

Rapport final réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert, sous-volet 11.1 – Appui à la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture

**TITRE : IMPLANTATION D'UN RÉSEAU LOCAL DE DÉTECTION  
HÂTIVE DE *PHYTOPHTHORA INFESTANS***

**NUMÉRO DU PROJET : 1518**

**Réalisé par :**

Hervé Van Der Heyden, B.Sc

Luc Brodeur, agr.

Compagnie de recherche Phytodata inc.

Odile Carisse, Ph.D

Agriculture et Agroalimentaire Canada

**DATE : 31 mars 2012**

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.

## **Implantation d'un réseau local de détection hâtive de *P. infestans***

Hervé Van Der Heyden<sup>1</sup>, Luc Brodeur<sup>1</sup>, Odile Carisse<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Compagnie de recherche Phytodata, <sup>2</sup> Agriculture et Agroalimentaire Canada

Durée : 04/2010 – 03/2012

### **FAITS SAILLANTS**

Les stratégies de lutttes contre le mildiou de la pomme de terre doivent être communautaires et chaque producteur doit pouvoir bénéficier des informations utiles à la prise de décision afin de faciliter le contrôle de la maladie. Le suivi des concentrations aériennes de spores (CAS) fait partie des outils mis à la disposition des producteurs afin de préciser les moments clés d'application et le choix des fongicides à utiliser. Aussi, l'implantation d'un réseau local de détection hâtive de *Phytophthora infestans* pourrait permettre à l'ensemble des producteurs de la région de bénéficier des informations pertinentes quant à l'importance des risques liés à la présence de l'inoculum. Afin de permettre la mise en place d'un réseau local de détection, une analyse de la distribution spatiale, de certains critères relatifs à l'emplacement ainsi qu'au nombre de capteurs requis a été réalisée. Parmi les différents critères sélectionnés, seuls les sites exposés aux vents dominants en 2010 ont capturé significativement plus de spores que les autres types d'emplacement. Il est également possible de constater la présence d'hétérogénéité spatiale à l'échelle de la région des Jardins de Napierville. En effet, pour 71 % des dates d'échantillonnage, le rapport variance/moyenne est statistiquement supérieur à 1, suggérant l'hétérogénéité. D'autre part, les données recueillies tant en 2010 qu'en 2011 démontrent que l'hétérogénéité spatiale est fortement dépendante de la CAS moyenne. À la lumière des résultats obtenus, chacun des 4 types d'emplacement devrait être représenté lors de l'implantation du réseau de suivi de l'inoculum aérien. D'une saison à l'autre, les capteurs sentinelles devraient être installés aux mêmes endroits afin de permettre l'accumulation de données historiques. Quant au nombre de sites, il devrait être compris entre 7 et 12 afin d'optimiser l'efficacité du réseau à prédire adéquatement le risque.

### **OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE OU DÉMARCHE**

L'objectif principal de ce projet était de développer un réseau local de détection hâtive de *P. infestans*, basé sur le suivi de l'inoculum aérien. Pour y arriver, 5 objectifs spécifiques ont été élaborés : 1) réaliser la cartographie des zones d'infection 2) identifier les critères qui permettent d'expliquer l'apparition des premières spores 3) déterminer et valider la distribution spatiale des capteurs sentinelles 4) évaluer et valider la quantité de capteurs requis pour représenter adéquatement la zone de production des Jardins de Napierville et 5) réaliser le suivi des concentrations aériennes de spores et évaluer le risque tout au long de la saison de culture. La cartographie des zones d'infection a été réalisée en se basant à la fois sur des données historiques compilées par le réseau de dépistage Prisme depuis 2005, ainsi que sur des observations amassées dans le cadre du projet Prime-Vert, numéro PHYD-1-SPP-09-073 (2008-2009). Quatre types d'emplacement ont été identifiés (1- exposition aux vents dominants, (2- proximité d'un entrepôt, (3- présence de brise-vent et (4- zones avec historique d'infections et 12 sites ont été implantés en conditions commerciales au cours des saisons 2010 et 2011 à raison de 3 sites par type d'emplacement. Les capteurs ont échantillonné de 6 h et 15 h, 50 % du temps à des intervalles de 10 minutes pour une durée totale de 4 heures par jour d'échantillonnage. Les capteurs ont été relevés 3 fois par semaine (lundi, mercredi et vendredi), et dénombrés au microscope (à G=250X) le jour même.

Le suivi de la sévérité et de l'incidence du mildiou a eu lieu à partir de la levée (25 % des plants émergés) jusqu'au défanage dans 24 sites (12 sites avec et 12 sites sans capteurs). Afin d'identifier la présence d'hétérogénéité spatiale, le calcul du ratio variance/moyenne (V/M), l'ajustement des distributions binomiales négatives et de poissons ainsi que l'ajustement de la loi de Taylor ont été réalisés pour chaque date d'échantillonnage. Pour permettre l'identification d'un type d'environnement permettant la capture d'un plus grand nombre de spores, une analyse de variance a été réalisée (PROC GLM, SAS Institute V.9.2) suivi d'un test de comparaison multiple (LSMEANS/pdiff tdiff). Le calcul des indices de risque d'infection et la gestion des données météo ont été possibles grâce au logiciel Datatrace. Enfin, la validation du nombre optimum de capteurs choisis afin d'être représentatifs du territoire visé a été réalisée à l'aide d'une analyse de sensibilité et de spécificité.

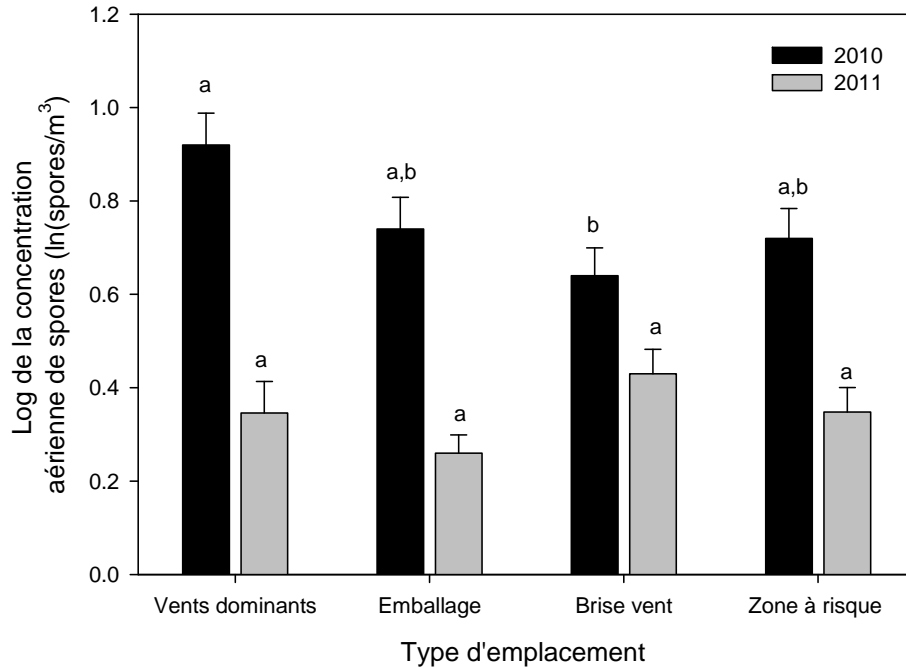
## **RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE OU POUR LA DISCIPLINE**

### **Cartographie des zones d'infection**

Cette cartographie a permis de préciser le choix de l'emplacement de chacun des sites pour les saisons 2010 et 2011 en fonction des critères d'évaluation prédéfinis. Aussi, afin de répondre aux sous-objectifs 2 et 3, les 12 sites ont été répartis, de sorte que 3 sites soient disponibles pour chacun des 4 types d'emplacement.

### **Évaluation des critères d'emplacement**

Pour chacun des 4 types d'emplacement, 3 sites ont été implantés en 2010 et, dans le même champ ou dans un champ adjacent, en 2011. Les analyses de variance ont été réalisées séparément pour les 2 années. La méthode d'estimation des moindres carrés (LSMEANS / pdiff tdiff) a été retenue pour le test de comparaison multiple, puisque le nombre d'échantillons variait d'un site à l'autre (données manquantes dues à des pulvérisations). Les analyses ont démontré que les capteurs installés dans un site exposé aux vents dominants ont capturé significativement plus de spores en 2010. Cependant, cette tendance n'a pas été observée en 2011 puisque tous les types d'emplacement sont statistiquement équivalents (figure 1).

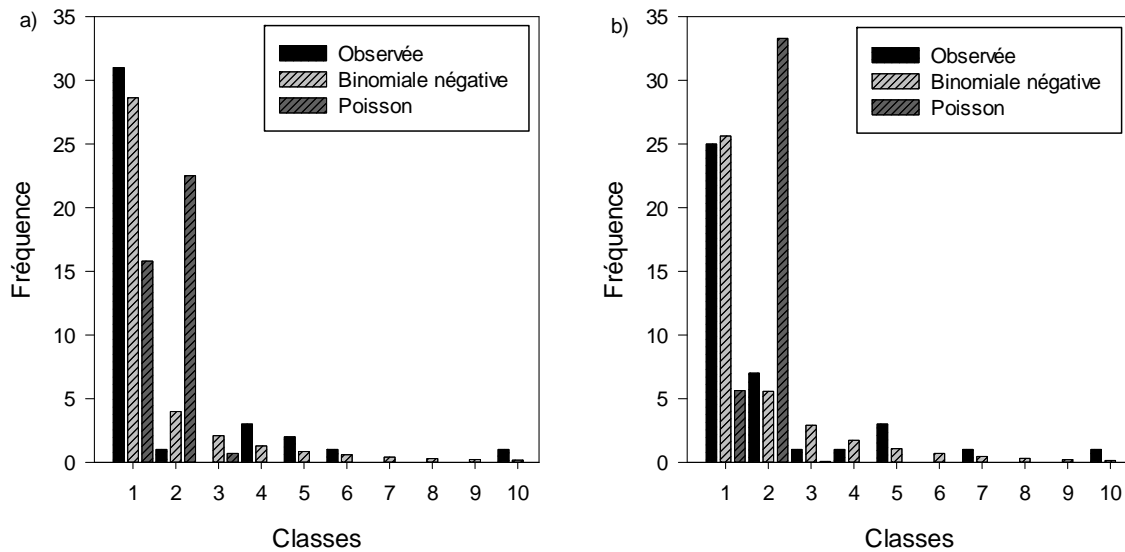


**Figure 1 :** Évaluation des 4 critères principaux pour le choix de l'emplacement des capteurs de spores : (1- exposition aux vents dominants, (2- proximité d'un entrepôt, (3- présence de brise vent et (4- sites dans des champs situés dans des zones historiques d'infections, pour les saisons 2010 (en noir) et 2011 (en gris).

### Distribution spatiale

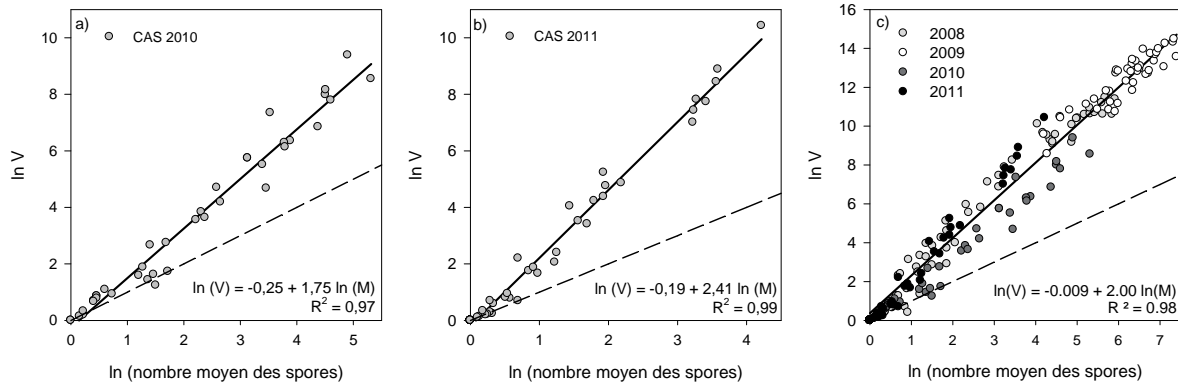
La première étape de l'étude de la distribution spatiale est d'établir la relation entre variances et moyennes (ratio V/M), ce qui permet d'identifier la présence d'hétérogénéité spatiale. Pour une distribution spatiale complètement aléatoire, la variance et la moyenne sont égales, de sorte qu'un ratio V/M strictement égal à 1 indique une distribution homogène ou uniforme. Par ailleurs, un ratio V/M inférieur à 1 indique la présence d'une distribution spatiale aléatoire, tandis qu'un ratio V/M > 1 suggère l'hétérogénéité spatiale (Dutilleul, 2011). Le calcul des ratios V/M a été réalisé pour chaque date et tient compte de la présence sporadique de données manquantes. La valeur statistique de chacun des ratios calculés a été estimée à l'aide d'un test de  $\chi^2$  à un niveau de signification  $\alpha=0,05$ . Pour les saisons 2010 et 2011 combinées, 71 % des dates ont un rapport V/M significativement supérieur à 1 indiquant la présence d'hétérogénéité à l'échelle de la région.

La deuxième étape de l'étude de l'hétérogénéité spatiale consiste à ajuster une distribution de poisson ou une distribution binomiale négative sur les données observées. Un ajustement significatif de la distribution binomiale négative suggère l'hétérogénéité spatiale tandis qu'un ajustement significatif de la distribution de poisson suggère l'homogénéité. Pour les deux années du projet, la distribution binomiale négative est celle qui explique le mieux la variabilité ( $k_{2010} = 0,3135$ ,  $p = 0,0001$ ;  $k_{2011} = 0,4428$ ,  $p = 0,0001$ ), suggérant encore une fois l'hétérogénéité à l'échelle de la région (figure 2).



**Figure 2 :** Ajustement des distributions binomiales négatives et de poisson pour a) la saison 2010 et b) la saison 2011. Dans les 2 cas, la distribution binomiale négative est celle qui explique le mieux la variabilité.

Finalement, afin de vérifier si l'hétérogénéité spatiale augmente avec le nombre moyen de spores capturées, un ajustement de la loi de Taylor a été réalisé pour l'ensemble des dates. Cette loi est définie selon l'équation suivante :  $\ln(V) = \ln(A) + b \ln(M)$  où  $\ln(A)$  représente l'ordonnée à l'origine et  $b$  la pente. Un ajustement significatif de la loi de Taylor suggère l'hétérogénéité et une pente supérieure à 1 indique que l'hétérogénéité augmente avec la moyenne (Carisse *et al.*, 2011). Pour 2010,  $\ln(V) = -0,25 + 1,75 \ln(M)$  ( $R^2 = 0,97$ ). Dans ce cas-ci, la pente de 1,75 est significativement différente de 1 et l'ordonnée à l'origine (-0,25) n'est pas différente de 0, selon un test de t pour un niveau de signification  $\alpha=0,05$ . En 2011,  $\ln(V) = -0,19 + 2,4 \ln(M)$  ( $R^2 = 0,99$ ), où la pente de 2,41 est significativement supérieure à 1 et l'ordonnée à l'origine (-0,19) différente de 0, selon un test de t pour un niveau de signification  $\alpha=0,05$  (Figure 3). Globalement, ces analyses démontrent qu'il y a hétérogénéité spatiale et que celle-ci est fortement dépendante de la CAS moyenne. En effet, l'ajustement de la loi de Taylor sur les données cumulatives est donné par :  $\ln(V) = -0,009 + 2,00 \ln(M)$  ( $R^2 = 0,98$ ), où la pente de 2,00 est significativement supérieure à 1 et l'ordonnée à l'origine égale à 0 (Figure 3).



**Figure 3 :** Relation entre le Log de la variance observée ( $\ln V$ ) et le log de la moyenne des captures de spores ( $\ln M$ ) pour les saisons a) 2010 et b) 2011 et c) le cumul des saisons 2008 à 2011. La droite pointillée représente une pente strictement égale à 1.

### Évaluation et validation du nombre de capteurs sentinelles

Les analyses ROC sont utilisées pour évaluer la capacité d'un indicateur (capteur de spores) à prédire un seuil critique de risque pour chacun des indicateurs, la proportion de vrai positif (TPP) a été calculée en divisant le nombre de vrais positifs (comptage supérieur au seuil de 5-30 spores/m<sup>3</sup>) par le nombre de cas et la proportion de vrais négatifs (TNP ou spécificité) a été calculée en divisant le nombre de vrais négatifs (comptage inférieur au seuil) par le nombre de contrôles. Enfin, la proportion de faux positifs (FPP) est égale à 1 – TNP et la proportion de faux négatifs est égale à 1 – TPP (Carisse *et al.*, 2012).

**Tableau 1 :** Résumé des analyses de sensibilité et de spécificité pour un seuil de 5 spores/m<sup>3</sup> ainsi que pour un seuil de 30 spores/m<sup>3</sup>.

Capteur	Seuil 5 spores/m <sup>3</sup>					Seuil 30 spores/m <sup>3</sup>				
	TPP*	FPP**	FNP***	TNP****	OA*****	TPP	FPP	FNP	TNP	OA
1	0.83	0.14	0.17	0.86	0.85	0.83	0.14	0.17	0.86	0.85
2	0.89	0.21	0.11	0.79	0.82	0.89	0.08	0.11	0.92	0.92
3	0.81	0.17	0.19	0.83	0.82	0.71	0.10	0.29	0.90	0.88
4	0.83	0.20	0.17	0.80	0.81	0.80	0.09	0.20	0.91	0.90
5	1.00	0.17	0.00	0.83	0.87	1.00	0.09	0.00	0.91	0.92
6	0.84	0.03	0.16	0.97	0.92	0.55	0.06	0.45	0.94	0.88
7	0.85	0.20	0.15	0.80	0.81	1.00	0.03	0.00	0.97	0.97
8	1.00	0.16	0.00	0.84	0.89	0.67	0.09	0.33	0.91	0.87
9	0.80	0.22	0.20	0.78	0.78	1.00	0.06	0.00	0.94	0.94
10	0.91	0.22	0.09	0.78	0.81	1.00	0.08	0.00	0.92	0.92
11	0.88	0.10	0.12	0.90	0.89	0.60	0.08	0.40	0.92	0.89
12	0.87	0.15	0.13	0.85	0.85	0.57	0.06	0.43	0.94	0.90

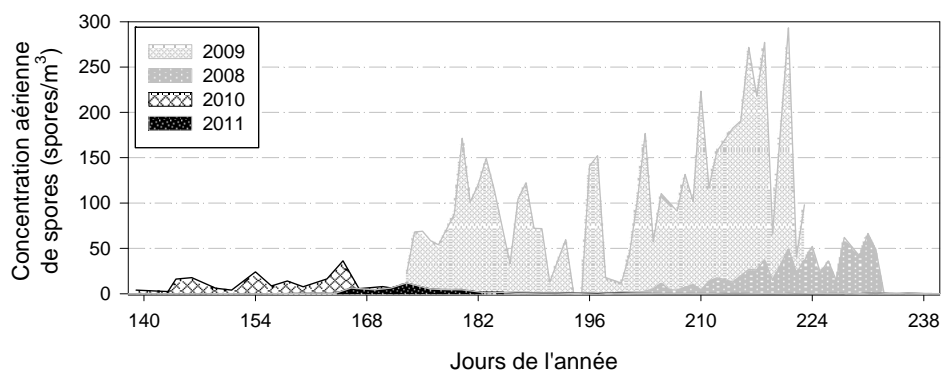
\* Proportion des vrais positifs, \*\* Proportion des faux positifs, \*\*\* Proportion des faux négatifs, \*\*\*\* Proportion des vrais négatifs, \*\*\*\*\* Précision générale

Les résultats obtenus suggèrent que le nombre de capteurs sentinelles pourrait être diminué pour la zone de production des Jardins de Napierville. En effet, l'efficacité globale de chacun des capteurs (indicateurs) utilisés dans le cadre du projet est supérieure à 78 % des cas tant pour un seuil de 5 spores/m<sup>3</sup> que pour un seuil de 30 spores/m<sup>3</sup> d'air.

Cependant, nous devons admettre que l'introduction d'un biais occasionné par le nombre élevé de 0 contenu dans notre jeu de données. Ce biais a tendance à surestimer la spécificité. En 2011 par exemple, la proportion de vrais positifs est comprise entre 55 % et 71 % pour 5 indicateurs sur 12 et, malgré cela, l'efficacité globale de chacun de ces 5 indicateurs demeure supérieure à 85 %.

### Suivi de l'inoculum aérien

L'échantillonnage des concentrations aériennes de spores (CAS) s'est déroulé sur une période de 131 jours (19 semaines) entre le 29 avril et le 7 septembre en 2010 et sur une période de 105 jours (15 semaines) en 2011. Pour 2010 et 2011, la proportion des bâtonnets sur lesquels *P. infestans* a été identifiée de 42 % et 40 % respectivement. Les premières spores ont été détectées le 1<sup>er</sup> mai pour la première année tandis qu'ils ont été identifiés le 19 mai pour la seconde année. Le nombre moyen de spores capturées au cours de la saison 2010 était de 3,95 spores/m<sup>3</sup> d'air avec un maximum moyen de 36,22 spores/m<sup>3</sup> enregistré le 15 juin. Pour 2011, la CAS moyenne était de 1,18 spores/m<sup>3</sup> d'air avec un maximum moyen de 11,98 spores/m<sup>3</sup> enregistré le 23 juin (figure 4).



**Figure 4 :** Historique des concentrations aériennes des spores de *P. infestans* (2008 à 2011). À titre indicatif, le 1<sup>er</sup> juillet correspond au jour 182.

Les CAS sont restés faibles tout au long des 2 saisons du projet en cours et se sont limités à des pics de captures tôt en saison. En 2010 comme en 2011, la région des Jardins de Napierville a été aux prises avec des conditions chaudes et sèches à partir du début juillet, et ce, jusqu'au début d'août. On constate dans les 2 cas, qu'après le 182<sup>e</sup> jour de l'année (1<sup>er</sup> juillet), la CAS décroît et reste de basse à nulle jusqu'à la fin de la saison (figure 4).

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

Ce projet a permis de valider la possibilité de mettre sur pied un réseau de détection hâtive du mildiou de la pomme de terre basé sur le suivi de l'inoculum aérien. L'acquisition des connaissances sur la distribution spatiale des spores de *P. infestans* à l'échelle de la région de la MRC des Jardins de Napierville a contribué à préciser le type d'emplacement et le nombre de capteurs à utiliser pour effectuer un suivi adéquat.

À la lumière des résultats obtenus, chacun des 4 types d'emplacement devrait être représenté lors de l'implantation du réseau de suivi de l'inoculum aérien. D'une saison à l'autre, les capteurs sentinelles devraient être installés aux mêmes endroits afin de permettre l'accumulation de données historiques. Quant au nombre de sites, il devrait être compris entre 7 et 12 afin d'optimiser l'efficacité du réseau à prédire adéquatement le risque.

## **RÉFÉRENCES**

- Carisse, O., C. Meloche, et al., (2011). « Spatial heterogeneity, incidence-incidence and incidence-lesion density relationship of apple scab (*Venturia inaequalis*) in managed orchards », European Journal of Plant Pathology 130(3) : 349-365.
- Carisse, O., A. Levasseur, et al., (2012). « A new risk indicator for botrytis leaf blight of onion caused by *Botrytis squamosa* based on infection efficiency of airborne inoculum », Plant Pathology : sous presse.
- Pierre R. L. Dutilleul, (2011), « Spatio-Temporal Heterogeneity Concept and Analyses », Cambridge University Press, 416 p.

## **POINT DE CONTACT POUR INFORMATION**

Nom du responsable du projet : Hervé Van der Heyden

Téléphone : 514-617-4986

Courriel : hvanderheyden@phytodata.ca

## **REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS**

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert, sous-volet 11.1 - Appui à la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Les auteurs tiennent à remercier la participation et le support des fermes participantes : Guérin et frères 2000 inc., Isabelle inc., Les jardins Lefort inc., Pinsonneault et fils inc., Les fermes JGR Sorel inc., ainsi que Laure Boulet, agr. pour son implication.

## **PLAN DE DIFUSION**

Les présentations suivantes ont été données dans le cadre du projet :

1. Van der Heyden H., Carisse O., Brodeur L., Capteurs de spores pour le suivi du mildiou de la pomme de terre, Groupe d'experts en phytoprotection de la pomme de terre Réseau d'avertissements phytosanitaires, Journée de Bilan et formation, mars 2011.
2. Boulet L., Van der Heyden H., Brodeur L., Présentation sommaire du projet, Colloque sur la pomme de terre novembre 2010.
3. Lamine Fall M., Van der Heyden H., Brodeur L., Carisse O., Groupe d'experts en phytoprotection de la pomme de terre Réseau d'avertissements phytosanitaires, Journée de Bilan et formation, novembre 2011.

Parmi les activités de diffusion à venir, il est prévu que les résultats des projets PHYD-1-SPP-09-073 et 1518 soient présentés au prochain colloque sur la pomme de terre. De plus, ces résultats seront combinés et feront l'objet d'une publication destinée à la revue *Aerobiologia*. Cette dernière sera soumise au courant du mois de mai 2012 (La Stratégie phytosanitaire sera remerciée pour son support financier).