

Rapport final réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert, Volet
11 – Appui à la Stratégie phytosanitaire

**Épidémiologie et validation d'un système prévisionnel des
risques de blanc (*Sphaerotheca macularis*) comme outil essentiel
à l'élaboration de stratégies de lutte raisonnée dans le fraisier à
jour neutre et conventionnel (*Fragaria x Ananassa*)**

NUMÉRO DU PROJET : IRDA-1-SSP-06-035

Réalisé par :
Carl Boivin, agr. M.Sc., IRDA
Julie Bouchard, agr., IRDA
Aline Germain, dta., IRDA

Avec la collaboration de
Jean Coulombe, agr., M.Sc. et Odile Carisse, Ph.D.

25 avril 2008

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport
émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le Ministère
de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Épidémiologie et validation d'un système prévisionnel des risques de blanc (*Sphaerotheca macularis*) comme outil essentiel à l'élaboration de stratégies de lutte raisonnée dans le fraisier à jour neutre et conventionnel (*Fragaria x Ananassa*)

Par Carl Boivin, Julie Bouchard et Aline Germain

Durée : 04/2006 – 03/2008

FAITS SAILLANTS

Ce projet s'articule autour de l'hypothèse suivante, à savoir que le manque de connaissances sur le blanc du fraisier et l'absence de système prévisionnel indispensable pour mener une lutte raisonnée contre cet agent pathogène, entraînent les producteurs à appliquer un nombre de traitements antifongiques supérieur à ce qui serait nécessaire.

Volet 1 - Stratégies d'intervention basées sur l'estimation des risques et l'efficacité des fongicides.

Aux sites localisés à l'île d'Orléans, celui avec le cultivar 'Darselect', le traitement où le Flint¹ et le Quintec étaient appliqués en alternance, la sévérité du blanc était significativement moins élevée, et ce, pour l'ensemble des échantillonnages. Pour le site implanté avec le cultivar 'Seascape', les résultats sont moins probants que pour celui implanté avec le cultivar 'Darselect'. Toutefois, le traitement T5, où le Flint était utilisé a permis d'observer une sévérité du blanc significativement moins élevée par rapport à d'autres traitements (T1, T2, T3, les 29 août et 7 septembre 2007) et ce, avec un nombre total d'applications inférieur (Tableau 3).

Au site de St-Charles-de-Bellechasse, le cultivar qui s'est avéré le plus sensible, en ce qui a trait à la sévérité du blanc présent sur les fruits est 'Darselect', suivi de 'Cavendish', de 'Kent' et de 'Jewel'. Aussi, les probabilités d'observer des cléistothèces² (Figures 6 et 7 de l'annexe 7) sur les feuilles de 'Jewel' sont plus élevées comparativement aux autres cultivars, tandis que le cultivar 'Kent' semble le plus tolérant (Tableau 5).

Volet 2 - Épidémiologie et modélisation

Les résultats obtenus avec le modèle de Gubler-Hoffman (Annexe 1) indiquent que ce dernier n'est pas approprié aux conditions du Québec. En effet, avec un nombre total d'application de fongicides supérieur ou égal à d'autres traitements, il n'a pas permis d'observer une sévérité du blanc significativement plus faible dans les parcelles où il était utilisé comme critère décisionnel.

En ce qui a trait à l'analyse par arbre de classification, celle-ci permet d'affirmer que la présence d'inoculum de blanc du fraisier dans l'air varie en fonction de plusieurs variables météorologiques telles l'humidité relative moyenne, la température moyenne et la température maximale et minimale quotidienne de l'air (Annexe 6).

¹ Le Flint et le Quintec sont des produits non-homologués pour le blanc du fraisier au Canada

² Structure de survie de l'agent fongique

TABLE DES MATIÈRES

1	MÉTHODOLOGIE ET OBJECTIFS	5
1.1	Dispositifs expérimentaux et traitements	5
1.2	Collecte des données	5
1.3	Objectifs	5
2	RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS – SAISON 2007	6
2.1	Stratégies d'intervention - Fraisiers conventionnels 'Darselect' (Ile d'Orléans) :	6
2.2	Stratégies d'intervention - Fraisiers à jour neutre 'Seascape' (Ile d'Orléans):	9
2.3	Stratégies d'intervention - Évaluation des cultivars (Saint-Charles-de-Bellechasse) :	10
2.4	Épidémiologie et modélisation :	11
2.4.1	Site 'Darselect'	11
2.4.2	Site 'Seascape'	11
2.4.3	Site de Deschambault (Résistance ontogénique).....	11
3	APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER	12
4	POINT DE CONTACT POUR INFORMATION	12
5	AUTRES TRAVAUX / RÉFÉRENCES SUR LE MÊME SUJET	12
6	REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS	12
7	RÉFÉRENCES	13

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	14
ANNEXE 2	15
ANNEXE 3	16
ANNEXE 4	17
ANNEXE 5	18
ANNEXE 6	19
ANNEXE 7	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1. A, Température moyenne entre 6h et 20h; B, humidité relative de l'air au niveau du couvert végétal; et C, précipitations au site 'Seascape' à l'Ile d'Orléans; D, concentration en conidie dans l'air au site du cultivar 'Darselect' (I.O.); et E, au site 'Seascape'(I.O.) en 2007.	8
Figure 2. Capteur de spore.	20
Figure 3. Spores de blanc, tels que vue au microscope.	20
Figure 4. Symptôme du blanc du fraisier – Enroulement des feuilles.	21
Figure 5. Symptôme du blanc du fraisier – Tâches pourpres sur le feuillage.	21
Figure 6. Cléistothèces à la face inférieure d'une feuille de fraisier.	22
Figure 7. Grossissement de la zone encadrée en rouge à la figure 6.	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Description des traitements et nombre d'application pour le site 'Darselect'	6
Tableau 2. Fréquences observées selon la cote de sévérité par traitement pour le site 'Darselect'.	6
Tableau 3. Description des traitements et nombre d'application pour le site 'Seascape'.	9
Tableau 4. Fréquences observées par traitement selon la cote de sévérité pour le site 'Seascape'.	9
Tableau 5. Somme des fréquences observées de cléistothèces en 2006 et pourcentage moyen des fruits avec présence de blanc en 2007 pour 4 cultivars.	10

1 MÉTHODOLOGIE ET OBJECTIFS

1.1 Dispositifs expérimentaux et traitements

Deux sites étaient localisés à l'Ile d'Orléans, soit un premier implanté avec un cultivar de fraisier conventionnel ('Darselect') et un second à jour neutre ('Seascape'). Les six traitements à l'étude étaient disposés en blocs complets aléatoires et sont détaillés à l'annexe 2.

En ce qui a trait au site de Saint-Charles-de-Bellechasse, les deux traitements phytosanitaires et les quatre cultivars étaient disposés dans un plan en tiroir répété quatre fois. Les traitements phytosanitaires, soit T1 (aucun traitement) et T2 (avec traitement) étaient en parcelles principales et les cultivars 'Jewel', 'Cavendish', 'Kent' et 'Darselect' étaient disposés en sous parcelles.

Enfin, le site implanté à Deschambault était composé des cultivars 'Seascape' et 'Jewel'. Ce site a été utilisé pour vérifier la résistance ontogénique de ces deux cultivars (Annexe 3).

1.2 Collecte des données

Pour les sites localisés à l'Ile d'Orléans, la T°, l'HR de l'air au niveau du couvert végétal et la pluviométrie étaient mesurées en continu de mai à septembre. Aussi, le nombre de conidies³ par mètre cube d'air était mesuré trois fois par semaine avec un capteur de spores (Figure 2 de l'annexe 7). De plus, la sévérité de la maladie a été observée sur les feuilles dès l'apparition des symptômes et des signes, et ce, à quatre reprises pour le site 'Darselect' (3, 10, 17 et 24 juillet 2007) et à sept reprises pour le site 'Seascape' (30 juillet, 9, 16, 21 et 29 août, 7 et 12 septembre 2007). Enfin la sévérité de la maladie sur les feuilles était quantifiée avec des cotes⁴ (0 à 5) correspondant à un pourcentage de recouvrement par le blanc de la face inférieure des jeunes feuilles nouvellement matures.

En ce qui a trait au site de St-Charles-de-Bellechasse, l'incidence des cléistothèces (présence ou absence) sur la surface inférieure et supérieure des feuilles a été notée le 21 septembre 2006 et l'incidence du blanc (présence ou absence) sur les fruits des quatre cultivars, les 11 et 16 juillet 2007. Ces observations ont été faites visuellement.

Les données recueillies ont été analysées statistiquement avec la procédure GLIMMIX de SAS et à l'aide du logiciel DTREG (Version 6.0).

1.3 Objectifs

- 1) Validation et raffinement d'un système prévisionnel des risques d'épidémie du blanc dans la fraise par l'application de stratégies d'intervention appropriées, basées sur des indices de risque (présence de spores dans l'air et données météorologiques).
- 2) L'évaluation du niveau de sensibilité au blanc de différents cultivars de fraisiers conventionnels.
- 3) Détermination de la sensibilité des feuilles et des fraises au blanc selon leur âge (résistance ontogénique).

³ Spores assurant la reproduction du champignon

⁴ Pourcentages associés aux cotes de sévérité : 0 : < 0% 1 :]0-10%] 2 :]10-25%] 3 :]25-50%] 4 :]50-75%] 5 : > 75%

2 RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS – SAISON 2007

2.1 Stratégies d'intervention - Fraisières conventionnelles 'Darselect' (Ile d'Orléans) :

Le nombre d'application de fongicides a varié de quatre à sept (Tableau 1) (voir aussi Annexe 4). Le T1 et le T2 consistaient en une alternance de Nova⁵ et de Pristine⁶, avec une application de Kumulus⁷ en début de saison décalée dans le temps et le T3 était représentatif d'un programme utilisé par le producteur. Hormis avec le T5, aucune différence significative n'a été observée pour la sévérité du blanc entre les traitements. En effet, le T5 (Flint⁸ et Quintec⁹ en alternance) a permis d'observer une sévérité du blanc significativement moins élevée pour les quatre dates d'échantillonnage. Cela signifie que la sévérité de la maladie observée sur les feuilles du T5 correspondait davantage aux cotes 0, 1 et 2, soit inférieure à 25% de recouvrement de la feuille par le blanc, tandis que les cotes 3, 4 et 5 (>25%) ont été observées plus fréquemment avec les autres traitements (Tableau 2). **Par ailleurs, le Quintec et le Flint ne sont pas homologués au Canada.** Le T6 était basé sur le modèle de Gubler-Hoffman (Annexe 1), qui tient compte de la température de l'air (indicateur de risque) comme critère décisionnel pour effectuer une application de fongicides.

Tableau 1. Description des traitements et nombre d'application pour le site 'Darselect'.

Description des traitements	Application (nb)
T1 Soufre au stade 2 feuilles déployées (26 mai) et programme du T3	5
T2 Soufre le 7 juin et programme du T3	7
T3 Nova et Pristine en alternance à partir du 18 juin	4
T4 Pristine le 7 juin suivi de Nova, Pristine, Quintec et Flint	5
T5 Flint et Quintec en alternance à partir du 7 juin	5
T6 Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et modèle de Gubler-Hoffman	6

Tableau 2. Fréquences observées selon la cote de sévérité par traitement pour le site 'Darselect'.

Dates	Trait.	Cotes						Cotes						
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
		< 25%			> 25%			< 25%			> 25%			
3 juillet	T1	0	1	3	15	16	5	17 juillet	0	0	9	17	13	1
	T2	0	5	10	11	6	8		0	4	9	14	12	1
	T3	0	2	4	7	11	16		0	0	10	14	11	5
	T4	0	1	1	10	12	16		0	1	16	15	6	2
	T5	1	24	12	3	0	0		0	27	13	0	0	0
	T6	0	1	2	8	12	17		0	0	11	13	15	1
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	
10 juillet	T1	0	0	16	16	7	1	24 juillet	0	2	11	18	7	2
	T2	0	6	16	12	5	1		0	4	9	16	8	3
	T3	0	4	12	8	13	3		0	5	10	14	11	0
	T4	0	2	10	14	8	6		0	5	22	10	3	0
	T5	0	25	13	1	1	0		0	22	16	2	0	0
	T6	0	0	3	10	17	10		0	3	12	17	8	0

⁵ Nova 40W™ (Myclobutanil)

⁶ Pristine WG™ (Boscalide, Pyraclostrobine)

⁷ Kumulus DF™ (Soufre)

⁸ Flint 50WG™ (Trifloxystrobine) – **Produit non homologué au Canada (prévu pour automne 2008)**

⁹ Quintec (Quinoxifen) - **Produit homologué contre le blanc du fraisier aux États-Unis**

En 2006, même s'il y avait absence de résultats significativement différents entre les traitements, ces derniers ont permis de contrôler le blanc à un niveau acceptable. Cette absence de différence soulève un questionnement à propos de la pertinence de traiter tôt en saison. En effet, les traitements effectués tôt en saison n'ont pas permis d'obtenir un meilleur contrôle, fait également observé en 2007. Toutefois, la sévérité du blanc a été plus élevée que la saison précédente, mais probablement conséquent au changement de cultivar. En effet, en 2006 les essais portaient sur le cultivar 'Jewel', tandis qu'en 2007, ils portaient sur le cultivar 'Darselect'. Ce changement de cultivar était motivé par le fait que ce dernier est réputé être plus sensible au blanc, donc plus utile pour les essais. En ce qui a trait à l'efficacité du T5, il est probablement attribuable à l'efficacité des produits utilisés (Quintec et Flint). **Ces produits n'étant pas homologués au Canada**, le risque d'observer de la résistance est moindre.

À titre informatif, la littérature indique que le développement du blanc est lié à la sensibilité du cultivar et aux conditions climatiques. Selon Maas, 1992, un temps sec et des températures entre 15 et 25 °C sont favorables à la formation de conidies. Alors que la température et l'humidité relative de l'air optimale pour la germination de ces conidies varient un peu selon la source. En effet, entre 18 et 22,5 °C avec une humidité relative de près de 100% (Peries 1962), entre 22 et 27 °C (Miller et coll. 2003) et entre 15 et 25 °C avec une humidité relative entre 75 à 97 %, selon Amsalem et coll. 2006. La température et l'humidité relative de l'air mesurées au niveau du couvert végétal au site 'Seascape' (I.O.), sont présentées aux figures 1A et 1B. De plus, l'eau libre sur la feuille inhiberait la croissance et la germination des conidies (Jhooty et McKeen 1965). En ce sens, la pluviométrie mesurée au site 'Seascape' (I.O.) est présentée à la figure 1C. Ces données ont été analysées selon une approche par arbre de classification (voir 2.4.2).

La quantité de conidies présentes dans l'air au site 'Darselect' (I.O.) a été mesurée et est présenté à la figure 1D. Trois niveaux sont utilisés pour quantifier la présence d'inoculum dans l'air, soit « bas » lorsqu'inférieur à 200, « moyen » entre 200 et 600 et « élevé » lorsque supérieur à 600. Le niveau d'inoculum est généralement élevé de la mi-juin à la mi-juillet. Selon Vukovits 1980, citée dans Viret, Ancay et Terretaz 1998, la source d'infestation primaire pourrait être attribuable aux ascospores libérés par les cléistothèces. Ce qui pourrait expliquer les hauts niveaux d'infestation mesurés dans ce cultivar de type conventionnel versus celui à jour neutre 'Seascape' (Figure 1E). Toutefois, cet auteur semble être le seul à mentionner cette source d'inoculum. En effet, selon Viret, Ancay et Terretaz 1998, la démonstration du rôle des cléistothèces comme source d'infection primaire n'a jamais été prouvée. Aussi, selon Duhart et coll. 1999 cité dans Blanco et coll. 2004, 22 % des plants provenant de pépinière étaient infestés et représentaient alors une source d'infestation primaire.

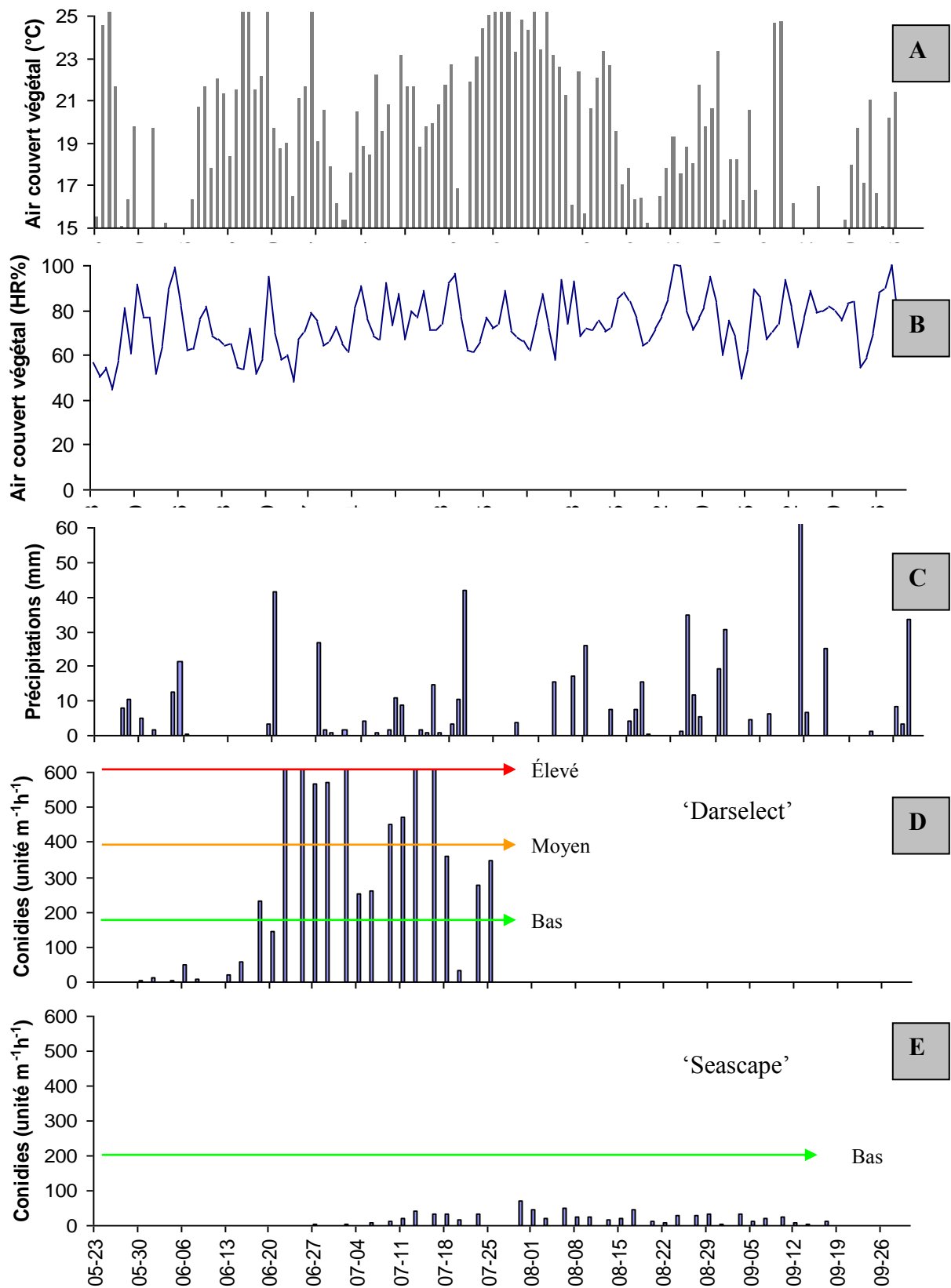


Figure 1. A, Température moyenne entre 6h et 20h; B, humidité relative de l'air au niveau du couvert végétal; et C, précipitations au site 'Seascape' à l'Ile d'Orléans; D, concentration en conidie dans l'air au site du cultivar 'Darselect' (I.O.); et E, au site 'Seascape'(I.O.) en 2007.

2.2 Stratégies d'intervention - Fraisiers à jour neutre 'Seascape' (Ile d'Orléans):

Les fraisiers à jour neutre ont reçu de cinq à huit applications de fongicides durant la saison 2007 (Tableau 3). Les premières différences significatives, observées sur les plants, entre les différentes stratégies d'intervention utilisées, ont été observées le 9 août. Toutefois, pour l'ensemble des dates d'observation, la sévérité du blanc observé entre les trois premiers traitements était semblable, et ce, même si le T3 a reçu deux applications de moins que le T1 et T2. Globalement, la sévérité du blanc était plus basse avec les T4, T5 et T6 comparativement aux T1, T2 et T3. Toutefois, c'est avec le T5 que la sévérité du blanc était généralement la plus basse. En effet, à partir du 9 août la sévérité du blanc observé avec le T5 était moins élevée que pour T1, T2 et T3 ($p < 0,05$). Dans le même sens, le T5 était meilleur que le T4 du 9 août au 29 août ($p < 0,05$) et que le T6 le 16 et 21 août ($p < 0,05$). Voir aussi la section 2.4.2 qui porte sur l'épidémiologie et la modélisation.

Par ailleurs, en 2006 aucun des traitements n'avait permis de contrôler efficacement le blanc à partir du 24 août où la sévérité observée était élevée dans chacun des traitements. Toutefois, le Flint et le Quintec n'étaient pas utilisés la saison dernière.

Tableau 3. Description des traitements et nombre d'application pour le site 'Seascape'.

Description des traitements		Application (nb)
T1	Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et programme du T3	8
T2	Soufre le 14 juin et programme du T3	8
T3	Nova et Pristine en alternance à partir du 23 juin	6
T4	Quintec à partir du 12 juillet	5
T5	Flint à partir du 12 juillet	5
T6	Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et modèle de Gubler avec Quintec/Flint à partir du 1 ^{er} août	8

Tableau 4. Fréquences observées par traitement selon la cote de sévérité pour le site 'Seascape'.

Dates	Trait	Cotes						Cotes						Cotes							
		0	1	2	3	4		5	0	1	2	3		4	5	0	1	2	3	4	5
		< 25%		> 25%				< 25%		> 25%				< 25%		> 25%					
30 juillet	T1	0	14	16	10	0	0	16 août	0	22	12	6	0	0	29 août	0	8	14	12	5	1
	T2	0	7	15	12	5	1		0	19	14	6	1	0		0	3	15	16	5	1
	T3	0	5	12	19	4	0		0	11	15	10	4	0		0	6	15	12	7	0
	T4	0	9	11	11	7	2		0	26	10	3	1	0		0	16	14	10	0	0
	T5	0	20	14	6	0	0		1	35	4	0	0	0		0	33	6	1	0	0
	T6	0	10	13	13	4	0		1	32	7	0	0	0		0	25	11	1	3	0
		0	1	2	3	4	5		0	1	2	3	4	5		0	1	2	3	4	5
9 août	T1	0	20	16	4	0	0	21 août	0	20	14	6	0	0	7 septembre	0	17	13	9	1	0
	T2	0	18	14	7	1	0		0	19	15	5	1	0		0	14	16	7	3	0
	T3	0	25	13	2	0	0		0	16	18	6	0	0		0	15	14	7	4	0
	T4	0	19	14	5	2	0		1	21	13	5	0	0		0	24	11	4	1	0
	T5	0	32	8	0	0	0		0	38	2	0	0	0		0	32	7	1	0	0
	T6	0	25	11	4	0	0		0	29	11	0	0	0		1	23	11	2	2	1

2.3 Stratégies d'intervention - Évaluation des cultivars (Saint-Charles-de-Bellechasse) :

Lorsque comparées entre elles, les parcelles traitées (T2) et celles témoins (T1), la somme des fréquences observées de cléistothèces à l'automne 2006 n'est pas significativement différente, tout cultivar confondu (Tableau 5). Toutefois, il y a une différence entre certains cultivars ($p=0,0003$). En effet, l'incidence la moins élevée a été observée avec 'Kent' et 'Darselect'.

Tableau 5. Somme des fréquences observées de cléistothèces en 2006 et pourcentage moyen des fruits avec présence de blanc en 2007 pour 4 cultivars.

Traitements	Cultivars	Cléistothèces 2006 (fréquence observée)	Fruits avec blanc 2007 (% moyen)
T1 (aucun traitement)	Jewel	21	5,5
	Darselect	10	22,7
	Cavendish	13	21,0
	Kent	8	20,3
T2 (protection complète contre le blanc)	Jewel	10	11,0
	Darselect	3	41,5
	Cavendish	6	24,0
	Kent	3	22,3

La probabilité d'observer du blanc à l'été 2007 sur les fruits du cultivar 'Jewel' est très faible par rapport aux autres cultivars pour le T1 (Tableau 5). De plus, le risque d'observer du blanc sur les fruits de 'Jewel' est environ deux fois moins élevé que pour 'Cavendish' et 'Kent' et quatre fois moins élevé que 'Darselect' pour le T2 (Tableau 5). À partir des résultats obtenus, il est difficile de déterminer l'impact de l'incidence des cléistothèces observés à l'automne 2006 sur le développement du blanc sur les fruits en 2007. En effet, il pourrait exister une différence de sensibilité au blanc entre les différentes parties du plant. Ainsi, une fraise mûre pourrait être beaucoup moins sensible qu'une jeune feuille. Toutefois, cette explication demeure une hypothèse. Enfin, tel que rapporté par Viret, Ancay et Terrettaz 1998, le rôle des cléistothèces comme source d'infection n'a jamais été démontré.

2.4 Épidémiologie et modélisation :

2.4.1 Site 'Darselect'

Maintenant, à savoir si le système prévisionnel du blanc du fraisier de Gubler-Hoffman (Annexe 1) est efficace sous les conditions où il a été testé, les résultats observés pour le T6 du site 'Darselect' (Tableaux 1 et 2) indiquent que non. Dans les parcelles où il était utilisé comme critère décisionnel, la sévérité du blanc n'a pas diminué de façon significative en plus d'avoir généré un nombre d'application de fongicides supérieur ou égale à d'autres traitements (Tableau 3). La fréquence des cotes d'intensité 3, 4 et 5 étant plus élevée pour les autres traitements que pour le traitement T5 (Tableau 2).

2.4.2 Site 'Seascape'

Les fongicides utilisés pour les traitements T1 à T3 étaient le Kumulus, le Nova et le Pristine. Comparée aux T2 et T3, l'intensité du blanc observée les 16 et 21 août dans le T6 était plus faible ($p=0,0237$ et $0,0011$) ainsi que pour le 29 août, comparativement aux T1 à T3 ($p=0,0027$, $0,0005$ et $0,0013$). Aussi, la fréquence des cotes d'intensité élevée (3 à 5) du T6 était nulle ou très faible pour les 6 dates d'échantillonnages (Tableau 4). Cependant, les fongicides utilisés étaient différents de ceux du T6 pour le site 'Darselect' (Flint et Quintec). Conséquemment, il est probable que la différence observée soit attribuable à l'efficacité des fongicides utilisés, voir même à la sensibilité différente des cultivars.

Il est possible que le modèle de Gubler-Hoffman, basé uniquement sur la température de l'air, ne permette pas de prédire correctement la présence des spores du blanc dans l'air. L'analyse par arbre de classification a permis d'établir la base d'un système prévisionnel pour l'inoculum du blanc du fraisier dans la région de Québec à partir d'un ensemble de données météo (température, humidité relative (HR), précipitations). Une variable cible (la concentration de spores dans l'air) peut être prédite en utilisant des variables de prédiction (météorologiques). L'arbre de classification est construit sur une base binaire, c'est-à-dire qu'un embranchement mère est divisé en deux groupes (embranchements filles), et ainsi de suite pour chacun des embranchements filles. Ainsi, les variables météo ayant un fort impact sur la concentration des spores de blanc sont l'humidité relative moyenne, la température moyenne et les températures maximale et minimale quotidiennes. L'annexe 6 présente l'arbre de classification complet. Par exemple, pour une journée donnée si, l'HR moyenne était $> 70\%$, que la température maximale était $> 19^{\circ}\text{C}$ et que la température minimale était $\leq 12^{\circ}\text{C}$, les risques d'avoir une grande concentration de spores dans l'air (CAT 3) étaient élevés.

2.4.3 Site de Deschambault (Résistance ontogénique)

L'objectif poursuivi pour ce site était de déterminer la sensibilité des feuilles de fraisiers conventionnels et à jour neutre en fonction de leur âge. L'information acquise sur la résistance ontogénique des fraisiers aurait été utilisée afin de définir des fenêtres d'intervention contre le blanc. L'inoculation artificielle en champ (Annexe 3) s'est avérée plus difficile que prévu. Aussi, en plus des inoculations qui n'ont pas permis d'obtenir des résultats satisfaisants, plusieurs fraisiers ont été infectés par la verticilliose (*Verticillium* spp.).

3 APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

L'étude de l'épidémiologie du blanc permet d'affirmer qu'un système prévisionnel n'utilisant que la température comme variable afin de comprendre l'évolution de la maladie n'est pas complet (modèle Gubler-Hoffman). En effet, l'indice de risque maximal (100) a été atteint dès le début juin, la température ne peut être la seule variable discriminante par rapport à la quantité de spores de blanc dans l'air. Ainsi, le modèle de Gubler-Hoffman n'est pas applicable comme tel dans les conditions de la région de Québec. Dans chacun des systèmes prévisionnels existants, quelques-unes des constantes observées afin de prédire l'évolution d'une maladie par le développement de son pathogène sont: l'utilisation de plusieurs variables météorologiques, la sensibilité des cultivars de la plante hôte et le stade phénologique de celle-ci. Bien que le blanc peut être contrôlé par des fongicides appliqués de façon régulière, ils ne sont pas nécessaires si les conditions environnementales ne sont pas favorables au développement de la maladie et si la quantité de spores dans l'air (inoculum) est absente ou est présente en faible quantité. Bien que l'analyse par arbre de classification reste une étude exploratoire puisqu'elle n'a jamais été utilisée à cette fin, elle pourrait permettre d'améliorer les outils disponibles aux producteurs et aux conseillers pour une bonne gestion du blanc. D'autres études seront nécessaires afin d'améliorer ce système prévisionnel en ajoutant plus de variables telles que la vitesse du vent ou la durée et l'intensité de la lumière.

Pour ce qui est des stratégies d'intervention, les résultats démontrent une bonne efficacité de nouveaux produits tels que le Flint et le Quintec. Par contre, ces produits ne sont pas encore disponibles aux producteurs puisqu'ils sont en voie d'homologation au Canada. Les résultats concernant le développement du blanc suite à des applications de Soufre, de Nova et de Pristine démontrent une baisse probable d'efficacité, du moins dans la région de Québec.

4 POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Nom du responsable du projet : Carl Boivin

Téléphone : 418 646-2931

Télécopieur : 418 644 6855

Courriel : carl.boivin@irda.qc.ca

5 AUTRES TRAVAUX / RÉFÉRENCES SUR LE MÊME SUJET

- Coulombe, J. 2008. Développement de stratégies d'intervention contre le blanc du fraisier, basées sur l'estimation des risques et l'efficacité des fongicides. Rapport d'étape DS6078.
- Carisse, O. 2008. Évaluation de systèmes prévisionnels comme outils de gestion des fongicides dans la lutte contre le blanc du fraisier. Rapport annuel PRR06-080, AAC.

6 REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert, volet 11 - Appui à la Stratégie phytosanitaire avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Les auteurs tiennent à remercier les propriétaires de la Polyculture Plante inc., de la Ferme Onésime Pouliot inc. et de la Ferme Harold Beaupré. Nos remerciements s'adressent également aux compagnies Bayer CropScience, Dow AgroSciences, EngageAgro et Syngenta qui ont fourni les produits phytosanitaires utilisés dans ces essais. Des remerciements vont également à Madame Stéphanie Tellier du MAPAQ, Messieurs Patrice Thibault du RLIO, Denis Giroux du RLIB et Luc Urbain du MAPAQ pour leur aide dans la préparation des projets et/ou l'aide sur le terrain.

7 RÉFÉRENCES

Amsalem, L., Freeman, S., Rav-David, D., Nitzani, Y., Szejnberg, A., Pertot, I., et Elad, Y. 2006. Effect of climatic factors on powdery mildew caused by *Sphaerotheca macularis* f. sp. *fragariae* on strawberry. *European Journal of Plant Pathology* 114: 283-292.

Blanco, C., de los Santos, B., Barrau, C., Arroyo, F. T., Porras, M., et Romero, F. 2004. Relationship among concentrations of *Sphaerotheca macularis* conidia in the air, environmental conditions, and the incidence of powdery mildew in strawberry. *Plant Disease* 88: 878-881.

Duhart, M.E., Montes, F., Paez, J.I., et Vega, J.M. 1999. El Oidio de la fresa en Huelva, *Phytoma Espana* 109 :28-38.

Jhooty, J. S., et McKeen, W. E. 1965. Studies on powdery mildew of strawberry caused by *Sphaerotheca macularis*. *Phytopathology* 55: 281-285.

Maas, J. L. 1998. Compendium of strawberry diseases. The American Phytopathological Society. St Paul, MN. 138 p.

Miller, T. C., Gubler, W. D., Geng, S., et Rizzo, D. M. 2003. Effects of temperature and water vapor pressure on conidial germination and lesion expansion of *Sphaerotheca macularis* f. sp. *fragariae*. *Plant Disease* 87: 484-492.

Peries, O. S. 1962a. Studies on strawberry mildew, caused by *Sphaerotheca macularis* (Wallr. ex. Fries) Jaczewski. I. Biology of the fungus. *Annals of Applied Biology* 50: 211-224.

Viret, O., Ancay, A., et Terrettaz, C. 1998. Oïdium du fraisier [*Sphaerotheca aphanis* (Wallr.) U.Braun]: incidence des traitements d'automne sur la production et la qualité sanitaire des fruits. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture* 30: 265-269.

Vukovits, G. *Obstkrankheiten, Erkennung, Ursachen und Bekämpfung, Teil IV, Beerenobst*, Leopold Stocker Verlag, Graz und Stuttgart, 127 p.

ANNEXE 1

Fonctionnement du modèle de Gubler-Hoffman :

Selon le modèle de Gubler, une épidémie de blanc peut commencer s'il y a 3 jours consécutifs où l'on enregistre 4 heures consécutives ou plus de températures entre 18 et 27 °C dans le couvert végétal. Pour recommander le moment des applications et les produits phytosanitaires appropriés, l'indice de risque est estimé de la façon suivante :

Démarrage de l'indice.

1. En commençant avec l'indice 0 pour la première journée où on enregistre 4 heures ou plus d'affilée de températures entre 18 et 27 °C, ajouter 20 points pour chaque journée supplémentaire avec 4 heures ou plus d'affilée de températures entre 18 et 27°C.
2. Dans le cas où, avant d'atteindre l'indice 60, on enregistre une journée où les températures situées entre 18 et 27 °C durent moins de 4 heures, il faut remettre l'indice à 0 et recommencer.
3. Si l'indice atteint 60, l'épidémie est démarrée. Il faut commencer le programme de traitements en fonction de l'indice.

Programme de traitements.

Dès le lendemain du jour où l'on a atteint 60 points, il faut évaluer les températures sur une base quotidienne durant toute la saison et ajuster l'indice en fonction des règles suivantes :

- Si l'indice est déjà à 100, on ne peut ajouter de points.
 - Si l'indice est déjà à 0, on ne peut soustraire de points.
 - Vous ne pouvez pas ajouter plus de 20 points par jour.
 - Vous ne pouvez pas soustraire plus de 10 points par jour.
1. S'il survient une journée où l'on enregistre moins de 4 heures d'affilée à des températures entre 18 et 27 °C, soustraire 10 points.
 2. S'il survient une journée où l'on enregistre 4 heures d'affilée ou plus à des températures entre 18 et 27 °C, ajouter 20 points.
 3. Si les températures atteignent 34,9 °C durant plus de 15 minutes, soustraire 10 points.
 4. S'il y a 4 heures d'affilée ou plus de températures situées entre 18 et 27 °C et que les températures atteignent 34,9 °C durant plus de 15 minutes, ajouter 10 points.

Les recommandations pour la programmation des applications se feront sur la base de la pression de la maladie (indice de risques) tel que présenté au tableau ci-après et sur la présence de symptômes ou d'infections latentes.

Indice	Pression de la maladie	Statut du pathogène	Kumulés	Nova	Pristine, Flint
0 – 30	Faible	Présent	Intervalle de 14 à 21 jours	Intervalle de 21 jours ou tel que mentionné sur l'étiquette	Intervalle de 21 jours ou tel que mentionné sur l'étiquette
30 – 50	Intermédiaire	Se reproduit tous les 15 jours	Intervalle de 10 à 17 jours	Intervalle de 21 jours	Intervalle de 21 jours
60 et plus	Élevé	Se reproduit tous les 5 jours	Intervalle de 7 jours	Intervalle de 10 – 14 jours	Intervalle de 14 jours

ANNEXE 2

Description des traitements dans le fraisier conventionnel 'Jewel' et à jour neutre 'Seascape', à l'Île d'Orléans en 2006 :

- T1 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (27-28 mai) et modèle de Gubler-Hoffman avec produits différents du T5.
- T2 : Programme du producteur.
- T3 : 1^{er} traitement selon le modèle Carisse ou Gubler + Roto et programme du producteur.
- T4 : Silamol à partir du stade bouton (27-28 mai) et programme du producteur moins le soufre en début de saison.
- T5 : Soufre au stade bouton (27-28 mai) et modèle de Gubler-Hoffman avec produits différents du T1.
- T6 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (27 mai) et programme du producteur ('Seascape' seulement).

Description des traitements dans le fraisier conventionnel 'Darselect', à l'Île d'Orléans en 2007 :

- T1 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (26 mai) et programme du T3.
- T2 : Soufre le 7 juin et programme du T3.
- T3 : Nova et Pristine en alternance à partir du 18 juin (Programme du producteur).
- T4 : Pristine le 7 juin suivi de Nova, Pristine, Quintec et Flint.
- T5 : Flint et Quintec en alternance à partir du 7 juin.
- T6 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et modèle de Gubler-Hoffman.

Description des traitements dans le fraisier à jour neutre 'Seascape', à l'Île d'Orléans en 2007 :

- T1 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et programme du T3.
- T2 : Soufre le 14 juin et programme du T3.
- T3 : Nova et Pristine en alternance à partir du 23 juin (Programme du producteur).
- T4 : Quintec à partir du 12 juillet.
- T5 : Flint à partir du 12 juillet.
- T6 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et modèle de Gubler-Hoffman avec Quintec/Flint à partir du 1^{er} août.

ANNEXE 3

Description des parcelles et du protocole utilisé pour les inoculations en champs à la Station de recherche de l'IRDA à Deschambault, en 2007

1. Variétés : conventionnelle et à jour neutre ('Jewel' et 'Seascape').
2. Taille des parcelles : 5 buttes (fraisiers à jour neutre) de 15 m de long, 0,68 m de large et 5 rangs (fraisiers conventionnels) sur 12 m de long.
3. En début de saison, 50 plants pour le fraisier à jour neutre et 25 plants pour la conventionnelle ont été sélectionnés. L'âge des feuilles (date d'apparition) et le stade des fruits (fruits blancs, verts, etc.) ont été identifiés régulièrement.
4. Les parcelles ont été traitées une fois par semaine avec une alternance de Nova (myclobutanol) et de Kumulus (soufre) de façon à contrôler le blanc.
5. Une semaine avant une inoculation, 5 plants par variété ont été sélectionnés et ont été protégés du fongicide par un sac de plastique. Le sac de plastique a été retiré 1 heure après le traitement fongicide.
6. Pour la conventionnelle, 5 inoculations ont été faites au moment représentatif des périodes de développement du fraisier, pour la jour neutre, 7 inoculations ont été faites. L'objectif était d'inoculer des feuilles et des fruits de différents âges (stades).
7. L'inoculation se faisait en récoltant des feuilles infectées présentant des colonies sporulantes (blanche) d'un plant gardé en serre.

Procédure d'inoculation :

- Les feuilles étaient maintenues retournées (face inférieure vers le haut) à l'aide de fils de fer souples piqués dans le sol et placés près des feuilles.
- Une tour à inoculation (cylindre de plastique d'environ 1 m de haut ouvert aux deux extrémités) était installée autour des plants.
- Les spores étaient dispersées par frottement d'une feuille sporulante sur des feuilles saines.
- Les fils de fer étaient enlevés pour que les feuilles reprennent leur positionnement naturel.
- Pour l'incubation, les plants étaient maintenus sous une mini-serre afin de conserver une humidité relative élevée.
- Les feuilles et fruits infectés étaient immédiatement arrachés après la collecte des données pour éviter de contaminer les autres plants.

ANNEXE 4

Description des traitements dans le fraisier conventionnel 'Darselect', à l'Île d'Orléans en 2007 :

- T1 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (26 mai) et programme du T3.
- T2 : Soufre le 7 juin et programme du T3.
- T3 : Nova et Pristine en alternance à partir du 18 juin (Programme du producteur).
- T4 : Pristine le 7 juin suivi de Nova, Pristine, Quintec et Flint.
- T5 : Flint et Quintec en alternance à partir du 7 juin.
- T6 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et modèle de Gubler-Hoffman.

Tableau comparatif des applications réalisés selon le traitement pour le site 'Darselect'.

Dates	Traitements					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
26 mai	Kumulus					
31 mai						Kumulus
7 juin	Kumulus	Kumulus		Pristine	Flint	Kumulus
18 juin	Nova	Nova	Nova	Nova	Quintec	Nova
25 juin	Pristine	Pristine	Pristine	Pristine	Flint & <i>Lance*</i>	Nova & <i>Lance</i>
28 juin	<i>Lance</i>	<i>Lance</i>	<i>Lance</i>	<i>Lance</i>	<i>Lance</i>	<i>Lance</i>
1 juillet	Nova	Nova	Nova			
3 juillet	<i>Maestro*</i>	<i>Maestro</i>	<i>Maestro</i>	<i>Maestro &</i> Quintec	<i>Maestro &</i> Quintec	<i>Maestro</i>
10 juillet	Pristine	Pristine	Pristine	Flint & Lance	Flint & Lance	Pristine

* Pour le contrôle de la moisissure grise

ANNEXE 5

Description des traitements dans le fraisier à jour neutre 'Seascape', à l'Île d'Orléans en 2007 :

- T1 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et programme du T3.
 T2 : Soufre le 14 juin et programme du T3.
 T3 : Nova et Pristine en alternance à partir du 23 juin (Programme du producteur).
 T4 : Quintec à partir du 12 juillet.
 T5 : Flint à partir du 12 juillet.
 T6 : Soufre au stade 2 feuilles déployées (31 mai) et modèle de Gubler-Hoffman avec Quintec/Flint à partir du 1^{er} août.

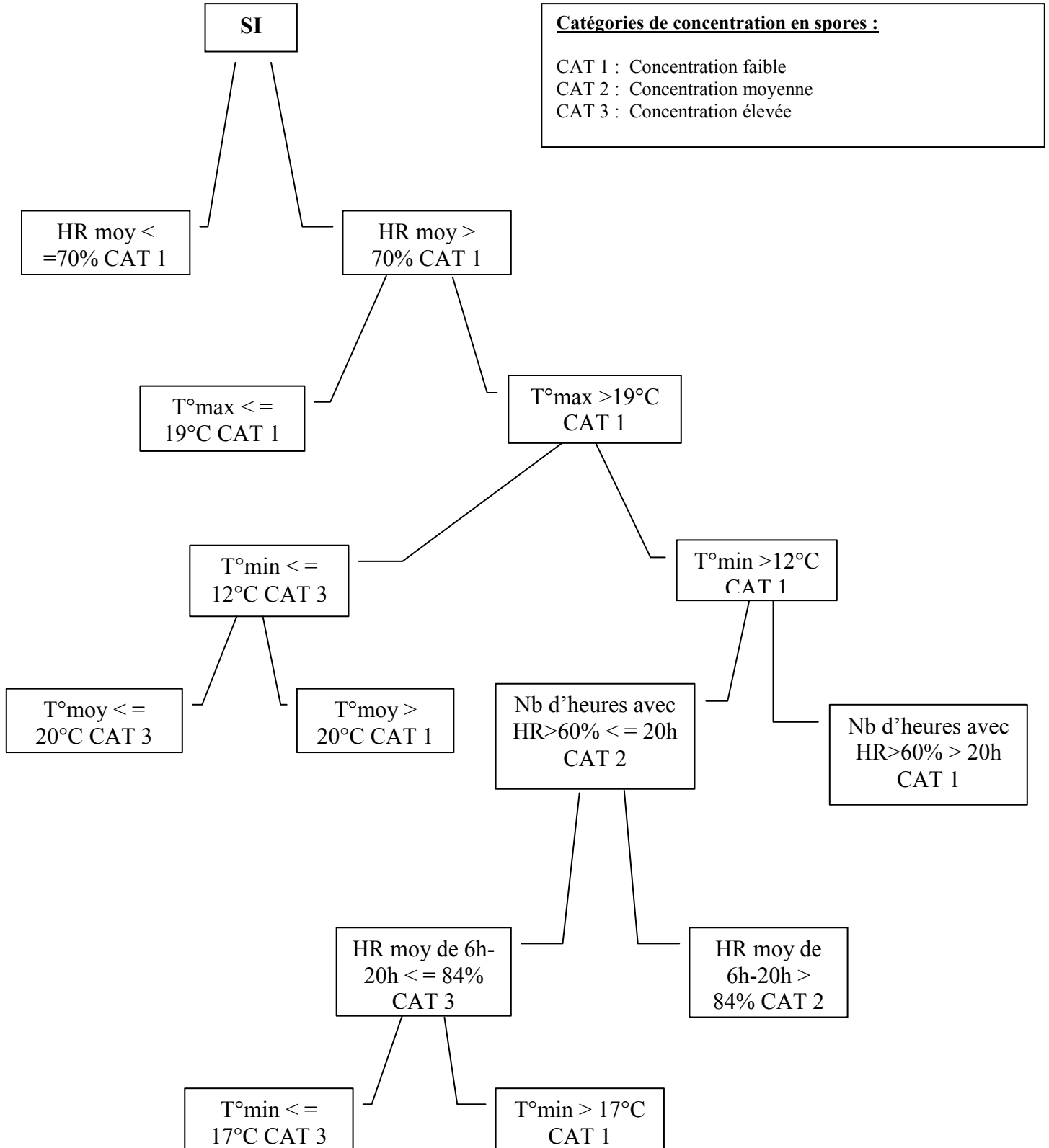
Tableau comparatif des applications réalisés selon le traitement pour le site 'Darselect'.

Dates	Traitements					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
31 mai	Kumulus					Kumulus
14 juin	Kumulus	Kumulus				Kumulus
23 juin	Nova	Nova	Nova			Nova
12 juillet	Pristine	Pristine	Pristine	Quintec & Lance*	Flint & Lance	Kumulus & Lance
21 juillet	Nova & Scala*	Nova & Scala	Nova & Scala	Quintec & Scala	Flint & Scala	Nova & Scala
1 août	Pristine	Pristine	Pristine	Quintec & Lance	Flint & Lance	Quintec & Lance
9 août	Nova & Scala	Nova & Scala	Nova & Scala	Quintec & Scala	Flint & Scala	Flint & Scala
26 août	Pristine	Pristine	Pristine	Quintec & Lance	Flint & Lance	Quintec & Lance

* Pour le contrôle de la moisissure grise

ANNEXE 6

Arbre de classification pour prédire la présence de l'inoculum du blanc du fraisier dans l'air



ANNEXE 7



Figure 2. Capteur de spore.

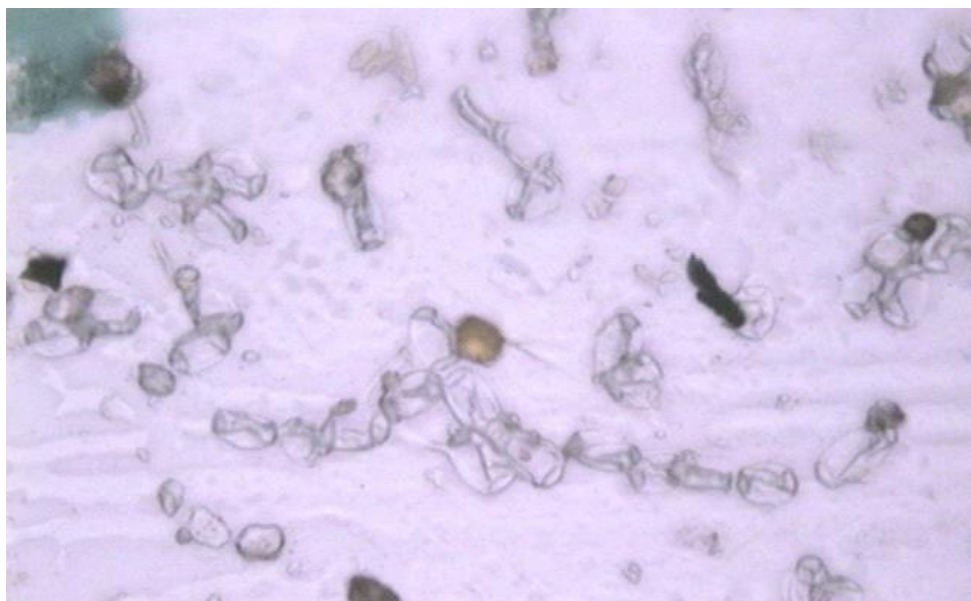


Figure 3. Spores de blanc, tels que vue au microscope.



Figure 4. Symptôme du blanc du fraisier – Enroulement des feuilles.



Figure 5. Symptôme du blanc du fraisier – Tâches pourpres sur le feuillage.



Figure 6. Cléistothèces à la face inférieure d'une feuille de fraisier.



Figure 7. Grossissement de la zone encadrée en rouge à la figure 6.