Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Résistance aux fongicides et lutte ‘intégrée’ contre les maladies du fraisier

Odile Carisse

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Canada

Résistance aux fongicides et lutte ‘intégrée’

Fongicides

- Rôle dans la lutte aux maladies
- Efficacité
- Résistance: état des lieux
- Gestion de la résistance
- Alternatives

Approches de lutte

- Lutte conventionnelle
- Lutte raisonnée
- Lutte biologique
- Lutte intégrée
- Lutte agro-écologique

Les maladies

- Depuis la nuit des temps, les maladies des plantes sont à l'origine de pertes importantes en agriculture
- Qualité (apparence, texture, arômes, ou d'odeurs indésirables)

Moisissure grise,
blanc, anthracnose,…

Blanc, tache
commune, pourpre
et angulaire, …

Moisissure grise,
blanc, anthracnose,
tache commune…

Stèle rouge,
pourriture noire, …

Les responsables

- Champignons:
  - *Botrytis cinerea* (moisissure grise)
  - Mycosphaerella fragariae (Tache commune)
  - *Colletotrichum acutatum (Anthracnose)*
  - *Podosphaera* aphanis (Blanc)
- Oomycètes
  - *Phytophthora fragariae* var *fragariae*
- Bactéries
  - *Xanthomonas fragariae* (Tache angulaire)
- –Virus et organismes semblables

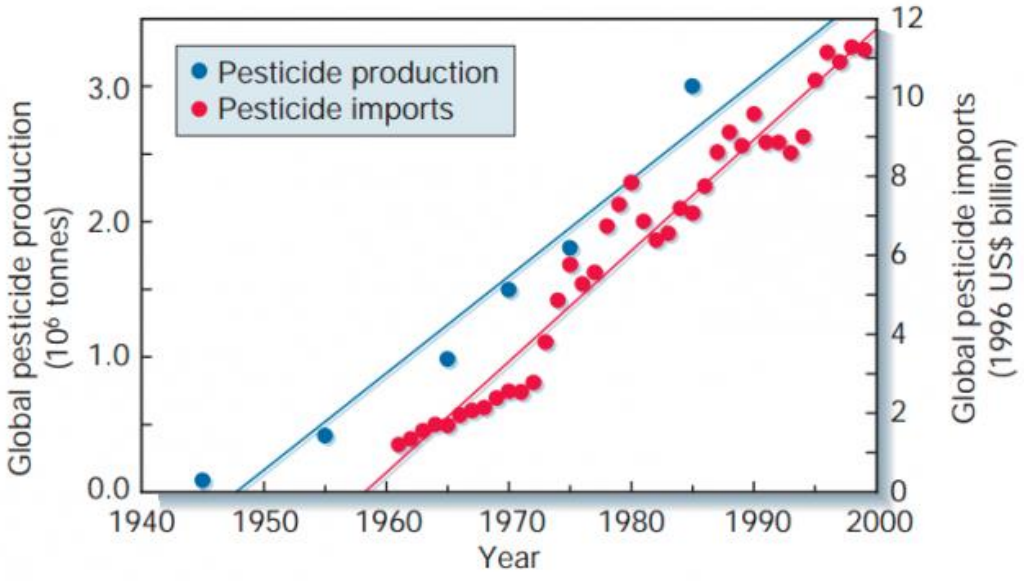
Efficacité des fongicides

- Contribués à l'augmentation des rendements et à la stabilité de nombreuses productions agricoles;
- Faciles d'accès et d'emploi, relativement peu chers, efficaces…
- Les pesticides ont aidé à accroître la productivité de 20 à 50 % au cours des 50 dernières années (FAO stat).

Groupe (FRAC)	Fongicide	Ingrédient acctif	Brûlure phomopsienne	Tache commune	Blanc	Moisissure grise	Pourriture amère	Anthracnose	Stèle rouge
7/11	Pristine	Pyraclostrobine + boscalide	++	++	+++	++	+++	+++	NA
9	Scala	pyrimethanil				+++			
3/11	Quadris	azoxystrobin + difenoconazole	+++	+++	+++	++	+++	+++	NA
13	Quintec	Quinoxyfen			+++				
4 Phenylamides	Ridomil	mefenoxam					+++		+++
M Multi sites	Captan	captan	++	++		++	+	++	+

Évolution des systèmes de production protection des cultures

- Abandon progressif de méthodes de lutte
  - Élimination des plantes malades;
  - Utilisation de barrières physiques;
  - Diversification des cultures;
  - Période de semis/plantation/récolte;
  - Gestion des résidus de culture;
  - Choix de cultivars;
  - Choix du site;
  - Et plusieurs autres,

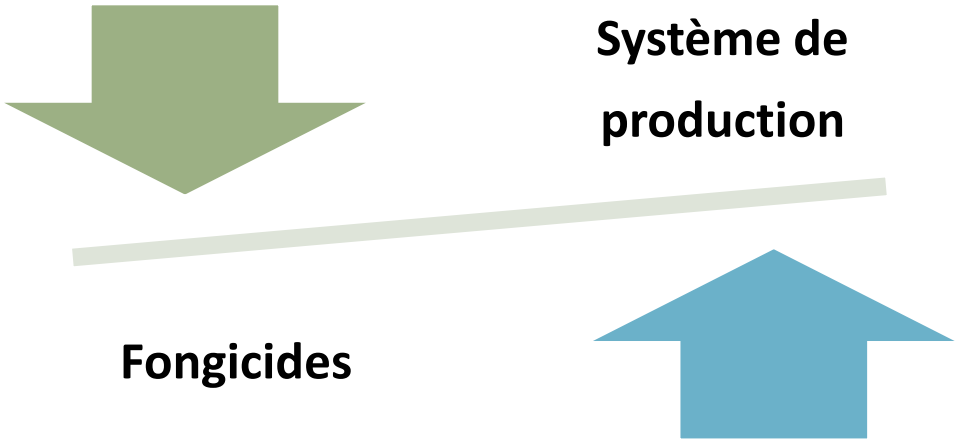


Une agriculture spécialisée

- Fermes familiales (75 % en 1950)
  - Fermes spécialisées
  - Superficies plus grandes
  - Machinerie ultra spécialisée
- Intensification de l'agriculture
  - Augmentation des rendements (révolution verte)

Fongicides: La solution miracle?

- L'agriculture moderne est basée sur des systèmes de production qui favorisent le développement des maladies (monocultures, moins de services écologiques,…)
- L'agriculture moderne est très dépendante des pesticides



Utilisation des pesticides en progression!

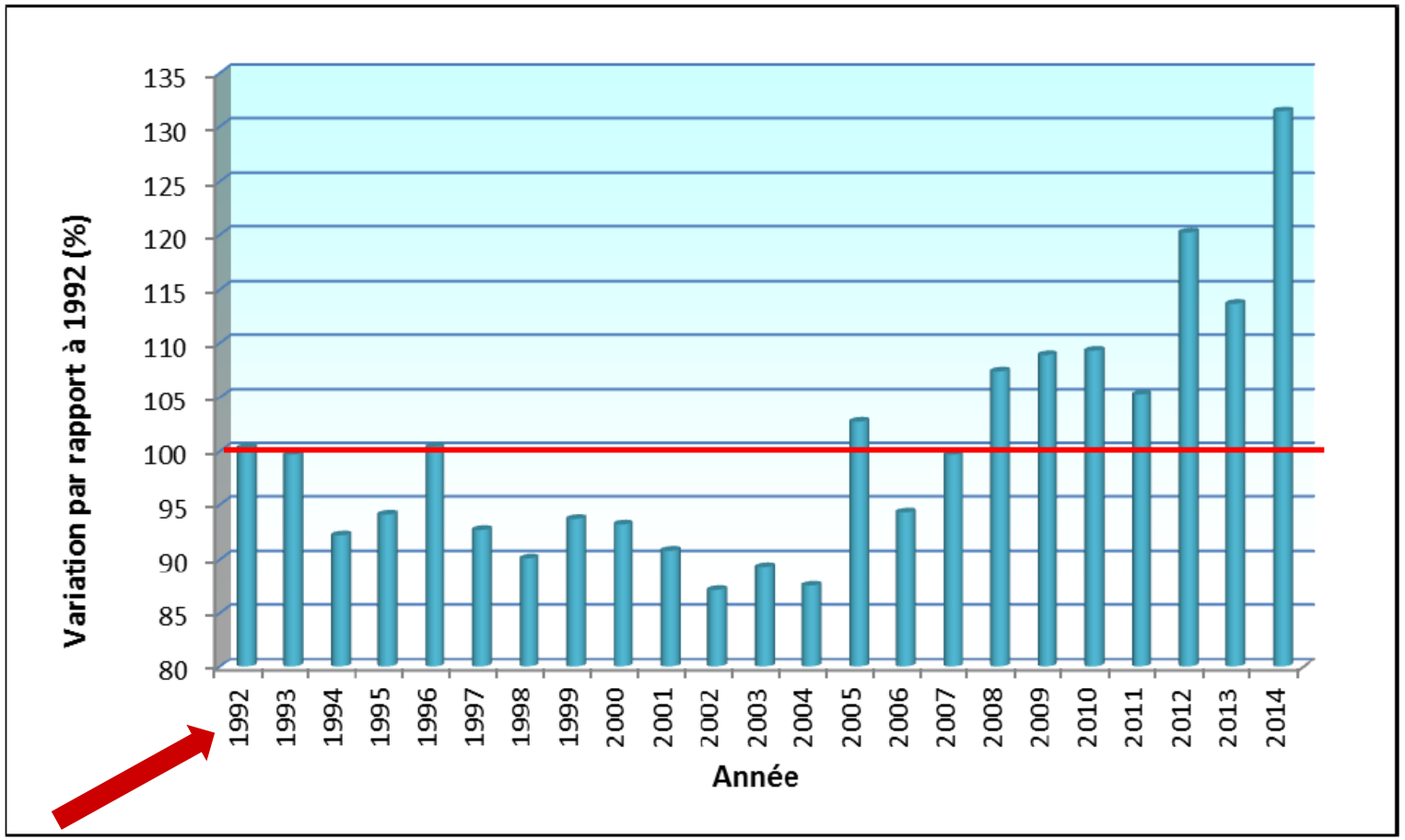
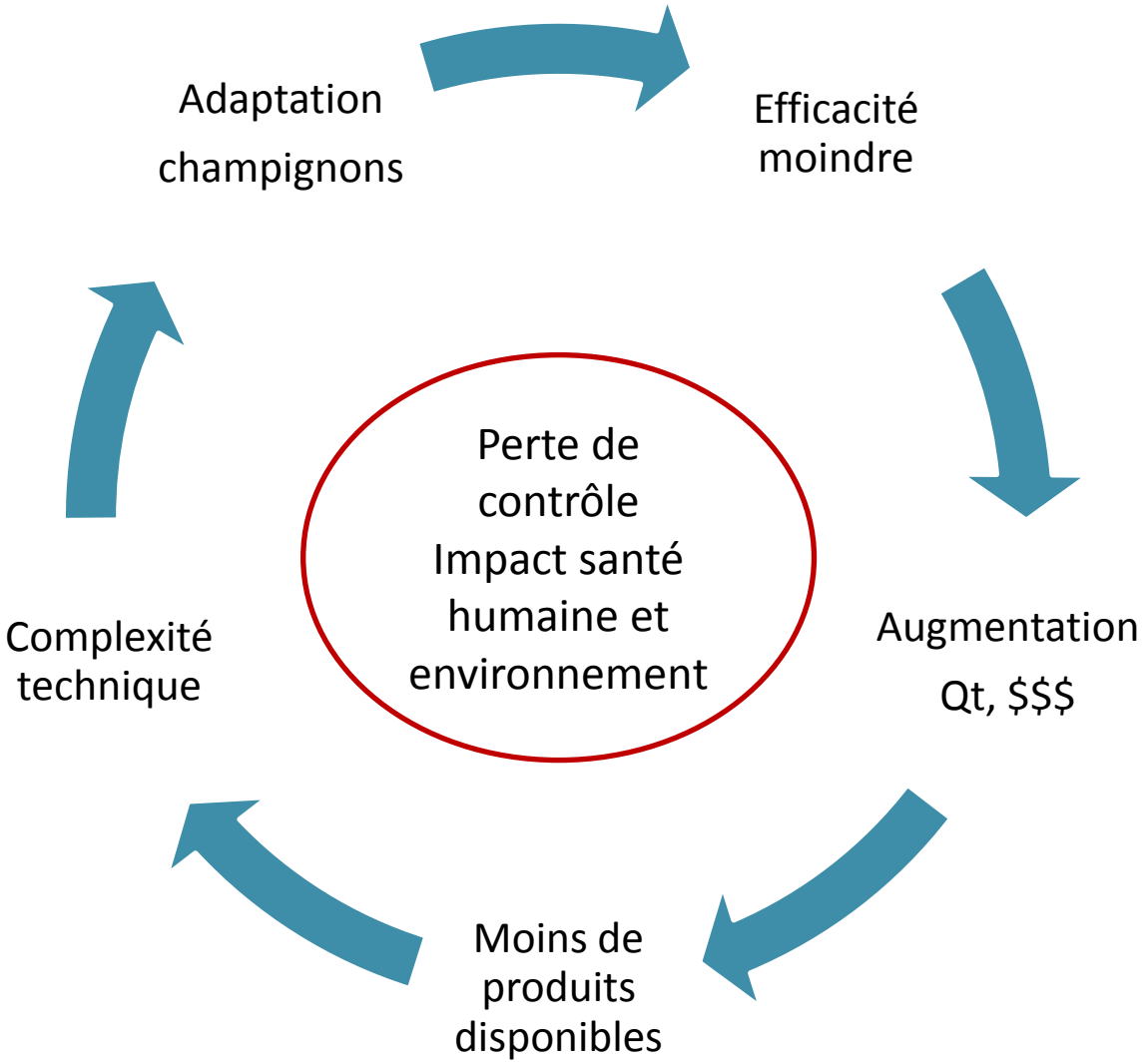


FIGURE 1 : Ventes de pesticides du secteur de la production agricole végétale de 1992 à 2014 en valeur relative à l'année 1992

Source: Développement Durable, Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques

Limite des pesticides (fongicides)



Gossen, B.D., Carisse, O., Kawchuk, L., Van Der Heyden, H., and McDonald, M.R. 2014. The changing landscape of fungicide insensitivity in crop pathogens in Canada. Canadian Journal of Plant Pathology 36: 327-340.

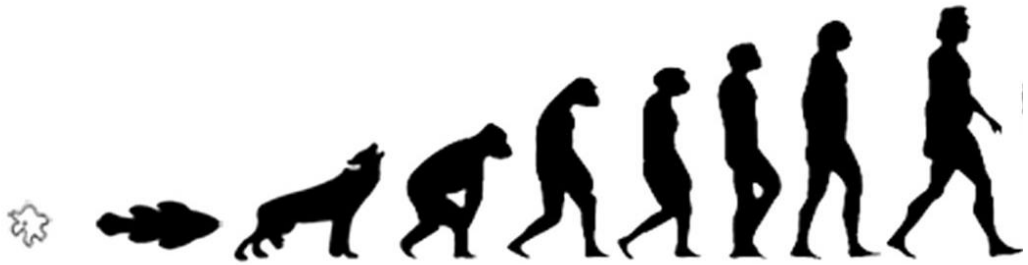
Efficacité des fongicides

- Facteurs qui affectent l'efficacité des fongicides
  - Moments d'application
  - Conditions météo (pluie, température)
  - Recouvrement, calibration du pulvérisateur, volume de la bouillie, pression d'opération
  - La pression de maladie ou la taille de la population du champignon pathogène

  - **Résistance aux fongicides**

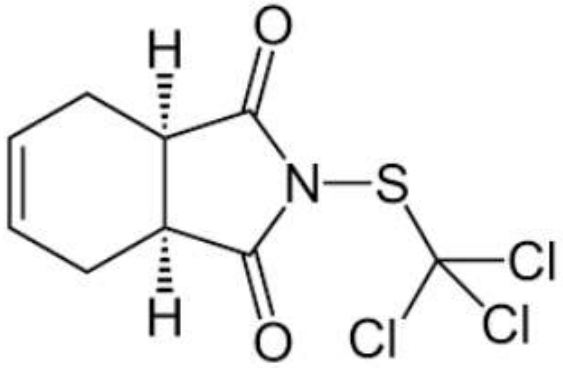
Résistance aux fongicides

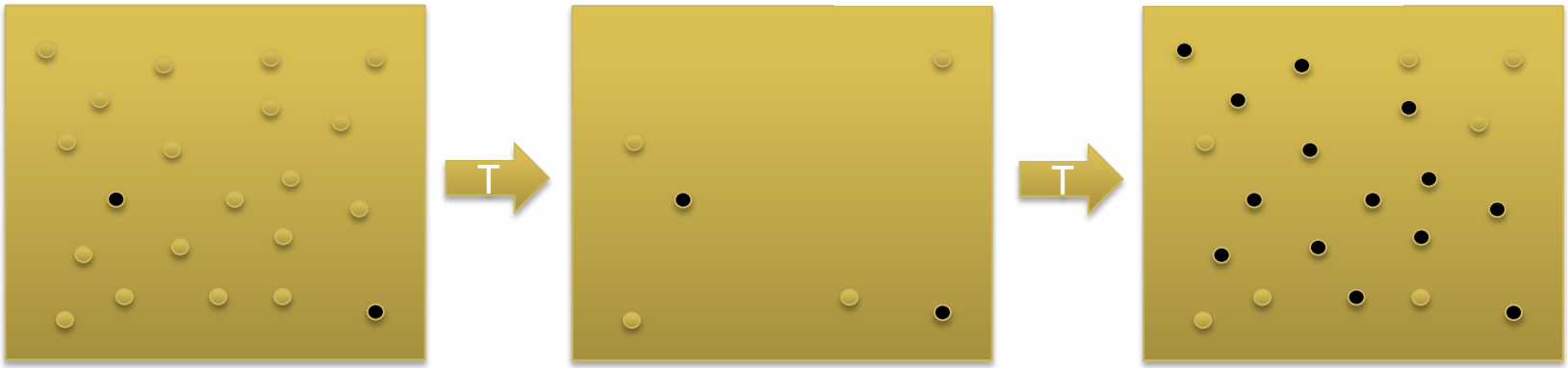
- La résistance est un phénomène naturel (Évolution);
- La résistance est transmise aux générations suivantes;
- L'utilisation répétée de fongicides de la même famille, ou un mauvais usage favorise la sélection d'individus moins sensibles ou résistants
- Perte d'efficacité des fongicides



Apparition de la résistance

- Facteurs liés aux champignons
  - Reproduction
  - Dispersion
- Facteurs liés aux fongicides
  - Uni-site vs multi-sites
- Facteurs liés à l'usage
  - Dose
  - Fréquence, moment,…





Estimer les risques

Senator →
Iprodione →
Cabrio, Flint, Quadris, Pristine →
Pristine, Cantus →
Nova →
Scala, Switch →
Switch →

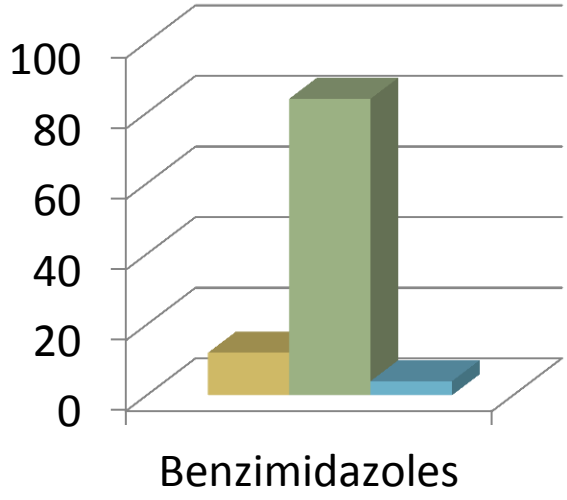
Thiram, Captan, cuivre →

Fongicide		Champignon pathogène		
Classe	Risque	Faible	Moyen	Élevé
benzimidazoles dicarboximides phenylamides QoI	Élevé: 3	3	6	9
carboxamides IBS anilinopyrimidines phenylpyrroles phosphorothiolates	Moyen: 2	2	4	6
multi site (dithiocarbamates Cuivre, Soufre) Inducteurs résistance naturelle	Faible: 1	1	2	3

Faible (1): Rhizoctonia, *Phytophthora sp; Moyen (2): Podosphaerea aphanis; Élevé (3): Botrytis cinerea, Mycosphaerella fragariae …*

Pourquoi se préoccuper de la résistance?

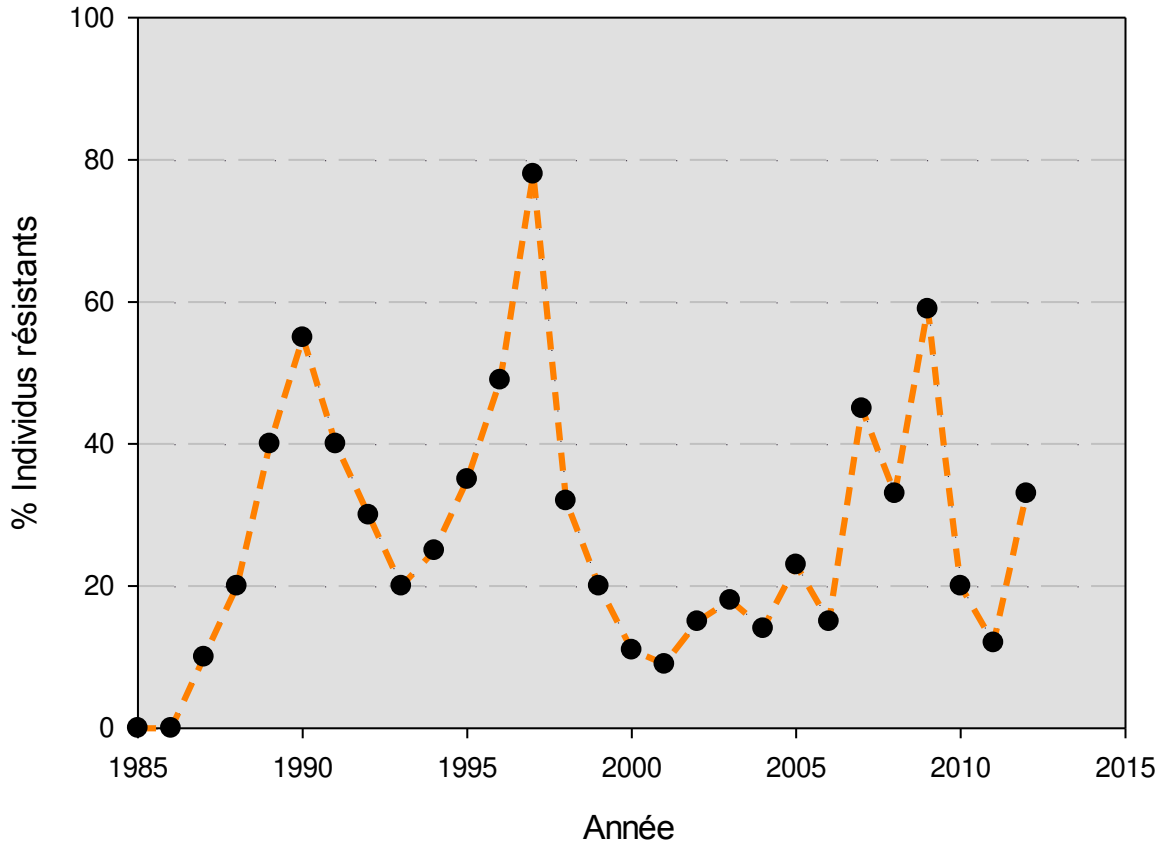
- Nombre limité de familles
- Peu de nouvelle molécules
- Éviter de sélectionner des ‘super bug’
- Maintenir la vie effective des fongicides
- Réduire les coûts de production
- Réduire les résidus (inutiles)
- Réduire la pollution (inutile)
- Outil efficace en cas d’épidémie grave
- Élément important de la lutte intégrée



Botrytis cinerea

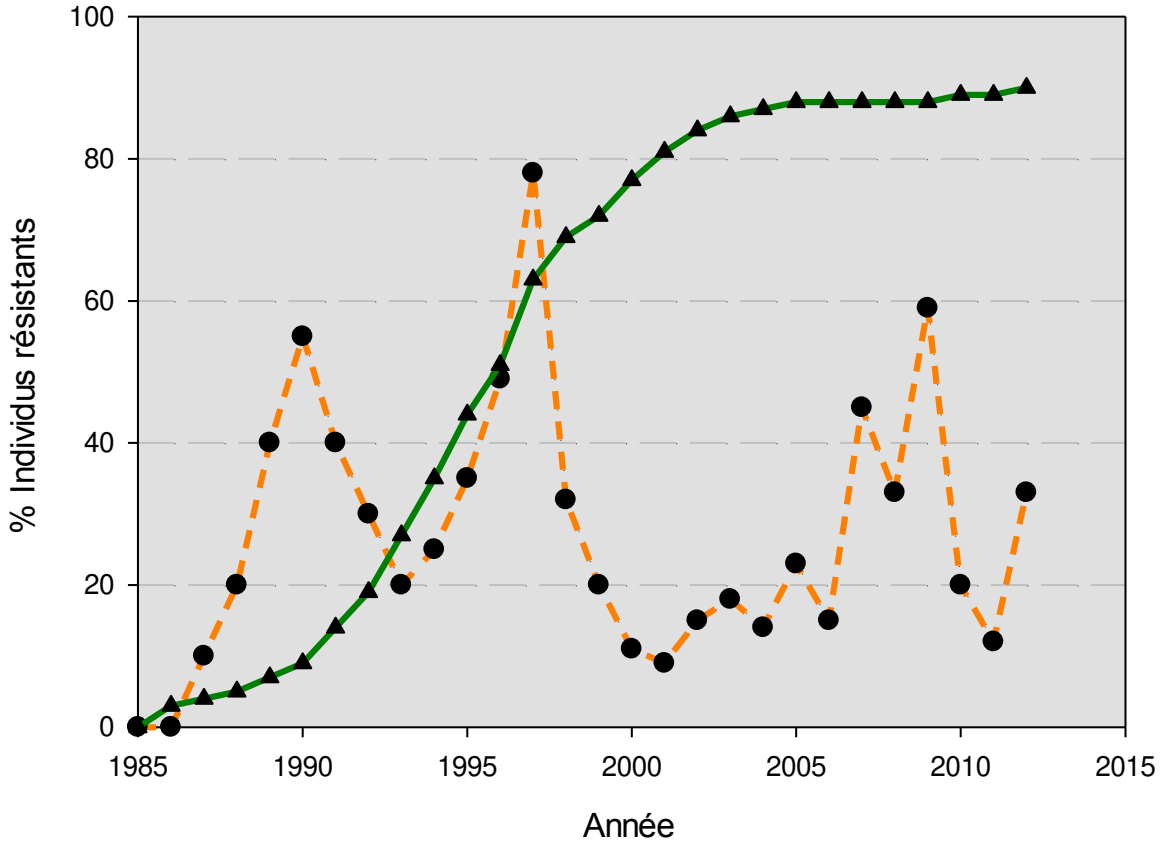
Persistance de la résistance

- Résistance réversible (ex. dicarboximides;Rovral)



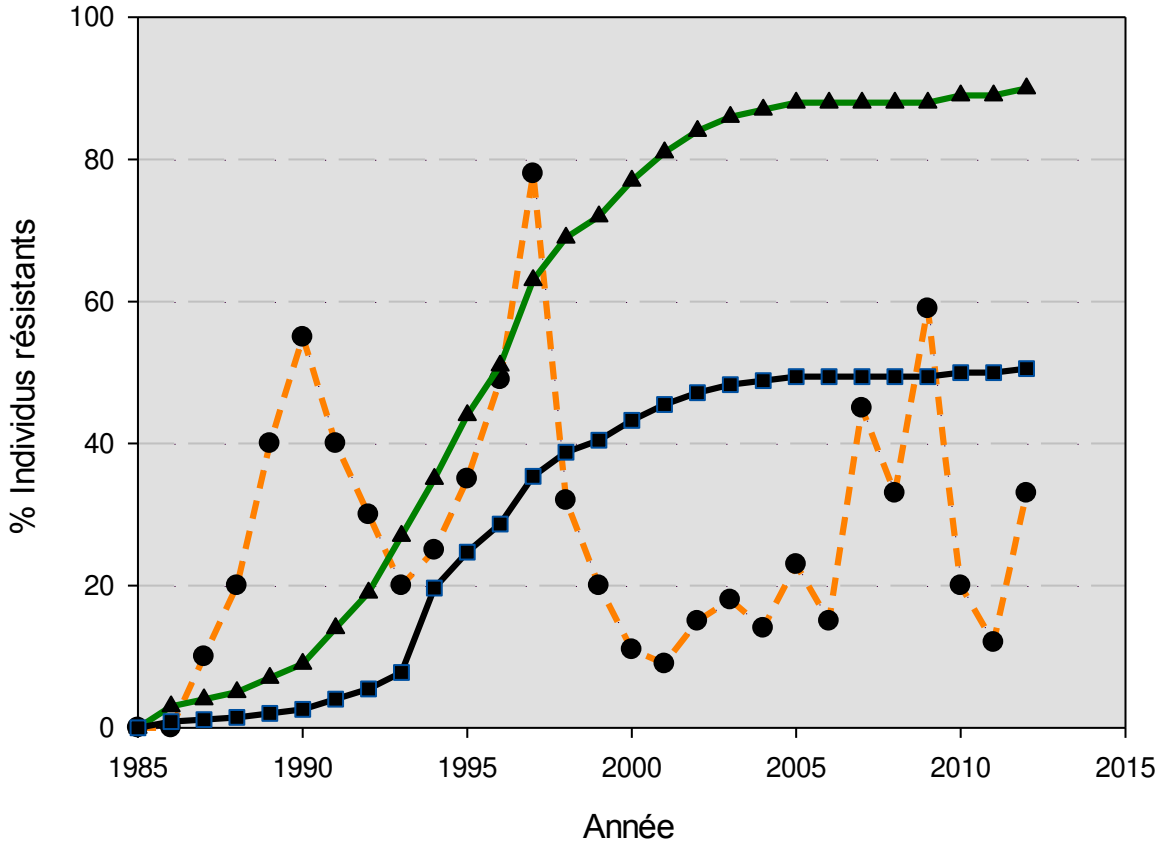
Persistance de la résistance

- Résistance non réversible/développement rapide (ex. Strobilurine)



Persistance de la résistance

- Résistance non réversible/développement lent (ex. ISDH)



La sélection…..

1. **La sélection:** les individus résistants sont "sélectionnés" pour survivre et produire une progéniture résistante, l'utilisation répétée d'un fongicide "sélectionne" une population qui devient de moins en moins sensible au fongicide.
2. **Changement génétique** dans un organisme en réponse à une sélection par les pesticides; pourrait compromettre la lutte en champ.
3. **Résistance pratique:** un changement de la sensibilité d'une population de champignons pathogènes qui se traduit par une perte d'efficacité d'un fongicide à obtenir le niveau de lutte attendu.

Agent pathogène

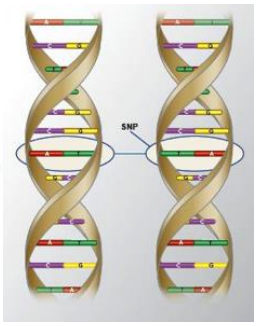
Reproduction, dispersion, capacité d'adaptation,…

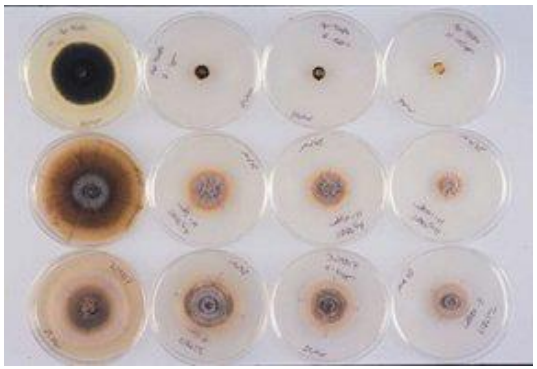
Fongicide

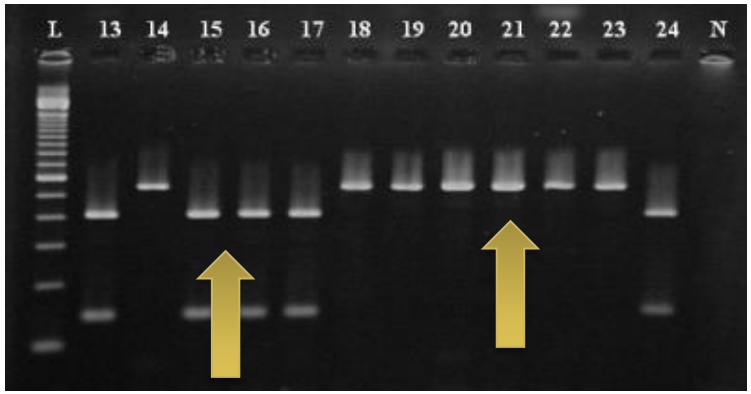
Mode d'action, dose, fréquence,..

Mesurer la résistance

- Phénotypes: mutations connues et inconnues ($$$, temps)
- Génotypes: mutations connues ($$, temps, #)







Mutations génétiques

>Éch. 4a – sauvage
ggggacgtagagcttgatggactttacgaatgtattctctgcgcatgctg
ctcgacatcttgc**ccc**tcctactggtgg**aac**agtgaggagtacttgggac
cagctatcttgttgcagagttacagatggcttgcagattcccgtgatcag
aagaaggaagaacgtaaggcagctttggataacagcatgagtttgtacag
atgt**cac**actattctcaactgctcgaggacatgtccgaagggattgaatc
ctggtttggcaattgcggagattaagaggaaatggcaa

>Éch. 5a – mutant H272R
ggggacgtagagcttgatggactttacgaatgtattctctgcgcatgctg
ctcgacatcttgc**ccc**tcctactggtgg**aac**agtgaggagtacttgggac
cagctatcttgttgcagagttacagatggcttgcagattcccgtgatcag
aagaaggaagaacgtaaggcagctttggataacagcatgagtttgtacag
atgt**cgc**actattctcaactgctcgaggacatgtccgaagggattgaatc
ctggtttggcaattgcggagattaagaaggaaatggcaa

Niveaux de résistance

- La résistance est plus ou moins grande selon la mutation génétique

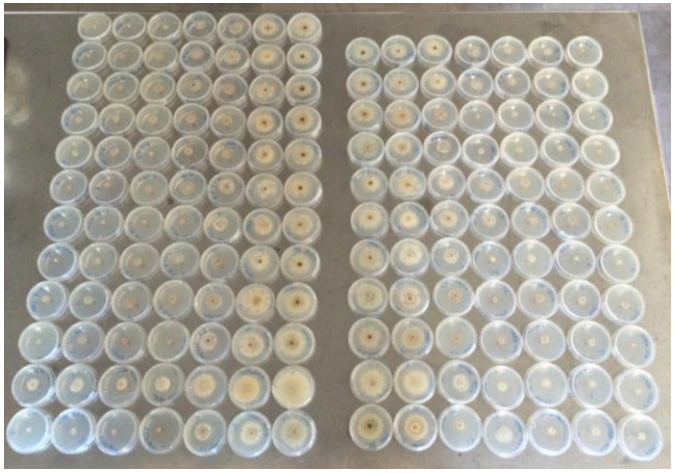
SNP	Degré de résistance au ISDH[2]	Facteur de résistance au Boscalide[1]
H272R	▪ Moyen Boscalide ▪ Sensible-moyen autres	> 5
H272Y	▪ Moyen Boscalide ▪ Sensible-faible autres	> 16
H272L	▪ Élevé Boscalide ▪ Faible-moyen autres	> 500
P225F	▪ Résistant à tous les ISDH	> 500
N230I	▪ Moyen Boscalide ▪ Faible-moyen autres	> 22

Veloukas et al. 2011. Detection and Molecular Characterization of Boscalid-Resistant *Botrytis cinerea* Isolates from Strawberry. Plant Dis.
Veloukas et al. 2012. Differential effet of SdhB gene mutations on the sensitivity to SDHI fungicides in *Botrytis cinerea.* Plant Dis.

Suivi de la résistance

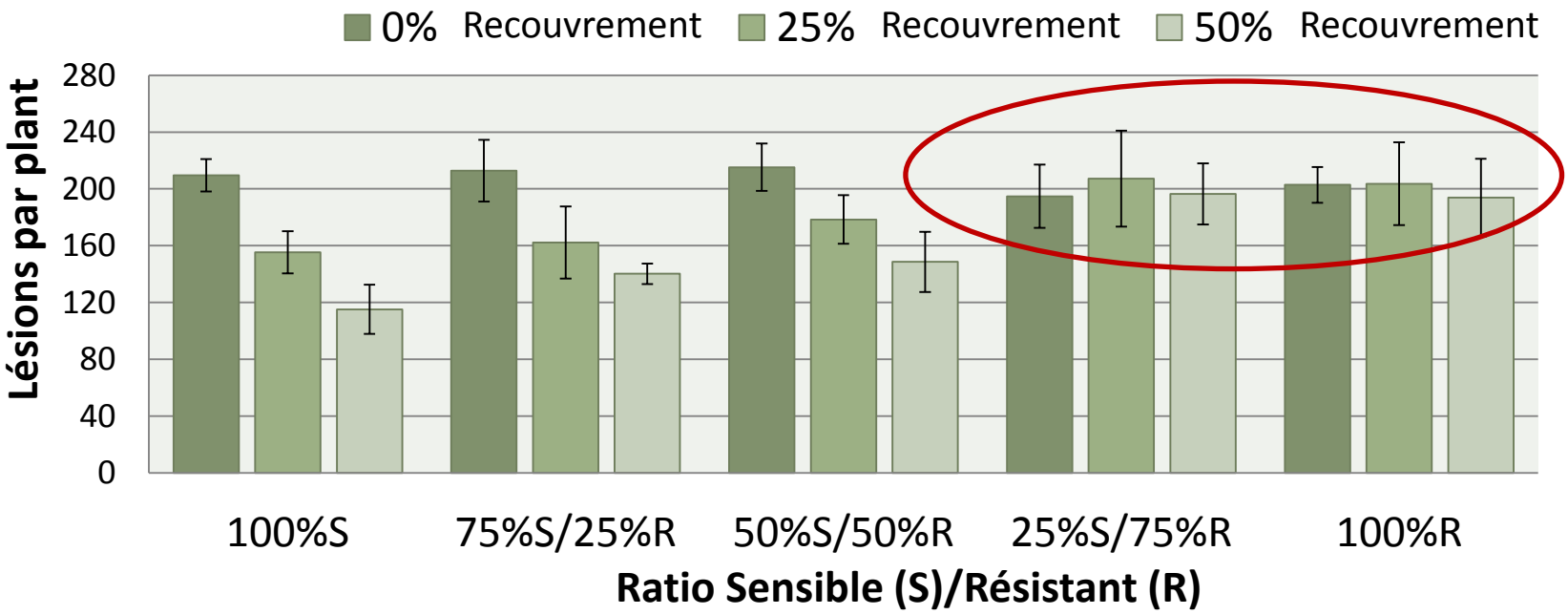
- Optimiser le plan d'échantillonnage
  - Nb minimum d'échantillons?
  - Où et quand?
  - Comment?
- Phénotypes et génotypes

Caractéristiques	Phénotypes	Génotypes
Résistance (mutations)	toutes	connues
Mutations impliquées	non	oui
Temps	+++	+
Coûts	$$$	$$
Limites	Parasites obligatoires	aucune
Interprétation	facile	difficile
Mise à l'échelle	non	oui
Population	non	oui
Outils de dépistage	non	oui



Seuil de résistance

- Proportion d'individus résistants au dessus duquel le fongicide n'est plus efficace



Zhe Steven Jia, Odile Carisse, Hervé Van Der Heyden, Jean-Benoit Charron. 2016. The role of fungicide spray coverage and population heterogeneity on the selection for resistance in Botrytis squamosa in onion plants. Joint Annual Conference for the Canadian Society of Agronomy and the Canadian Society for Horticultural Science. Montréal, Canada, 24-26 July 2016.

Résistance: états des lieux
Botrytis cinerea

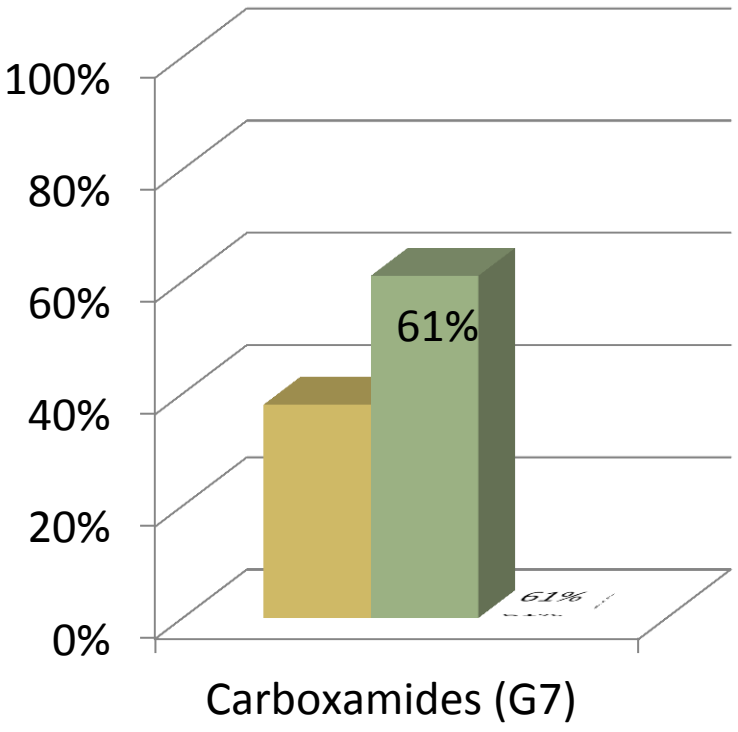
- Inventaire datant de 2012 en Nouvelle Écosse, Québec, Ontario, et Colombie Britanique
- Fraise, framboise, cerise et raisin
- Total de 1800 échantillons

- Carboxamides (G7)
  - Pristine: pyraclostrobin +boscalide
- QoI Strobilurines (G11)
  - Pristine: pyraclostrobine +boscalide
  - Cabrio: pyraclostrobine
- SBI: Class III Hydroxyanilids (G17)
  - Elevate: fenhexamide
- Anilinopyrimidine (G9)
  - Scala: Pyrimethanil
  - Vangard:cyprodinil,
- Dicarboximide (G2)
  - Rovral: iprodione

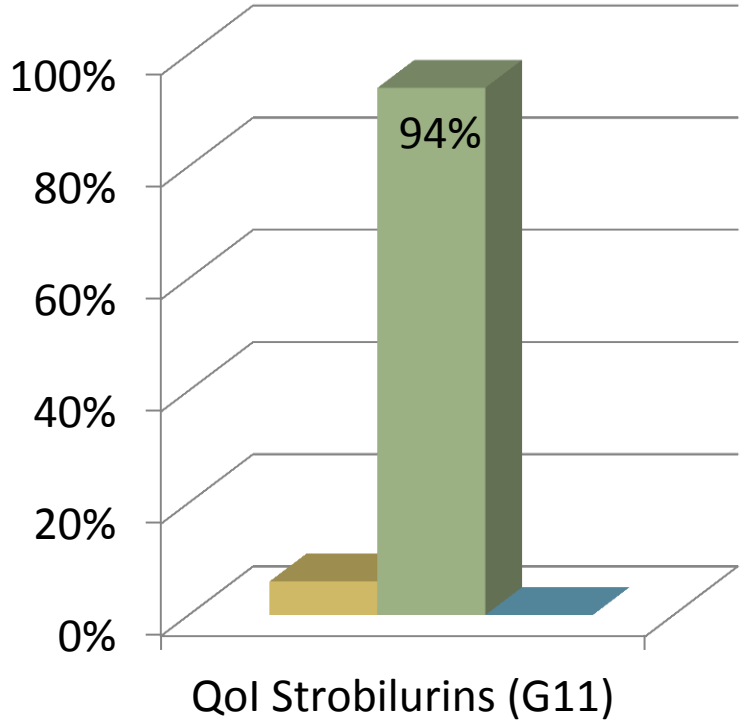
Gossen, B.D., Carisse, O., Kawchuk, L., Van Der Heyden, H., and McDonald, M.R. 2014. The changing landscape of fungicide insensitivity in crop pathogens in Canada. Canadian Journal of Plant Pathology 36: 327-340.

Résultats par fongicide (N=600)

Boscalid (Pristine)

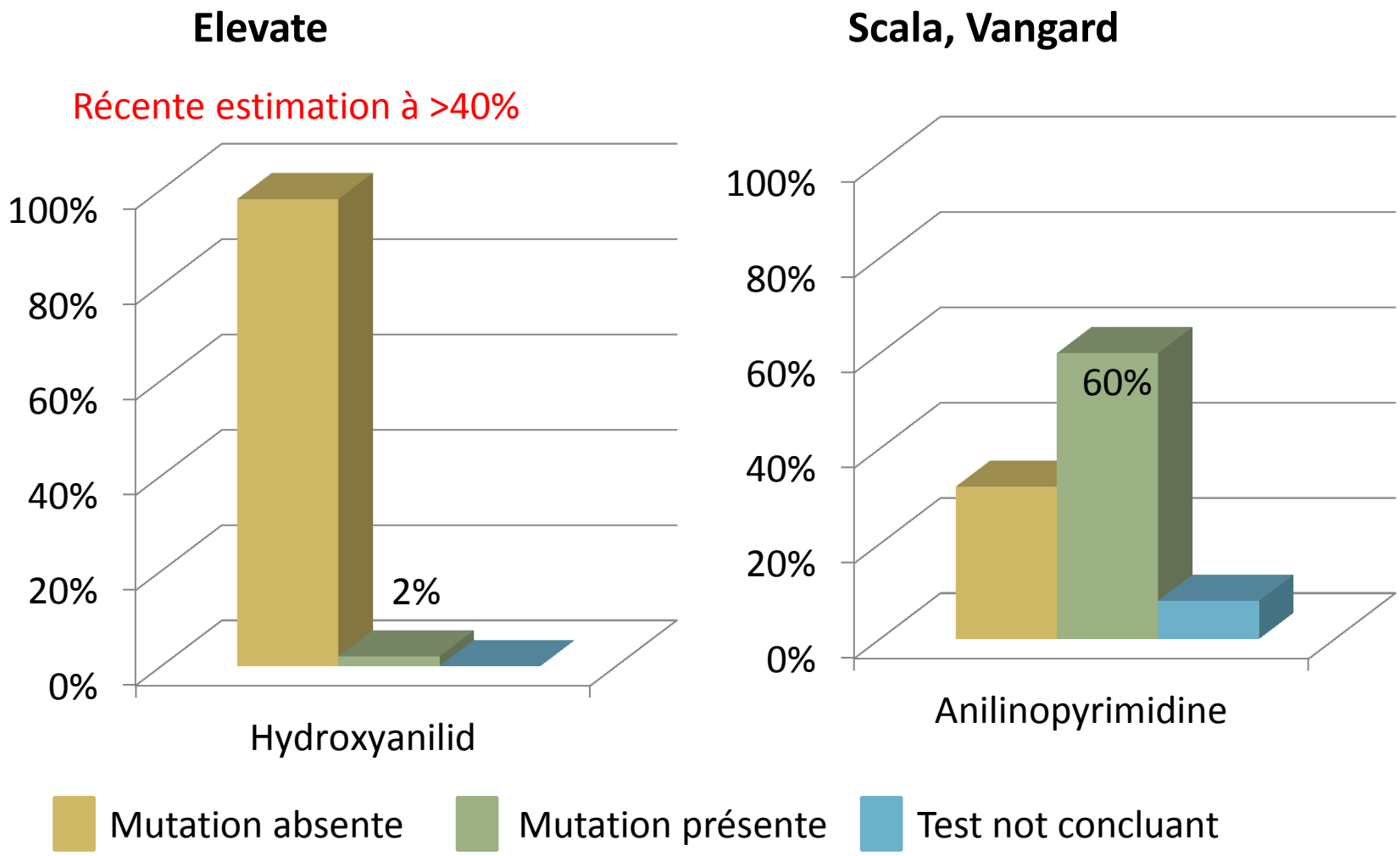


Pristine: pyraclostrobin +boscalid
Cabrio: pyraclostrobin



Mutation absente Mutation présente Test not concluant

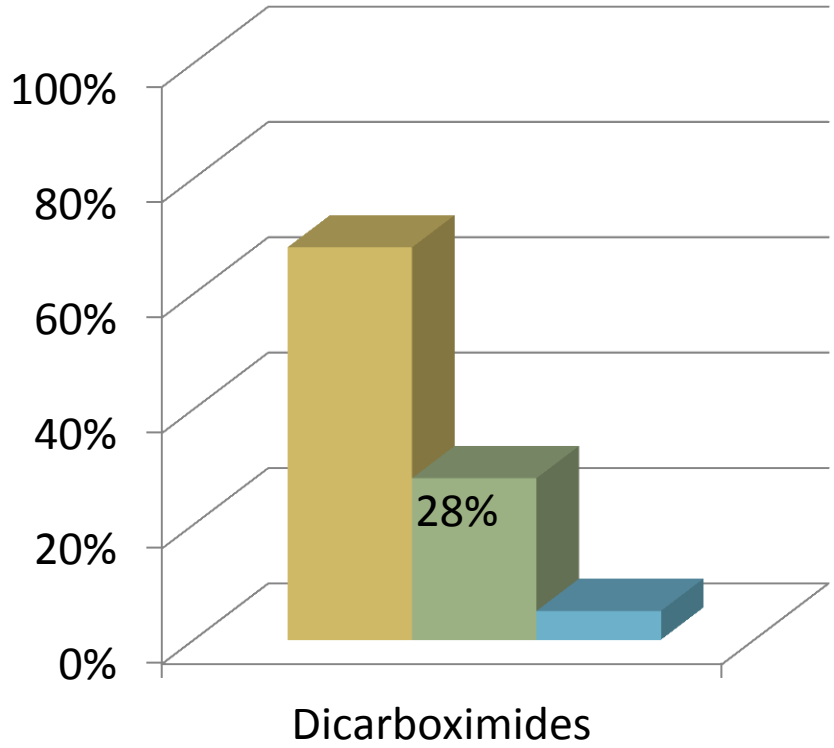
Résultats par fongicide (N=600)



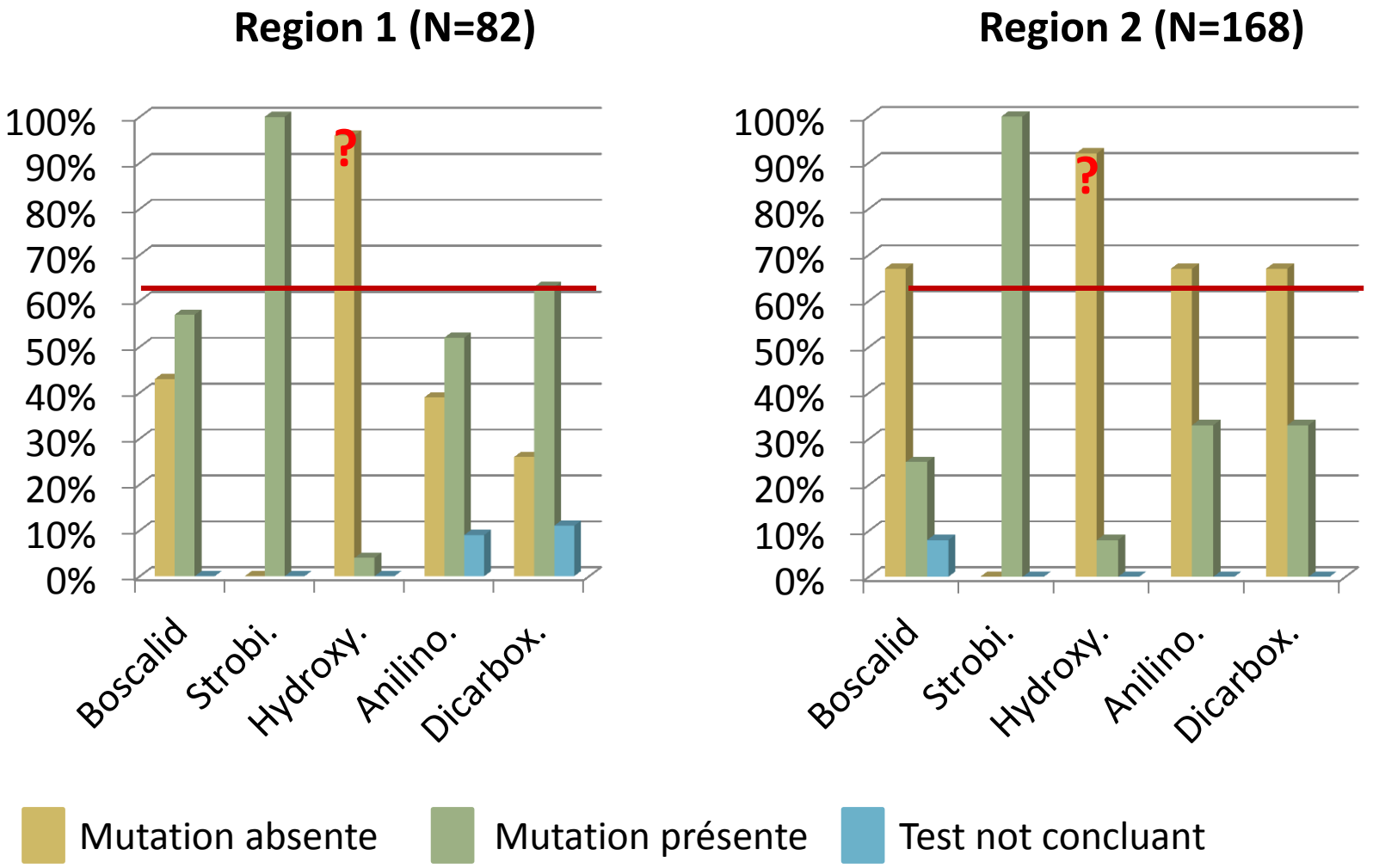
Résultats par fongicide (N=600)

Ex. Iprodione (Rovral)

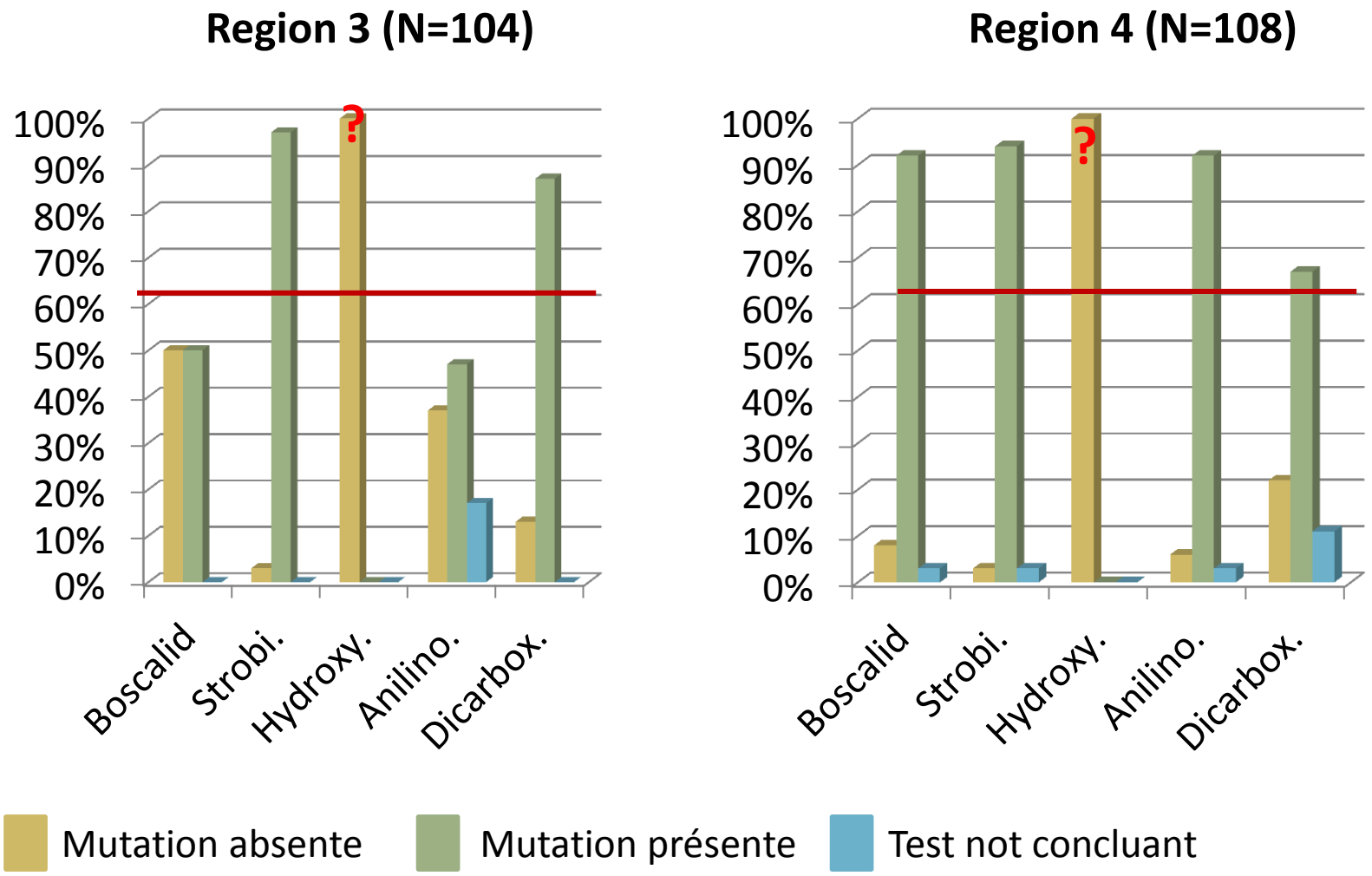
Récente estimation à >60%



Résultats Québec par région (fraise)



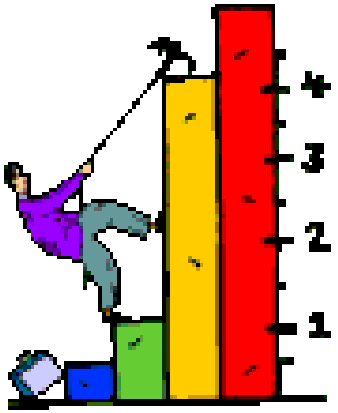
Résultats Québec par région (fraise)



Stratégie d'atténuation de la résistance

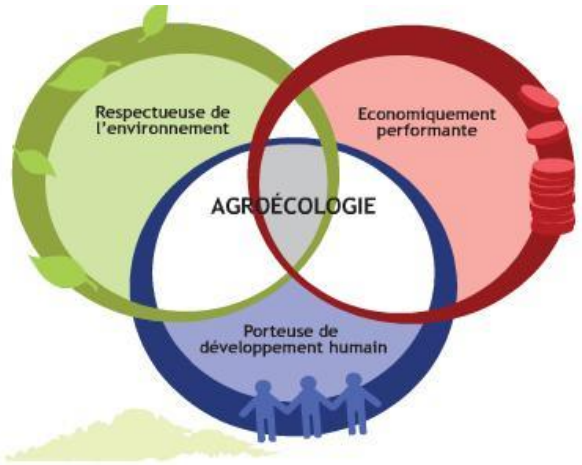
Objectif: réduire la pression de sélection de la résistance

- Il vaut mieux prévenir que guérir
- Éviter de surutiliser les nouveaux fongicides
- Éviter les fongicides à risque pour la résistance
- Alterner les familles (rotation dans le temps et l'espace)
- Utiliser des mélanges en cuve
- Respecter les doses
- Ne traiter que lorsque nécessaire (seuil)
- Utiliser des outils d'aide à la décision
- Intégrer le plus possible de bonnes pratiques (bio-fongicides)
- Noter les fongicides utilisés (dose)



La solution ultime?

- Éliminer l'utilisation des fongicides?
- Pas réaliste dans un contexte de:
  - Demande en augmentation
  - Système de production en place
  - Rentabilité
- Réduire notre dépendance envers les fongicides?
  - Changements graduels
  - Adoption de bonnes pratiques
  - Penser la lutte différemment



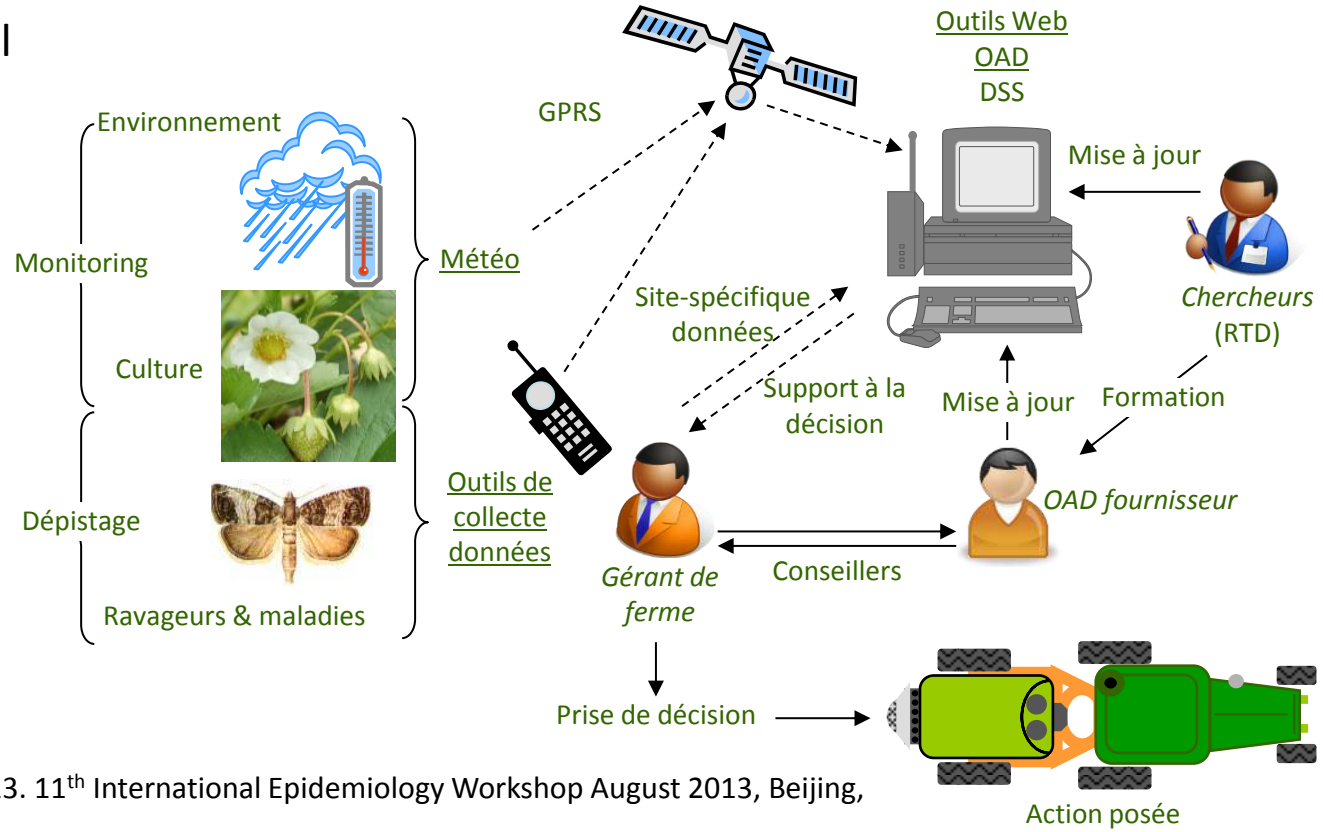
Les approches de lutte

- Lutte conventionnelle (fongicides)
- Lutte raisonnée (fongicides)
- Lutte intégrée
- Lutte biologique
- Lutte agro-écologique

La lutte raisonnée

- **La lutte raisonnée** vise à optimiser le résultat économique tout en limitant les quantités d'intrants (pesticides et engrais chimique) dans le but de limiter leur impact sur l'environnement.
- Par opposition à une lutte dite 'Calendrier'

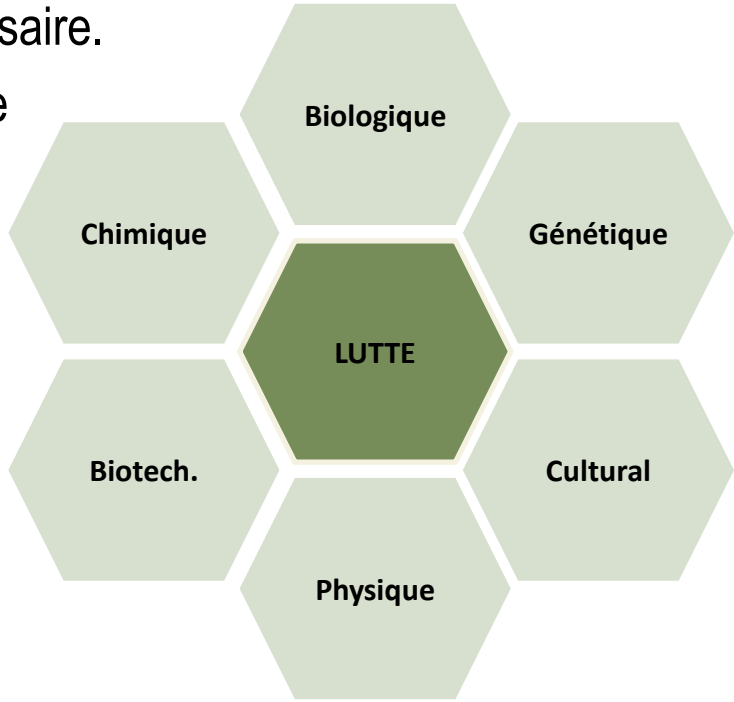
Emploi rationnel des pesticides: choix des produits, dose, moment d'application et en tenant compte de l'évolution des ennemis des cultures.



Caffi, T. and Carisse, O. 2013. 11th International Epidemiology Workshop August 2013, Beijing, China.

La lutte intégrée

- Une philosophie de gestion des ravageurs/maladies qui fait appel à toutes les techniques et méthodes permettant de maintenir les dommages en dessous d'un **seuil économique**.
- L'application rationnelle d'une **combinaison de mesures** biologiques, biotechnologiques, physiques, culturales, génétique ou chimiques. L'emploi de produits chimiques est limité au strict nécessaire.
- Tirer le meilleur de chaque méthode de lutte
- Permet d'utiliser des méthodes ayant une efficacité moindre

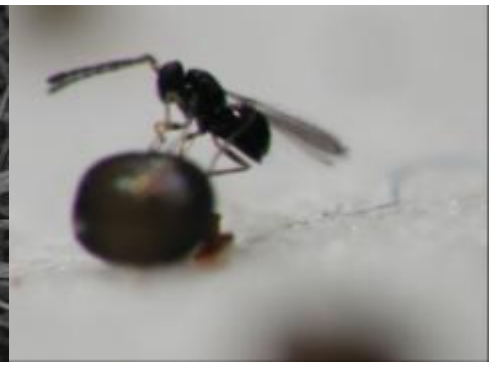


Boller, E.F.; Avilla, J. & Joerg, E. et al., eds. (2004), *Integrated Production Principles and Technical Guidelines*, IOBC wprs Bulletin Vol. 27 (2): 54, iobc.ch/iobc_bas.pdf

La lutte biologique

- Une méthode de lutte basée sur l'utilisation de d'organismes vivants antagonistes (agents de lutte biologique). Elle se base sur l'utilisation de prédateurs (nématodes, arthropodes, vertébrés, mollusques), parasitoïdes, agents pathogènes (virus, bactéries, champignons, etc.), herbivores (ou phytophages), sans faire appel à des pesticides de synthèse.
- Pesticides végétaux: Neem
- Stimulateurs des Défenses Naturelles des plantes (SDN)
- Elle a pour but de maintenir les populations de ravageurs/dommages en dessous d'un seuil de nuisibilité.
- En pratique c'est souvent un remplacement de pesticides chimiques par des produits biologiques.
- Impact environnemental parfois questionnable.

L'**organisation internationale de lutte biologique** (OILB)



La production agro-écologique

- Une façon de concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités des écosystèmes (services écologiques).
- Il s'agit d'utiliser au maximum les services écologiques comme facteur de production en maintenant ses capacités de renouvellement.
- Elle implique le recours à un ensemble de techniques qui considèrent l'exploitation agricole dans son ensemble. C'est grâce à cette approche systémique que **les résultats techniques et économiques peuvent être maintenus ou améliorés tout en améliorant les performances environnementales**.
- L'agro-écologie réintroduit de la **diversité** dans les systèmes de production agricole et restaure une mosaïque paysagère diversifiée (ex : diversification des cultures et allongement des rotations, implantation d'infrastructures agro-écologiques...)

Rien n'est simple

Largement utilisée

En progression

Lutte conventionnelle

Lutte raisonnée

Lutte intégrée

Essentiellement en serre, valeur production élevée

Peu utilisée mais encouragée

Lutte biologique

Changement du 'paysage' agricole

Prod. Agro Ecol.

Élevé

Impact Environnemental (santé humaine)

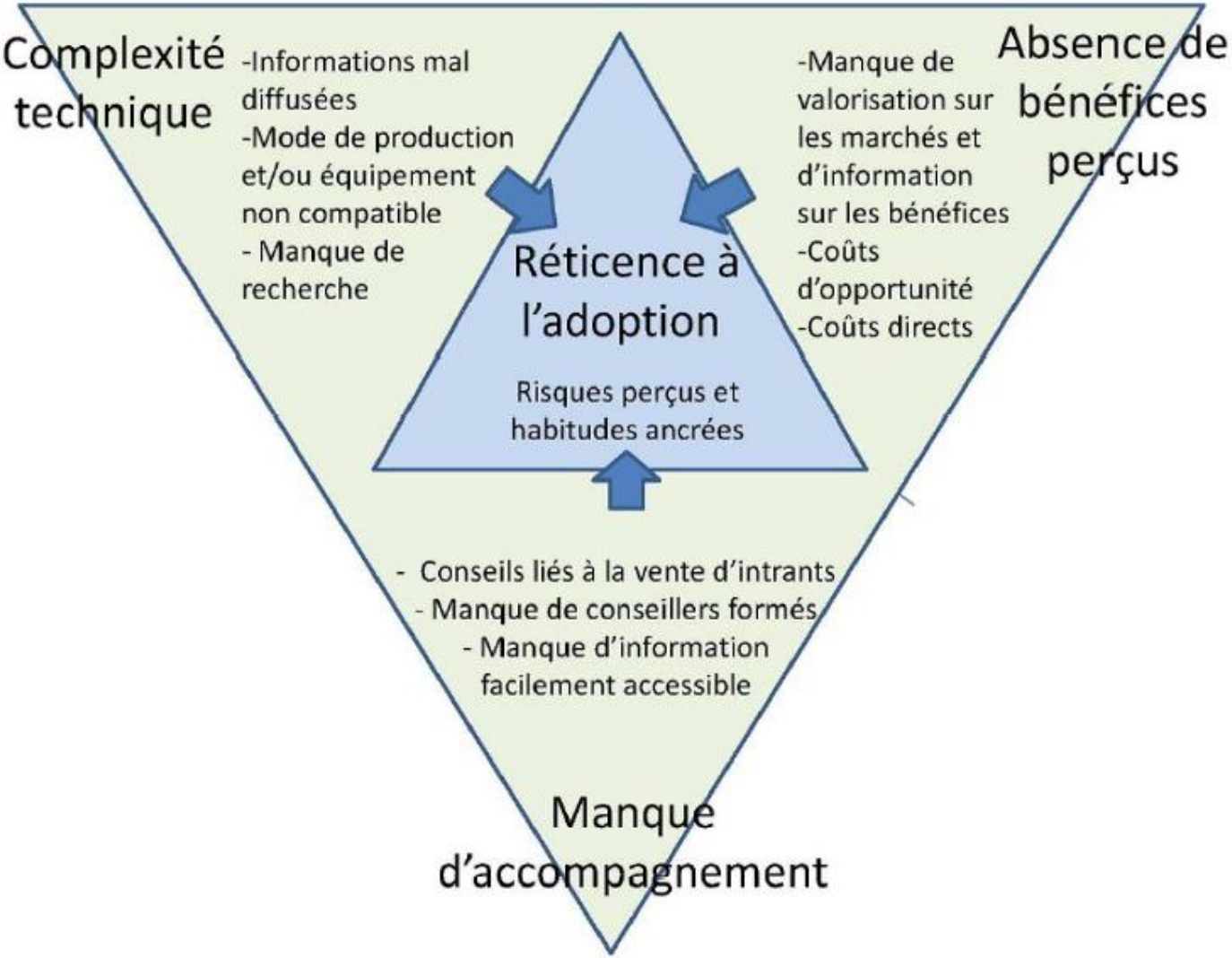
Faible

Faible

Complexité

Élevé

Freins à l'adoption à l'adoption de la LI



Contexte d'adoption de la gestion intégrée des ennemis des cultures, 2012, ÉcoRessources Consultants

Penser la lutte autrement?

Conventionnelle
Raisonnée
Changement
Pesticides
IPM
Bio-pesticides
Organique
Micro-biome
Biologique
Climatique
Marché
Diversité
Intégrée
Écologie
Durable
Maladies
Génétique
Consommateurs
Lutte
Champignon
Rendement
Environnement
Qualité
Agro-écologie
Agrosystèmes
Agro-écologique

En pratique

1) Améliorer/optimiser la santé du sol

- Fertilité
- Structure
- Eau disponibilité/excès
- Microbiome

‘Les bactéries et les champignons aident les plants de fraisiers à se développer. Les effets sur **la croissance et le développement** du fraisier sont plus la conséquence de champignons, alors que **la qualité du fruit** (concentration en sucre, en anthocyanidols (pigments naturels)) tient plutôt à la présence de bactéries.’

‘Un « couple optimal » pour les fraises: le mariage de *Rhizophagus irregularis* (champignon) et *Pseudomonas fluorescens Pf4* (bactérie)’ Dr N. Ait Lahmidi

Pôle Interactions plantes Microorganismes de l’UMR agroécologie de Dijon

En pratique

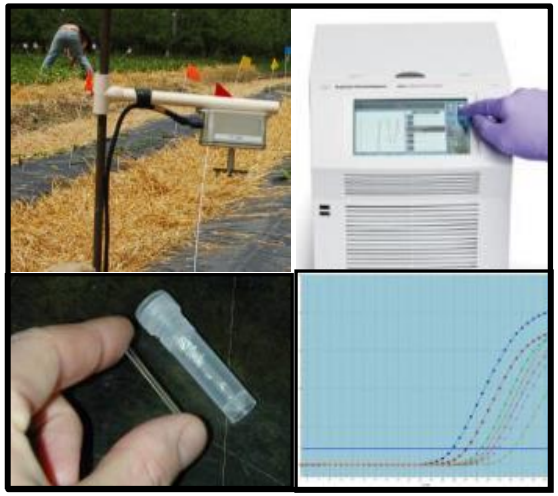
2) Favoriser la diversité

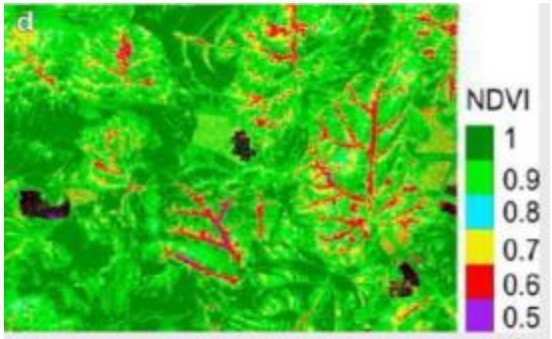
- Culture
  - Rotations
  - Variété (culture et variétés)
  - Flore
- Organismes bénéfiques
- Moyen de lutte
  - Biologique
  - Culturale
  - Physique/mécanique
  - Génétique
  - Chimique

En pratique

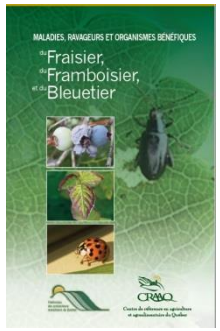
3) Détecter les agents pathogènes

- Détection hâtive
  - Dépistage
  - Capteur de spores
  - Système prévisionnels
  - Drones
  - Analyses d’image
  - Nez électronique



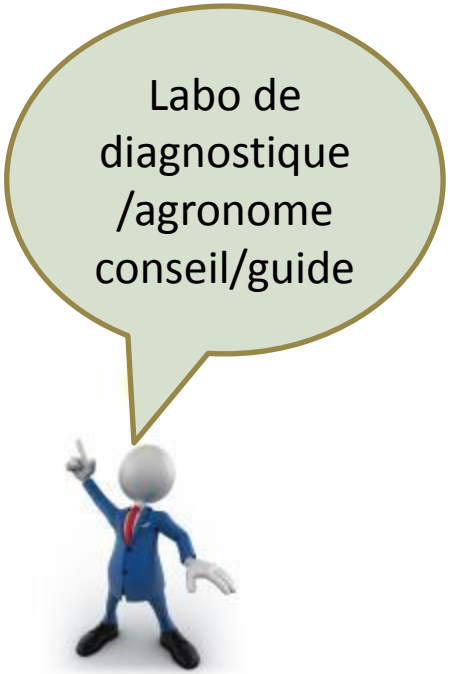


Le bon diagnostique



Identification des maladies

- Symptômes
- Sensibilité du cultivar/organes affectés (feuille, fruit, racine)
- Conditions météorologiques
- Période de la saison
- Distribution dans le champ



Le bon diagnostique

- Bien identifier la maladie que l'on veut traiter
- Vérifier la liste des fongicides homologués

Bactéricides:
antibiotiques, cuivre, …

Anti-mildiou

Fongicides

Virus et cie

Bactéries

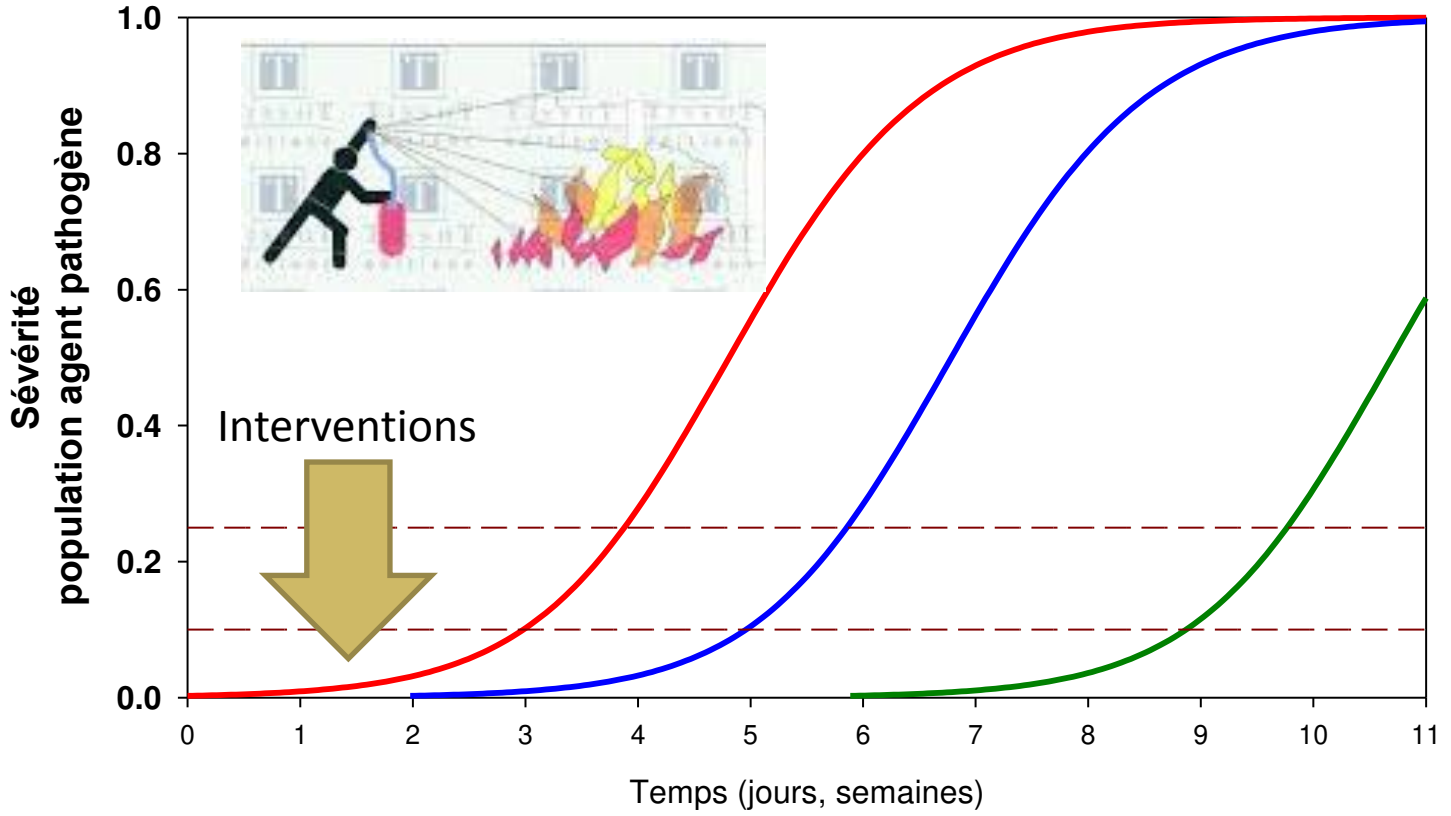
Oomycètes
(*Phytophthora*)

Champignons

Importance/risque

- Maladies importantes ou secondaires?
- Organisme du sol, aérien, ou vasculaire?
- Risque de dommages sur les fruits/poste récolte?

Prévenir plutôt que guérir



Réduire les risques de maladies

Efficacité des fongicides

Opérationnels:

Fongicide, biofongicide, OAD

Tactiques:

Choix du cultivar, mesures prophylactiques, pratiques…

Stratégiques:

Choix du site, sol, exposition au soleil, drainage, densité, cultivar

Risque de pertes de control/rendements

Décisions stratégiques: Éviter les problèmes

- Choisir un site bien drainé avec une bonne circulation de l'air (organismes vivant dans le sol)
- Préparer le sol (augmenter fertilité et le bon microbiome)
- Planter des plants en santé sans virus
- Bonne condition de plantation (stress)

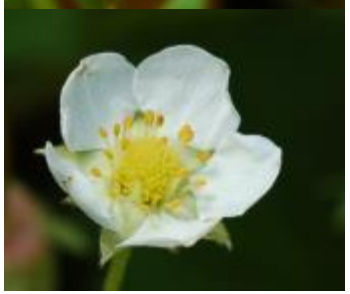
Décisions tactiques:
Éviter les problèmes:

- Planter des variétés résistantes ou peu sensibles
- Planter plusieurs variété
- Éviter les excès d'azote, ajuster la fertilisation
- Utiliser des paillis pour éviter que les fruits soient en contacte avec le sol
- Bien gérer les mauvaises herbes, irrigation ……
- Récolter au bon moment et réfrigérer les fruits rapidement

Décisions opérationnelles: Appliquer un fongicide!

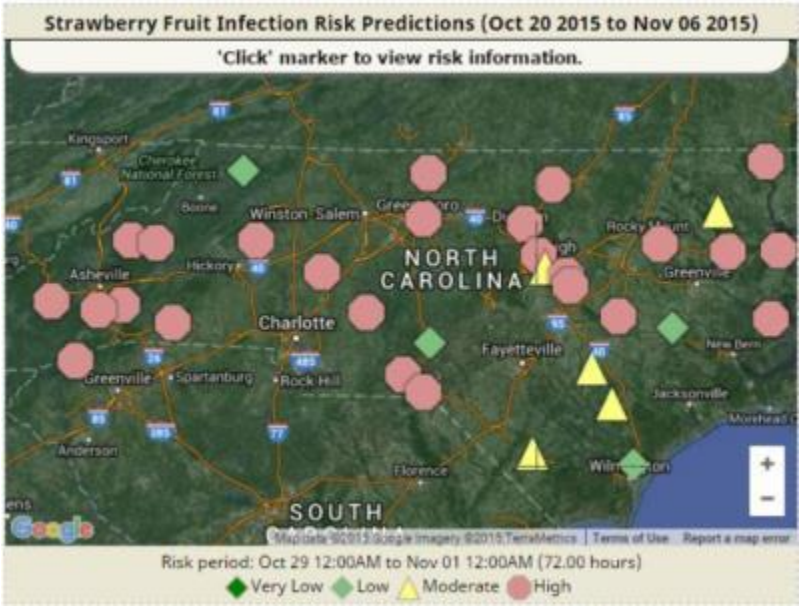
- Adopter une régie de traitement:
  - Selon le stade phénologique, résultats du dépistage (maladie et inoculum); météo (systèmes prévisionnels),

Stade phénologique



Dépistage

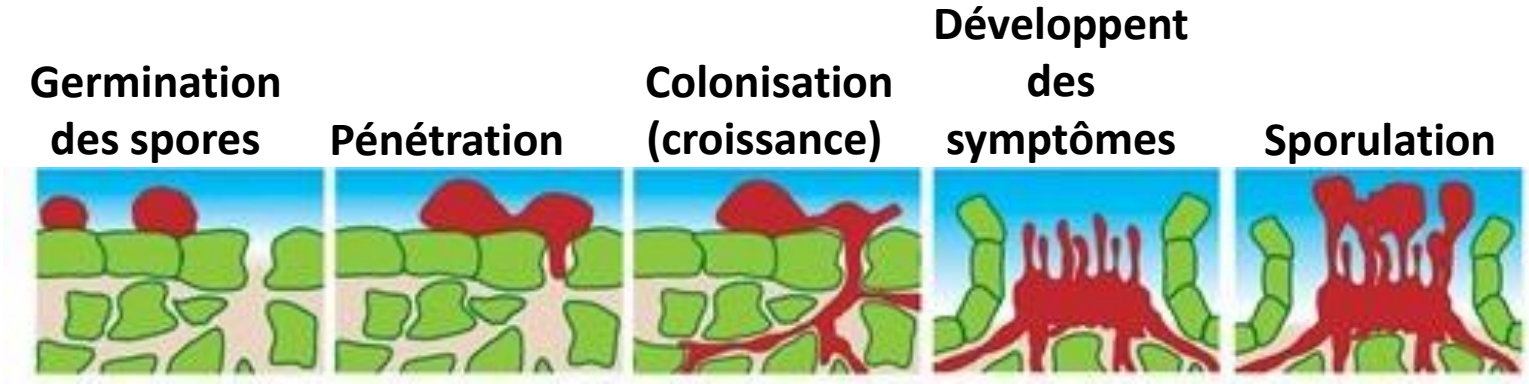
Prévision météo et OAD



Choisir le bon fongicide: Caractéristiques des fongicides

- Mobilité: mouvement dans la plante/ déplacement du fongicide dans la plante.
- Mode d'action: effet de la matière active sur une activité métabolique vitale à la croissance du champignon.
- Usage: rôle du fongicide selon son effet sur la croissance du champignon.
- Lessivage/persistance
- Délais réentrée et pré-récolte
- Résistance
- Prix
- Impact sur la santé et environnementale

Usage et stratégie d'utilisation des fongicides (chimique & bio)



	Préventif	Curatif	Éradiquant
Période d'activité	Arrête la germination des spores à la surface des plantes	Prévient le développement du champignon dans la plantes	Arrête la progression du champignon même lorsque les symptômes sont visibles
Période d'application	Avant une à risque élevé ou une période d'infection (pluie)	Le risque est élevé et l'infection a eu lieu	Lorsque les symptômes sont visible et que l'infection n'a pas été traitée. Prévenir la sporulation?

Conclusions

Pas facile de s'y retrouver!

- Bien connaitre les problèmes liés aux maladies dans votre entreprise
- Faire tout ce qui est possible (rentable) pour diminuer les risques de maladies
- Utiliser les outils à votre disposition
- Préparer une stratégie durant la saison morte
- Noter les fongicides utilisés
- Suivre l'état sanitaire de vos champs

L'avenir de la production/lutte

Agroecology

Sustainable & Successful Agricultural Practices in the United States

Agroecology provides a robust set of solutions to the environmental and economic pressures and crises facing American agriculture in the 21st century

AGRO-ÉCOLOGIE PRODUISONS AUTREMENT

LE PROJET AGRO-ÉCOLOGIQUE EN FRANCE

La France s'est engagée vers un changement des modèles de production afin de combiner à la fois performances économiques, sociales et environnementales : c'est le projet agro-écologique. C'est une politique publique ambitieuse qui implique l'ensemble des partenaires du secteur.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT

UNIVERSITY OF CALIFORNIA SANTA CRUZ

CENTER FOR AGROECOLOGY & SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS

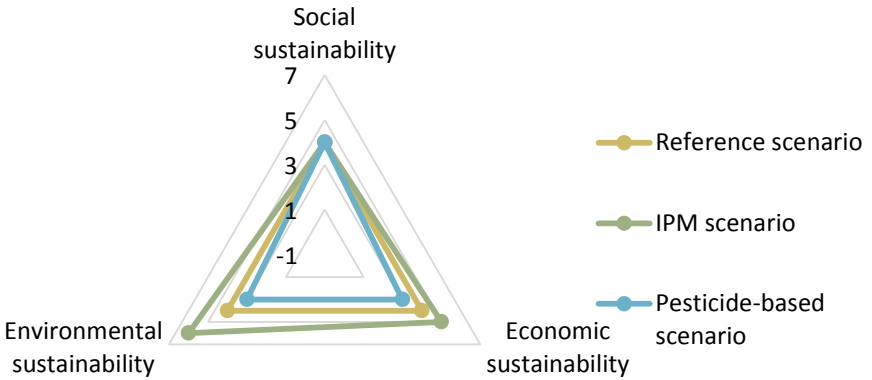
ABOUT | RESEARCH | EDUCATION | APPRENTICESHIP | COMMUNITY | FARM-TO-COLLEGE

Home / Research / Agroecological Science / Current Research

- Research
- Agroecological Science
  - Current Research
  - Past Research
- Social Issues
- Research Opportunities
- Research Bibliography
- UC Global Food Initiative
- Center Publications

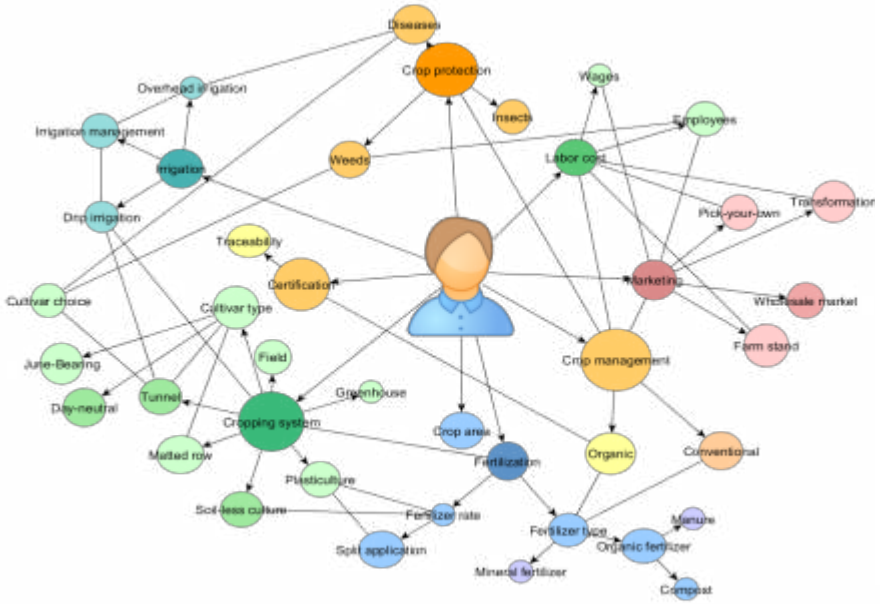
Current Research in Farming Systems and Agroecological Science

Des outils en développement



Agriculture and Agri-Food Canada

Agriculture et Agroalimentaire Canada



Agriculture et Agroalimentaire Canada | Agriculture and Agri-Food Canada

Merci !

Agriculture et Agroalimentaire Canada: Annie Lefebvre, Audrey Levasseur, et Mathieu Tremblay
PhytoData: Hervé Van Der Heyden,
Dr A.S. Walker, INRA
Et bien d'autres…….

Canada