Webinaire sur la résistance aux champignons phytopathogènes

# L’inventaire des résistances

Portrait de la situation à l’échelle provinciale, nationale et internationale

Anne Piuze-Paquet, Msc.
Phytodata Inc.
18 mars 2025

# Historique de l’apparition de résistances aux fongicides

| Année | Pathogène | Résistance |
|---|---|---|
| 1960 | Penicillium spp. Ex: moisissure bleue | FRAC 14 Hydrocarbures aromatiques |
| 1969 | Pyrenophora spp. Ex: rayure réticulée de l’orge | FRAC U12 Dodine |
| 1970 | Tavelure de la pomme | FRAC 1 Benzimidazole |
| 1971 | Blanc du blé de printemps et blanc des courges | FRAC 8 Pyrimidines |
| 1971 | Brunissure du riz | FRAC 24 Kasugamycin |
| 1976 | Brunissure du riz | FRAC 6 Phosphoro-thiolates |
| 1977 | Tache cercosporéenne | FRAC 30 Ti-phenyl-tin |
| 1980 | Mildiou de la pomme de terre et mildiou de la vigne | FRAC 4 Phénylamides |
| 1982 | Moisissure grise | FRAC 2 Dicarboximides |
| 1982 | Blanc des courges | FRAC 3 Inhibiteurs de la biosunthèse des stéroles |
| 1985 | Charbon nu | FRAC 7 Carboxanilides |
| 1994 | Mildiou de la vigne | FRAC 40 Acide carboxylique amine |
| 1998 | Moisissure grise | FRAC 11 Strobilurines |
| 2002 | Brunissure du riz | FRAC 16 Inhibiteurs de la synthèse de la mélanine |

Références: Brent and Hollomon 2007b, Köller et al. 1999, Stevenson et al. 2019, Szkolnik et al. 1969

**Apparition du premier cas de résistance pratique aux fongicides en fonction de leur nombre d'années d'utilisation (adapté de Brent and Hollomon 2007)**

| Fongicide ou classe | Groupe FRAC | Année d'observation | Nombre d'années d'utilisation | Agent pathogène (premier pour lequel une résistance a été rapportée pour le fongicide ou la classe de fongicides correspondant) |
|---|---|---|---|---|
| **Hydrocarbures aromatiques** | 14 | 1960 | 20 | *Penicillium spp.* |
| **Dodine** | U12 | 1969 | 1 | *Pyrenophora spp.* |
| **Benzimidazole** | 1 | 1970 | 2 | *Venturia inaequalis* |
| **2-amino pyrimidines** | 8 | 1971 | 2 | *Blumeria graminis* et *Podosphaera xanthii* |
| **Kasugamycin** | 24 | 1971 | 6 | *Pyricularia grisea* |
| **Phosphoro-thiolates** | 6 | 1976 | 9 | *Pyricularia grisea* |
| **Tri-phenyl-tin** | 30 | 1977 | 13 | *Cercospora beticola* |
| **Phenylamides** | 4 | 1980 | 2 | *Phytophtora infestans* et *Plasmopara viticola* |
| **Dicarboximides** | 2 | 1982 | 5 | *Botrytis cinerea* |
| **Inhibiteur de la biosynthèse des stérols** | 3 | 1982 | 7 | *Podosphaera xanthii* |
| **Carboxanilides** | 7 | 1985 | 15 | *Ustilago nuda* |
| **QoI** | 11 | 1998 | 2 | *Botrytis cinerea* |
| **Inhibiteur de la synthèse de la mélanine** | 16 | 2002 | 2 | *Pyricularia grisea* |
| **Acide carboxylique amine** | 40 | 1994 | n.d. | *Plasmopara viticola* |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

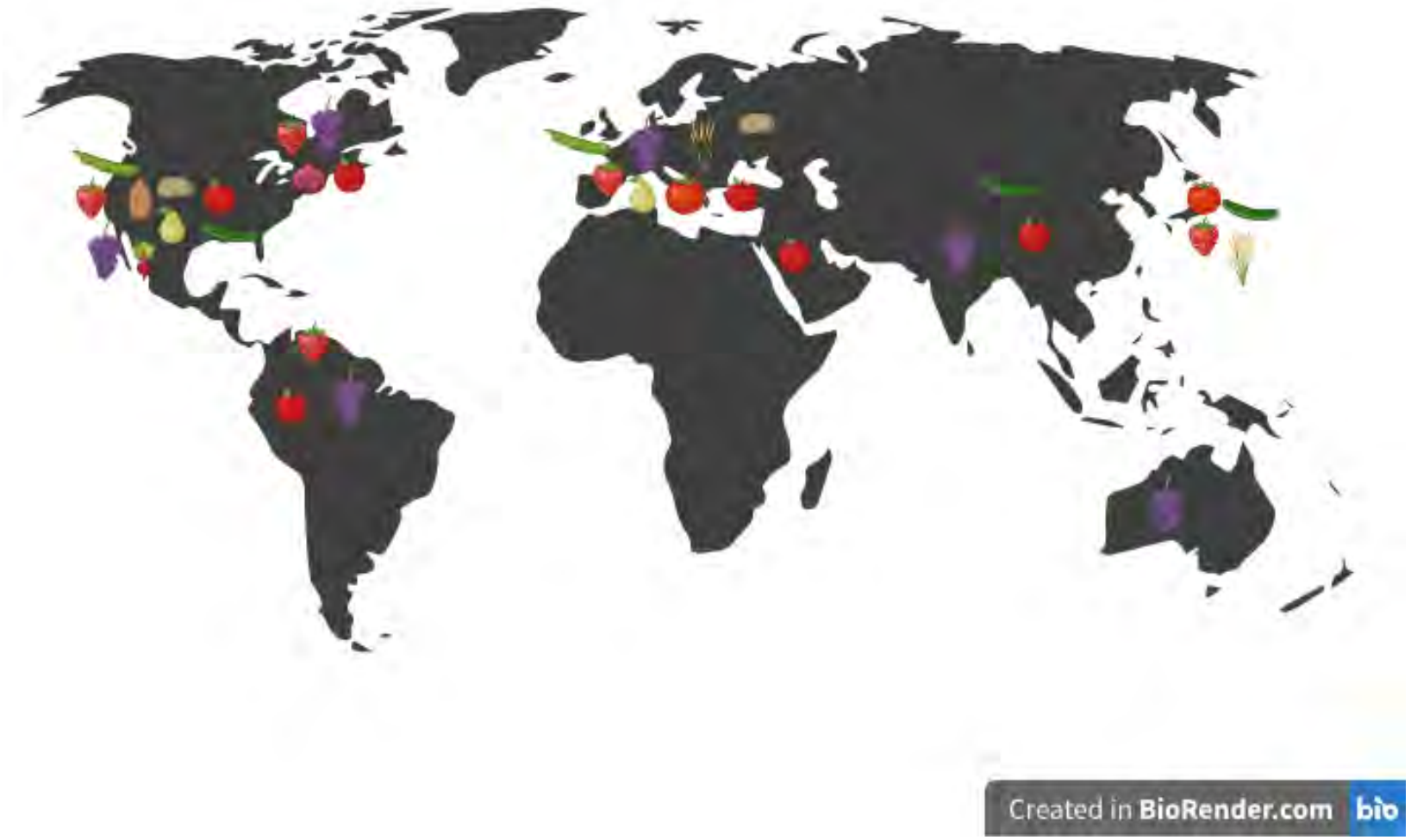
# FRAC 11:
## Strobilurines (QoIs)

- Principal mécanisme de développement de la résistance aux strobilurines (inhibiteurs externes de la quinone):
  - La modification de la cible
- Principales mutations sur le gène cytochrome b conférant la résistance:
  - G143A
  - F129L
- Résistance croisée entre les fongicides du groupe 11

| Matière active | Exemple de Fongicide commercial |
|---|---|
| Azoxystrobine | Quadris, Quadris Top |
| Fénamidone | Reason |
| Fluoxastrobine | Evito |
| Krésoxim-méthyl | Sovran |
| Picoxystrobine | Acapela |
| Pyraclostrobine | Merivon |
| Trifloxystrobine | Flint, Luna Sensation |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020

Distribution mondiale des principales cultures où de la résistance aux **strobilurines** a été observée pour un ou plusieurs phytopathogènes




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020

Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux strobilurines a été observée

- Fraise
- Vigne
- Oignon
- Pomme
- Pomme de terre
- Concombre

# La fraise

## Les principaux agents phytopathogènes de la fraise pour lesquels de la résistance aux strobilurines a été observée

*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

*Colletotrichum acutatum* responsable de l'**anthracnose**

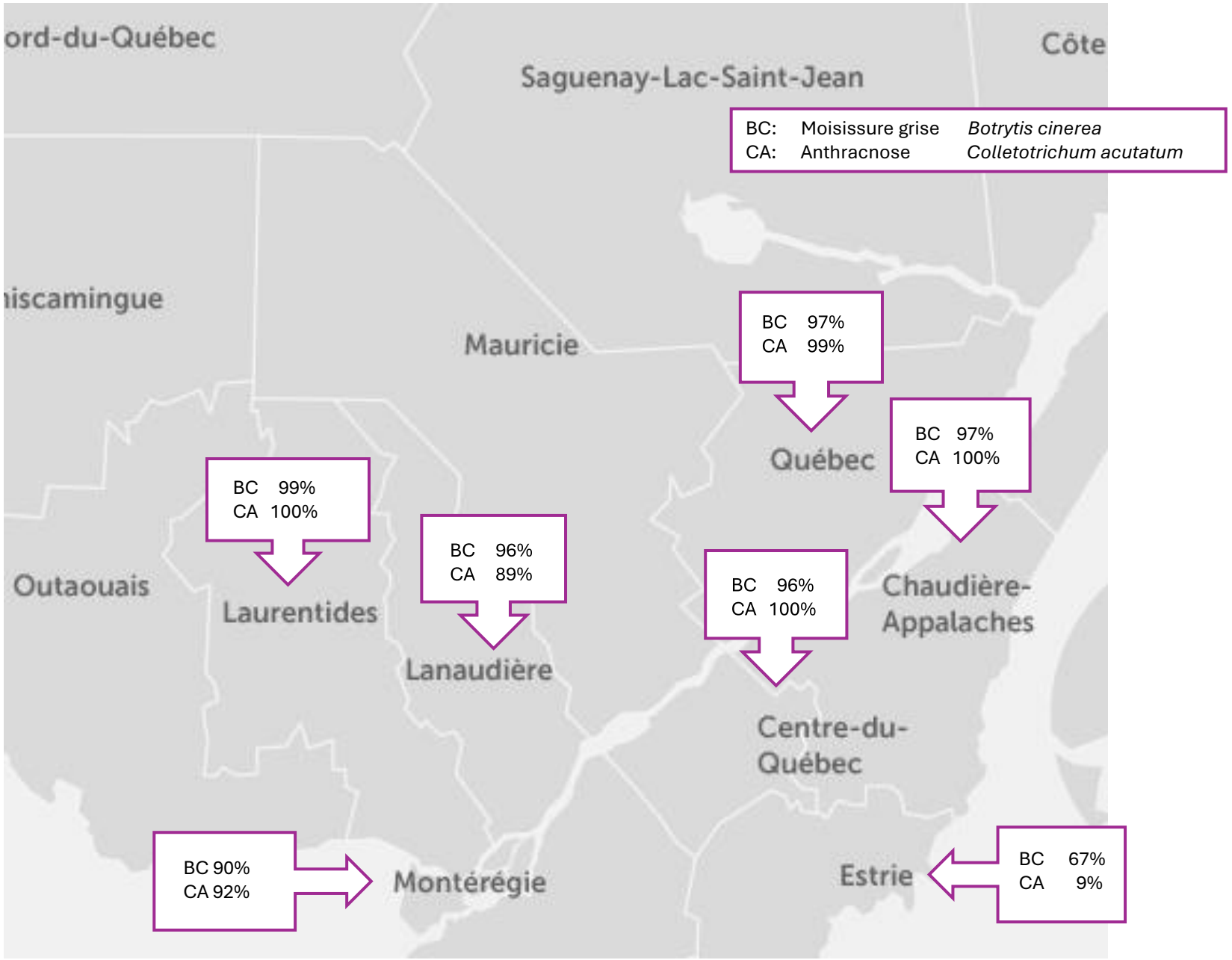
| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis cinerea* (BC) | Canada (QC) - 2019 à 2021 | 67% - 99% |
| | États-Unis (FL) - 2012 à 2013 | 92% |
| | États-Unis (WA, CA) - 2016 | 55%-66% |
| | États-Unis (AR, FL, GA, SC, NC, VA, MD) – 2012 à 2013 | 25% - 82% |
| | Brésil | 91% |
| | Allemagne – 2008 à 2015 | 69% - 84% |
| | Danemark – 2015 à 2019 | 76% |
| | Grèce – 2008 à 2009 | 45% - 53% |

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Colletotrichum acutatum* (CA) | Canada (QC) - 2019 à 2021 | 97% |
| | États-Unis (FL) – 2012 à 2015 | 84% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020

Résultats du portrait provincial de la résistance aux **strobilurines** dans la fraise

# Le Québec




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux strobilurines a été observée

*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

*Erysiphe necator* responsable de **l'oïdium (blanc) de la vigne**

*Plasmopara viticola* responsable du **mildiou de la vigne**

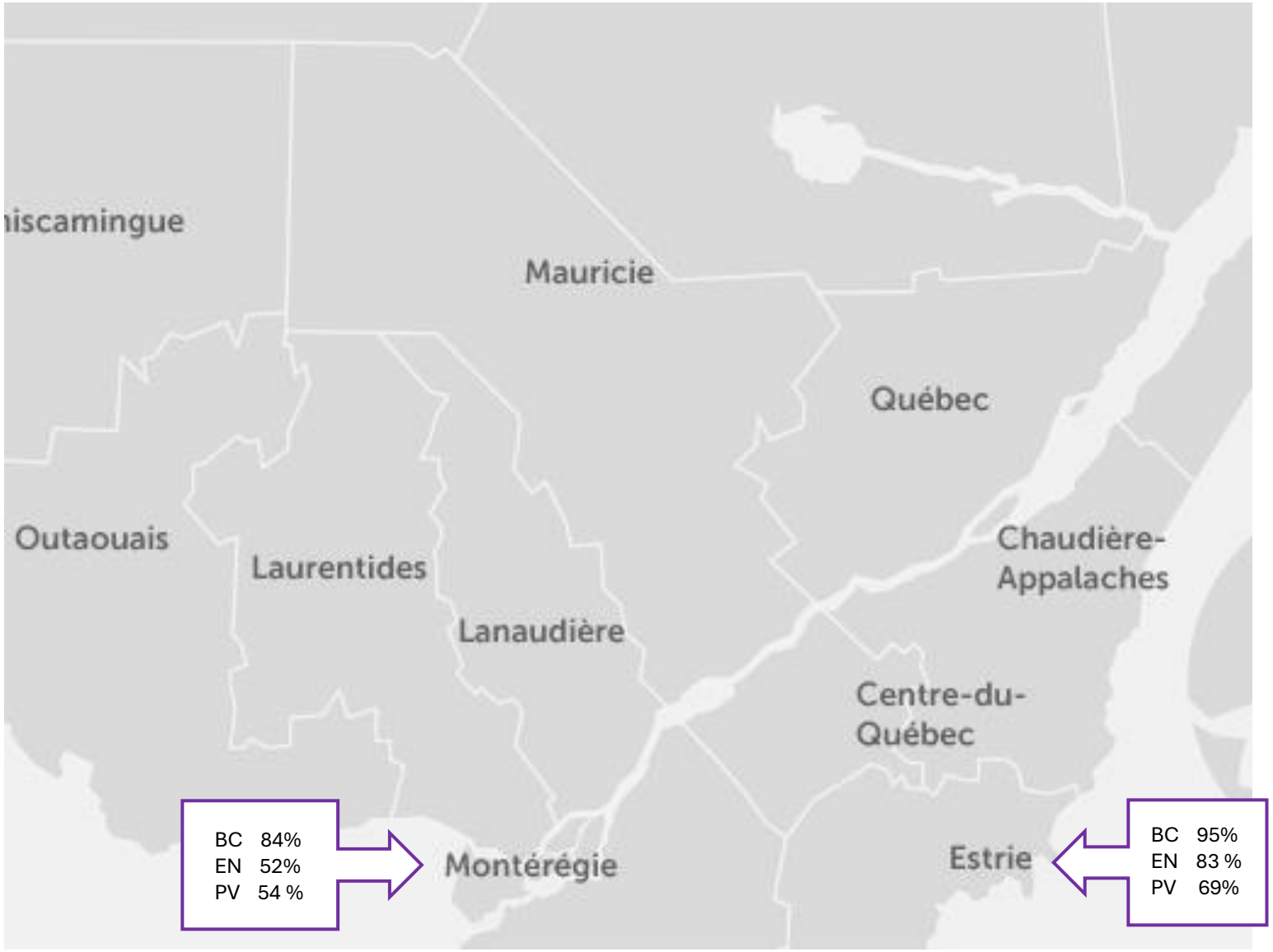
| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis cinerea* (BC) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 84% - 95% |
| | États-Unis (CA) - 2019 | 95% |
| | Allemagne | 76% - 84% |
| | France | 6% |
| *Erysiphe necator* (EN) | CAN (QC) – 2020 à 2022 | 52% - 83% |
| | États-Unis (MI,VA) – 2005 à 2012 | 40% - 100% |
| | France – 2006 à 2007 | 5% |
| | Australie -2017 | 42% |

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Erysiphe necator* (EN) (suite) | Hongrie | s.o. |
| | Slovaquie | s.o. |
| | Nouvelle-Zélande - 2015 | Presque 100% |
| *Plasmopara viticola* (PV) | CAN (QC) – 2020 à 2022 | 54% - 69% |
| | États-Unis (GA) – 2027 à 2018 | 100% |
| | Brésil – 2018 à 2019 | 18% - 100% |
| | France – 2012 | 17% - 86% |
| | Italie – 2001 à 2002 | s.o. |
| | Inde – 2014 | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020

# Résultats du portrait provincial de la résistance aux strobilurines dans la vigne

## Le Québec




| | | |
|---|---|---|
| BC: | Moisissure grise | *Botrytis cinerea* |
| EN: | Oïdium de la vigne | *Erysiphe necator* |
| PV: | Mildiou de la vigne | *Plasmopara viticola* |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# L'oignon

## Les principaux agents phytopathogènes de l'oignon pour lesquels de la résistance aux strobilurines a été observée

*Botrytis squamosa* responsable de la **brûlure de la feuille**

*Stemphylium vesicarium* responsable de la **brûlure stemphylienne**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis squamosa* (BS) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 39% - 61% |
| *Stemphylium vesicarium* (SV) | CAN (QC) – 2024 à 2027 | À venir |
| | CAN (ON) – 2018 à 2019 | 90% |
| | États-Unis (NY) - 2015 | 70% |
| | Taiwan -2018 à 2020 | 80% -100% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux strobilurines dans l'oignon

# Le Québec

BS: Brûlure de la feuille *Botrytis squamosa*

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La pomme

## Les principaux agents phytopathogènes de la pomme pour lesquels de la résistance aux strobilurines a été observée

*Venturia inaequalis* responsable de la **tavelure de la pomme**

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Venturia inaequalis | CAN (QC) - 2014 | Risque de développement de résistance observé pour le trifloxystrobine |
| | CAN (ON) - 2009 | s.o. |
| | États-Unis (OH, MI, NY) - 2011 | 1% - 67% |
| | France - 2004 à 2007 | 33% à 64% |
| | Grèce – 2020 à 2022 | 92% |
| | République Tchèque - 2020 | 95% |
| | Israël - 2014 à 2015 | 96% |
| | Turquie - 2021 | 97% |
| | Chine 2021 | 77% - 97% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La pomme de terre

## Les principaux agents phytopathogènes de la pomme de terre pour lesquels de la résistance aux strobilurines a été observée

*Alternaria solani* responsable de la **brûlure hâtive**

*Alternaria alternata* responsable de l'**alternariose**

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Alternaria solani* (AS) | CAN (MB) - 2007 | s.o. |
| | États-Unis (ID) - 2013 | 63% |
| | Allemagne - 2016 | 85% |
| | Belgique – 2013 à 2014 | 10% |
| | Suède – 2015 à 2016 | 85%- 100% |

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Alternaria alternata (AA) | États-Unis (FL) – 2008 à 2012 | 58% |
| | Allemagne - 2016 | 75% |
| | Belgique – 2013 à 2014 | 65% |
| | Suède – 2009 à 2016 | 58% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# Les cucurbitacées

## Les principaux agents phytopathogènes des cucurbitacées pour lesquels de la résistance aux strobilurines a été observée

*Podosphaera xanthii* responsable de **l'oïdium (blanc) des cucurbitacées**

*Pseudoperonospora cubensis* responsable du **Mildiou des cucurbitacées**

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Podospahera xanthii* (PX) | États-Unis (GA, NC, VA, NY) - 2002 | s.o. |
| | Espagne - 2002 à 2004 | 32% |
| | Japon - 1999 | s.o. |

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Pseudoperonospora cubensis* (PC) | CAN (ON, QC) | s.o. |
| | États-Unis (NC) - | 47% |
| | Espagne | s.o. |
| | Japan | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# FRAC 7:
## Inhibiteurs de la succinate déshydrogénase (SDHIs)

- Principal mécanisme de développement de la résistance aux inhibiteurs de la succinate déshydrogénase :
  - La modification de la cible
- Principales mutations sur la sous-unité b du gène sdh conférant la résistance:
  - H272R
  - N230I
  - P225F
- Résistance croisée pratique entre les différents fongicides du groupe 7
  - ➢ Selon le produit et/ou la mutation acquise par le champignon

| Matière active | Fongicide commercial |
|---|---|
| Benzovindiflupyr | Approvia Top |
| Boscalide | Cantus, Pristine |
| Fluopyram | Luna Sensation, Luna Tranquility |
| Fluxapyroxad | Sercadis |
| Penthiopyrad | Fontelis |
| Pydiflumétofène | Miravis Duo |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux SDHIs a été observée

- Fraise
- Vigne
- Oignon

# La fraise

## Les principaux agents phytopathogènes de la fraise pour lesquels de la résistance aux SDHIs a été observée

*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

*Colletotrichum acutatum* responsable de l'**anthracnose**

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis cinerea* (BC) | CAN (QC) - 2019 à 2021 | 67% - 99% |
| | États-Unis (FL) - 2012 à 2013 | 92% |
| | États-Unis (WA, CA) - 2016 | 55%-66% |
| | États-Unis (AR, FL, GA, SC, NC, VA, MD) – 2012 à 2013 | 25% - 82% |
| | Brésil - | 91% |
| | Allemagne – 2008 à 2015 | 69% - 84% |
| | Danemark – 2015 à 2019 | 76% |
| | Grèce – 2008 à 2009 | 45% - 53% |

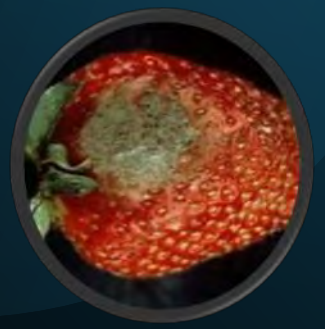
| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Colletotrichum acutatum* (CA) | CAN (QC) | 100% |
| | États-Unis | 100% * |
| | Japon | 100% * |

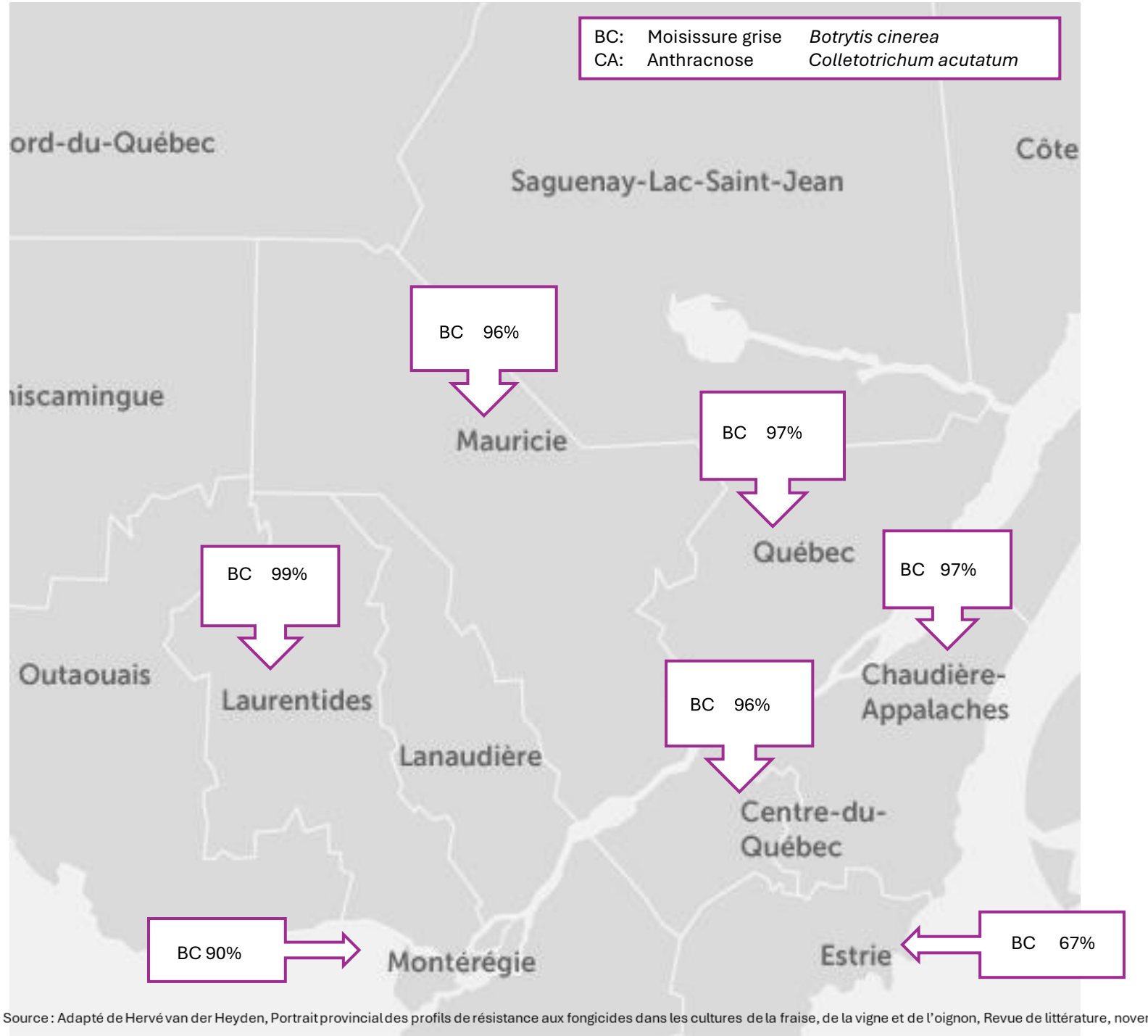
* À l'exception du benzovindiflupyr et du penthiopyrad

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux SDHIs dans la fraise

# Le Québec






Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux SDHIs a été observée

*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

*Erysiphe necator* responsable de l'**oïdium (blanc) de la vigne**

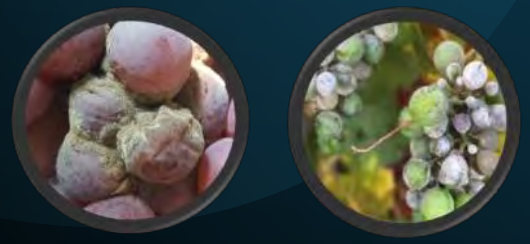
| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Botrytis cinerea (BC) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 69% - 89% |
| | États-Unis (CA) | 85% |
| | France | s.o. |
| | Italie | 0% à 73% |

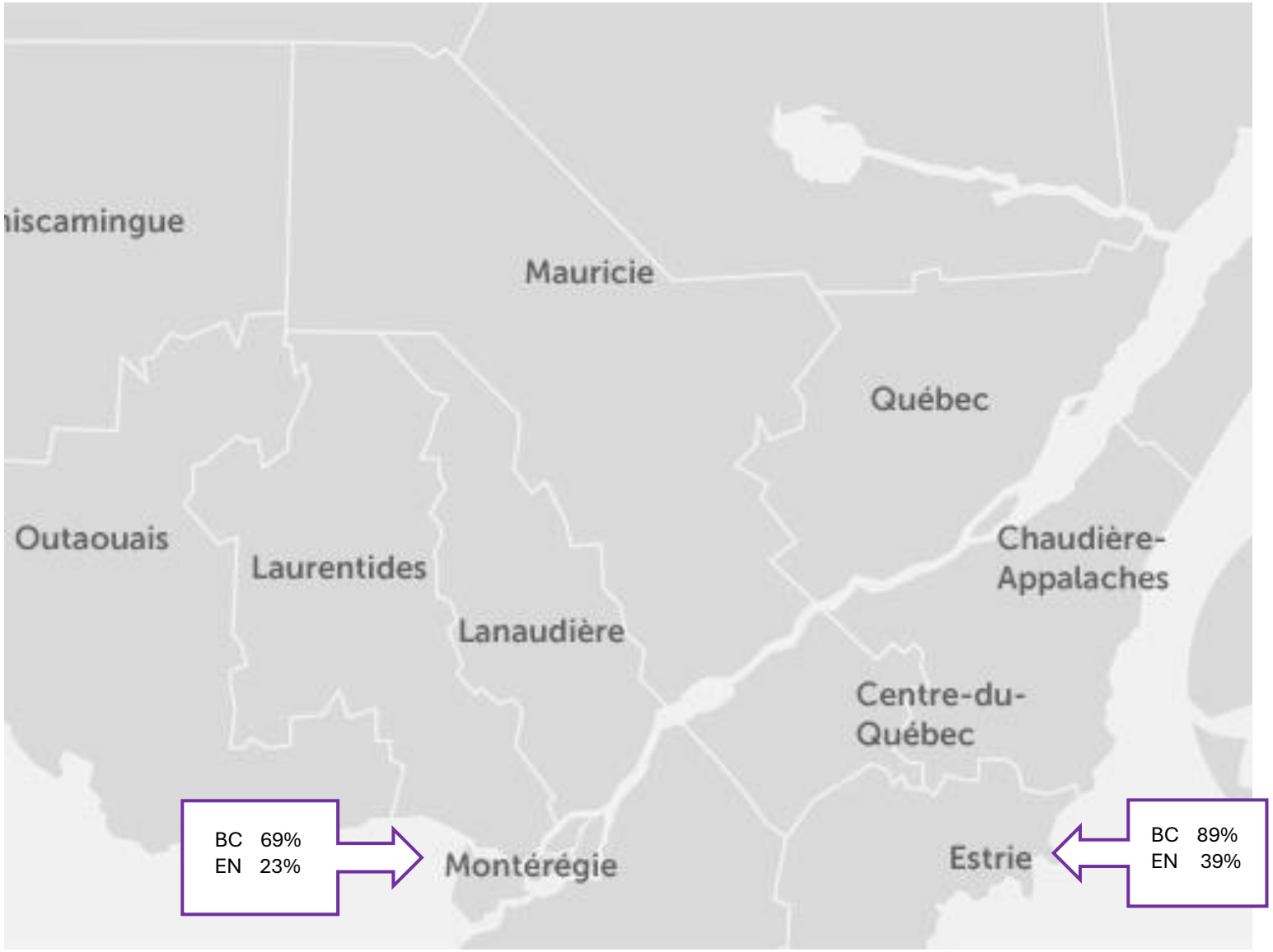
| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Erysiphe necator (EN) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 23% à 39% |
| | États-Unis | 25% |
| | France | s.o. |
| | Italie | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux SDHIs dans la vigne

# Le Québec






| | | |
|---|---|---|
| BC: | Moisissure grise | *Botrytis cinerea* |
| EN: | Oïdium de la vigne | *Erysiphe necator* |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# L'oignon

## Les principaux agents phytopathogènes de l'oignon pour lesquels de la résistance aux SDHIs a été observée

*Botrytis squamosa* responsable de la **brûlure de la feuille**

*Stemphylium vesicarium* responsable de la **brûlure stemphylienne**

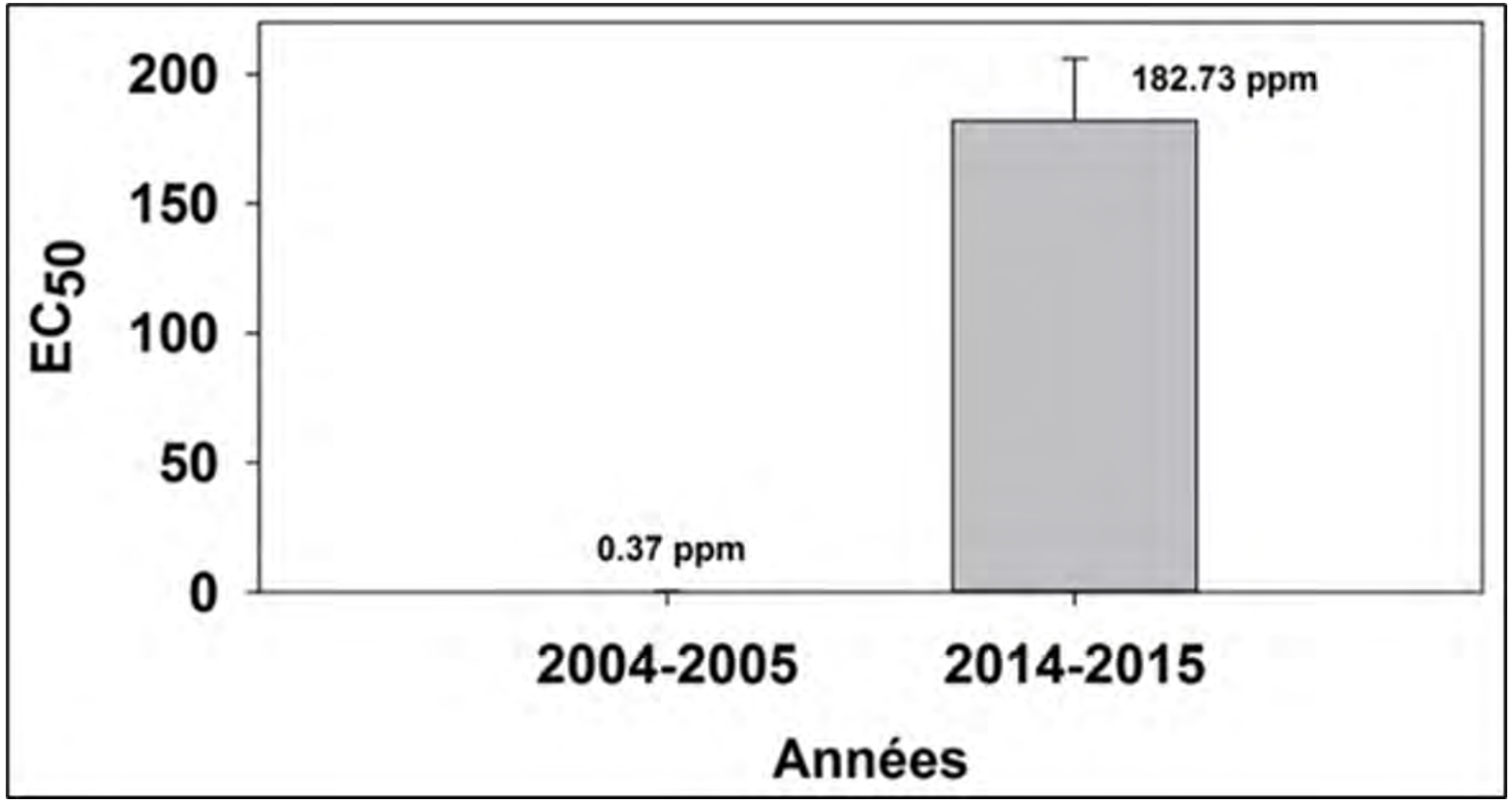
| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis squamosa* (BS) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 78% à 83% |
| *Stemphylium vesicarium* (SV) | CAN (QC) – 2024 à 2027 | À venir |
| | CAN (ON) – 2023 | Flusapyroxad 44%<br>Penflufen 63% |
| | États-Unis (NY) - 2015 | Boscalide 70%<br>Fluopyram 6%<br>Fluxapyroxad 6% |
| | Taiwan -2018 à 2020 | Boscalide 7% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux SDHIs dans l'oignon

# Le Québec

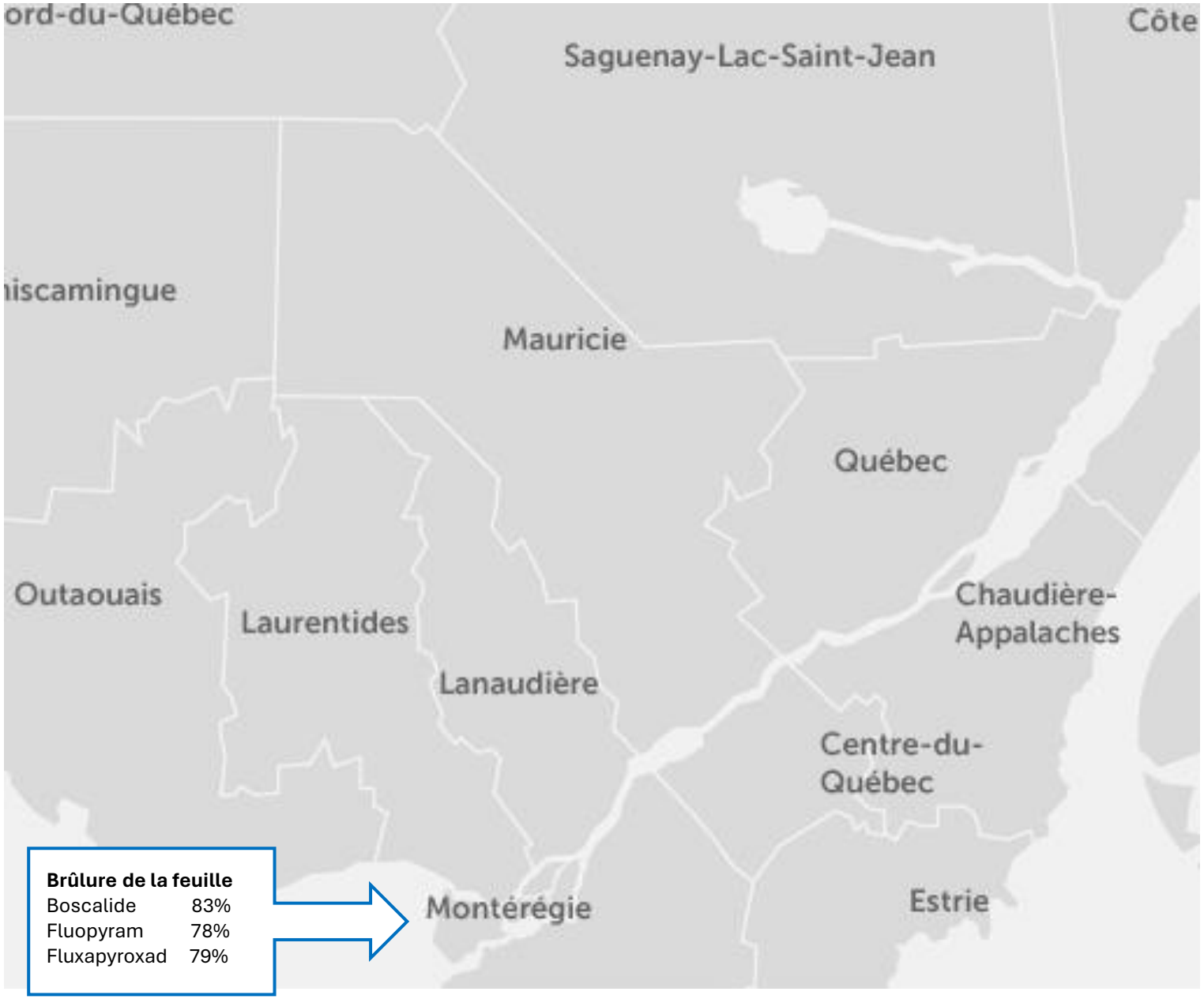
Comparaison des résultats des tests de résistance de boscalide réalisés sur des échantillons recueillis en 2004-2005 et 10 ans plus tard en 2014-2015 (source van der Heyden, non publié).




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux SDHIs dans l'oignon

# Le Québec




**Brûlure de la feuille**

| | |
|---|---|
| Boscalide | 83% |
| Fluopyram | 78% |
| Fluxapyroxad | 79% |

BS: Brûlure de la feuille *Botrytis squamosa*

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# Facteurs de résistance des souches testées pour leur sensibilité aux fongicides SDHIs

| FR | Boscalide | Fluopyram | Fluxapyroxad |
|---|---|---|---|
| | N= 80 | N=86 | N=87 |
| **<2** | 14% | 16% | 25% |
| **2 - 10** | 5% | 71% | 6% |
| **10 -100** | 7% | 13% | 47% |
| **> 100** | 74% | 0% | 22% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# FRAC 9:
## Anilinopyrimidines (AP)

- Principal mécanisme probablement impliqué dans le développement de la résistance aux anilinopyrimidines :
  - Les pompes à efflux
- Résistance croisée observée entre les fongicides du groupe 9

| Matière active | Fongicide commercial |
|---|---|
| Cyprodinil | Switch |
| Pyriméthanil | Luna Tranquility |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux strobilurines a été observée

- Fraise
- Vigne
- Oignon
- Pomme

# La fraise

## Les principaux agents phytopathogènes de la fraise pour lesquels de la résistance aux anilinopyrimidines a été observée

*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

*Colletotrichum acutatum* responsable de l'**anthracnose**

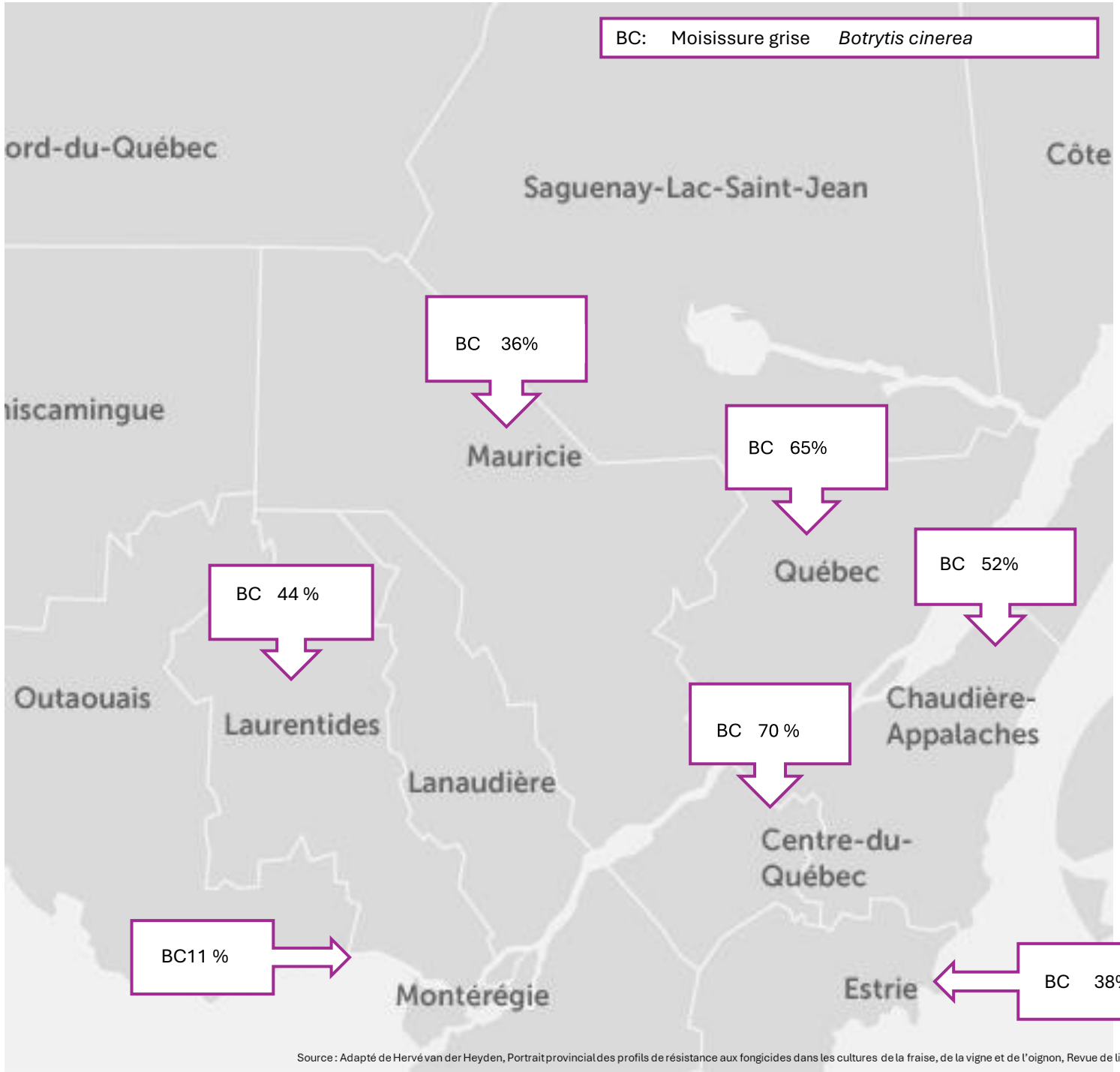
| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis cinerea* (BC) | CAN (QC) - 2019 à 2021 | 67% - 99% |
| | Allemagne | s.o. |
| | Chili | s.o. |
| | Chine | s.o. |
| | États-Unis (CA, NC, SC, WA) | s.o. |
| | Italie | s.o. |
| | | s.o. |
| | | |

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Colletotrichum acutatum* (CA) | CAN (QC) | 21% - 50% |
| | | |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux anilinopyrimidines dans la fraise

# Le Québec




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux anilinopyrimidines a été observée

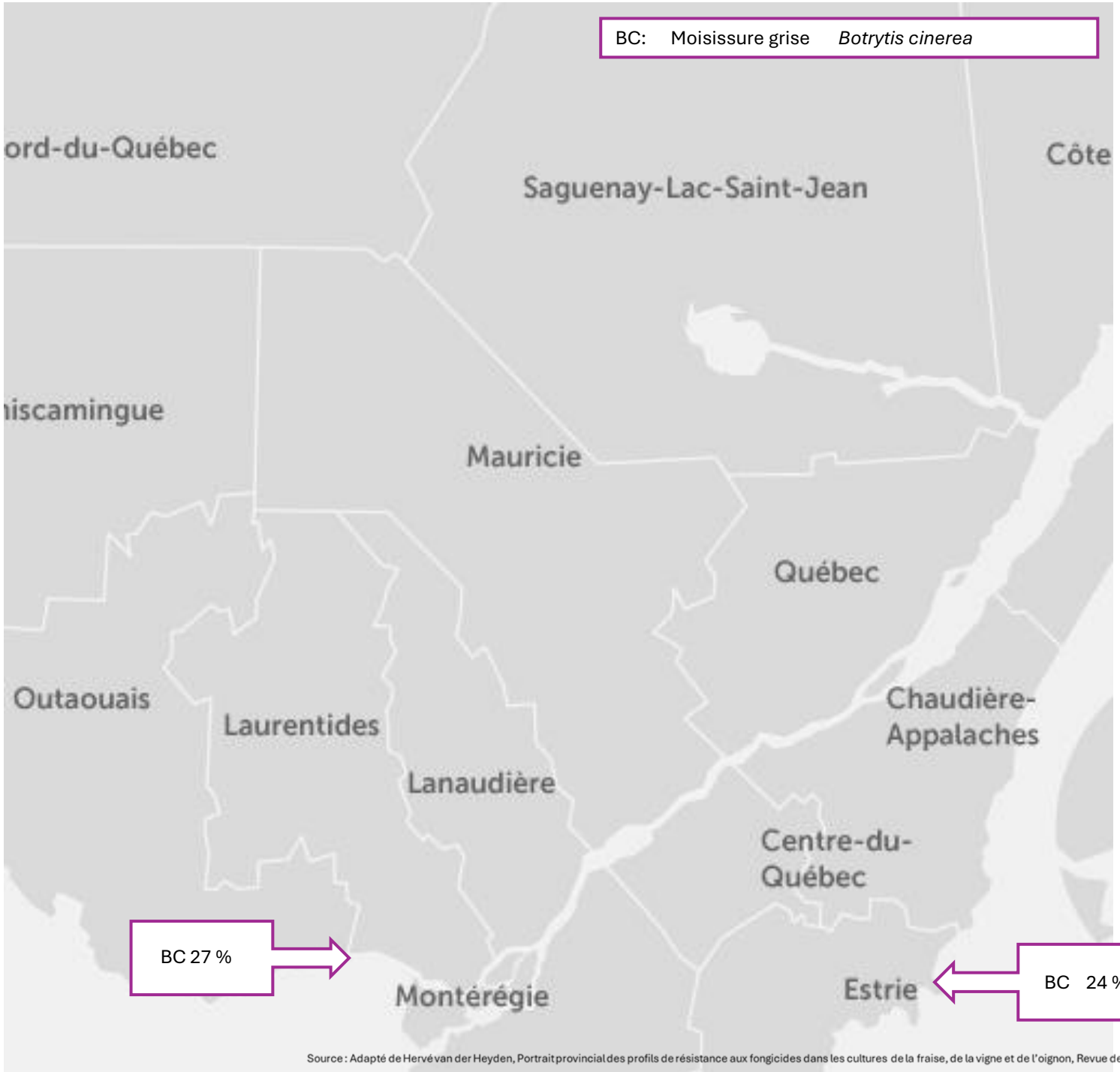
*Botrytis cinerea* responsable de la moisissure grise

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Botrytis cinerea (BC) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 24% - 27% |
| | États-Unis (CA, NC, SC, WA) | s.o. |
| | Allemagne | s.o. |
| | Italie | s.o. |
| | Chili | s.o. |
| | Chine | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux anilinopyrimidines dans la vigne

# Le Québec




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# L'oignon

## Les principaux agents phytopathogènes de l'oignon pour lesquels de la résistance aux anilinopyrimidines a été observée

*Botrytis squamosa* responsable de la **brûlure de la feuille**

*Stemphylium vesicarium* responsable de la **brûlure stemphylienne**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis squamosa* (BS) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | Pyriméthanil 39% |
| *Stemphylium vesicarium* (SV) | CAN (QC) – 2024 à 2027 | À venir |
| | CAN (ON) – 2018-2019 | Pyriméthanil 57% |
| | États-Unis (NY) - 2015 | Cyprodinil 24% |
| | | Pyriméthanil 33% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La pomme

## Les principaux agents phytopathogènes de la pomme pour lesquels de la résistance aux anilinopyrimidines a été observée

*Venturia inaequalis* responsable de la **tavelure de la pomme**

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Venturia inaequalis | CAN (QC) - 2014 | s.o. |
| | Europe 2018 à 2020 | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# FRAC 12:
## Phénylpyrroles

- Principal mécanisme de développement de la résistance aux phénylpyrrol:
    - Les pompes à efflux

| Matière active | Fongicide commercial |
|---|---|
| Fludioxonil | Switch |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux phénylpyrrol a été observée

- Fraise
- Vigne
- Oignon

# La fraise

## Les principaux agents phytopathogènes de la fraise pour lesquels de la résistance aux phénylpyrrol a été observée

*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

*Colletotrichum acutatum* responsable de l'**anthracnose**

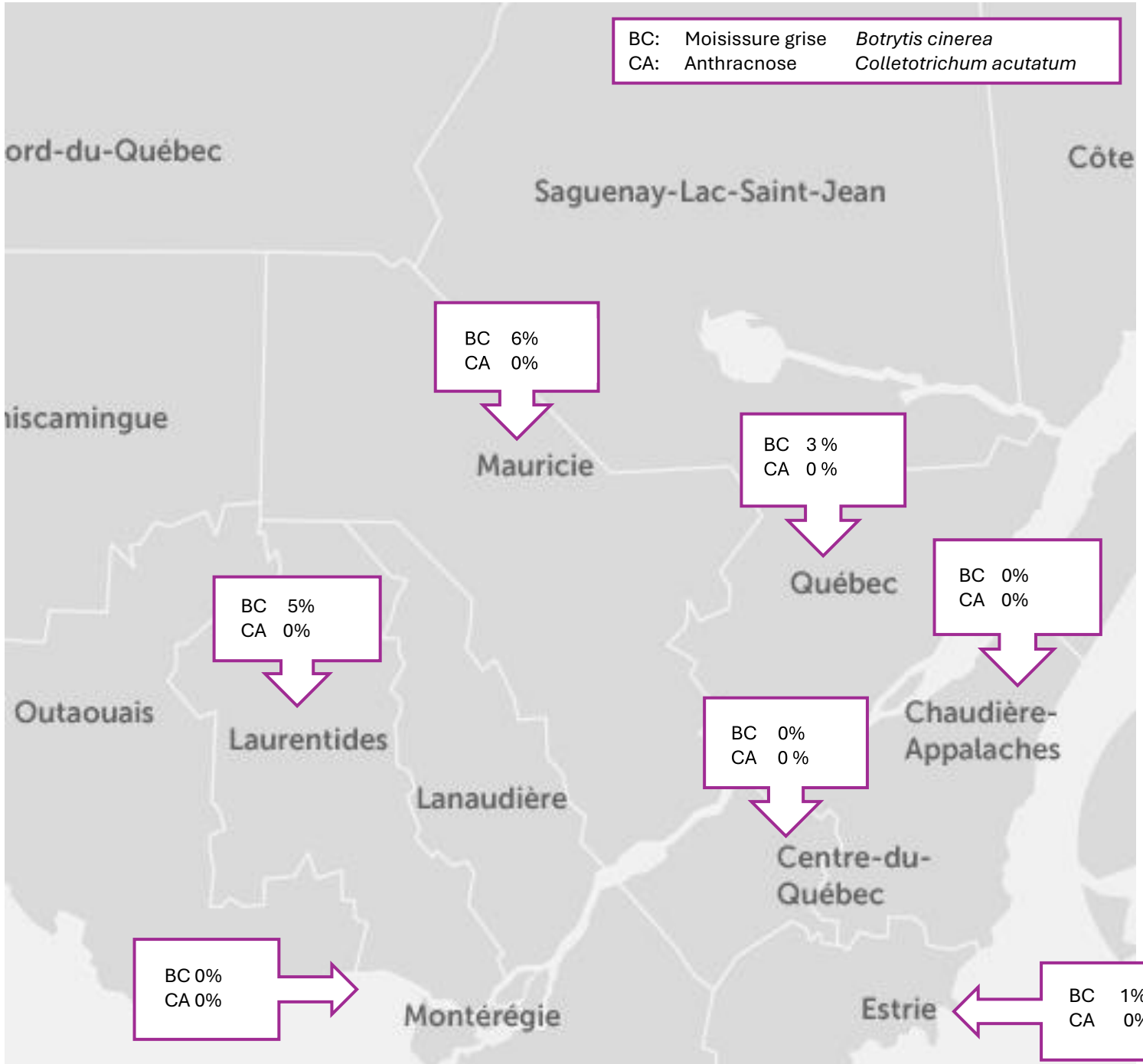
| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis cinerea* (BC) | CAN (QC) | 4% |
| | Allemagne | s.o. |
| | Chili | s.o. |
| | États-Unis (CA, NC, SC, WA) | s.o. |
| | Italie | s.o. |

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Colletotrichum acutatum* (CA) | CAN (QC) | Fludioxonil 0% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# Résultats du portrait provincial de la résistance aux phénylpyrrol dans la fraise

## Le Québec




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux phénylpyrrol a été observée

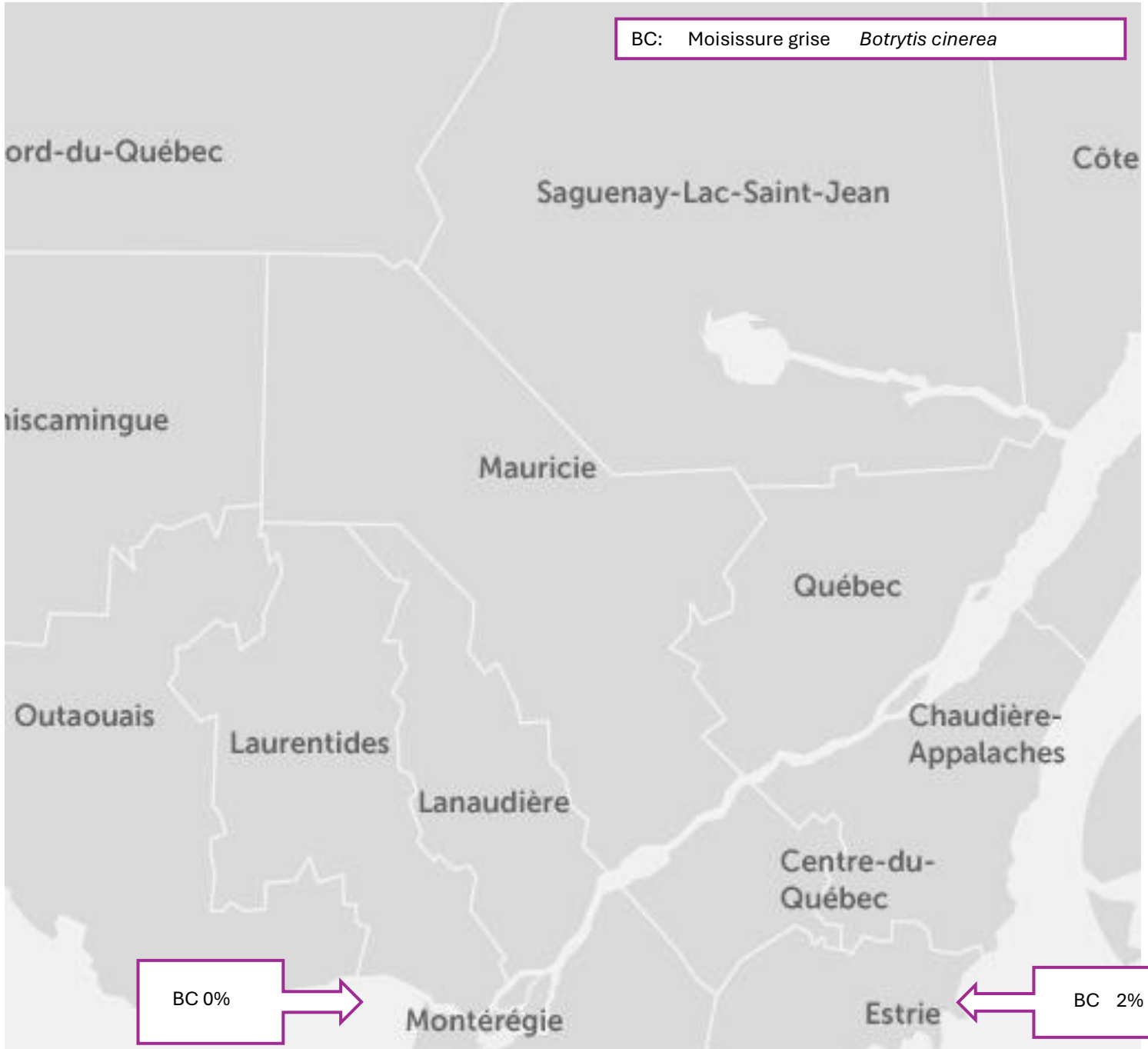
*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Botrytis cinerea (BC) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | Fludioxonil 1% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux phénylpyrrol dans la vigne

# Le Québec




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# L'oignon

## Les principaux agents phytopathogènes de l'oignon pour lesquels de la résistance aux phénylpyrrol a été observée

*Botrytis squamosa* responsable de la **brûlure de la feuille**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis squamosa* (BS) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | Fludioxonil 5% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# FRAC 17:
## inhibiteurs de la kéto réductase (KRIs)

- Principal mécanisme de développement de la résistanceaux inhibiteurs de la kéto réductase (KRIs)
  - La modification de la cible
- Principales mutations sur le gène erg27 conférant la résistance:
  - F412C/I/S

| Matière active | Fongicide commercial |
|---|---|
| Fenhexamid | Elevate |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux KRIs a été observée

- Fraise
- Vigne

# La fraise

## Les principaux agents phytopathogènes de la fraise pour lesquels de la résistance aux KRIs a été observée

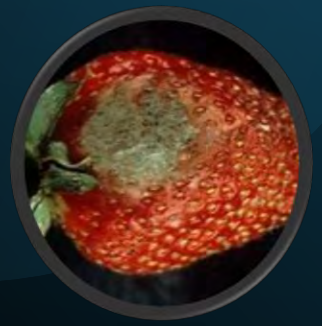
*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

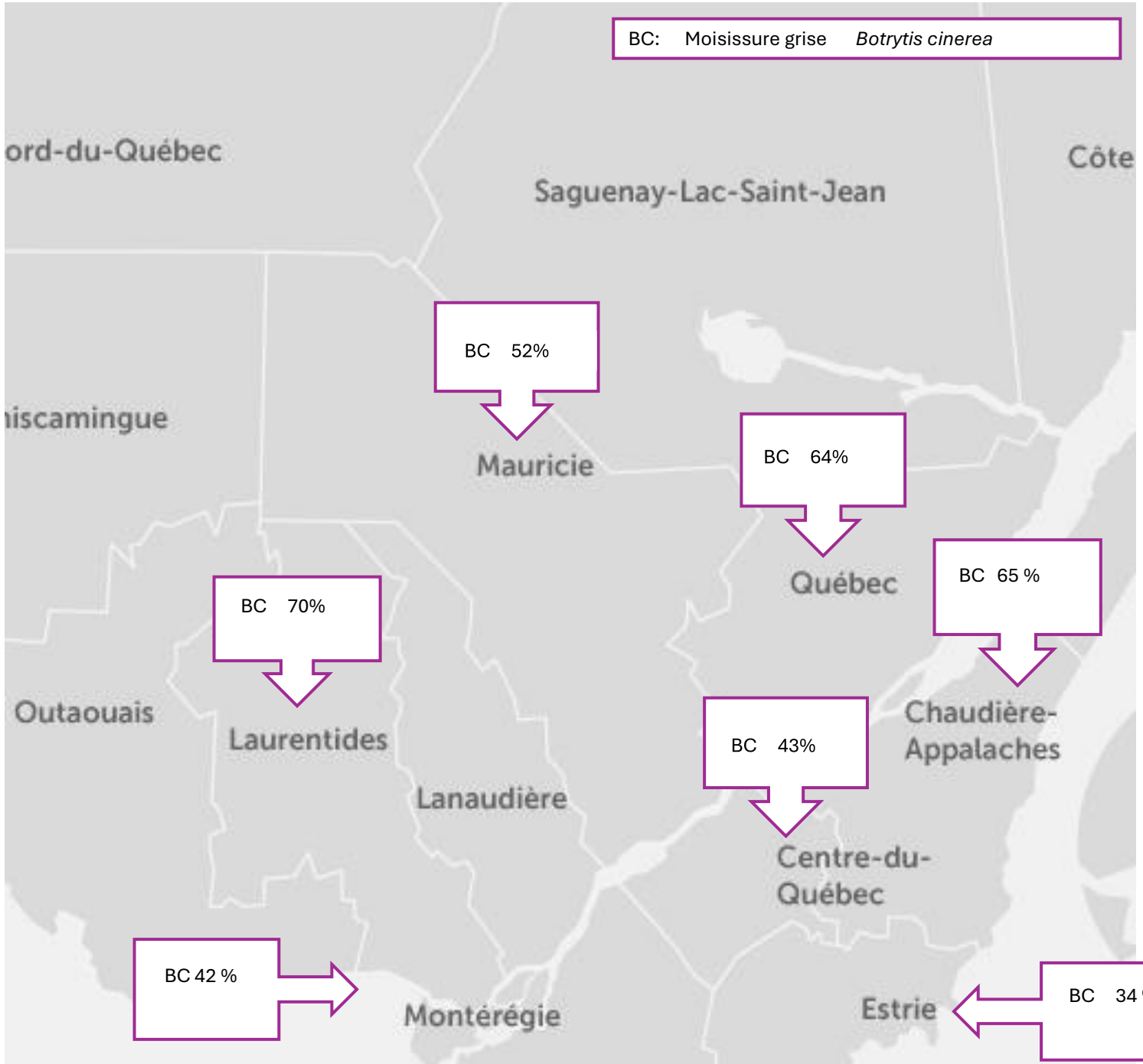
| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis cinerea (BC)* | Canada (QC) | 57% |
| | États-Unis (CA, NC, SC, WA) | s.o. |
| | Allemagne | s.o. |
| | Italie | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux KRIs dans la fraise

# Le Québec






Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux KRIs a été observée

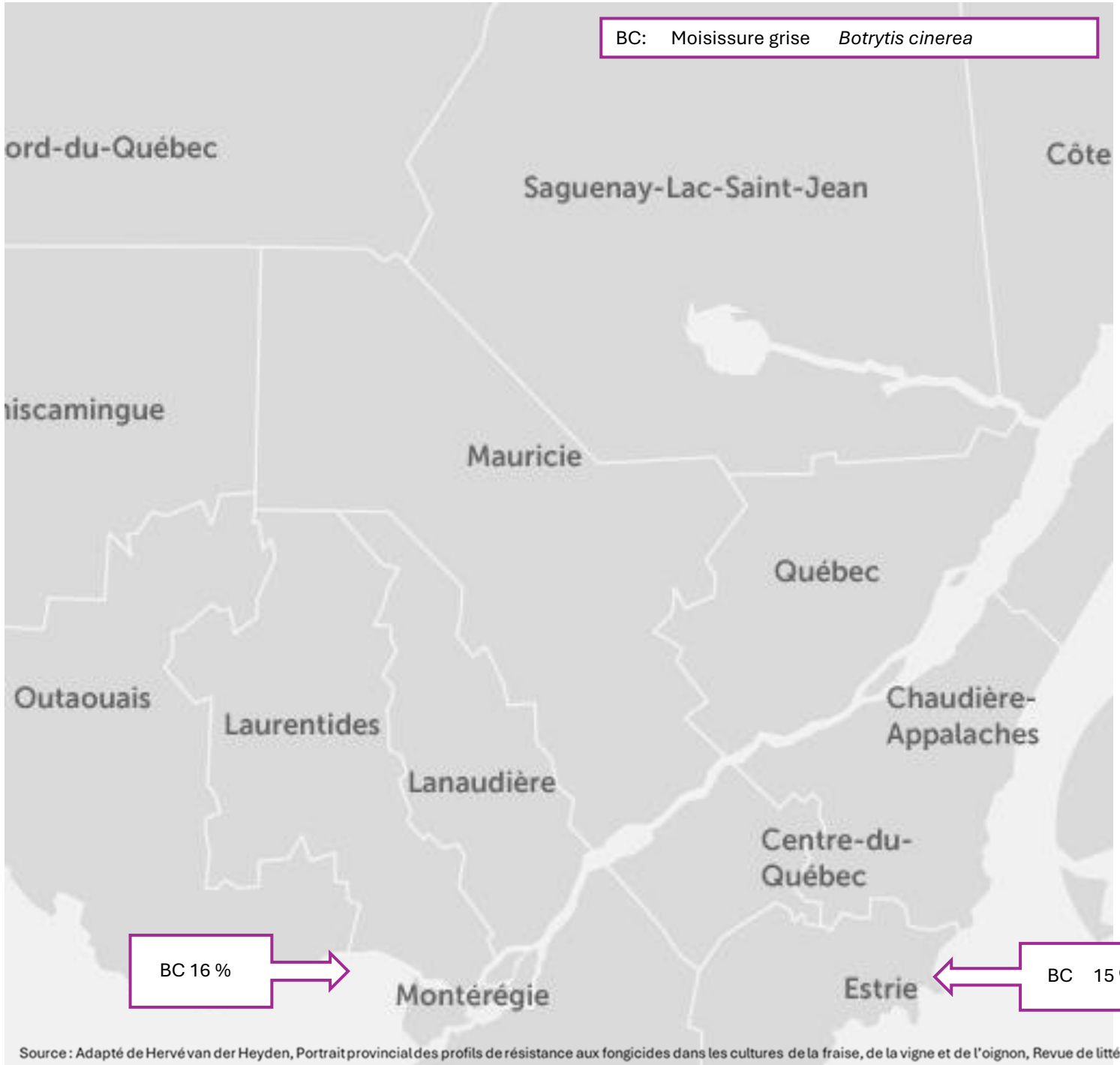
*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Botrytis cinerea (BC) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 16% |
| | États-Unis (CA, NC, SC, WA) | s.o. |
| | Allemagne | s.o. |
| | Italie | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux KRIs dans la vigne

# Le Québec




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# FRAC 2: Dicarboximides

- Principal mécanisme de développement de la résistance aux dicarboximides:
  - La modification de la cible
- Principales mutations conférant la résistance:
  - I365N
  - I365S
- Résistance croisée entre les fongicides du groupe

| Matière active | Fongicide commercial |
|---|---|
| Iprodione | Rovral |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux dicarboximides a été observée

- Fraise
- Vigne
- Oignon

# La fraise

## Les principaux agents phytopathogènes de la fraise pour lesquels de la résistance aux dicarboximides a été observée

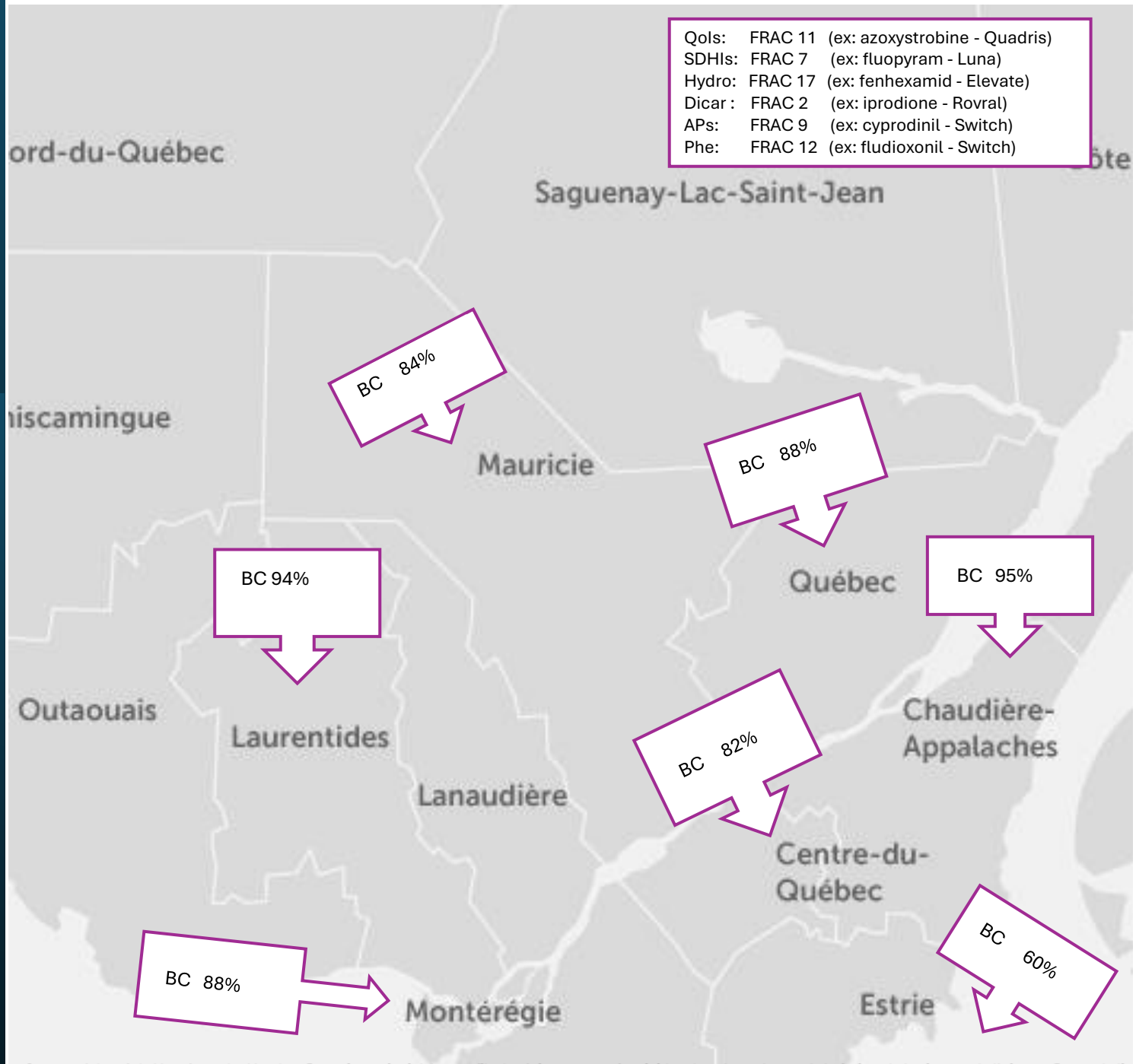
*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis cinerea* (BC) | Canada (QC) 2019-2021 | 60% à 95% |
| | États-Unis (CA, NC, SC, WA) | s.o. |
| | Europe - 2017, 2020 | s.o. |
| | Allemagne | s.o. |
| | Chine | s.o. |
| | | |
| | | |
| | | |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux dicarboxamides dans la fraise

# Le Québec




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux dicarboximides a été observée

*Botrytis cinerea* responsable de la **moisissure grise**

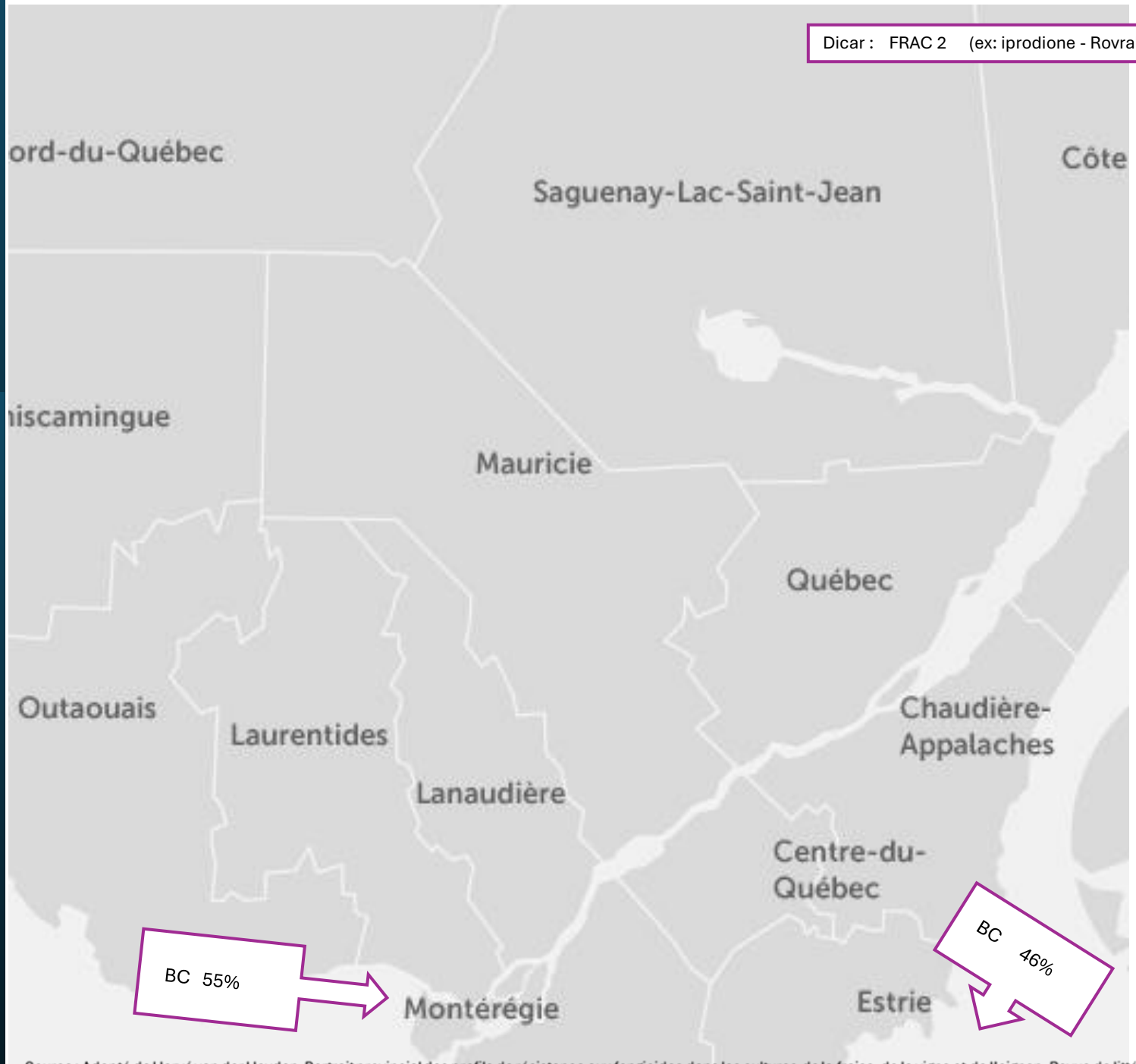
| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Botrytis cinerea (BC) | CAN (QC) – 2019 à 2021 | 46% - 55% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Résultats du portrait provincial de la résistance aux dicarboxamides dans la vigne

# Le Québec

Dicar : FRAC 2 (ex: iprodione - Rovral)




Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# L’oignon

## Les principaux agents phytopathogènes de l’oignon pour lesquels de la résistance aux dicarboxamides a été observée

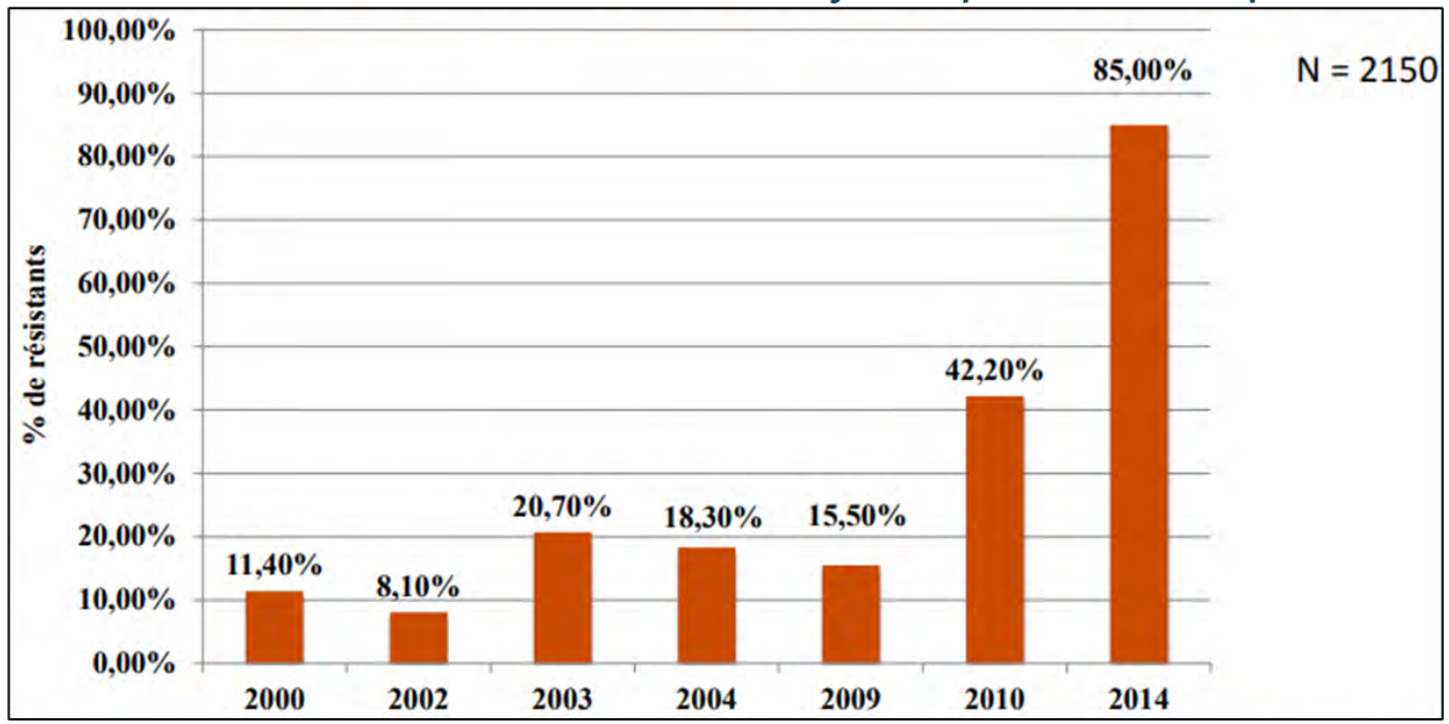
*Botrytis squamosa* responsable de la **brûlure de la feuille**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d’observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis squamosa* (BS) | CAN (QC) – 2014 | 85% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l’oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La brûlure de la feuille

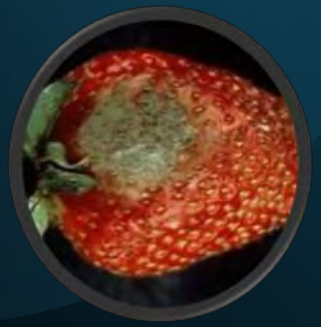
- Évolution de la résistance de *Botrytis squamosa* à l'iprodione

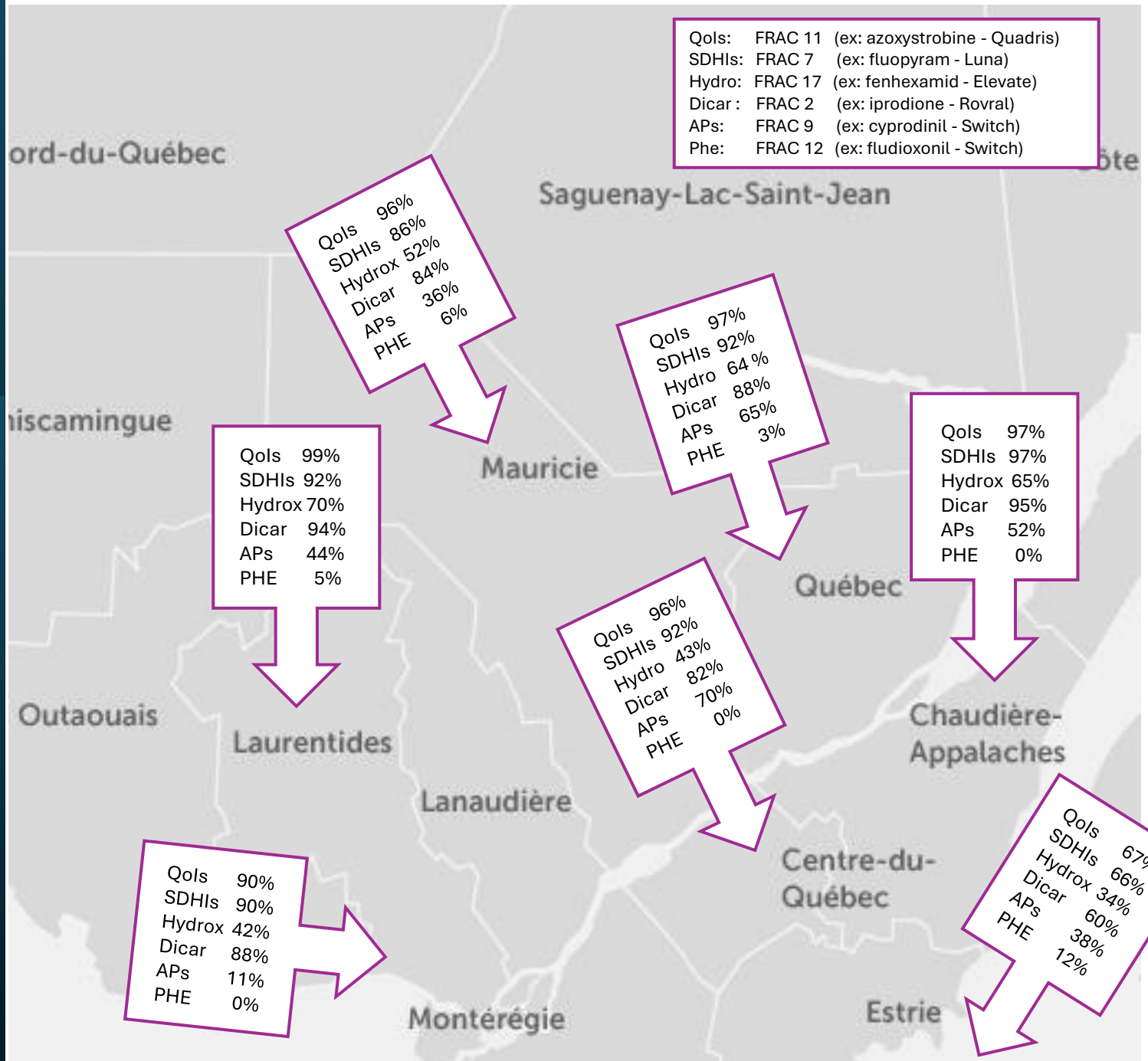



Source : Carisse et al., 2007, van der Heyden et al., 2014 ; H. van der Heyden et O. Carisse, La résistance en phytopathologie : état de la situation et stratégies d'atténuation, 2014.

Résultats du portrait provincial – Compilation pour la moissisure grise dans la fraise

# Le Québec






Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# FRAC 3:

## Inhibiteurs de la déméthylation (DMIs)

- Principal mécanisme de développement de la résistance aux Inhibiteurs de la déméthylation (inhibiteurs de la C-14 déméthylase):
  - Réduction de l'accumulation intracellulaire de fongicides grâce à une pompe à efflux;
  - Modification de la cible dans le gène cyp51;
  - Surexpression du gène cyp51;
- Principale mutation du gène cyp51 conférant la résistance:
  - Y136F
- Résistance croisée possible entre certains fongicides du groupe 3

| Matière active | Fongicide commercial |
|---|---|
| Difénoconazole | Quadris Top |
| Myclobutanil | Nova |
| Propiconazole | Tilt |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

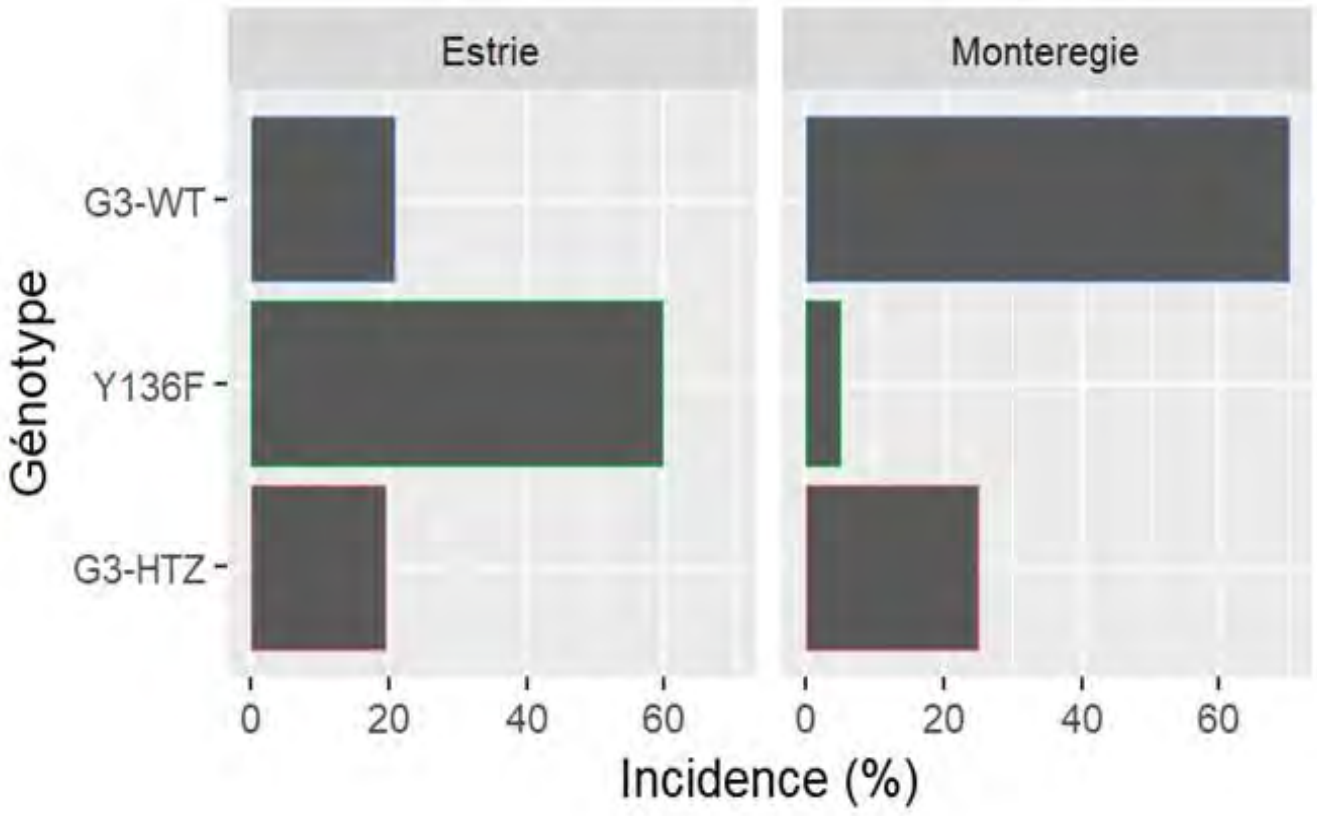
Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux DMIs a été observée

- Vigne
- Oignon
- Pomme

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux DMIs a été observée

La proportion des échantillons de la présente étude qui sont résistants est très variable entre les deux régions échantillonnées. En effet la proportion d'isolats résistants (Y136F) en Estrie est de 60% alors que cette proportion n'est que de 5% en Montérégie. La proportion d'isolats possédant les deux génotypes (G3-HTZ) est toutefois moins variable entre les régions, elle est de 19% en Estrie et de 25% en Montérégie respectivement.




Distribution des génotypes de résistance de E. necator par région. Le génotype Y136F est associé à une résistance aux fongicides du groupe 3, le génotype HTZ porte la mutation récessive sur une des deux allèles du gène, mais est sensible alors que le génotype G3-wt est sensible aux fongicides du groupe.

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# L'oignon

## Les principaux agents phytopathogènes de l'oignon pour lesquels de la résistance aux DMIs a été observée

*Botrytis squamosa* responsable de la **brûlure de la feuille**

| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| *Botrytis squamosa* (BS) | CAN (QC) – 2014 | Difénoconazole 80% |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La pomme

## Les principaux agents phytopathogènes de la pomme pour lesquels de la résistance aux DMIs a été observée

*Venturia inaequalis* responsable de la **tavelure de la pomme**

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Venturia inaequalis | CAN (QC) - 2014 | Myclobutanil 95% |
| | Europe 2011, 2016 | Myclobutanil |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# FRAC 40:
## Amides de l'acide carboxylique (CAA)

- Principal mécanisme de développement de la résistance aux amides de l'acide carboxylique (inhibiteurs de la cellulose synthase) :
  - La modification de la cible
- Principale mutation sur le gène conférant la résistance:
  - G1105S

| Matière active | Fongicide commercial |
|---|---|
| Mandipropamide | Revus<br>Orondis Ultra |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

Les principales cultures pour lesquelles de la résistance aux CAAs a été observée

- Vigne
- Pomme de terre

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux CAAs a été observée

*Plasmopara viticola* responsable du **mildiou de la vigne**

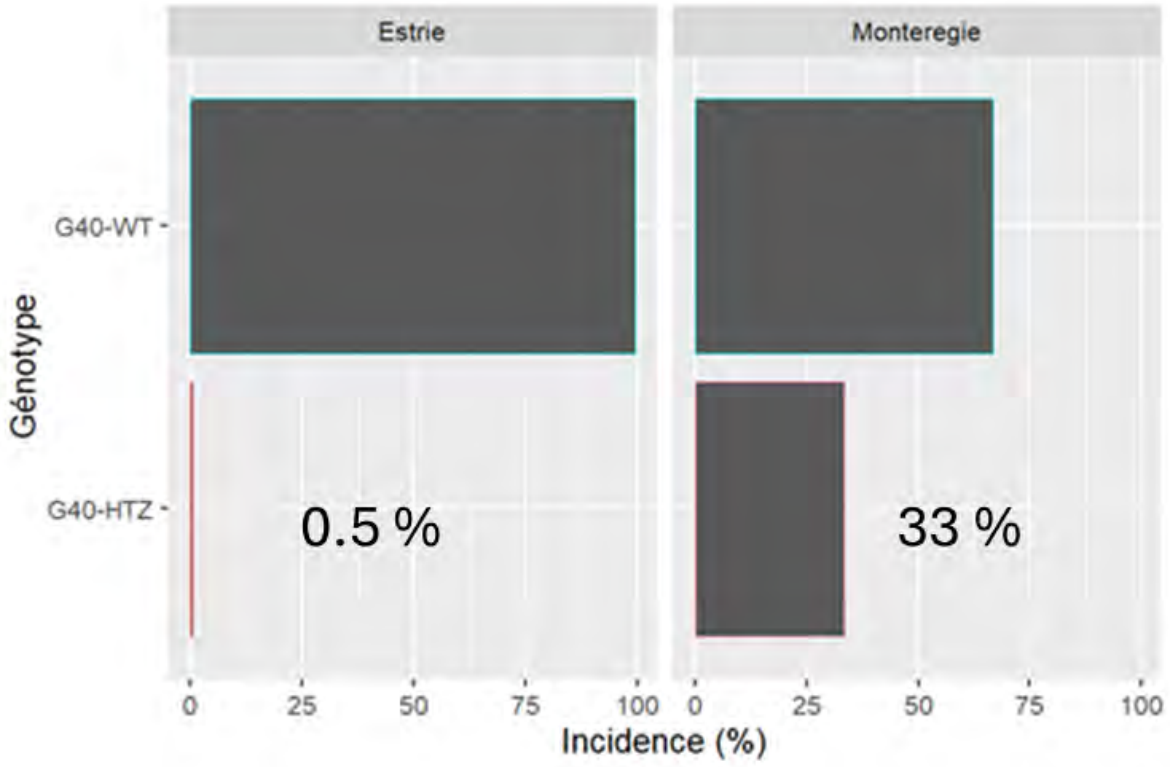
| Agent phytopathogène | Pays /Région – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Plasmopara viticola (PV) | CAN (QC) – 2020 à 2022 | 54% - 69% |
| | France - 2012 | 8% - 65% |
| | Inde - 2014 | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La vigne

## Les principaux agents phytopathogènes de la vigne pour lesquels de la résistance aux CAAs a été observée

La résistance aux amides de l'acide carboxylique (groupe G40) est pour sa part causée par la mutation G1105S localisée sur le gène cesA3. Pour ce gène, 271 des 320 isolats ont pu être caractérisés. Aucun échantillon de P. viticola du présent inventaire ne possédait de mutation à la position 1105. Toutefois 10,7% de ceux-ci étaient hétérozygotes (HTZ), donc porteurs de la mutation sur un des deux allèles. En Estrie, les hétérozygotes ne représentaient que 0.5% des échantillons prélevés alors qu'en Montérégie il s'agissait plutôt de 33%. Bien que la mutation soit récessive, la présence d'hétérozygotes dans la population démontre un potentiel pour le développement de la résistance aux CAAs.




Distribution des génotypes de résistance de *P. viticola* par région. Le génotype G1105S (pas représenté sur le graphique puisqu'il n'a pas été détecté parmi les échantillons traités) est associé à une résistance multiple aux fongicides du groupe 40, alors que les génotypes G40-wt et G40-HTZ sont sensibles aux fongicides du groupe

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# La pomme de terre

## Les principaux agents phytopathogènes de la pomme de terre pour lesquels de la résistance aux amides de l'acide carboxylique a été observée

*Phytophtora infestans* responsable du **mildiou de la pomme de terre**

| Agent phytopathogène | Pays (Région) – Année(s) d'observation | Pourcentage de résistance observé |
|---|---|---|
| Phytophtora infestans (PI) | États-Unis | s.o. |
| | Danemark | s.o. |

Source : Adapté de Hervé van der Heyden, Portrait provincial des profils de résistance aux fongicides dans les cultures de la fraise, de la vigne et de l'oignon, Revue de littérature, novembre 2020.

# Merci !

CRAAQ
Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

# Webinaire sur la résistance aux fongicides des champignons phytopathogènes

## Conférence : *État des lieux de la résistance au Québec*

**Anne Piuze-Paquet, M. Sc., professionnelle de recherche, phytodata inc.**

## Questions et réponses

**Question** : Si un vignoble est implanté voisin d'une fraisière, est-ce presque certain que les risques de résistance seront présents contre botrytis pour un fongicide commun aux 2 cultures?

**Réponse** : Botrytis se dispersant facilement de manière aérienne, il y a effectivement d'importants risques de dispersion d'individus résistants à une matière active qui serait utilisée dans les deux cultures. Il faut bien sûr qu'il s'agisse exactement du même agent phytopathogène (ex : *Botrytis cinerea*).

**Q** : Comment procéder si on veut faire tester la résistance dans son champ ?

**R** : Les demandes de tests de résistance peuvent être envoyées à labo@prisme.ca ou directement à apiuze@phytodata.ca.

**Q** : Règle du pouce: à quel % de résistance on peut justifier l'arrêt de l'utilisation d'une pulvérisation dans l'environnement d'une molécule? (% qui est tranchant malgré toutes les subtilités selon chaque cas)?

**R** : À ma connaissance, il n'y a pas de pourcentage de résistance comme tel justifiant l'arrêt de l'utilisation d'un fongicide. Cette décision peut dépendre à la fois du risque lié à l'agent pathogène ciblé, du risque lié à la matière active utilisée et de la résistance pratique observée au champ. Si de la résistance à un fongicide est soupçonnée, l'idéal est de confirmer cette hypothèse grâce à un test de résistance et, si de la résistance est détectée, de réduire au maximum l'utilisation du fongicide en question pour éviter de sélectionner davantage les individus résistants. Il est important de garder en tête que tout dépendamment de la matière active et de l'agent pathogène ciblé, la résistance peut s'installer rapidement et être irréversible.

**Commentaire** : Je crois aussi qu'il serait intéressant de mesurer le développement de la résistance du groupe 19 sur Botrytis, Colletotrichum et autre puisqu'il semble que les produits existants sont peu ou pas efficaces. Le coffre a outil est peu garni, les multisites sont retirés ou bien usage restreint et le manque d'alternative risque d'entraîner une hausse plus rapide de la résistance à ce groupe (19).

**Réponse** : Il serait effectivement très intéressant de se pencher sur la résistance au sel de zinc de la polyoxine D. De la résistance chez *Botrytis cinerea* a d'ailleurs été détectée ailleurs dans le monde. Des bio essais pourraient être tentés par Phytodata selon l'intérêt des producteurs.