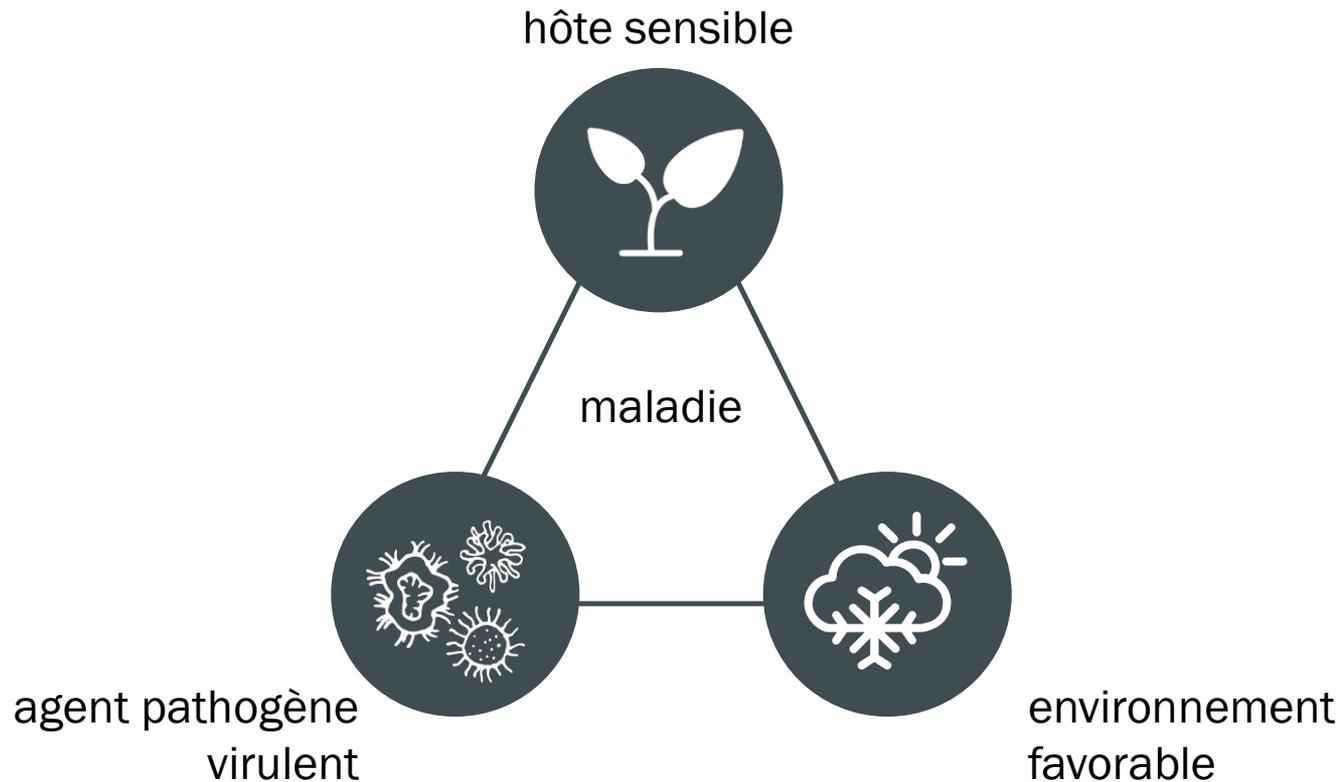


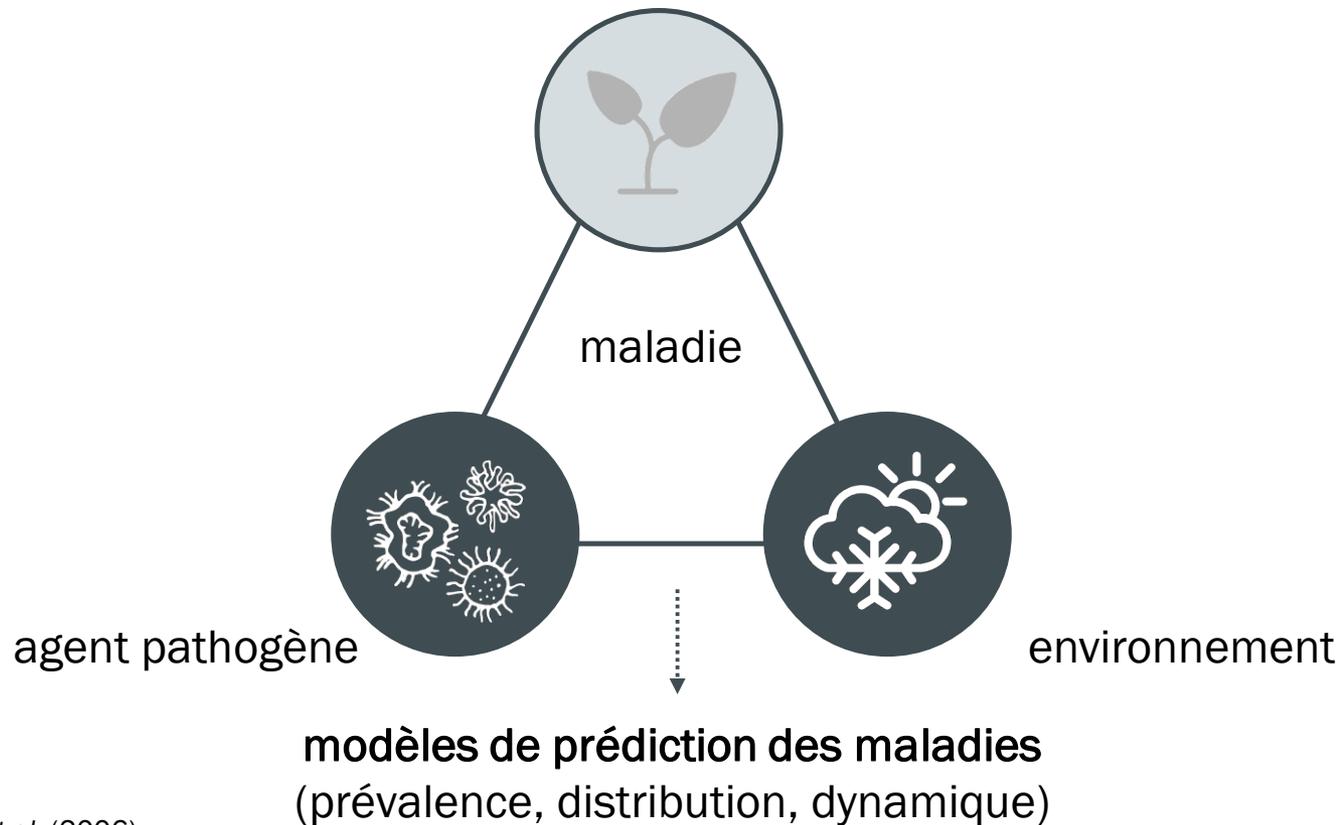
L'hétérogénéité environnementale, un moteur d'adaptation à la température des populations d'agents pathogènes foliaires ?

Thèse présentée par **Anne-Lise Boixel**
conduite sous la direction de Michaël Chelle et de Frédéric Suffert
et soutenue le 19 juin 2020

Agents pathogènes et climat : quelles interactions ?



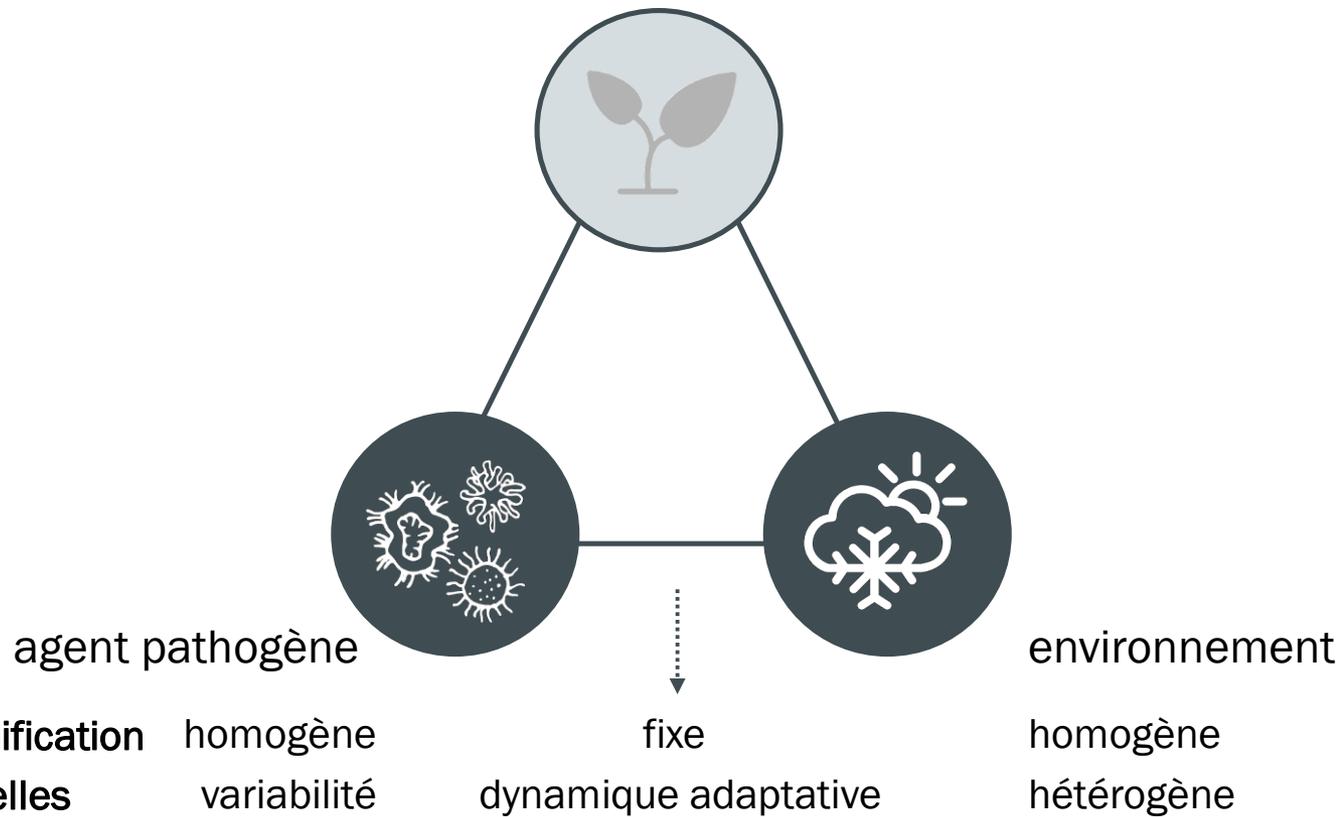
Agents pathogènes et climat : quelles interactions ?



Garrett *et al.* (2006)
De Wolf & Isard (2007)
Shaw (2009)
Legrève & Duveiller (2010)



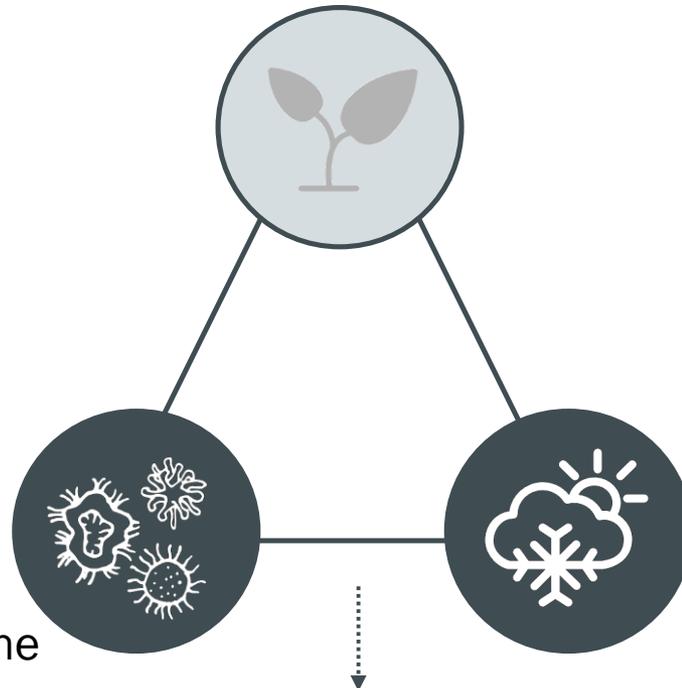
Agents pathogènes et climat : quelles interactions ?



Evans *et al.* (2008, 2010)
Butterworth *et al.* (2010)

Gouache *et al.* (2011)
Madgwick *et al.* (2011)

Agents pathogènes et climat : quelles interactions ?



agent pathogène

environnement

biais de simplification
conditions réelles

homogène
variabilité

fixe
dynamique adaptative

homogène
hétérogène

Quel est
l'écart réel ?
Faut-il le
prendre en
compte ?



Evans *et al.* (2008, 2010)
Butterworth *et al.* (2010)

Gouache *et al.* (2011)
Madgwick *et al.* (2011)

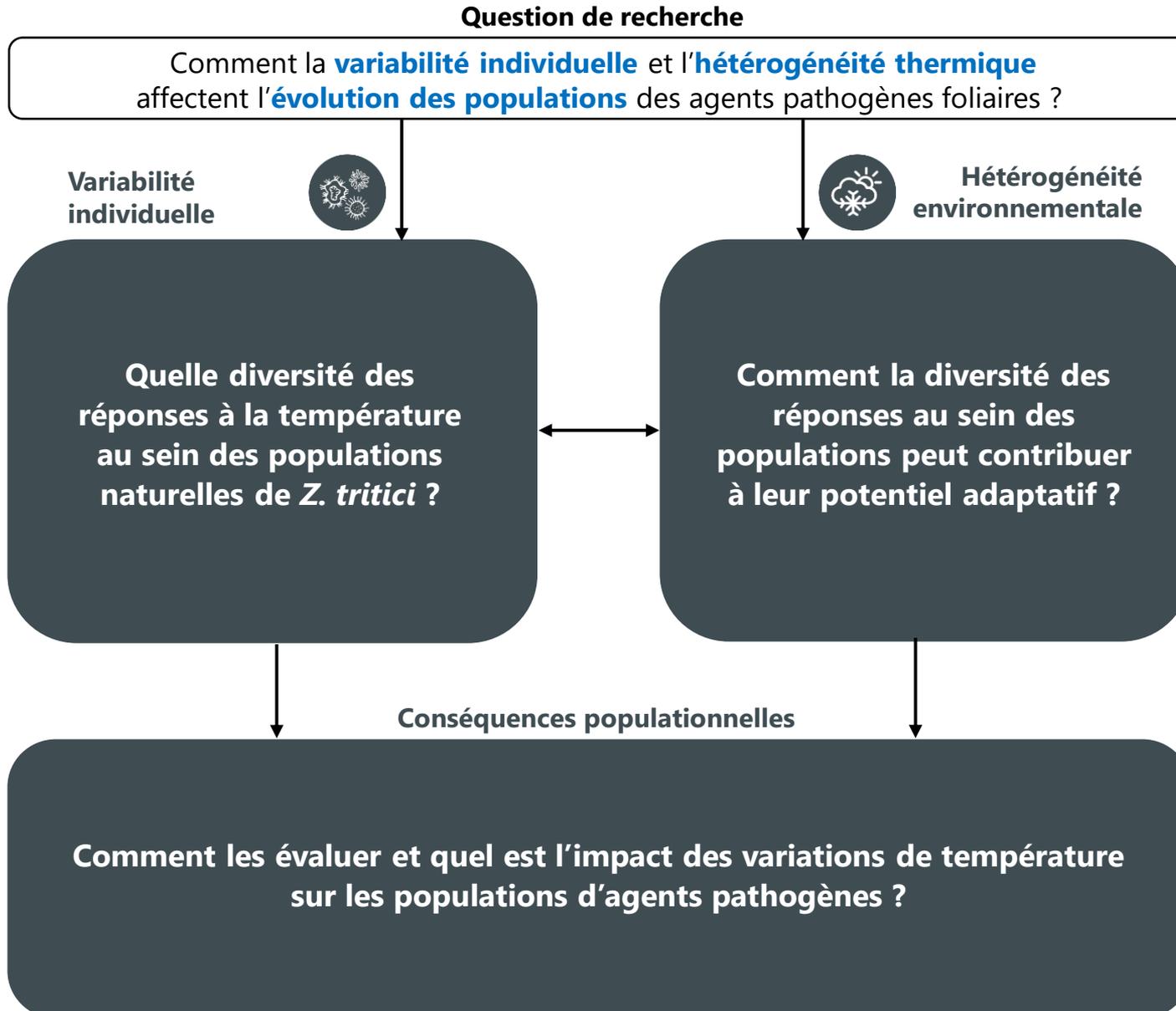
Etude appliquée au cas d'un agent pathogène foliaire du blé



Zymoseptoria tritici,
agent de la septoriose du blé,
nuisibilité estimée à 17 q/ha



Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?



Question de recherche

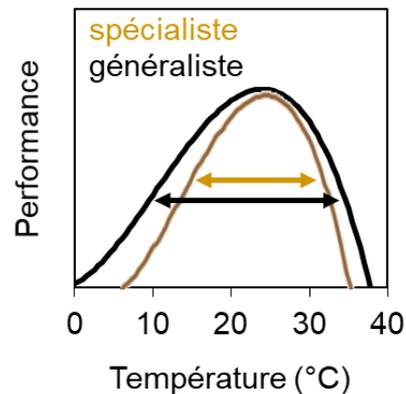
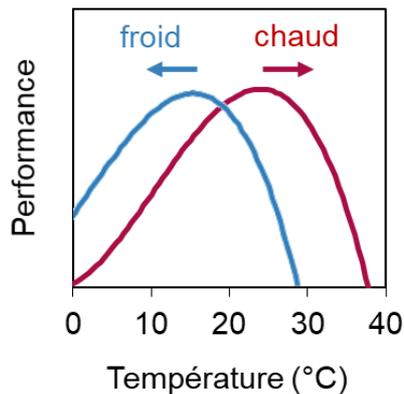
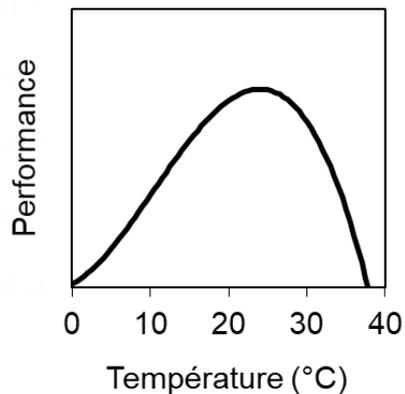
Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?

Variabilité individuelle



Développement d'une méthode de phénotypage thermique à haut débit

Quelle diversité des réponses à la température au sein des populations naturelles de *Z. tritici* ?



Question de recherche

Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?

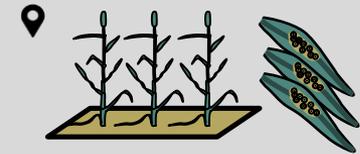
Variabilité individuelle



Développement d'une méthode de phénotypage thermique à haut débit

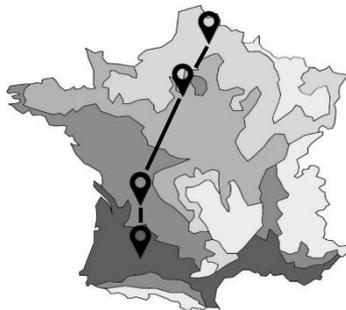
Adaptation des populations de *Z. tritici* aux conditions locales

Quelle diversité des réponses à la température au sein des populations naturelles de *Z. tritici* ?

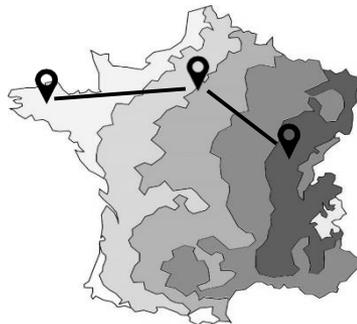


**416 souches
18 populations
3 zones climatiques**

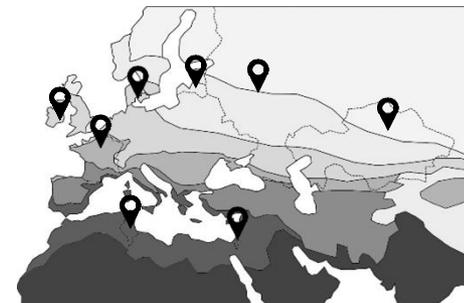
Transect Nord-Sud



Transect Est-Ouest



Zones climatiques contrastées



Question de recherche

Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?

Variabilité individuelle

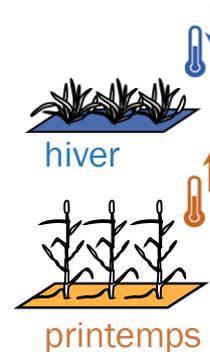
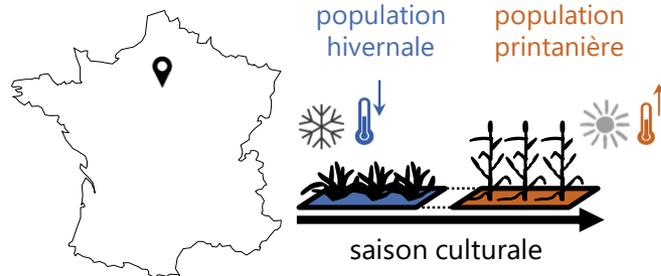


Développement d'une méthode de phénotypage thermique à haut débit

Adaptation des populations de *Z. tritici* aux conditions locales

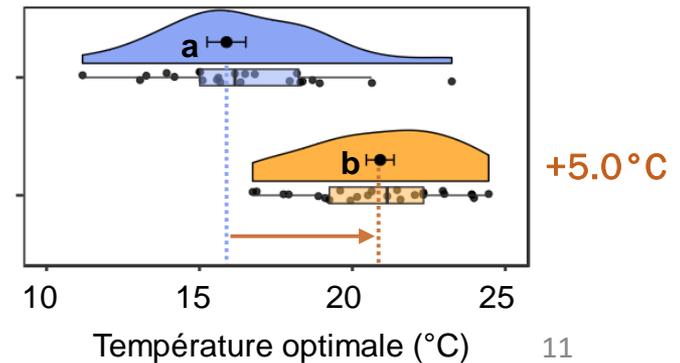
Evolution locale de la population sur une saison culturale

Quelle diversité des réponses à la température au sein des populations naturelles de *Z. tritici* ?



1 point = 1 individu

1 population = 30 individus



Question de recherche

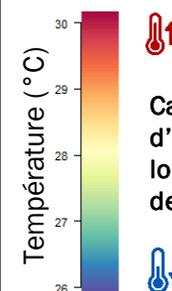
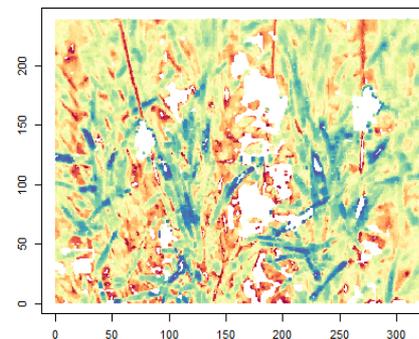
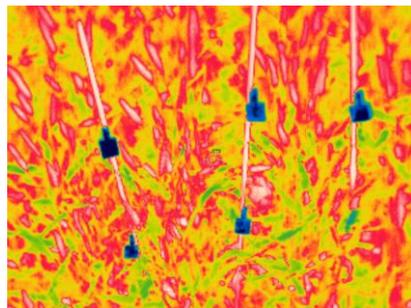
Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?



**Hétérogénéité
environnementale**

La température des feuilles de blé
varie à de très petites échelles
d'espace et de temps

**Comment la diversité de ces
réponses au sein des
populations peut contribuer
à leur potentiel adaptatif ?**



**Capture thermique
d'un couvert de blé
lors d'un après-midi
de juin**

Question de recherche

Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?



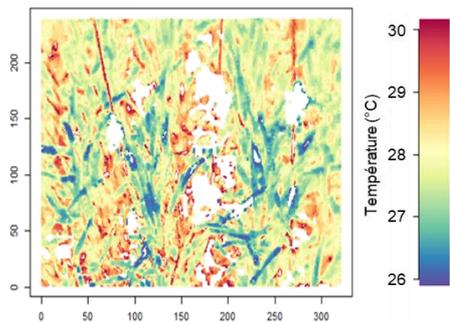
**Hétérogénéité
environnementale**

La température des feuilles de blé
varie à de très petites échelles
d'espace et de temps

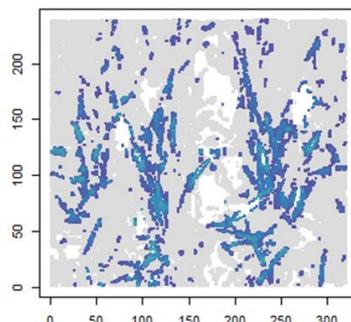
L'hétérogénéité environnementale
locale induit une variation spatiale
des pressions de sélection

**Comment la diversité de ces
réponses au sein des
populations peut contribuer
à leur potentiel adaptatif ?**

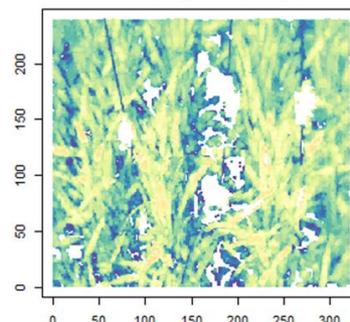
Température du couvert



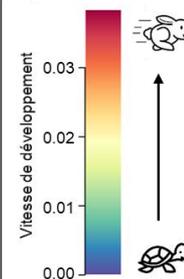
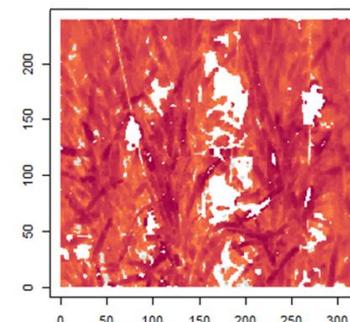
Souche adaptée temp. froides



Souche adaptée temp. tempérées



Souche adaptée temp. chaudes



Question de recherche

Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?



Conséquences
populationnelles



Comment les évaluer et quel est l'impact des variations de température sur les populations d'agents pathogènes ?

Question de recherche

Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?

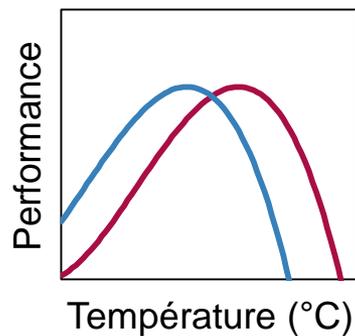
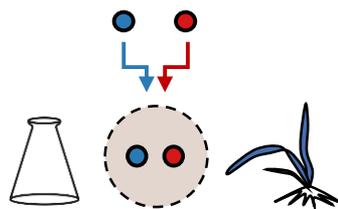


Conséquences
populationnelles



Comment les évaluer et quel est l'impact des variations de température sur les populations d'agents pathogènes ?

souche adaptée au froid souche adaptée au chaud



Question de recherche

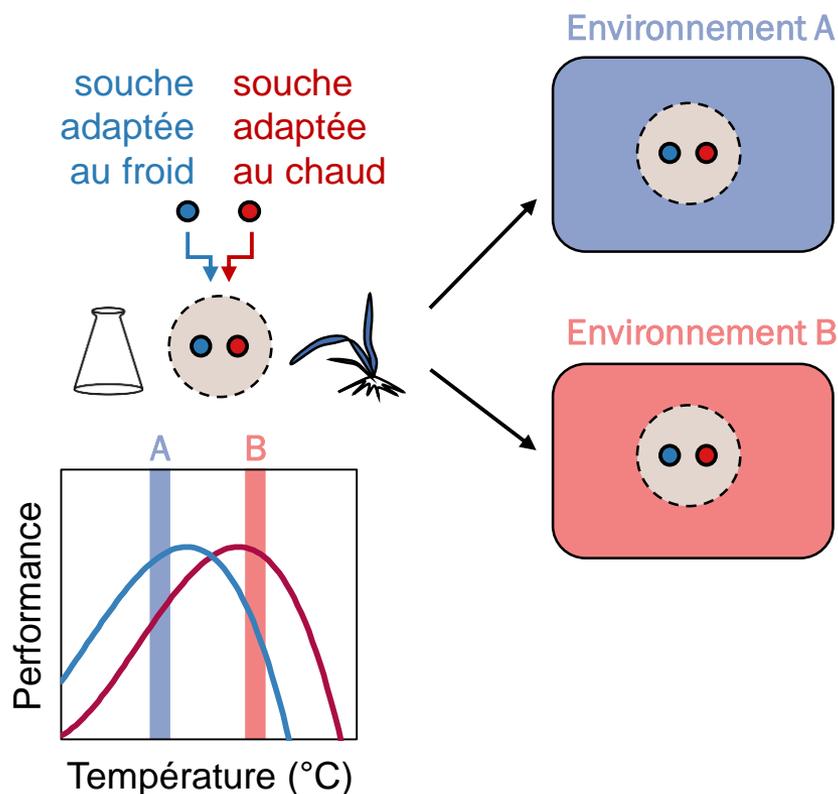
Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?



Conséquences
populationnelles



Comment les évaluer et quel est l'impact des variations de température sur les populations d'agents pathogènes ?



Question de recherche

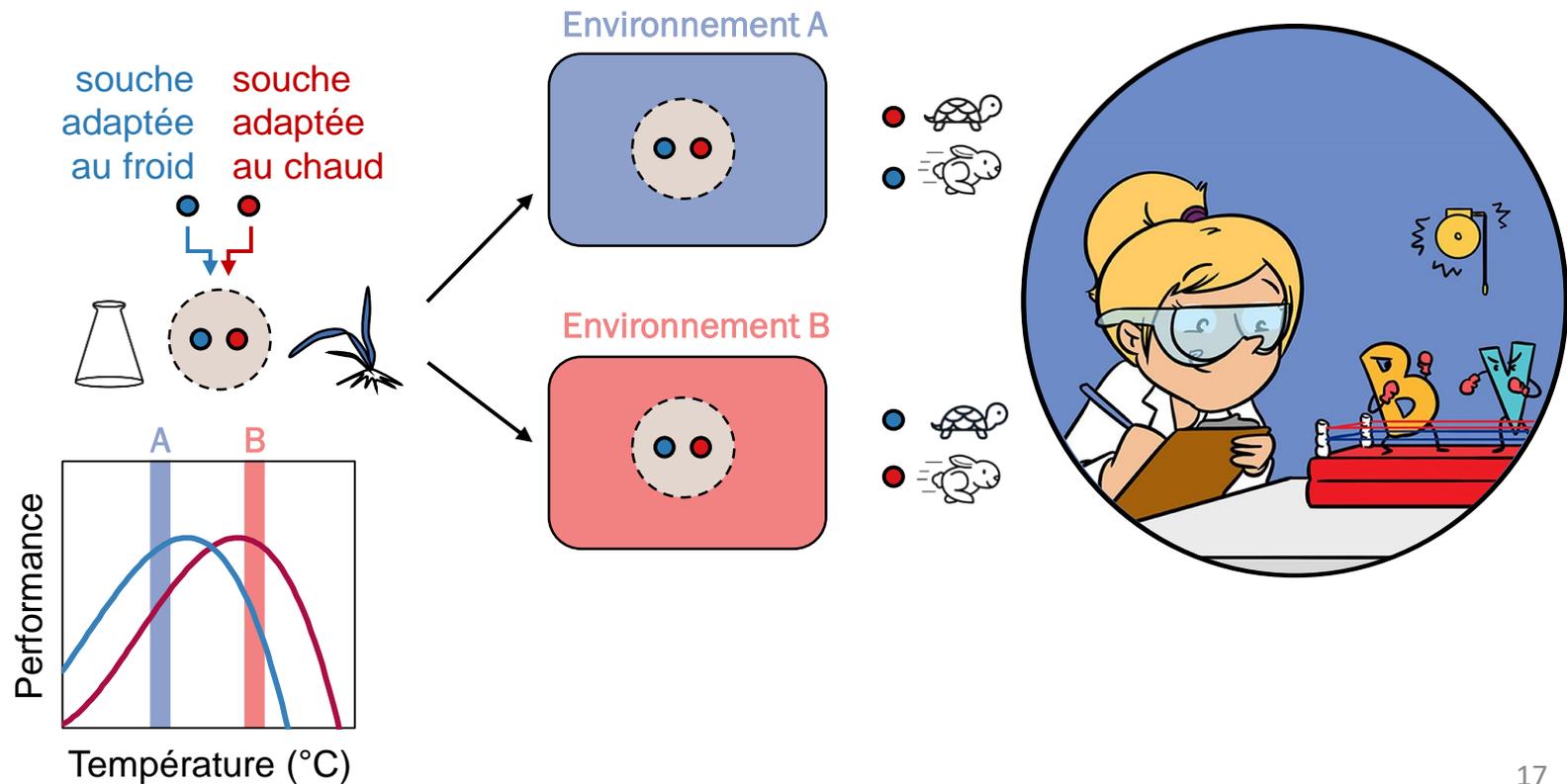
Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?



Conséquences
populationnelles

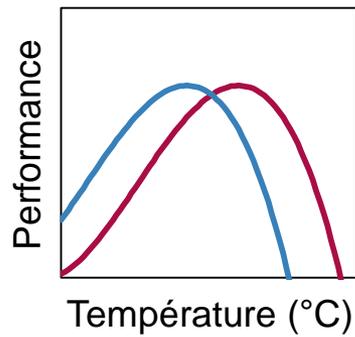
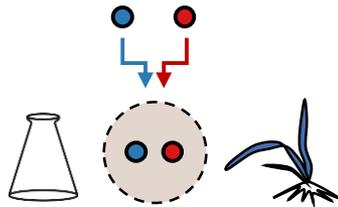


Comment les évaluer et quel est l'impact des variations de température sur les populations d'agents pathogènes ?



Comment évaluer l'impact des variations de température sur les populations d'agents pathogènes ?

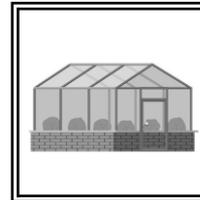
souche(s) adaptée(s) au froid
souche(s) adaptée(s) au chaud



in vitro



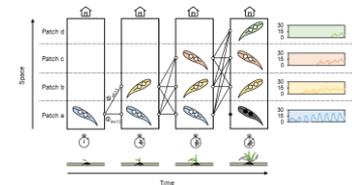
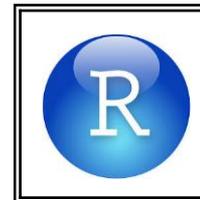
in planta

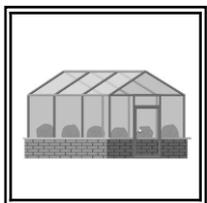


in natura



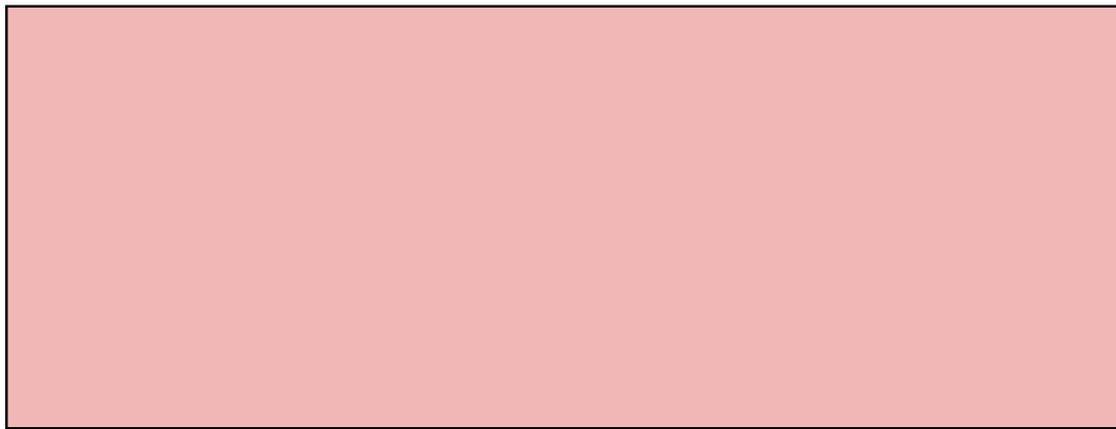
in silico





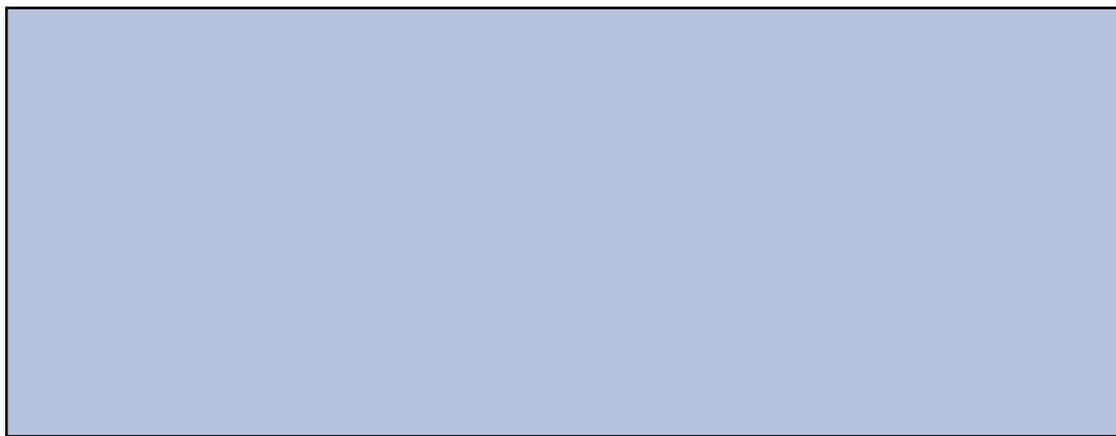
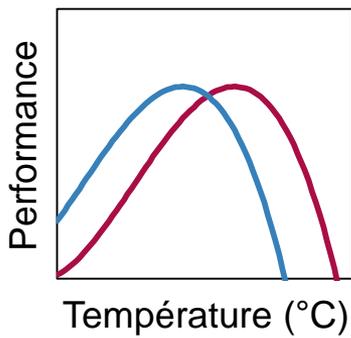
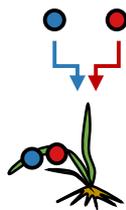
in planta

régime chaud : $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

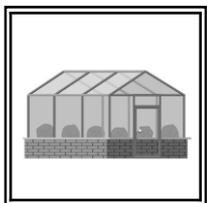


3 souches
adaptées
au froid

3 souches
adaptées
au chaud



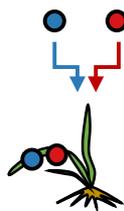
régime froid : $17 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$



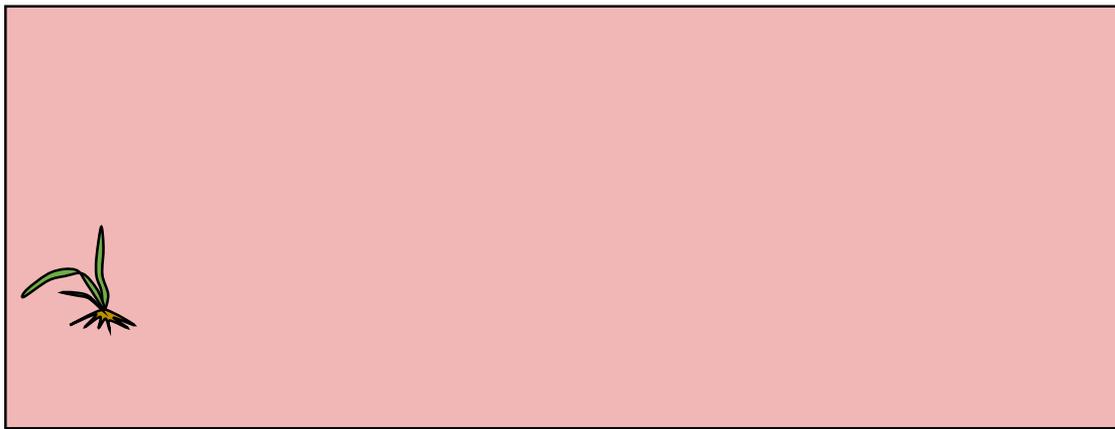
in planta

3 souches
adaptées
au froid

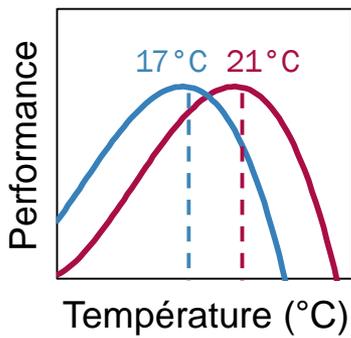
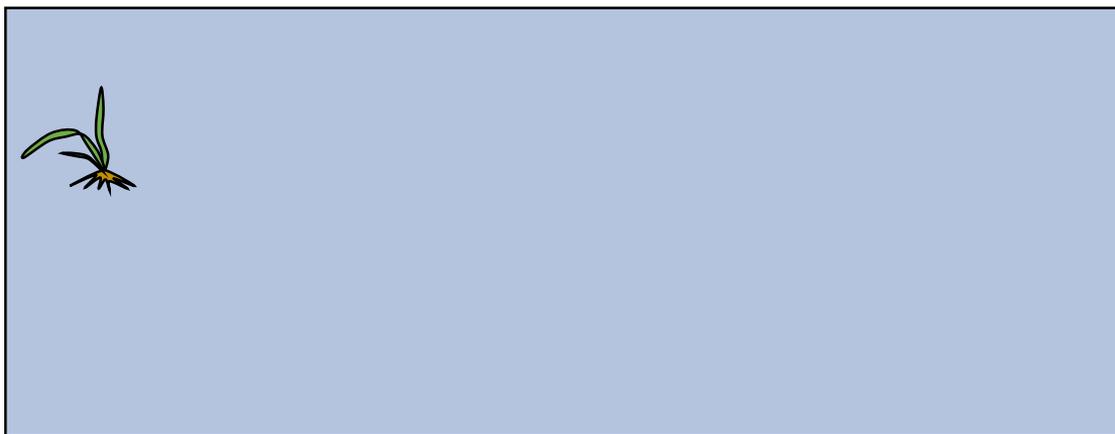
3 souches
adaptées
au chaud



régime chaud : $21 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



temps (générations successives de *Z. tritici*)



régime froid : $17 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



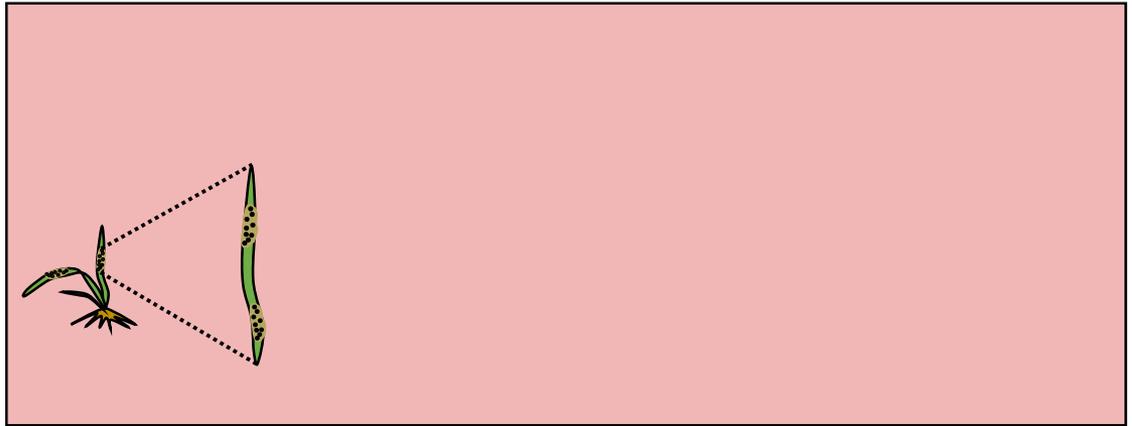
in planta

3 souches
adaptées
au froid

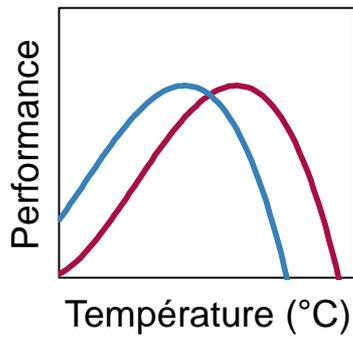
3 souches
adaptées
au chaud



régime chaud : 21 ± 1 °C



temps (générations successives de *Z. tritici*)



régime froid : 17 ± 1 °C



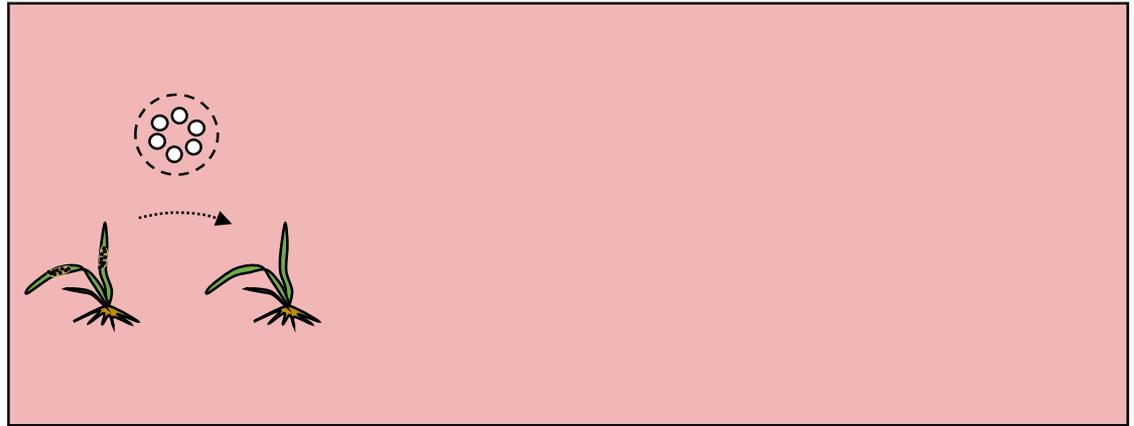
in planta

3 souches
adaptées
au froid

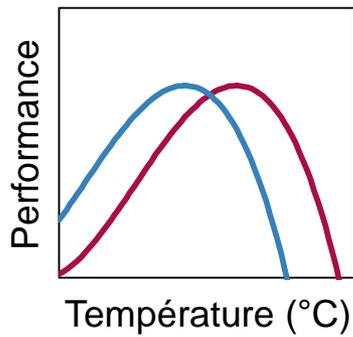
3 souches
adaptées
au chaud



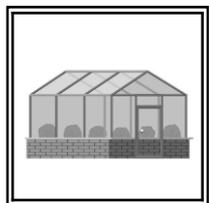
régime chaud : $21 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



temps (générations successives de *Z. tritici*)



régime froid : $17 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$



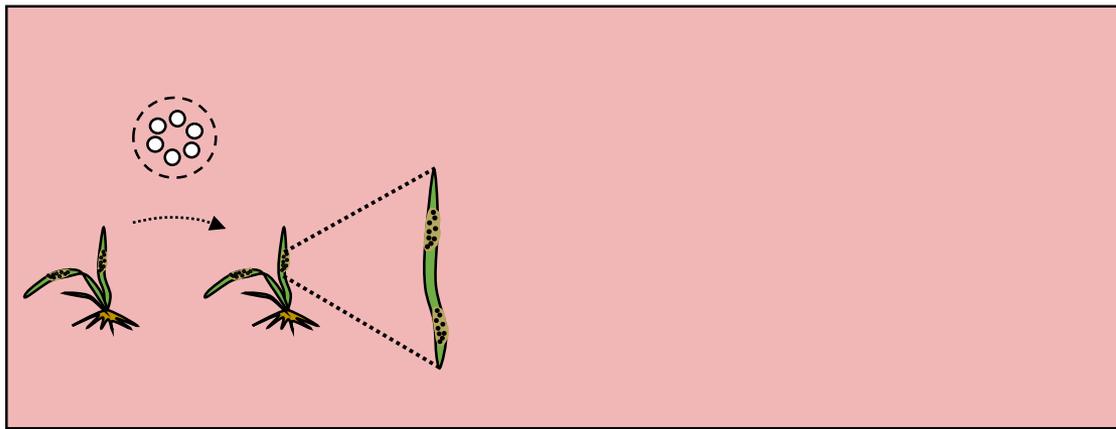
in planta

3 souches
adaptées
au froid

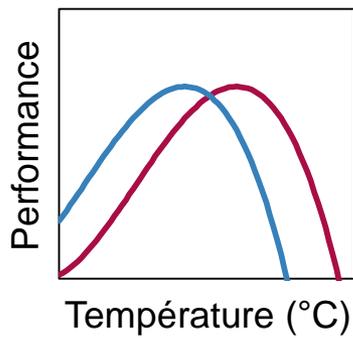
3 souches
adaptées
au chaud



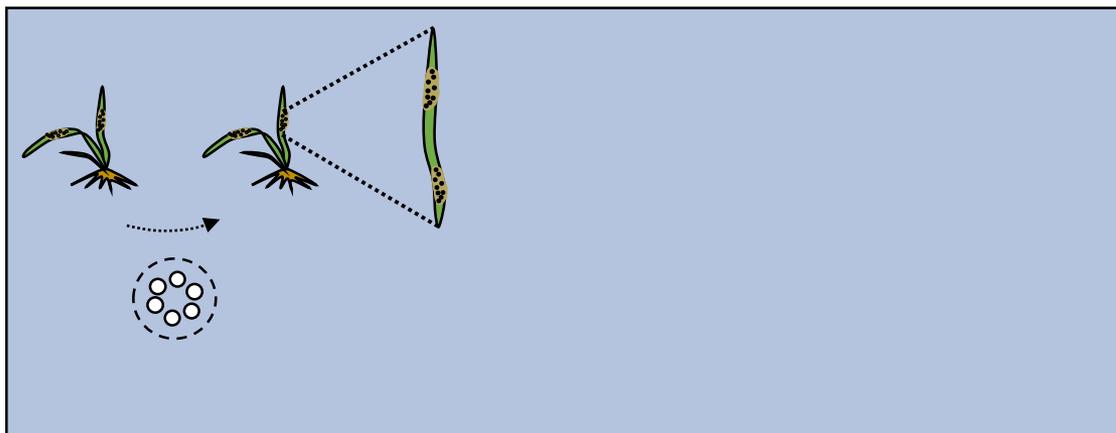
régime chaud : 21 ± 1 °C

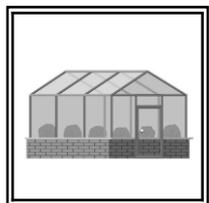


temps (générations successives de *Z. tritici*)



régime froid : 17 ± 1 °C

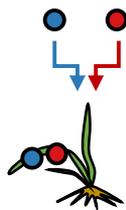




in planta

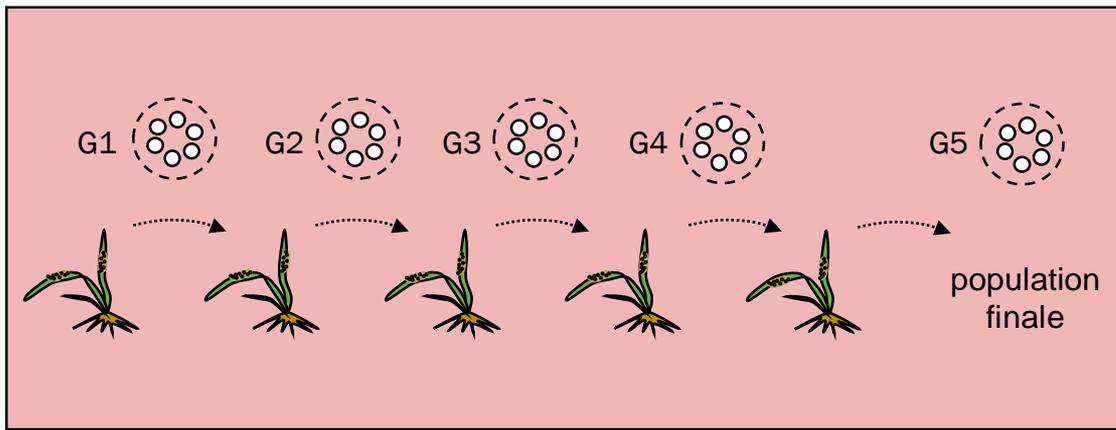
3 souches
adaptées
au froid

3 souches
adaptées
au chaud



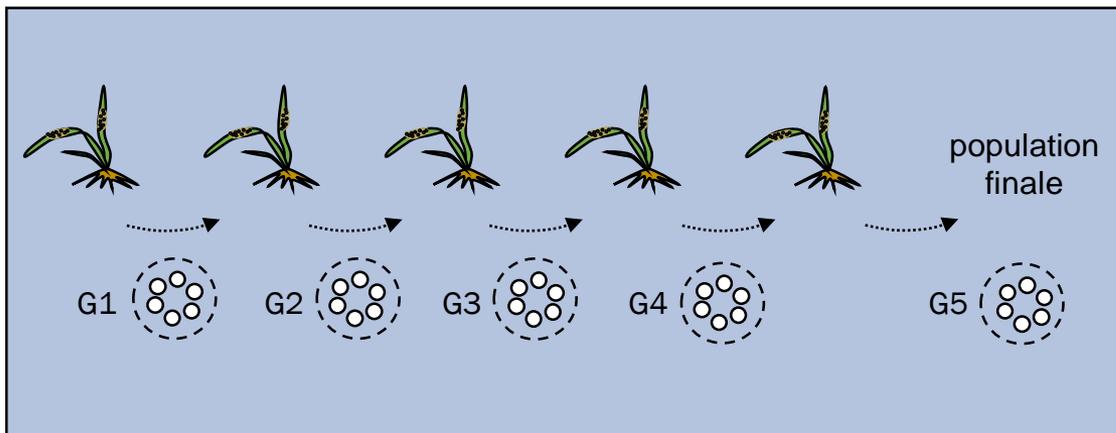
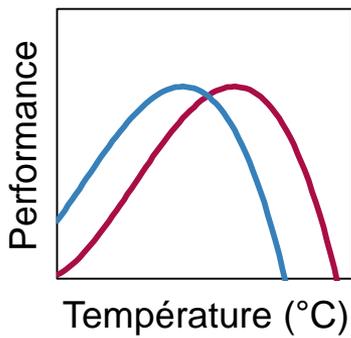
G0

régime chaud : 21 ± 1 °C



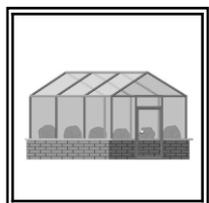
× 3

temps (générations successives de *Z. tritici*)

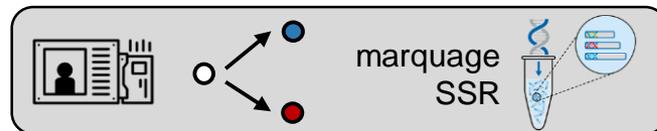


× 3

régime froid : 17 ± 1 °C

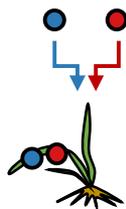


in planta



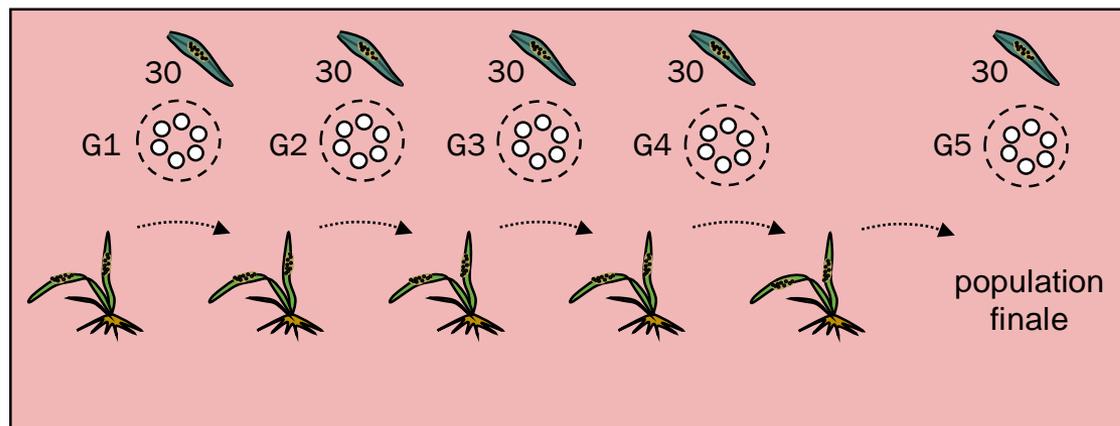
3 souches
adaptées
au froid

3 souches
adaptées
au chaud



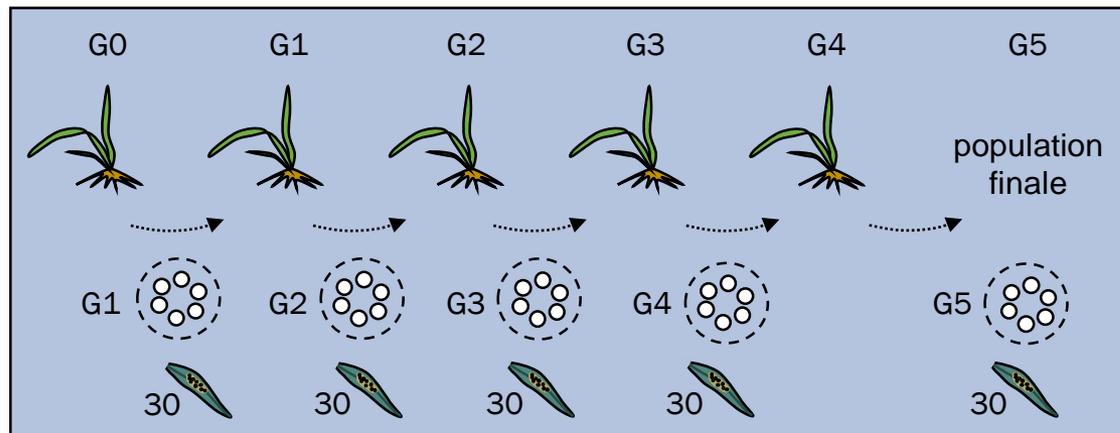
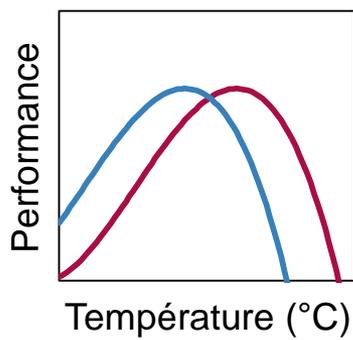
G0

régime chaud : 21 ± 1 °C



× 3

temps (générations successives de *Z. tritici*)



× 3

régime froid : 17 ± 1 °C

Question de recherche

Comment la **variabilité individuelle** et l'**hétérogénéité thermique** affectent l'**évolution des populations** des agents pathogènes foliaires ?

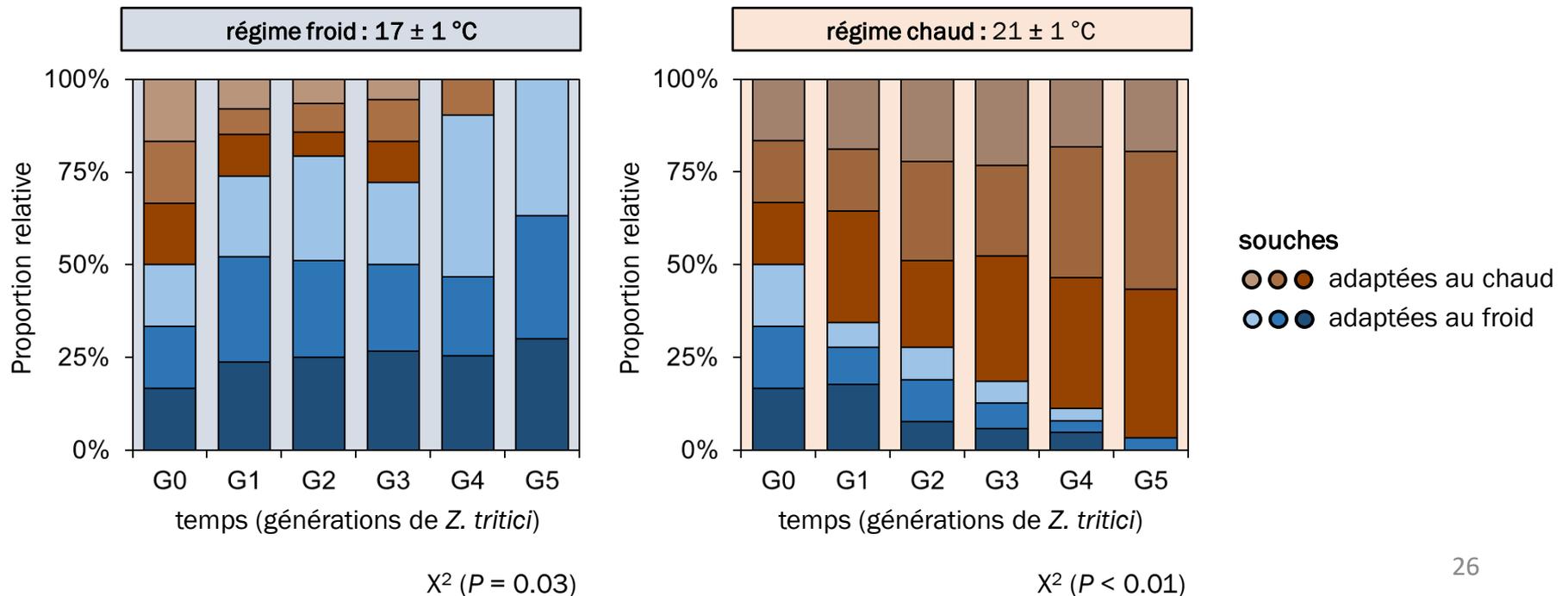


Conséquences
populationnelles



Comment les évaluer et quel est l'impact des variations de température sur les populations d'agents pathogènes ?

Les régimes thermiques imposent des pressions de sélection sur les populations à l'échelle de quelques générations



Question de recherche

Comment la variabilité individuelle et l'hétérogénéité thermique affectent l'évolution des populations des agents pathogènes foliaires ?

Variabilité individuelle

Chapitre 2

Développement d'une méthode de phénotypage thermique à haut débit

Chapitre 3

La variabilité individuelle au sein d'une population peut excéder la variabilité entre populations

Hétérogénéité environnementale

Chapitre 5

La température des feuilles de blé varie à de très petites échelles d'espace et de temps

L'hétérogénéité environnementale locale induit une variation spatiale des pressions de sélection

Conséquences populationnelles

Chapitre 4

Les régimes thermiques imposent des pressions de sélection sur les populations à l'échelle de quelques générations

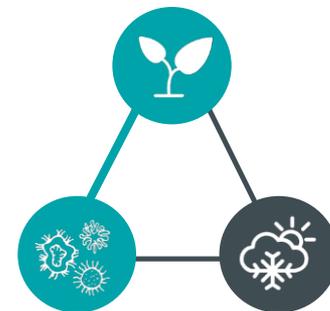
Chapitre 6

Développement d'un outil numérique de recherche rendant compte de la réponse des populations aux fluctuations spatio-temporelles des conditions environnementales

Mise en évidence par modélisation de l'importance de prendre en compte l'hétérogénéité individuelle dans la réponse des populations à un environnement hétérogène

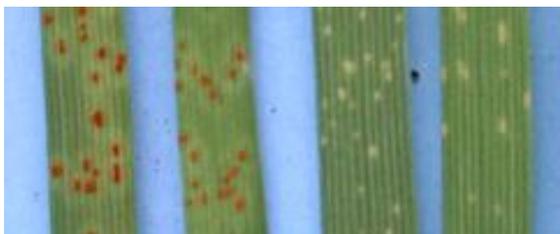


- Recrutée à **INRAE**, au cours de ma thèse, sur un poste d'**Ingénieure de Recherche** en **épidémiologie végétale**
- Poursuite de l'exploration des **interactions plantes-pathogènes**



Comment organiser le **déploiement des variétés cultivées à l'échelle des paysages agricoles** pour améliorer l'efficacité et la durabilité des résistances aux maladies ?

réseau national
d'épidémiosurveillance des
interactions blé-rouilles



suivis des dynamiques
épidémiques à
l'échelle du paysage



évaluation du risque
multi-maladies sur
le blé tendre



Merci !

Direction de thèse

Michaël Chelle
Frédéric Suffert

Comité de thèse

Marie-Laure Desprez-Loustau
Sylvain Pincebourde
Virginie Ravigné
Ivan Sache

Jury de thèse

Florence Débarre
Pascal Frey
Anne Legrève
Michael Shaw
Jacqui Shykoff

Ecole doctorale ABIES

Christine Duvaux-Ponter
Corinne Fiers
Alexandre Péry

Parcours EIR-A (Agreenium)

Erik Svensson et l'ensemble
du labo d'Ecologie Evolutive
de l'université de Lund



Travaux analysés par **Odile Carisse**
membre correspondant associé (Canada)

Organismes financeurs



UMR Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech

BIOGER (Biologie et gestion des risques en agriculture)
ECOSYS (Ecologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes)



Lund University (Suède)

Evolutionary Ecology Unit
Svensson lab (Evolution and ecology of phenotypes in nature)