membrane externe

**COMMENT ÇA MARCHE ?**

Le pouvoir glaçogène de *P. syringae* provoque de graves dégâts dus au gel sur plantes

Fleurs d'abricotier très sensibles aux températures négatives

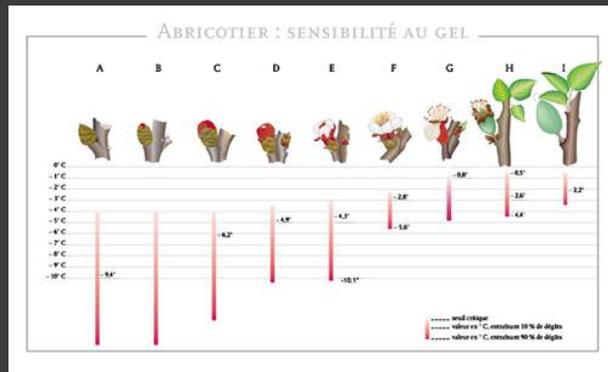


Le gel des tissus, fourni une porte d'entrée à *P. syringae* et les tissus nécrosés sont une source de nutriments pour la bactérie

**ACTIVITÉ GLAÇOGENÈ, FACTEUR DE VIRULENCE ??**

# CHANGEMENT CLIMATIQUE

# ACTIVITÉ GLAÇOGENÈNE DE P. SYRINGAE...



Dégâts dus au gel plus probables lors des gelées tardives

Modification de la phénologie des arbres fruitiers  
Floraison plus précoce au printemps

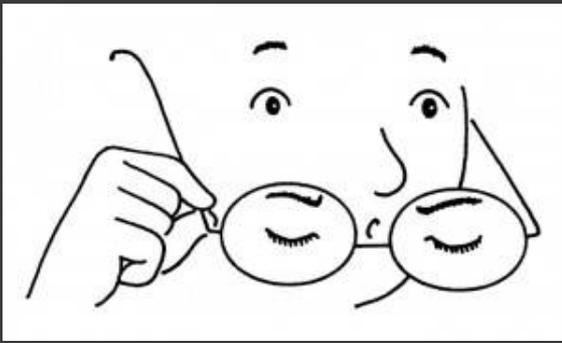


## QUEL RAPPORT AVEC LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?



Modification des pratiques:  
Utilisation de biocides contre les  
populations glaçogènes, en  
complément des chaufferettes ou  
brûleurs à gaz

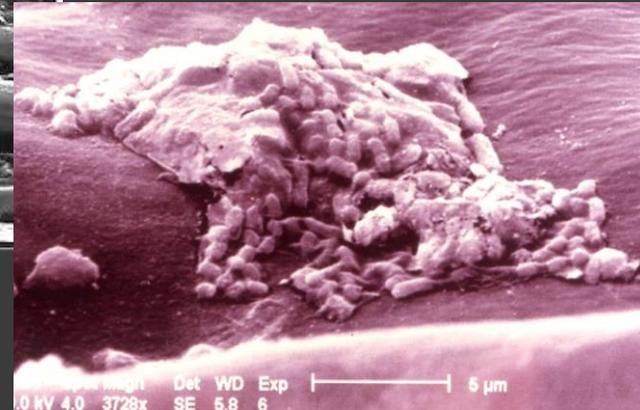
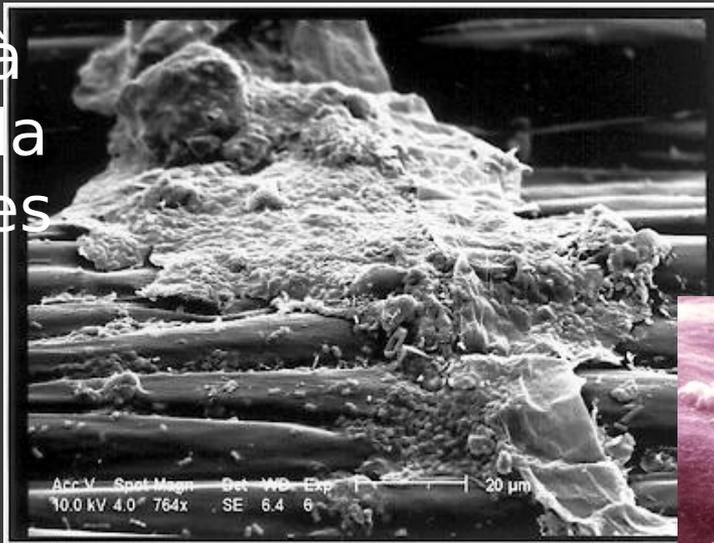
## **CONSÉQUENCES EN AGRICULTURE**



Regardons les facteurs de virulence sous un autre angle

**CHANGEONS DE REGARD  
SUR CETTE BACTÉRIE**

Capacité à coloniser la surface des feuilles



La phyllosphère est une **source** de microorganismes divers

***P. SYRINGAE* BACTÉRIE  
ÉPIPHYTE**

$10^2 - 10^7$  bactéries  
/  $\text{cm}^2$  de feuille



$56 \times 10^6 \text{ km}^2$   
de surface  
foliaire sur les  
terres cultivées  
de la planète

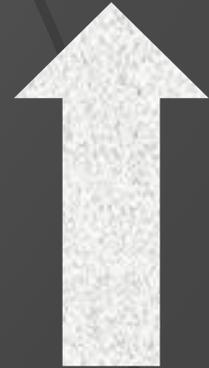


Le nombre de  
bactéries  
épiphytes sur la  
planète est  
estimé à  $10^{24}$



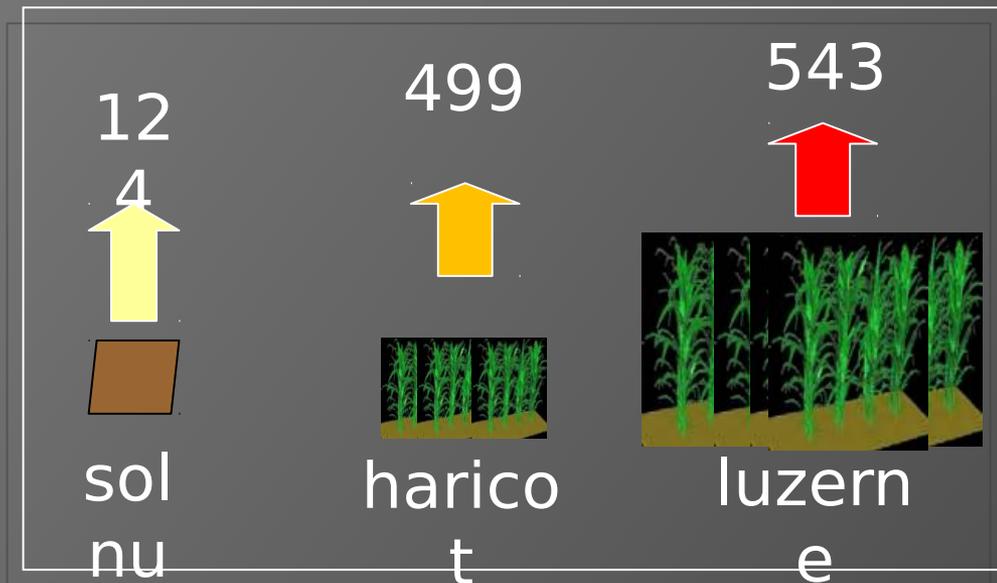
**LES PLANTES SONT UNE SOURCE  
IMPORTANTE DE MICROORGANISMES**

Ils sont soumis aux stress  
environnementaux et en  
particulier aux mouvements des  
masses d'air

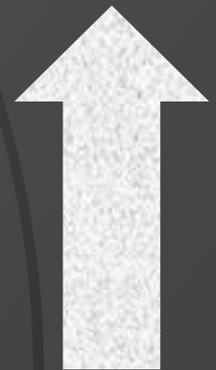
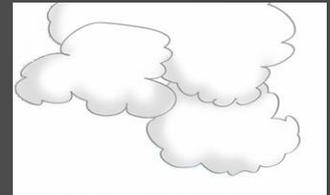


**QUE DEVIENNENT CES  
MICROORGANISMES ÉPIPHYTES ?**

Flux ascendant: bactéries / m<sup>2</sup> / sec



Des mesures de flux montrent le transport de microorganismes épiphytes dans la troposphère

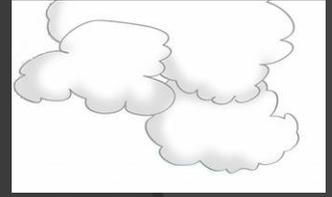


## MESURES DE FLUX ASCENDANTS DE MICROORGANISMES

Des observations indépendantes montrent que :

- ❑ *P. syringae* est présente dans les nuages
- ❑ *P. syringae* est présente à la surface des feuilles

Démonstration directe : mesures de flux



***P. SYRINGAE* EST-ELLE  
ENTRAINÉE VERS  
L'ATMOSPHERE ?**

De quoi est constitué  
un nuage ?



**QUE RENCONTRENT LES  
BACTÉRIES DANS LES NUAGES ?**

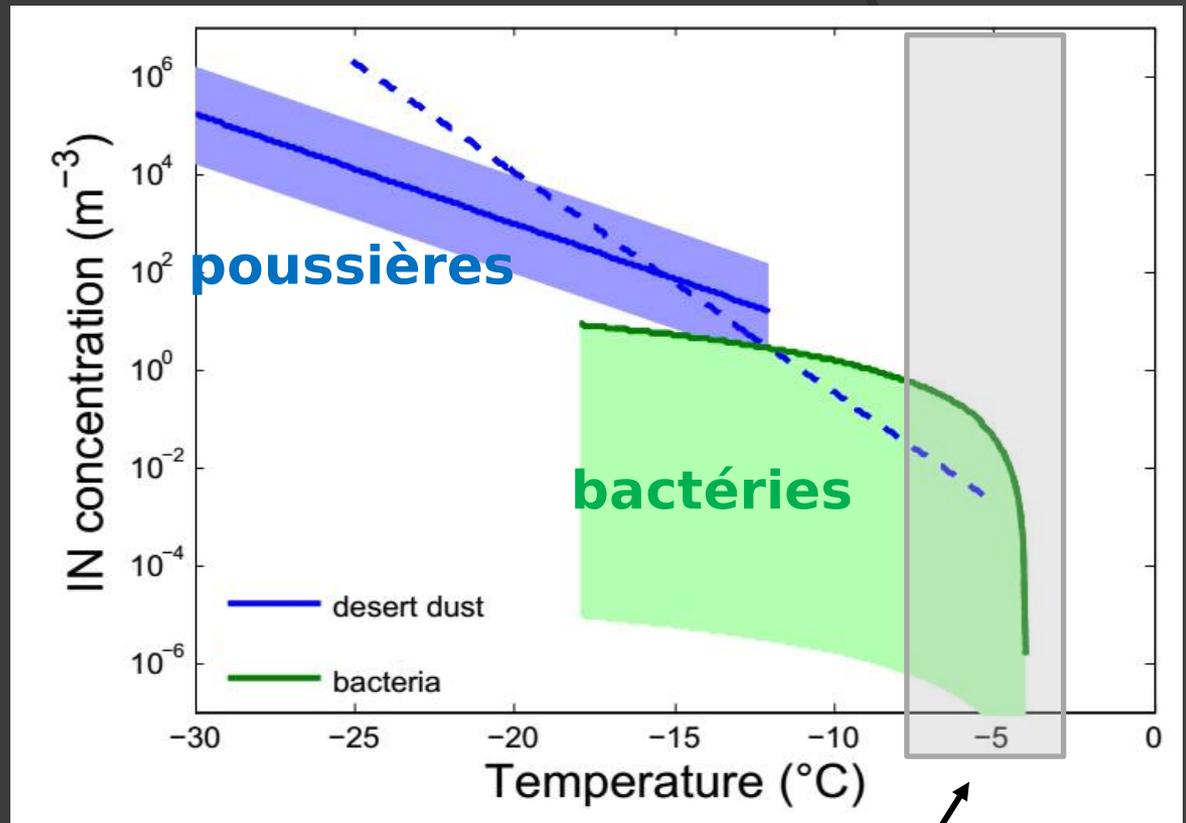
- **Un nuage contient des gouttelettes d'eau trop petites pour tomber en pluie**
- **L'agrégation des gouttelettes se fait par congélation**



**il faut un noyau glaçogène pour déclencher les précipitations**

**DE QUOI EST CONSTITUÉ UN  
NUAGE ET  
COMMENT SE FORME LA PLUIE ?**

- De nombreuses particules sont glaçogènes
- Leur efficacité est variable
- Seules les particules biologiques sont glaçogènes aux températures proches de zéro



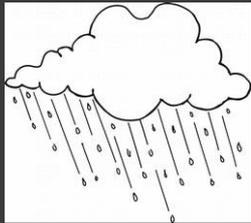
Multiplication des cristaux dans cette gamme de température

# QUELLES PARTICULES GLAÇOGENÈNE DANS LES NUAGES ?



Les modèles prévoient que le pouvoir glaçogène des bactéries agrègent les gouttelettes d'eau à des températures « chaudes »

Les gouttelettes d'eau augmentent en taille



La précipitation se déclenche

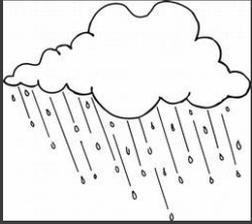


Gouttelette  
0.02 mm



Goutte de pluie  
diamètre 2 mm

**LES BACTÉRIES GLAÇOGÈNES  
PROVOQUENT LES  
PRÉCIPITATIONS**



Les gouttelettes d'eau qui retombent sur le sol entraînent les bactéries des nuages

**LES BACTÉRIES GLAÇOGÈNES DES NUAGES REJOIGNENT LE SOL GRÂCE AUX PRÉCIPITATIONS**

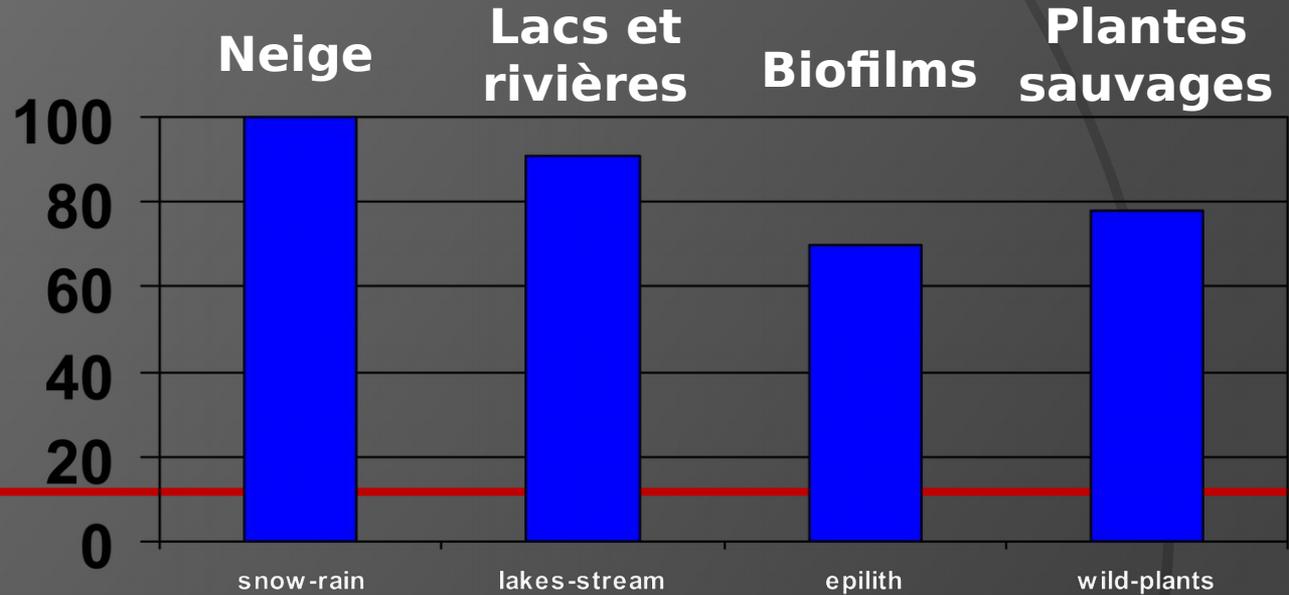
Quelles observations corroborent  
les prévisions des modèles ?

**DES ÉVIDENCES  
AVEC *P. SYRINGAE***

	% +	<i>P. syringae</i> / L
<b>Pluie</b>	65.2	500
<b>Neige</b>	12.3	5000

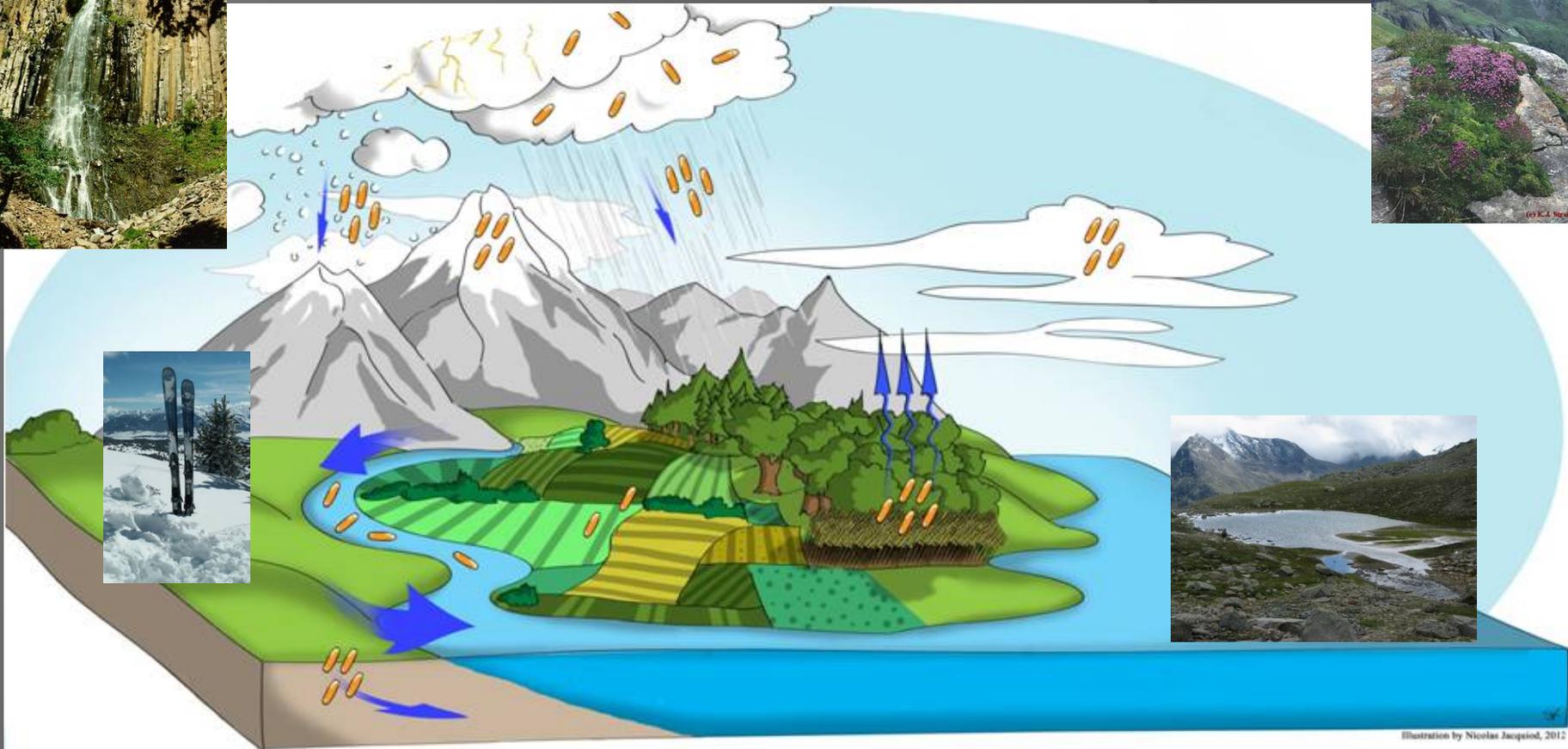
***P. SYRINGAE* EST ISOLÉE DE LA  
PLUIE ET DE LA NEIGE**

# % souches glaçogènes (-2° à -6°)

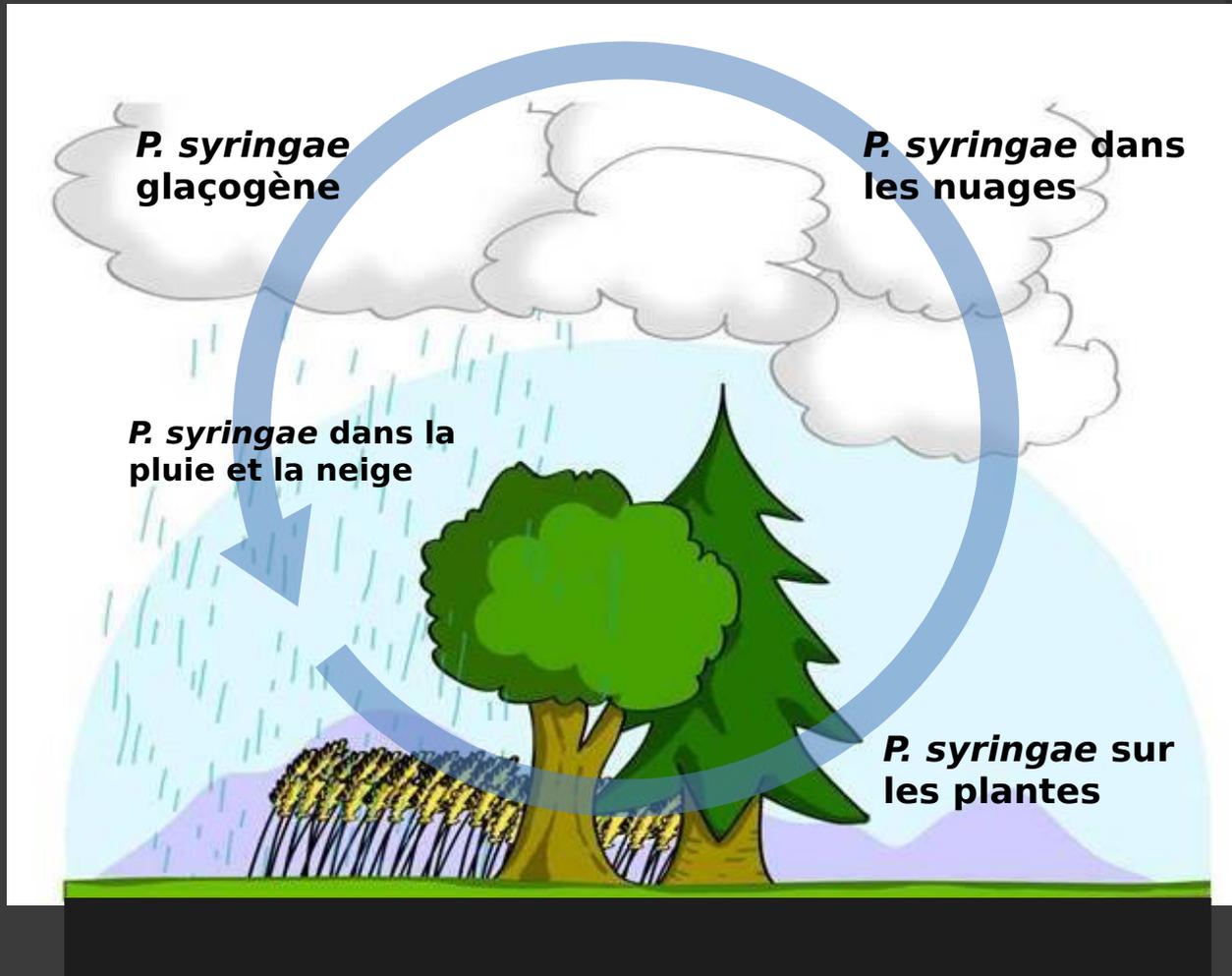


**Nuages**

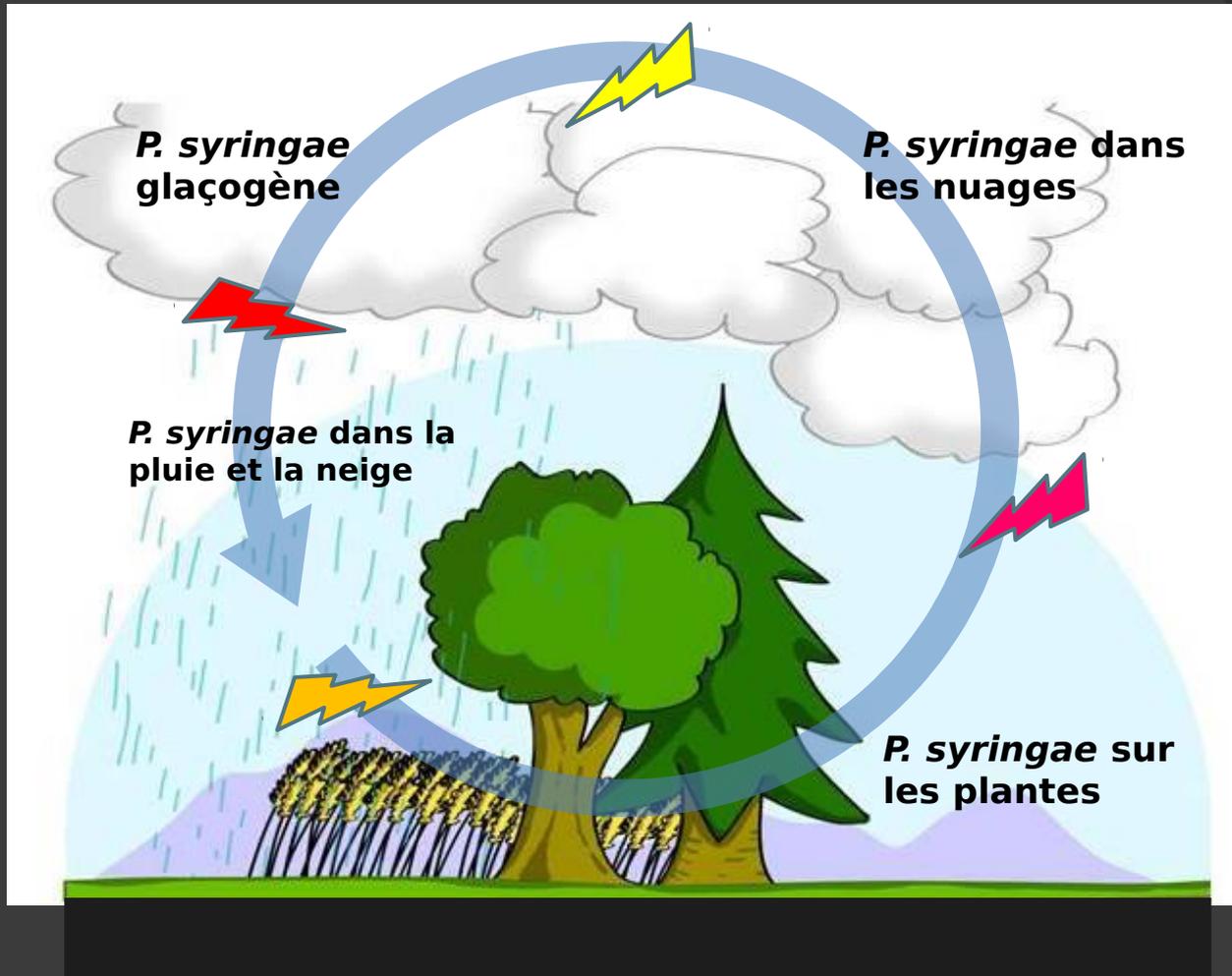
***P. SYRINGAE* GLAÇOGÈNE EST PLUS FRÉQUENTE DANS LA NEIGE QUE DANS LES NUAGES**



***P. SYRINGAE* EST ISOLÉE DE MULTIPLES SUBSTRATS LIÉS AU CYCLE DE L'EAU**



***P. SYRINGAE* SUIT LE CYCLE DE L'EAU  
C'EST UN BON CANDIDAT**

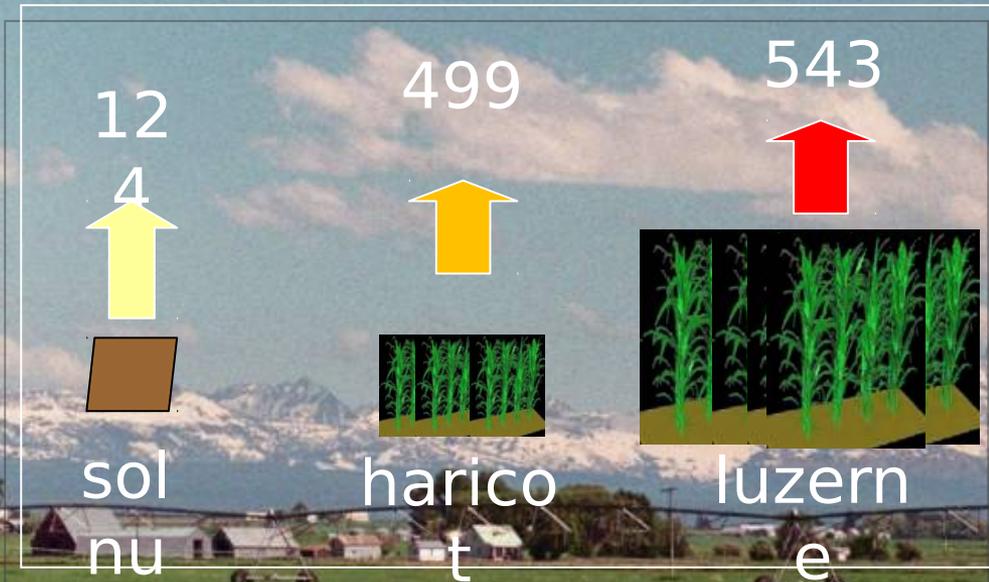


UN NOUVEAU SCÉNARIO CLIMATIQUE QUI  
TIENT COMPTE DES ACTEURS  
BIOLOGIQUES EST PROPOSÉ: « LA  
BIOPRÉCIPITATION »



# L'AGRICULTURE UN LEVIER POUR INFLUENCER LE SCÉNARIO BIOCLIMATIQUE

## Flux ascendant: bactéries / m<sup>2</sup> / sec



Identifier des couverts végétaux qui portent de nombreuses cellules glaçogènes

**L'AGRICULTURE UN LEVIER POUR  
INFLUENCER LE SCÉNARIO  
BIOCLIMATIQUE**



**Tester des parcours  
agronomiques qui favorisent le  
portage des cellules glaçogènes**

**Identifier des couverts végétaux  
qui portent de nombreuses  
cellules glaçogènes**

***L'AGRICULTURE UN LEVIER POUR  
INFLUENCER LE SCÉNARIO  
BIOCLIMATIQUE***

# Identifier des régions où les masses d'air transportent des microorganismes



Tester des parcours agronomiques qui favorisent le portage des cellules glaçogènes

Identifier des couverts végétaux qui portent de nombreuses cellules glaçogènes

**L'AGRICULTURE UN LEVIER POUR  
INFLUENCER LE SCÉNARIO  
BIOCLIMATIQUE**



Identifier des régions où les masses d'air transportent des microorganismes vers les nuages

Obtenir une modification du régime de précipitations

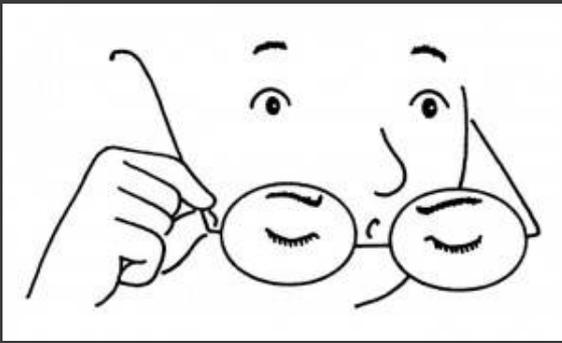
Tester des parcours agronomiques qui favorisent le portage des cellules glaçogènes

Identifier des couverts végétaux qui produisent de nombreuses cellules glaçogènes

**L'AGRICULTURE UN LEVIER POUR  
INFLUENCER LE SCÉNARIO  
BIOCLIMATIQUE**

La manipulation du couvert végétal pourrait conduire à la maîtrise locale des précipitations

***L'AGRICULTURE UN LEVIER POUR  
INFLUENCER LE SCÉNARIO  
BIOCLIMATIQUE***



Regardons les facteurs de virulence sous un autre angle

**CHANGEONS DE REGARD  
SUR CETTE BACTÉRIE**

# CHANGEONS DE REGARD...

- Sur *P. syringae*

- Une bactérie pathogène des plantes cultivées



- .....à l'inverse elle pourrait favoriser la croissance des plantes

- Sur le climat

- La pluie fait pousser des plantes



- .....à l'inverse les plantes pourraient faire tomber la pluie !

# MERCI...

à **Cindy Morris**, qui anime les recherches sur la **bioprécipitation**



**Pour plus d'information - un e-book:**

<http://bioice.wordpress.com/2012/04/26/from-grains-to-rain-the-link-between-landscape-airborne-microorganisms-and-climate-processes-an-ebook/>



*From Grains to Rain:  
the link between landscape,  
airborne microorganisms  
and climate processes*

*Cindy E. Morris and David C. Sands*