



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

ENSAIA
NANCY



LABORATOIRE SOLS
& ENVIRONNEMENT

INRAE

Maladies des cultures Impacts des populations d'agents pathogènes et adaptations au changement climatique

Emile Benizri, Professeur

7 décembre 2021

Université de Lorraine
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires
Laboratoire Sols et Environnement - INRAE
emile.benizri@univ-lorraine.fr



ADEBIOTECH
THINK TANK ONE HEALTH

Contexte



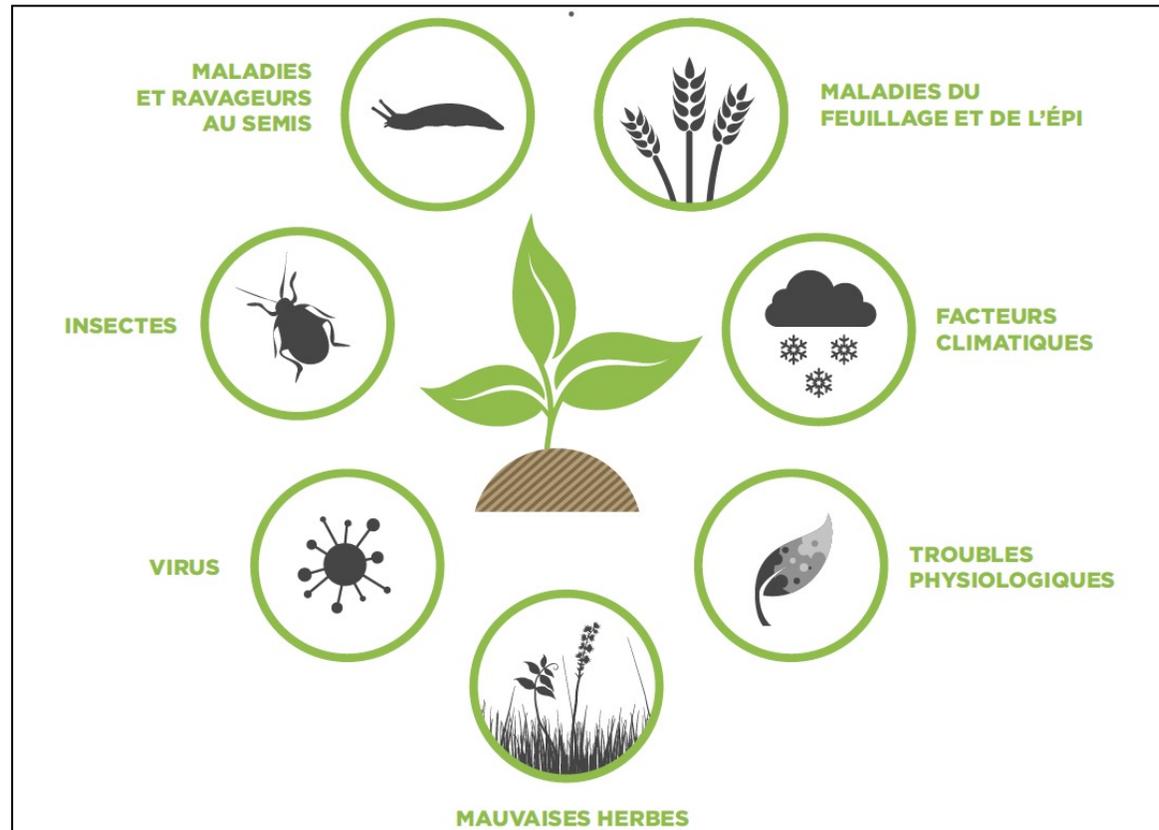
Le 1^{er} pays agricole de l'Union Européenne avec 28 millions d'hectares de terres cultivables

Contexte



Le 1^{er} pays agricole de l'Union Européenne avec 28 millions d'hectares de terres cultivables

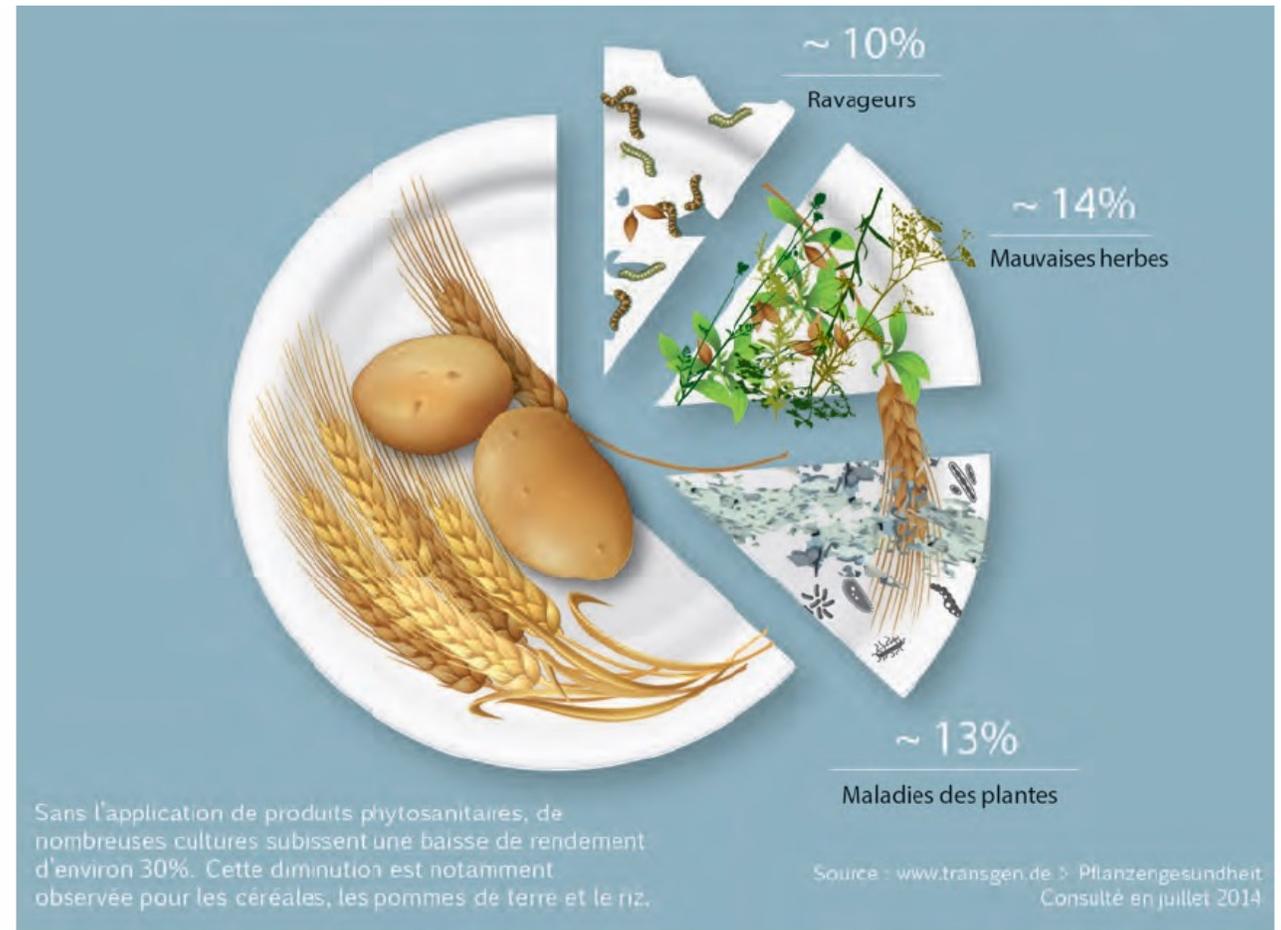
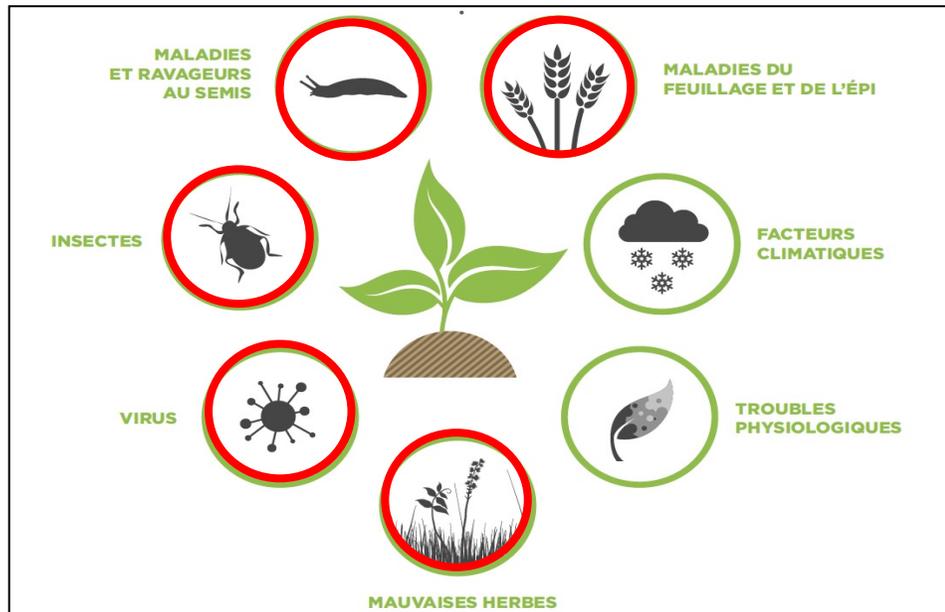
Une diversité de cultures, grâce à ses climats divers et à la richesse de ses sols, mais qui peuvent être la **cible de nombreuses attaques**



Contexte

Les « bio-agresseurs des cultures » :

sans protection des cultures → les producteurs constatent une baisse de rendement d'environ 30 à 40%



(d'après Oerke, 2006)

ARBORICULTURE

134 000 ha de vergers

EXEMPLE AVEC LA POMME

TOUCHÉE PAR :

12

MALADIES

40

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La tavelure

La maladie la plus importante en vergers de pommes

L'impact sur la récolte peut atteindre 100%

Un IFT qui varie de **12** à **16** selon les bassins de production

ARBORICULTURE

134 000 ha de vergers

EXEMPLE AVEC LA POMME

TOUCHÉE PAR :

12

MALADIES

40

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La tavelure

La maladie la plus importante en vergers de pommes

L'impact sur la récolte peut atteindre 100%

Un IFT qui varie de **12** à **16** selon les bassins de production

GRANDES CULTURES

9 400 000 ha de céréales (hors riz)

EXEMPLE AVEC LE BLÉ

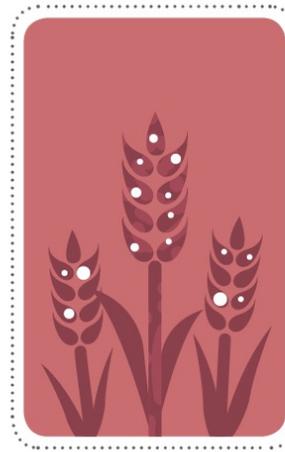
TOUCHÉE PAR :

17

MALADIES

13

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La fusariose

Une maladie favorisée par des sols secs et un excès d'engrais

Sans protection adaptée, elle peut occasionner

15 à 30 q/ha de perte de rendements et libérer des mycotoxines et causer des infections chez l'Homme et l'animal

ARBORICULTURE

134 000 ha de vergers

EXEMPLE AVEC LA POMME

TOUCHÉE PAR :

12

MALADIES

40

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La tavelure

La maladie la plus importante en vergers de pommes

L'impact sur la récolte peut atteindre 100%

Un IFT qui varie de **12 à 16** selon les bassins de production

VITICULTURE

840 000 ha de vignes

EXEMPLE AVEC LA VIGNE

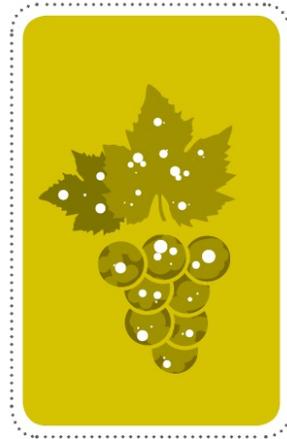
TOUCHÉE PAR :

24

MALADIES

11

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La pourriture grise

Un champignon qui se développe avec l'humidité et qui peut détruire

15% à 40% des récoltes sans protection adaptée

10% de pourriture grise peut entraîner jusqu'à 20% de perte de couleur et d'arôme pour le vin

GRANDES CULTURES

9 400 000 ha de céréales (hors riz)

EXEMPLE AVEC LE BLÉ

TOUCHÉE PAR :

17

MALADIES

13

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La fusariose

Une maladie favorisée par des sols secs et un excès d'engrais

Sans protection adaptée, elle peut occasionner

15 à 30 q/ha de perte de rendements et libérer des mycotoxines et causer des infections chez l'Homme et l'animal

ARBORICULTURE

134 000 ha de vergers

EXEMPLE AVEC LA POMME

TOUCHÉE PAR :

12

MALADIES

40

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La tavelure

La maladie la plus importante en vergers de pommes

L'impact sur la récolte peut atteindre 100%

Un IFT qui varie de **12 à 16** selon les bassins de production

VITICULTURE

840 000 ha de vignes

EXEMPLE AVEC LA VIGNE

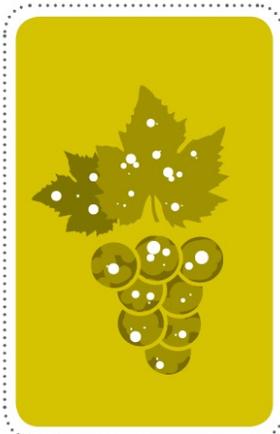
TOUCHÉE PAR :

24

MALADIES

11

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La pourriture grise

Un champignon qui se développe avec l'humidité et qui peut détruire

15% à 40% des récoltes sans protection adaptée

10% de pourriture grise peut entraîner jusqu'à 20% de perte de couleur et d'arôme pour le vin

GRANDES CULTURES

9 400 000 ha de céréales (hors riz)

EXEMPLE AVEC LE BLÉ

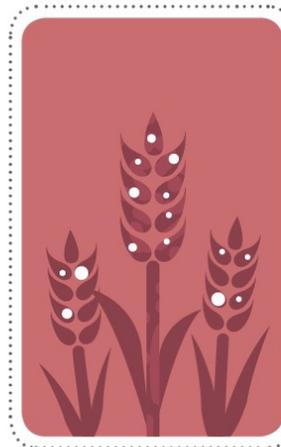
TOUCHÉE PAR :

17

MALADIES

13

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

La fusariose

Une maladie favorisée par des sols secs et un excès d'engrais

Sans protection adaptée, elle peut occasionner

15 à 30 q/ha de perte de rendements et libérer des mycotoxines et causer des infections chez l'Homme et l'animal

CULTURES LÉGUMIÈRES

267 000 ha de légumes

EXEMPLE AVEC LA SALADE

TOUCHÉE PAR :

9

MALADIES

10

RAVAGEURS



UNE ATTAQUE REDOUTABLE :

Le mildiou

Une maladie favorisée par la chaleur et l'humidité

70% à 80% des récoltes détruites (voire parfois la totalité) sans protection adaptée

Agents pathogènes et changement climatique

Quelles évolutions ?

Agents pathogènes et changement climatique

Le changement climatique se caractérise par :

- une élévation de la concentration en CO₂ de l'air,
- une élévation de la température,
- une augmentation des sécheresses aux latitudes moyennes

Impacts déjà visibles



Agents pathogènes et changement climatique

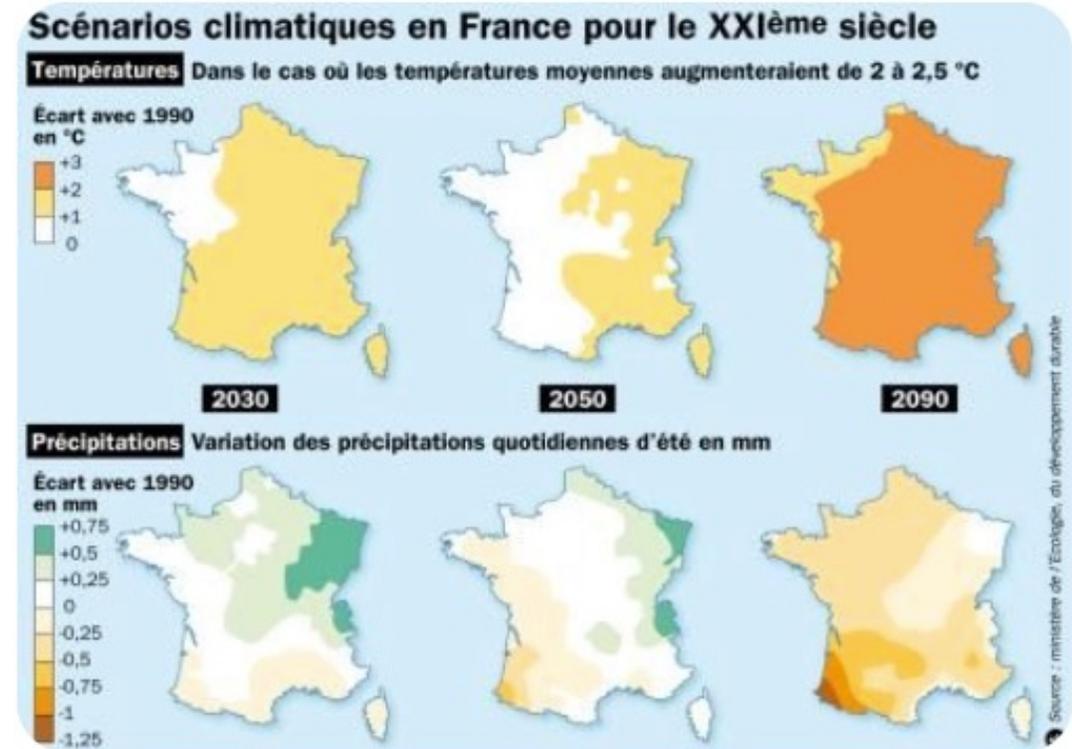
Le changement climatique se caractérise par :

- une élévation de la concentration en CO₂ de l'air,
- une élévation de la température,
- une augmentation des sécheresses aux latitudes moyennes

Impacts déjà visibles



Scénarios d'ici 2090



Températures : + 3°C

Précipitations : - 1,25 mm

Agents pathogènes et changement climatique

Le changement climatique, et notamment l'élévation de la température, est impliqué dans l'accroissement du nombre de nouveaux organismes détectés, puisque la **température est un facteur prépondérant** dans la croissance des organismes. **Il est donc logique d'escompter une extension latitudinale des zones de répartition géographique des organismes**

Agents pathogènes et changement climatique

Le changement climatique, et notamment l'élévation de la température, est impliqué dans l'accroissement du nombre de nouveaux organismes détectés, puisque la température est un facteur prépondérant dans la croissance des organismes. Il est donc logique d'escompter une extension latitudinale des zones de répartition géographique des organismes

→ la plupart des **insectes herbivores** sont sensibles à une élévation de la température et y répondent par une **augmentation de leur vitesse de développement**, une plus **grande prolificité** et un plus grand **nombre de générations** pendant la saison



Agents pathogènes et changement climatique

Le changement climatique, et notamment l'élévation de la température, est impliqué dans l'accroissement du nombre de nouveaux organismes détectés, puisque la température est un facteur prépondérant dans la croissance des organismes. Il est donc logique d'escompter une extension latitudinale des zones de répartition géographique des organismes

→ la plupart des insectes herbivores sont sensibles à une élévation de la température et y répondent par une augmentation de leur vitesse de développement, une plus grande prolificité et un plus grand nombre de générations pendant la saison



→ le **développement et la dispersion des maladies cryptogamiques** est favorisé par la température et l'humidité, d'autant plus avec des épisodes climatiques extrêmes tels des orages intenses (qui semblent accompagner le changement climatique)



Agents pathogènes et changement climatique

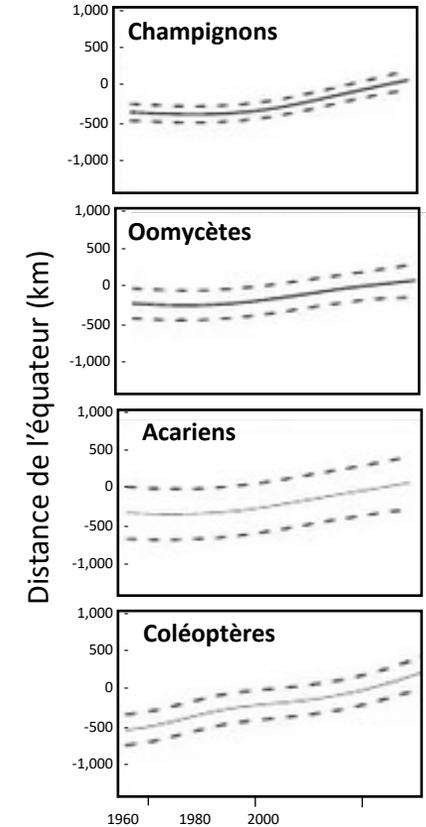
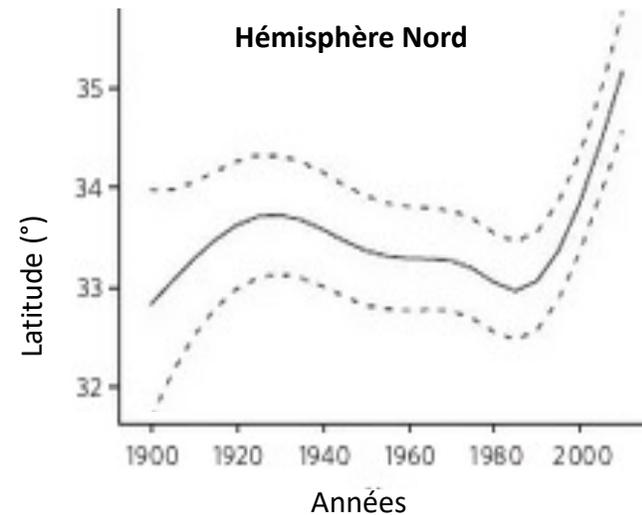
Il est aujourd'hui avéré que **le changement climatique permet l'établissement de certains bio-agresseurs dans de nouvelles régions jusque là inadaptées**

Agents pathogènes et changement climatique

Il est aujourd'hui avéré que le changement climatique permet l'établissement de certains bio-agresseurs dans de nouvelles régions jusque là inadaptées

Certaines études (basées sur plus de 612 bio-agresseurs) montrent :

- Une **détection accrue de certains bio-agresseurs plus on s'éloigne de l'équateur, avec en particulier une augmentation des champignons, oomycètes, acariens, coléoptères dans l'hémisphère Nord**
- un **déplacement moyen des bio-agresseurs vers les latitudes positives d'environ 3 km/an depuis 1960**



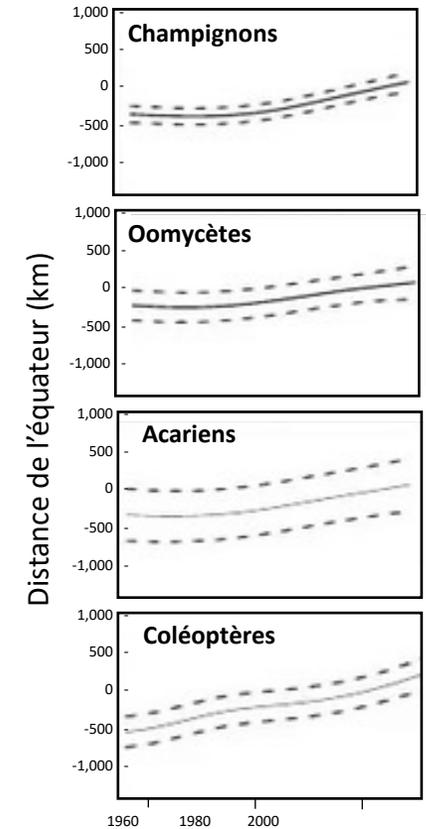
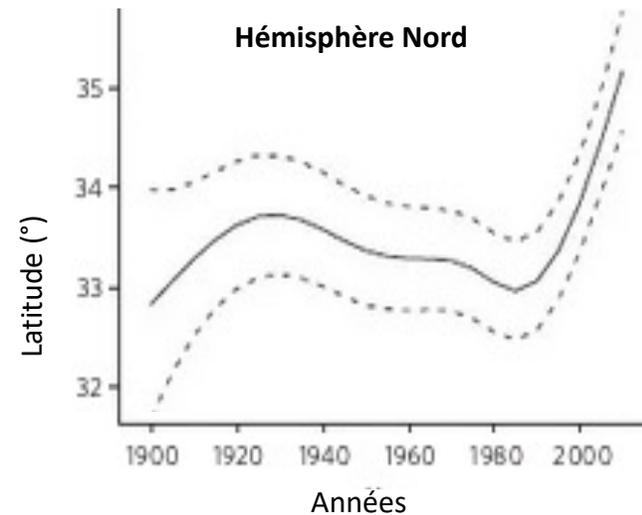
Bebber *et al.*, 2013

Agents pathogènes et changement climatique

Il est aujourd'hui avéré que le changement climatique permet l'établissement de certains bio-agresseurs dans de nouvelles régions jusque là inadaptées

Certaines études (basées sur plus de 612 bio-agresseurs) montrent :

- Une détection accrue de certains bio-agresseurs plus on s'éloigne de l'équateur, avec en particulier une augmentation des champignons, oomycètes, acariens, coléoptères dans l'hémisphère Nord
- un déplacement moyen des bio-agresseurs vers les latitudes positives d'environ 3 km/an depuis 1960



Bebber *et al.*, 2013

Ainsi, en s'éloignant de l'équateur, **les risques augmenteront** (**l'Europe** et la Chine, particulièrement vulnérables)

De plus, ces variations de température influenceront les mélanges des agents pathogènes : les États-Unis, **l'Europe** et la Chine pourraient connaître des **changements majeurs dans les assemblages des agents pathogènes**

Agents pathogènes et changement climatique

Trois exemples



Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales



Les agents responsables de la fusariose des épis (FHB : Fusarium Head Blight) : un complexe de différentes espèces



Dans le monde, plus de 17 espèces impliquées sur céréales (Parry *et al.*, 1995)



En France, sur blé : 5 espèces principalement

- *Fusarium graminearum*
- *Fusarium culmorum*
- *Fusarium avenaceum*

- *Microdochium nivale*
- *Microdochium nivale majus*

Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales



Les agents responsables de la fusariose des épis (FHB : Fusarium Head Blight) : un complexe de différentes espèces



Dans le monde, plus de 17 espèces impliquées sur céréales (Parry *et al.*, 1995)



En France, sur blé : 5 espèces principalement

- *Fusarium graminearum*
- *Fusarium culmorum*
- *Fusarium avenaceum*

- *Microdochium nivale*
- *Microdochium nivale majus*

Les symptômes



Sporodochies roses-orangées



Epis +/- échaudés



Auréole sur la glume

Fusarium graminearum, *Fusarium culmorum*, *Microdochium majus*, *Microdochium nivale*

Fusarium poae, *Fusarium sporotrichoides*, *Fusarium langsethiae*, *Fusarium tricinctum*

© Arvalis Institut du Végétal

Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales



Fusariose des épis : un impact **quantitatif** (nuisibilité : **15-30 q/ha**)

..... mais aussi un impact **qualitatif** (production de **mycotoxines**)

Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales



Fusariose des épis : un impact quantitatif (nuisibilité : 15-30 q/ha)

..... mais aussi un impact qualitatif (production de mycotoxines)

Fusarium graminearum : espèce la plus problématique en lien avec la production de déoxynivalénol (DON) (mycotoxine réglementée)

Fusarium culmorum
Fusarium poae

Trichothécènes de type B (DON, NIV, ZEA)*

Fusarium sporotrichoides
Fusarium langsethiae

Trichothécènes de type A (Toxines T2, HT2)

Fusarium tricinctum
Fusarium avenaceum

Pas de Trichothécènes mais autres mycotoxines (BEA, MON, ENN)*

Microdochium majus
Microdochium nivale

Pas de mycotoxines

* (DON = déoxynivalénol, NIV = nivalénol, ZEA = zéaralénol, BEA = Beauvericine, MON = Moniliformine, ENN = Enniatines)

Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales



Le **climat** : le **facteur primordial** dans les processus de contamination

Un rôle déterminant

- dans la **maturation de l'inoculum** (pluies et températures > à 10°C)
- et dans les **conditions d'infection** (pluies et vent)

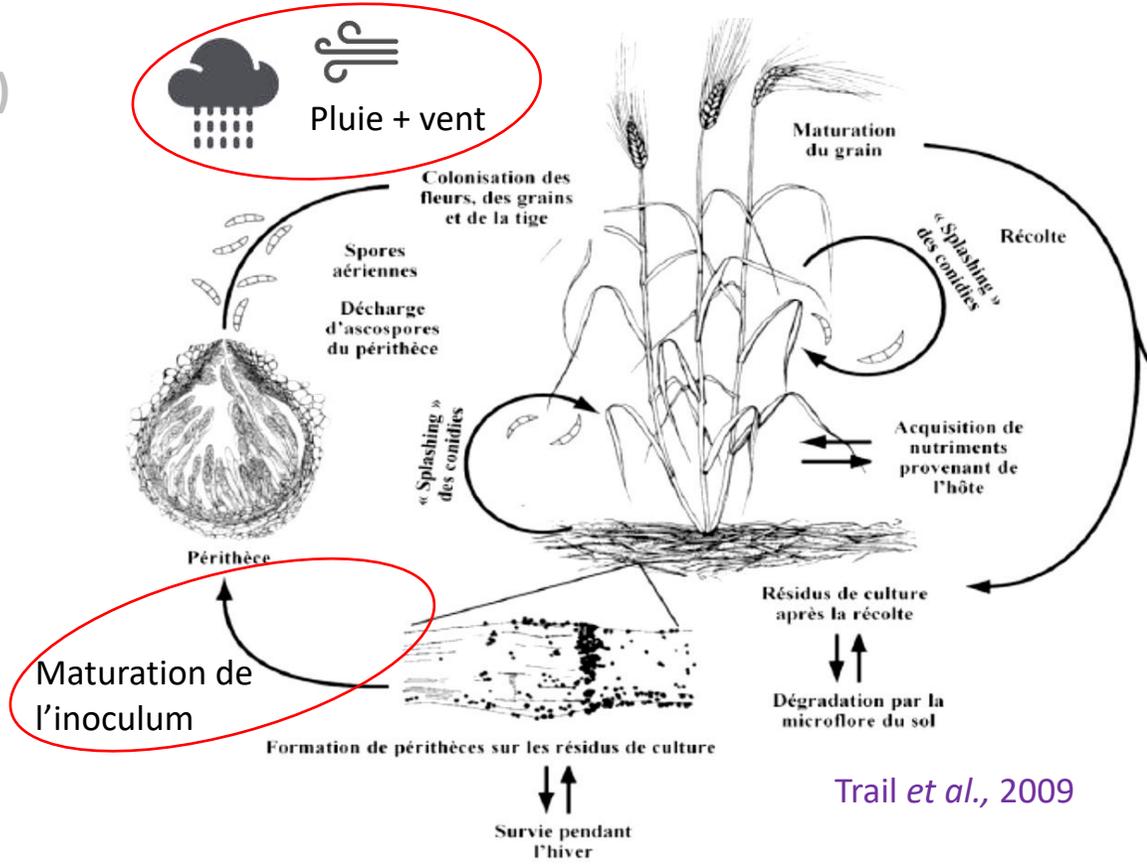
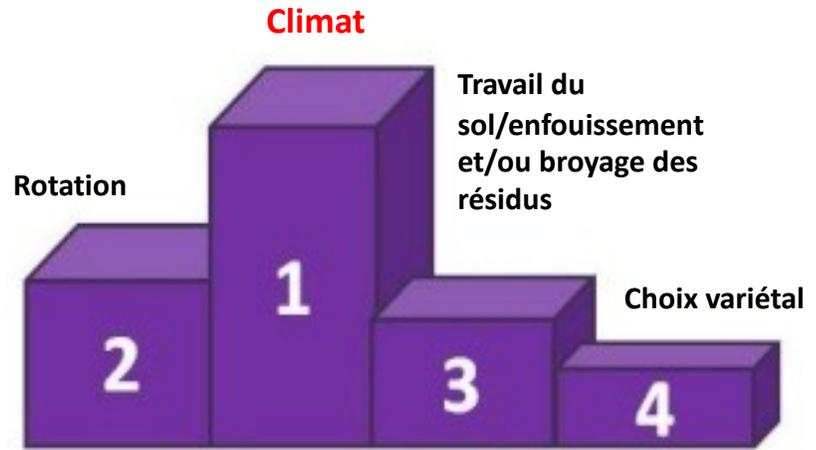
Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales



Le climat : le facteur primordial dans les processus de contamination

Un rôle déterminant

- dans la maturation de l'inoculum (pluies et températures > à 10°C)
- et dans les conditions d'infection (pluies et vent)



Trail et al., 2009

De plus, la concentration de **mycotoxines** dans les grains augmentent avec le nombre de jours de pluie et ceux dont l'HR > 75 % (mais diminue avec des températures < 12°C ou > 32°C) (Schaafsma et Hooker, 2007)

Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales

Le constat : une modification du complexe fusarien au niveau Européen

Fusarium culmorum et *Microdochium nivale* : les espèces qui étaient classiquement retrouvées dans les régions avec un climat plus froid (Europe du Nord)

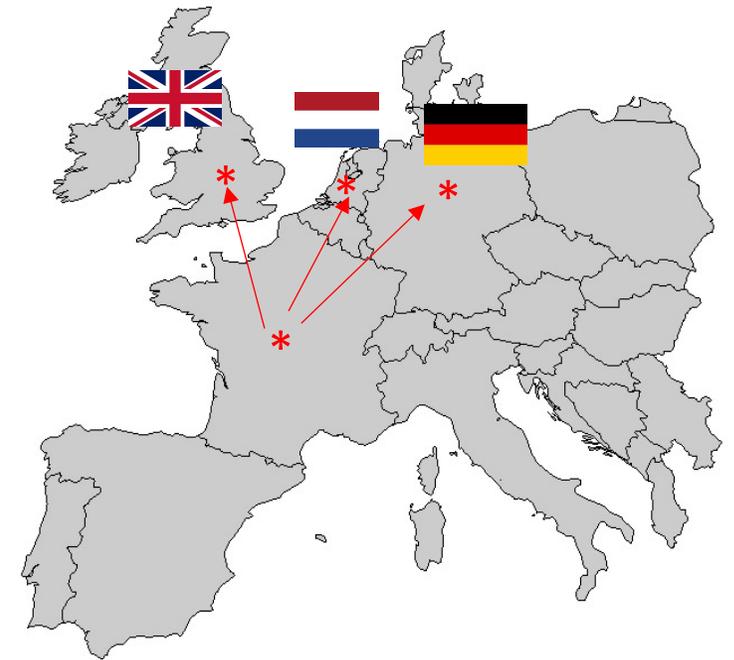
Mais durant la dernière décennie, *Fusarium graminearum* est devenu l'espèce dominante :

- aux Pays-Bas (Waalwijk *et al.*, 2003)
- en Angleterre (Jennings *et al.*, 2004)
- et dans le Nord de l'Allemagne (Miedaner *et al.*, 2008)

T°C, humidité, stress thermique plus élevés
Fusarium culmorum et *Microdochium nivale*

modification
du complexe fusarien

Fusarium graminearum (*)



Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales

Le constat : une modification du complexe fusarien au niveau Européen

Fusarium culmorum et *Microdochium nivale* : les espèces qui étaient classiquement retrouvées dans les régions avec un climat plus froid (Europe du Nord)

Mais durant la dernière décennie, *Fusarium graminearum* est devenu l'espèce dominante :

- aux Pays-Bas (Waalwijk *et al.*, 2003)
- en Angleterre (Jennings *et al.*, 2004)
- et dans le Nord de l'Allemagne (Miedaner *et al.*, 2008)

M. nivale ne produit pas de mycotoxine et *F. culmorum* en produit généralement moins que *F. graminearum*

- d'ici 2050, les **concentrations en mycotoxines seront donc augmentées dans les récoltes de blé du Nord de l'Europe** (Paterson et Lima, 2010 ; Magan *et al.*, 2011)
- et **dépasseraient même les limites fixées par l'UE dans l'ensemble du Royaume-Uni** (Madgwick *et al.*, 2010)

T°C, humidité, stress thermique plus élevés

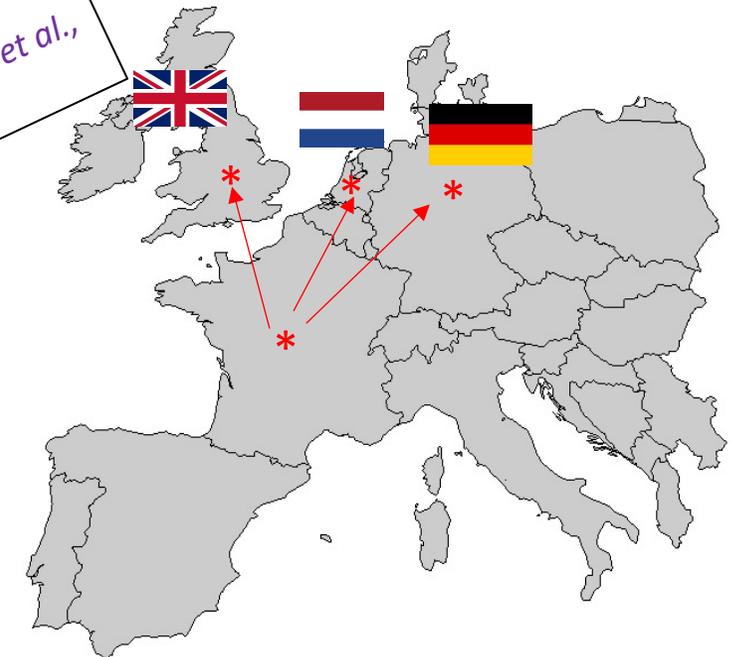
Fusarium culmorum et *Microdochium nivale*

modification
du complexe fusarien

Fusarium graminearum (*)

DON x 3

van der Fels-Klerx *et al.*,
2012



Agents pathogènes et changement climatique : cas des Fusarioses des céréales



Et en France?

Référence : 1962-1990



Prédiction : 2022-2050



Prédiction : 2072-2100



scénario avec une teneur en CO₂ de 700 ppm d'ici 2100



Cartographie de la teneur en DON médiane

Gourdain *et al.*, 2015

- Teneur en DON < 1250 µg/kg : **limite réglementaire**
- Teneur en DON > 1250 et > 3000 µg/kg
- Teneur en DON > 3000 µg/kg

La **diminution du risque DON** est très nette **par l'Ouest** dès le futur proche puis se **déplace vers l'Est** dans le futur lointain

Mais globalement, la **quantité d'inoculum** puis **in fine** une teneur en DON prédite dans les grains de blé **seraient plus faibles** dans un contexte de changement climatique (baisse des précipitations durant le printemps et plus particulièrement autour de la floraison)

Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne



Un impact dès aujourd'hui perceptible sur la culture de la vigne :

- **précocité des stades phénologiques**
- **vendanges plus précoces**
- **niveau de production moindre**
- **degré alcoolique plus élevé des vins** (Jones et Davis 2000, Garcia de Cortazar Atauri 2006, Beltrando et Briche 2010, Cuccia *et al.*, 2010, Larignon, 2021)



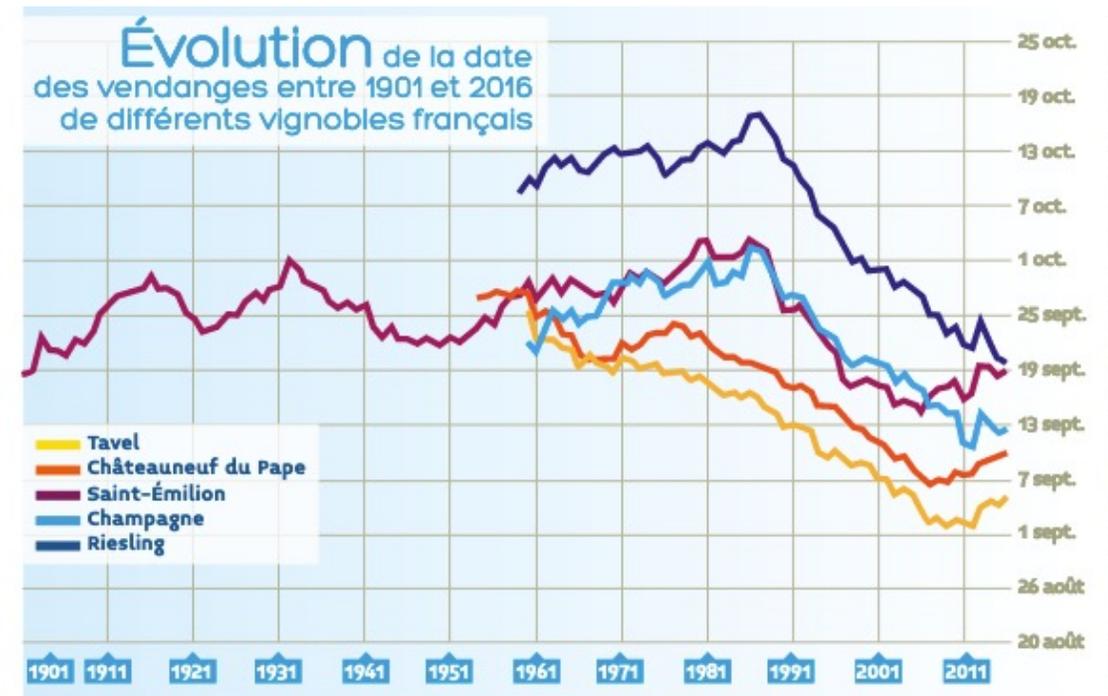
Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne

Un impact dès aujourd'hui perceptible sur la culture de la vigne :

- précocité des stades phénologiques
- vendanges plus précoces
- niveau de production moindre
- **degré alcoolique plus élevé des vins** (Jones et Davis 2000, Garcia de Cortazar Atauri 2006, Beltrando et Briche 2010, Cuccia *et al.*, 2010, Larignon, 2021)

L'avancée des dates de vendanges est corrélée essentiellement avec l'évolution de la température, de manière quasi linéaire

En moyenne, les **vendanges** ont lieu **15 jours plutôt qu'il y a 40 ans**



Source : Inter-Rhône - ENITA Bordeaux - INRA Colmar - Comité Interprofessionnel du de Champagne. Traitements: ONERC - SeOS 2017

Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne



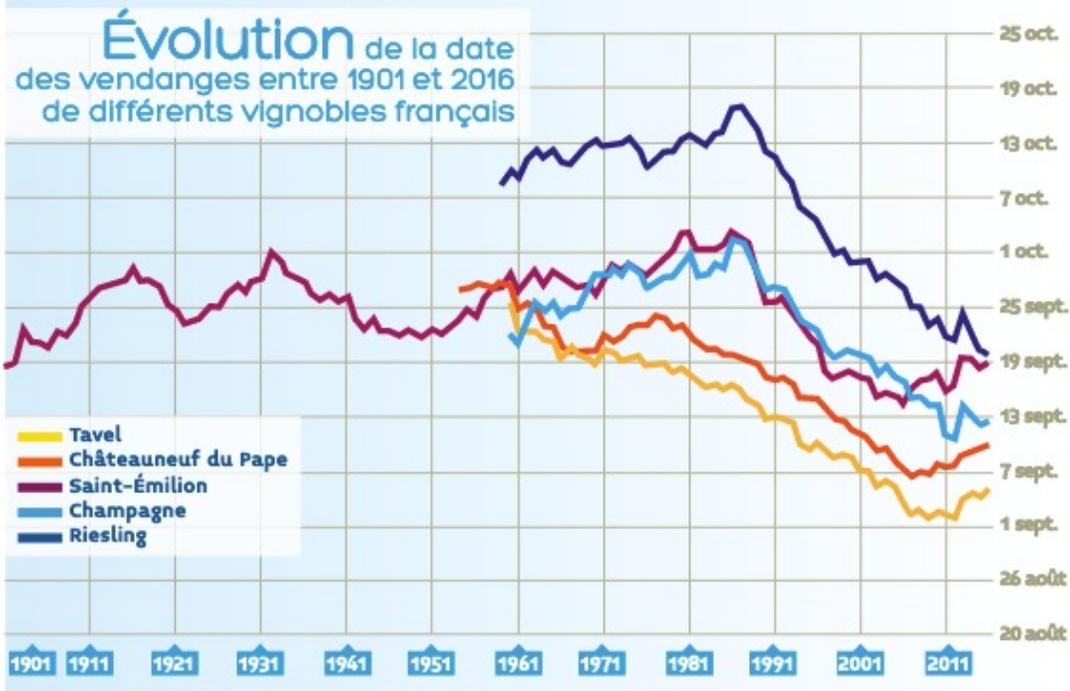
Un impact dès aujourd'hui perceptible sur la culture de la vigne :

- précocité des stades phénologiques
- vendanges plus précoces
- niveau de production moindre
- **degré alcoolique plus élevé des vins** (Jones et Davis 2000, Garcia de Cortazar Atauri 2006, Beltrando et Briche 2010, Cuccia *et al.*, 2010, Larignon, 2021)

L'avancée des dates de vendanges est corrélée essentiellement avec l'évolution de la température, de manière quasi linéaire

En moyenne, les vendanges ont lieu 15 jours plutôt qu'il y a 40 ans

Mais qu'en est-il des maladies du bois, plus particulièrement de l'esca / BDA ?



Source : Inter-Rhône - ENITA Bordeaux - INRA Colmar - Comité Interprofessionnel du de Champagne. Traitements: ONERC - SeOS 2017

Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne



L'Esca et le BDA (Black Dead Arm) sont des maladies du bois de la vigne impliquant chacune plusieurs champignons

Esca : la forme lente de la maladie conduit à des décolorations entre les nervures des feuilles. Un dessèchement rapide du pied, en quelques jours voire quelques heures, peut se produire : c'est ce qu'on appelle la forme apoplectique

ESCA



Zone claire et tendre (amadou) entourée d'une zone dure brune laissant très peu de bois fonctionnel due à :

- *Phaeomoniella chlamydospora* (Pch)
- *Phaeocremonium aleophilum* (Pal)
- *Fomitiporia mediterranea*
- *Eutypa lata*
- *Stereum hirsutum*

Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne



L'Esca et le BDA (Black Dead Arm) sont des maladies du bois de la vigne impliquant chacune plusieurs champignons

Esca : la forme lente de la maladie conduit à des décolorations entre les nervures des feuilles. Un dessèchement rapide du pied, en quelques jours voire quelques heures, peut se produire : c'est ce qu'on appelle la forme apoplectique

Le **BDA** induit des taches entre les nervures des feuilles de la base des rameaux : taches rouges puis couleur « feuille morte » qui peut évoluer en une défoliation rapide avec une possible atteinte des fleurs ou des fruits

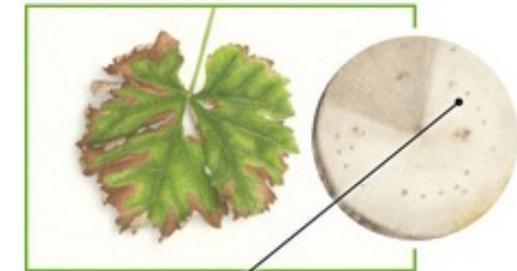
ESCA



Zone claire et tendre (amadou) entourée d'une zone dure brune laissant très peu de bois fonctionnel due à :

- *Phaeomoniella chlamydospora* (Pch)
- *Phaeocremonium aleophilum* (Pal)
- *Fomitiporia mediterranea*
- *Eutypa lata*
- *Stereum hirsutum*

BDA ou Black Dead Arm



Nécrose sectorielle de couleur grise, grosses ponctuations, due à :

- *Botryosphaeria obtusa*
- *Botryosphaeria parva*
- *Botryosphaeria stevensii*
- *Botryosphaeria dothidea*

© Bayer

Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne

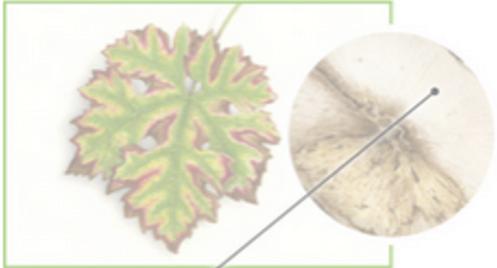


L'Esca et le BDA (Black Dead Arm) sont des maladies du bois de la vigne impliquant chacune plusieurs champignons

Esca : la forme lente de la maladie conduit à des décolorations entre les nervures des feuilles. Un dessèchement rapide du pied, en quelques jours voire quelques heures, peut se produire : c'est ce qu'on appelle la forme apoplectique

Le BDA induit des taches entre les nervures des feuilles de la base des rameaux : taches rouges puis couleur « feuille morte » qui peut évoluer en une défoliation rapide avec une possible atteinte des fleurs ou des fruits

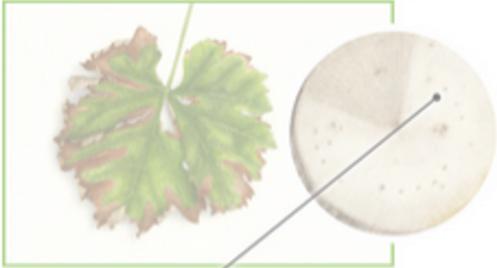
ESCA



Zone claire et tendre (amadou) entourée d'une zone dure brune laissant très peu de bois fonctionnel due à :

- *Phaeomoniella chlamydospora (Pch)*
- *Phaeocremonium aleophilum (Pal)*
- *Fomitiporia mediterranea*
- *Eutypa lata*
- *Stereum hirsutum*

BDA ou Black Dead Arm



Nécrose sectorielle de couleur grise, grosses ponctuations, due à :

- *Botryosphaeria obtusa*
- *Botryosphaeria parva*
- *Botryosphaeria stevensii*
- *Botryosphaeria dothidea*

© Bayer

En termes de nuisibilité, en France, **40 à 50% du vignoble est atteint** et **2 viticulteurs sur 3 sont concernés** avec en moyenne **10 à 15% de pieds touchés**

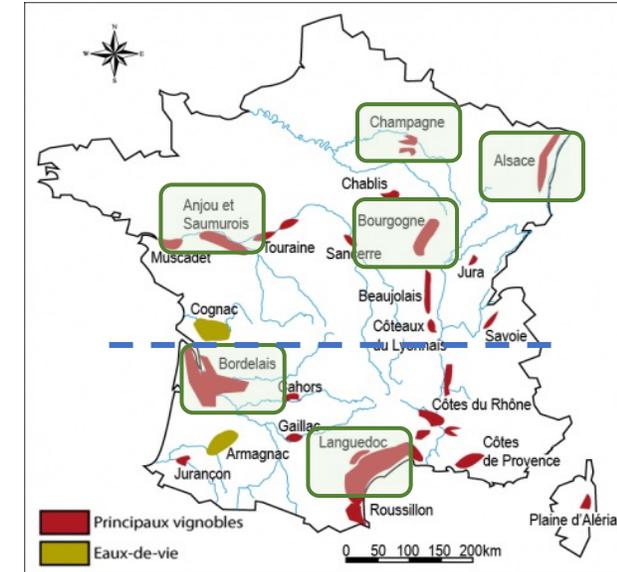
Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne



Une étude récente de 2021 a porté sur 6 vignobles (Larignon, 2021)

Ont été pris en compte **pour estimer l'évolution de ces maladies** :

- le niveau de **pluviométrie** (en mm)
- le nombre de jours avec des **températures > 30°C** (critère nécessaire pour l'extériorisation des symptômes) entre le 1er mai et le 15 septembre



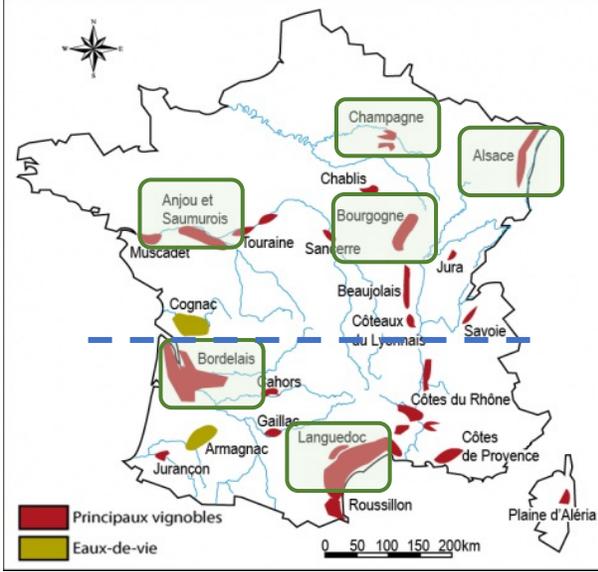
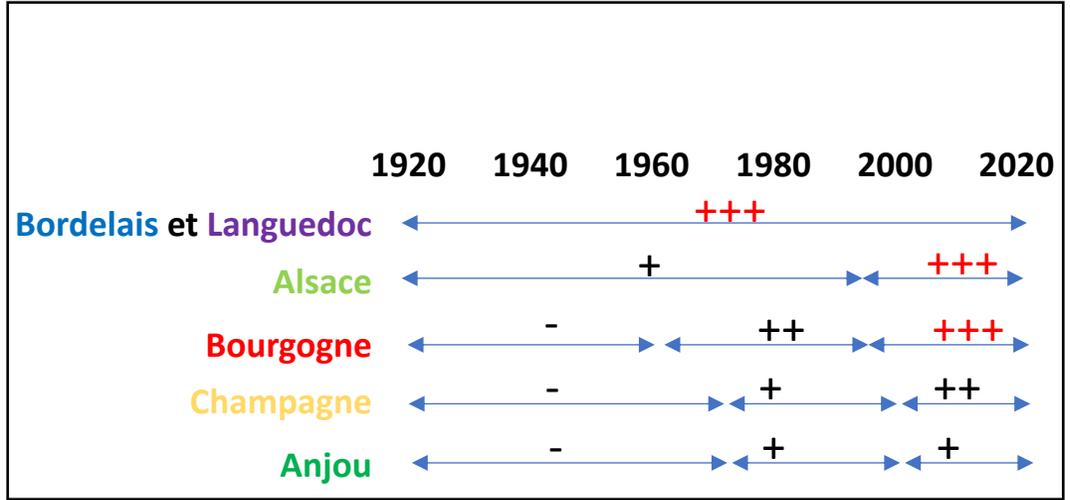
Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne



Une étude récente de 2021 a porté sur 6 vignobles (Larignon, 2021)

Ont été pris en compte pour estimer l'évolution de ces maladies :

- le niveau de pluviométrie (en mm)
- le nombre de jours avec des températures > 30°C (critère nécessaire pour l'extériorisation des symptômes) entre le 1er mai et le 15 septembre



Le changement climatique apparait responsable de la remontée de cette maladie dans le Nord : les conditions climatiques de Bourgogne et d'Alsace aussi favorables que celles observées dans les vignobles méridionaux et bordelais (Bruez et al., 2013)

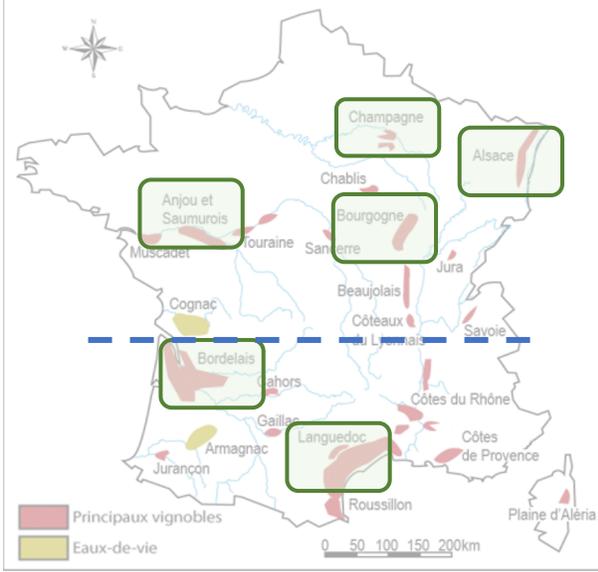
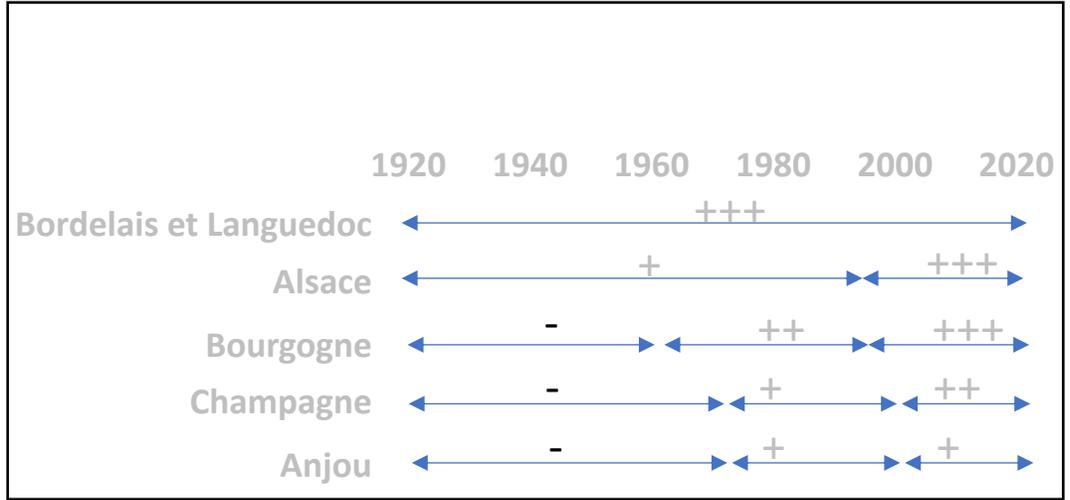
Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'Esca/BDA de la vigne



Une étude récente de 2021 a porté sur 6 vignobles (Larignon, 2021)

Ont été pris en compte pour estimer l'évolution de ces maladies :

- le niveau de pluviométrie (en mm)
- le nombre de jours avec des températures > 30°C (critère nécessaire pour l'extériorisation des symptômes) entre le 1er mai et le 15 septembre



Le changement climatique apparait responsable de la remontée de cette maladie dans le Nord : les conditions climatiques de Bourgogne et d'Alsace aussi favorables que celles observées dans les vignobles méridionaux et bordelais (Bruez et al., 2013)

Autrefois inconnue dans le vignoble luxembourgeois ou allemand --> aujourd'hui : les vignobles du **Luxembourg** montrent entre **5 et 10 % de ceps atteints** ; en **Allemagne**, jusqu'à **12 %**

Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'arboriculture



Concernant la filière arboricole, des impacts et des différences de comportements sont d'ores et déjà visibles sur les productions :

- une **levée de dormance plus tardive** par manque de froid
- une **floraison plus précoce** :
- des **floraisons moins synchrones** entre variétés devant s'inter-polliniser
- des **périodes de maturité et de récolte des fruits plus précoces**

(Legave *et al.*, 2013)



Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'arboriculture

Concernant la filière arboricole, des impacts et des différences de comportements sont d'ores et déjà visibles sur les productions :

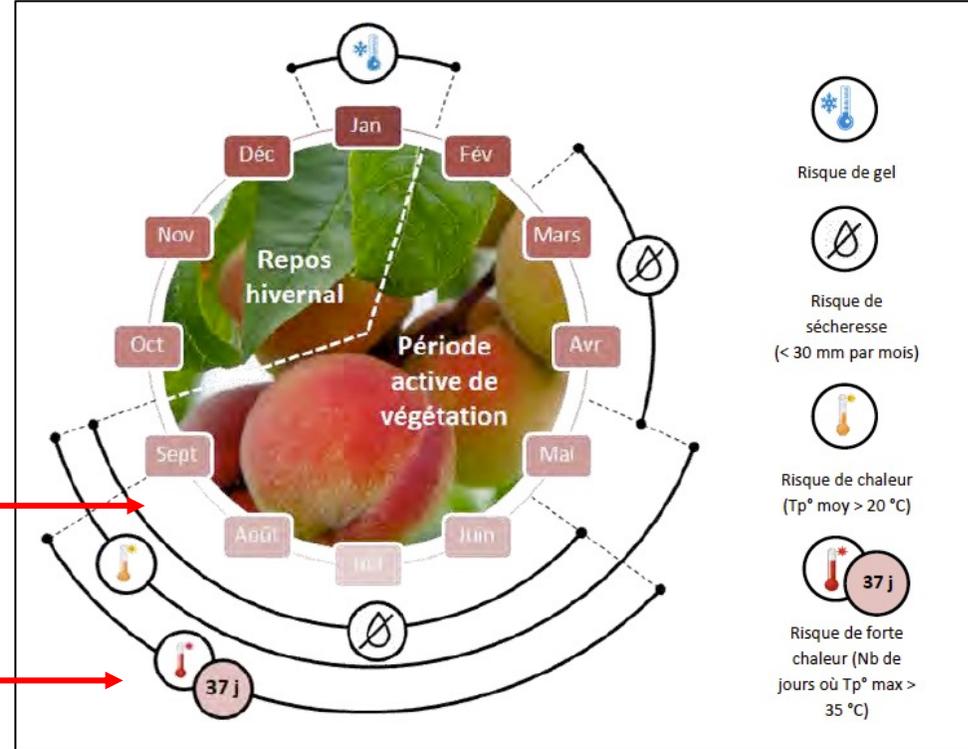
- une levée de dormance plus tardive par manque de froid
- une floraison plus précoce :
- des floraisons moins synchrones entre variétés devant s'inter-polliniser
- des périodes de maturité et de récolte des fruits plus précoces

(Legave et al., 2013)

Les nuits seront plus chaudes d'ici 2100, amenant à une dégradation qualitative de la récolte (comme une dépigmentation des fruits)

A partir de 35°C, les arbres sont en stress : leurs stomates se ferment → l'arbre respire moins, conservant ainsi ses réserves en eau. Mais l'arbre va également capter moins de CO₂, indispensable pour sa photosynthèse : sa croissance sera ralentie

Aléas climatiques répartis sur le cycle du pêcher



Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'arboriculture

La tavelure du pommier et poirier (*Venturia sp.*)

Les émissions d'ascospores (début printemps) à partir de feuilles mortes infectées l'année précédente, dépendent de la température et de l'humidité

La germination de ces spores sur des organes verts dépend de la durée d'humectation

→ **une longue période de pluies au printemps augmente les risques de tavelure**



Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'arboriculture



La tavelure du pommier et poirier (*Venturia sp.*)

Les émissions d'ascospores (début printemps) à partir de feuilles mortes infectées l'année précédente, dépendent de la température et de l'humidité

La germination de ces spores sur des organes verts dépend de la durée d'humectation

→ une longue période de pluies au printemps augmente les risques de tavelure



L'oïdium du pommier (*Podosphaera leucotricha*)

Ce parasite hiverne entre les écailles des bourgeons infectés en automne

--> **Des hivers plus doux permettront au champignon de survivre**



Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'arboriculture



La tavelure du pommier et poirier (*Venturia sp.*)

Les émissions d'ascospores (début printemps) à partir de feuilles mortes infectées l'année précédente, dépendent de la température et de l'humidité

La germination de ces spores sur des organes verts dépend de la durée d'humectation

→ une longue période de pluies au printemps augmente les risques de tavelure



L'oïdium du pommier (*Podosphaera leucotricha*)

Ce parasite hiverne entre les écailles des bourgeons infectés en automne

--> Des hivers plus doux permettront au champignon de survivre



Le chancre commun du pommiers (*Nectria galligena*)

Un automne et un **hiver plus doux** et constamment **humides** augmenteront chez les pommiers les **risques d'infection**



Agents pathogènes et changement climatique : cas de l'arboriculture



La tavelure du pommier et poirier (*Venturia sp.*)

Les émissions d'ascospores (début printemps) à partir de feuilles mortes infectées l'année précédente, dépendent de la température et de l'humidité

La germination de ces spores sur des organes verts dépend de la durée d'humectation

→ une longue période de pluies au printemps augmente les risques de tavelure



L'oïdium du pommier (*Podosphaera leucotricha*)

Ce parasite hiverne entre les écailles des bourgeons infectés en automne

--> Des hivers plus doux permettront au champignon de survivre



Le chancre commun du pommiers (*Nectria galligena*)

Un automne et un hiver plus doux et constamment humides augmenteront chez les pommiers les risques d'infection



La rouille grillagée du poirier (*Gymnosporangium sabiniae*)

Cette **maladie est favorisée par les étés chauds**



Agents pathogènes et changement climatique : et les autres agents pathogènes?

Les observations, expérimentations et modélisations réalisées ces dernières années permettent de prédire une augmentation/diminution de la fréquence d'apparition de maladies

Culture	Agent pathogène	Evolution
 Orge	oïdium (<i>Blumeria graminis</i>) charbon (<i>Ustilago hordei</i>)	diminution augmentation
 Maïs	charbon (<i>Ustilago maydis</i>)	diminution
 Pomme de terre	mildiou (<i>Phytophthora infestans</i>) alternariose (<i>Alternaria solani</i>)	augmentation pas de changement
 Riz	rhizoctone (<i>Rhizoctonia solani</i>) Pyriculariose (<i>Magnaporthe oryzae</i>)	augmentation augmentation
 Soja	mildiou (<i>Peronospora manshurica</i>) tache septorienne (<i>Septoria glycines</i>)	diminution augmentation
 Blé	rouille jaune (<i>Puccinia striiformis</i>) fusariose (<i>Fusarium sp.</i>)	augmentation augmentation

Agents pathogènes et changement climatique : quels leviers?

1°) Concernant les cultures

Poursuivre et intensifier les recherches en génétique : une plante « en bonne santé » résistera mieux aux bio-agresseurs

Les cultures traditionnelles du Sud de la France vont donc inexorablement remonter vers le Nord... Pour chaque degré supplémentaire, les cultures migreront de 180 à 240 kilomètres

Agents pathogènes et changement climatique : quels leviers?

1°) Concernant les cultures

Poursuivre et intensifier les recherches en génétique : une plante « en bonne santé » résistera mieux aux bio-agresseurs
Les cultures traditionnelles du Sud de la France vont donc inexorablement remonter vers le Nord... Pour chaque degré supplémentaire, les cultures migreront de 180 à 240 kilomètres

Pour les cultures annuelles : les processus de sélection devront se diriger vers des variétés plus précoces, tolérantes à la sécheresse, capables de tirer profit de concentrations élevées en CO₂

(Un projet Arvalis/Limagrain/Univ. Adelaïde en cours pour cerner un gène de maintien du rendement malgré les stress thermique et hydrique)

Agents pathogènes et changement climatique : quels leviers?

1°) Concernant les cultures

Poursuivre et intensifier les recherches en génétique : une plante « en bonne santé » résistera mieux aux bio-agresseurs
Les cultures traditionnelles du Sud de la France vont donc inexorablement remonter vers le Nord... Pour chaque degré supplémentaire, les cultures migreront de 180 à 240 kilomètres

Pour les cultures annuelles : les processus de sélection devront se diriger vers des variétés plus précoces, tolérantes à la sécheresse, capables de tirer profit de concentrations élevées en CO₂

(Un projet Arvalis/Limagrain/Univ. Adelaïde en cours pour cerner un gène de maintien du rendement malgré les stress thermique et hydrique)

Pour des cultures pérennes qui reposent sur les mêmes plantations pendant 25 ou 30 ans, il est impératif de réfléchir aujourd'hui aux plantes qui devront grandir dans un futur proche riche en CO₂

- l'adaptation de techniques culturales spécifiques (taille tardive, maîtrise de la pollinisation, irrigation de précision)
- chercher au-delà des frontières nationales des variétés pour accéder à des ressources génétiques nouvelles

Agents pathogènes et changement climatique : quels leviers?

1°) Concernant les cultures

Poursuivre et intensifier les recherches en génétique : une plante « en bonne santé » résistera mieux aux bio-agresseurs
Les cultures traditionnelles du Sud de la France vont donc inexorablement remonter vers le Nord... Pour chaque degré supplémentaire, les cultures migreront de 180 à 240 kilomètres

Pour les cultures annuelles : les processus de sélection devront se diriger vers des variétés plus précoces, tolérantes à la sécheresse, capables de tirer profit de concentrations élevées en CO₂

(Un projet Arvalis/Limagrain/Univ. Adelaïde en cours pour cerner un gène de maintien du rendement malgré les stress thermique et hydrique)

Pour des cultures pérennes qui reposent sur les mêmes plantations pendant 25 ou 30 ans, il est impératif de réfléchir aujourd'hui aux plantes qui devront grandir dans un futur proche riche en CO₂

- l'adaptation de techniques culturales spécifiques (taille tardive, maîtrise de la pollinisation, irrigation de précision)
- chercher au-delà des frontières nationales des variétés pour accéder à des ressources génétiques nouvelles

2°) Concernant les agents pathogènes

Poursuivre les études épidémiologiques sur les agents pathogènes et mieux comprendre les effets du changement climatiques

Surveiller l'introduction de nouveaux bio-agresseurs



Merci de votre attention