

## **RAPPORT FINAL**

Réalisé dans le cadre du Programme de soutien à l'innovation  
horticole (PSIH) du MAPAQ

**PSIH08-2-926**

**Validation de deux modèles phénologiques prévisionnels  
pour lutter efficacement contre le carpocapse de la pomme**

Par :

**Francine Pelletier, M.Sc**

**Daniel Cormier, Ph.D**

**Franz Vanoosthuysse, M.Sc**

**Gérald Chouinard, agr., Ph.D**

**Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)**

Avec la collaboration de :

**Dominique Plouffe**

**Gaétan Bourgeois, Ph.D**

**Centre de recherche et de développement en horticulture (CRDH)**

**Agriculture et agroalimentaire Canada (AAC)**

Déposé le 5 mars 2010

## TABLE DES MATIÈRES

1. Résumé du projet.....	3
2. Objectif général.....	4
3. Méthodologie.....	4
Validation à la ferme.....	4
Validation en station de recherche.....	5
Données historiques.....	6
Traitements des données et analyses effectuées.....	6
4. Résultats obtenus.....	9
Validation à la ferme.....	9
Vol des adultes (G1).....	9
Activité de pontes (G1).....	9
Période d'éclosion (G1).....	10
Vol des adultes (G2).....	10
Validation en station de recherche.....	10
Vol des adultes (G1).....	10
Activité de pontes (G1).....	10
Période d'éclosions (G1).....	11
Données historiques.....	11
Vol des adultes (G1).....	11
Vol des adultes (G2).....	11
Discussion.....	11
5. Retombées des activités réalisées.....	12
6. Conclusion.....	13
7. Références.....	15
8. Remerciements.....	16
Liste des figures.....	17

## 1. RÉSUMÉ DU PROJET

Depuis une quinzaine d'années, les populations et les dommages de carpocapse de la pomme ont connus une progression constante et préoccupante dans l'ensemble des régions pomicoles québécoises. Jusqu'à récemment, les organophosphorés étaient les produits les plus utilisés pour lutter contre ce ravageur. Cependant, avec le retrait prévu de ces produits, on se dirige vers l'utilisation de nouveaux insecticides (inhibiteurs et régulateurs de croissance) et nouvelles méthodes (confusion sexuelle, lutte biologique) qui visent différents stades de croissance et possèdent des modes d'action totalement différents. Plusieurs ont également un effet résiduel plus court et leur efficacité repose davantage sur un bon synchronisme de leur application. L'obtention d'informations précises sur le cycle de développement du carpocapse à l'intérieur d'une saison est donc primordiale pour permettre aux pomiculteurs de bien cibler chacun des traitements avec un stade précis de l'insecte.

Au Québec, le modèle inclus dans le logiciel CIPRA, est l'outil utilisé actuellement pour prédire l'évolution des populations de carpocapses. Développé à partir de données de captures recueillies durant 19 années dans 12 vergers du Québec, ce modèle ne permet, cependant que de prédire les captures de mâles de carpocapse et ne se base que sur l'accumulation quotidienne de degré-jours (DJ). Deux modèles européens, RIMpro-Cydia et SOPRA, en plus de prédire le vol des adultes, permettent également de simuler l'évolution des autres stades du carpocapse. En plus de se baser sur les données météorologiques locales, ces modèles intègrent également une série de paramètres additionnels qui affectent le développement du carpocapse (conditions pour la sortie et l'entrée en diapause, période de pré-ponte, conditions et périodes propices au vol et à la ponte, fécondité et longévité des femelles, durée de chaque stade en terme de DJ à accumuler, etc.).

Au départ, le présent projet avait pour objectif de valider les prédictions de ces deux modèles en vergers de pommiers au Québec. Cependant, malgré nos demandes répétées, aucune simulation n'a été fournie par le concepteur de SOPRA et nous avons été contraints d'abandonner la validation de ce modèle. Entre temps, un nouveau modèle a été développé en 2009 par le club Agropomme qui, à l'instar des modèles RIMpro et SOPRA, prédit également les périodes de ponte et d'éclosion du carpocapse. Comme point de départ, ce modèle utilise les prédictions du vol des mâles provenant du modèle CIPRA auxquels sont greffées par la suite les simulations des autres stades de développement du carpocapse. Pour établir ses prédictions, le modèle se base également sur les données météorologiques locales ainsi que les mêmes types de paramètres de développement du carpocapse que le modèle RIMpro-Cydia. La validation du modèle d'Agropomme, développé au Québec, a donc été ajoutée au projet en remplacement de la validation du modèle SOPRA.

La validation des modèles s'effectuait à deux niveaux : i) une validation à la ferme (2008-2009) réalisée à l'aide de données récoltées en vergers, et ii) une validation en

station de recherche (2009) réalisée par un suivi détaillé de cohortes d'individus maintenus en conditions semi-naturelles. Les résultats préliminaires de la 1<sup>ère</sup> année de suivi effectué dans trois vergers situés à Rougemont, Saint-Bruno et Franklin ont été présentés dans le cadre du rapport d'étape. Le modèle RIMpro-Cydia avait permis de prédire la ponte du carpocapse avec plus de précision dans le verger de Rougemont ( $R^2=0,91$ ) que dans les vergers de St-Bruno ( $R^2=0,69$ ) et Franklin ( $R^2=0,58$ ). Dans ces deux vergers, le modèle prédisait hâtivement la période de ponte du carpocapse. Les résultats obtenus lors de la 2<sup>e</sup> année de validation à la ferme, l'analyse complète des résultats de la 1<sup>ère</sup> année ainsi que les données recueillies en station de recherche feront l'objet de ce présent rapport. Enfin, tel qu'exigé par le comité de sélection, les données de captures recueillies lors d'années antérieures ont été confrontées à celles prédites par le modèle RIMpro-Cydia. Les résultats obtenus sont présentés dans ce rapport.

## **2. OBJECTIF GÉNÉRAL**

Le présent projet a pour objectif de valider, dans les vergers pomicoles québécois, les modèles phénologiques prévisionnels du carpocapse de la pomme, RIMpro-Cydia, développé au Pays-Bas et le modèle Agropomme, développé au Québec.

## **3. MÉTHODOLOGIE**

### **Validation à la ferme**

En 2009, le suivi s'est déroulé dans quatre vergers de pommiers à l'intérieur de parcelles (0,5ha) non traitées aux insecticides à partir de la floraison :

- Rougemont A (45°26'N 73° 04'O)
- Rougemont B (45°26'N 73° 04'O)
- Saint-Bruno (45°32'N 73°20'O)
- Frelighsburg (45°02'N 72°51'O)

Sur chacun des sites, les captures de mâles ont été suivies à l'aide de pièges à phéromone de type Pherocon (2 pièges / parcelle) relevés de façon hebdomadaire du début mai à la mi-septembre. Les populations de larves ont également été suivies (observation de 500 pommes/parcelle) de façon hebdomadaire de la mi-juin à la mi-septembre. Ce suivi de l'émergence des larves a permis d'estimer les courbes de ponte et d'éclosion du carpocapse. Les fruits porteurs de dommages étaient récoltés et disséqués pour récupérer les larves. La largeur de la capsule céphalique de chaque larve a été mesurée afin de déterminer son stade larvaire (L1 à L5). En 2009, pour un maximum de précision, chaque stade larvaire a été subdivisé en 4 classes selon la longueur de la larve mesurée après un traitement à l'eau bouillante. Une fois l'âge de la larve déterminé ainsi que le nombre de DJ requis pour l'atteinte de ce stade, les dates approximatives d'éclosion et de ponte ont été rétro calculées à partir des données météorologiques locales. Pour chacun des vergers, les données météorologiques ont été obtenues à partir de sondes de température installées à l'intérieur des parcelles et complétées par les

données recueillies dans les stations météorologique du Réseau-Pommier situées à proximité des vergers suivis (<2km).

## Validation en station de recherche

Des larves diapausantes avaient été récoltées à l'été et à l'automne 2008 à l'aide de bandes-pièges en carton ondulé placées autour des troncs de pommiers. Ces larves ont permis d'obtenir, en 2009, une population d'adultes afin de déterminer précisément, pour la 1<sup>ère</sup> génération (G1), la courbe de la majorité des stades du carpopapse par un suivi détaillé effectué en conditions semi-naturelles. À l'automne 2008, les bandes-pièges ont été relevées, les larves diapausantes de carpopapse ont été dénombrées et sexées puis placées sur de nouvelles bandes-pièges placées en fagots et déposées par sexe dans des cages d'hivernation. Des sondes de température (Onset, Tidbit) placées à l'intérieur des fagots ont permis d'enregistrer les données de température des cages.

À partir de la fin mai 2009, les cages contenant les bande-pièges ont été relevées quotidiennement afin de suivre l'émergence des adultes (mâles et femelles). Les individus nouvellement émergés ont été placés dans des cages de ponte à l'intérieur desquelles un acétate était inséré comme substrat de ponte. Les cages de ponte (maximum : 5 mâles et 5 femelles/cage) ont été suspendues à environ 1,50 m du sol dans de plus grandes cages en moustiquaire (1,22m x 1,22m x 2,13m) placées à l'extérieur. À chaque jour, les substrats de ponte ont été recueillis et remplacés afin de dénombrer le nombre total d'œufs pondus quotidiennement. Une sonde de température (Onset, Tidbit) a été installée dans une cage de ponte témoin afin de recueillir les conditions de température interne des cages.

Suite au dénombrement des pontes, les acétates ayant servi de substrat de ponte ont été enroulés et suspendus en conditions extérieures à environ 1,50 m du sol à l'intérieur d'une grande cage en moustiquaire (1,22m x 1,22m x 2,13m) pour les protéger de la prédation. À chaque jour, les œufs étaient observés afin de noter l'apparition de la capsule céphalique des larves avant l'éclosion. Sachant le nombre de degré-jours requis pour compléter le stade embryonnaire (Richardson *et al.* 1982), la date approximative d'éclosion a été évaluée à partir des données météorologiques.

Tel que pour la 1<sup>ère</sup> génération, afin de suivre l'évolution de la phénologie du carpopapse pour la 2<sup>e</sup> génération (G2), différentes séries de bandes-pièges ont été installées durant l'été 2009 à Frelighsburg et Rougemont A (Tableau 1). Lors de leur retrait, les larves et pupes de carpopapse ont été dénombrées et sexées puis placées sur de nouvelles bandes-pièges déposées en conditions extérieures dans des cages d'émergence. Les cages ont été relevées quotidiennement pour suivre l'émergence des adultes puis la ponte et l'éclosion des œufs selon la même méthode que pour la 1<sup>ère</sup> génération.

**Tableau 1** Bandes-pièges installées en 2009 pour la récolte de larves matures en vue du suivi en conditions naturelles de la 2<sup>e</sup> génération de carpopapse de la pomme.

Vergers	Date de pose	Date de retrait	Nb jours	Nb bandes pièges
Rougemont A	2009-07-16	2009-08-06	21	200
	2009-08-06	2009-08-20	14	200
	2009-08-20	2009-09-03	14	200
Frelighsburg	2009-07-14	2009-08-11	28	50 *
	2009-08-11	2009-09-15	35	50 *

\* Installées autour du tronc et sur des branches charpentières

## Données historiques

Les données de captures recueillies dans deux vergers-pilotes du Réseau-Pommier (Rougemont 2005 à 2009 ; Frelighsburg 1999 à 2001) ont été utilisées pour la validation à partir de données historiques des prévisions du modèle RIMpro-Cydia. Les données des stations météorologiques du Réseau-Pommier ont été utilisées pour générer les simulations du modèle pour le vol des adultes de la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>e</sup> génération. Tel que mentionné, le modèle Agropomme utilise les simulations du logiciel CIPRA pour prédire le vol des adultes. Puisque le modèle inclus dans CIPRA a été construit à partir des données de captures recueillies dans les vergers-pilotes du Réseau-Pommier, la validation du modèle Agropomme à l'aide des données historiques n'a pas été jugée pertinente. Seules les prédictions du modèle RIMpro-Cydia ont donc été confrontées aux captures observées dans les vergers pilotes.

## Traitements des données et analyses effectuées

Différentes hypothèses et ajustements ont été effectués avant de procéder à l'analyse des résultats. Dans le cadre de la validation à la ferme, les dates d'éclosion et de ponte ont été estimées à partir des données présentées dans le tableau 2. Les temps de développement utilisés proviennent de la littérature scientifique (Trapman *et al.* 2008) et correspondent aux paramètres de simulation utilisées à la fois par le modèle RIMpro-Cydia et le modèle Agropomme. L'accumulation de température attribuée à chaque stade ou sous-stade a été établie en postulant que les larves échantillonnées avaient complété la moitié de leur stade de développement respectif. La classification utilisée pour distinguer les stades larvaires en fonction de la largeur de la capsule céphalique est présentée dans le tableau 3. À l'intérieur de chaque stade, les sous-stades ont par la suite été établis en divisant chaque stade en 4 classes d'intervalles égales selon la longueur des larves.

**Tableau 2** Temps de développement (DJ >10°C) requis pour compléter les stades larvaires du carpocapse de la pomme et accumulation de température (DJ >10°C) assignée aux larves échantillonnées selon la détermination de leur stade / sous-stade pour l'estimation des dates de ponte et d'éclosion des œufs.

Stade	Temps développement requis	Accumulation de température assignée au stade / sous-stade				
		Stade <sup>1</sup>	Sous-stade			
			a	b	c	d
Œufs	88	-	-	-	-	-
L1	50	25,0	6,250	18,750	31,250	43,750
L2	45	72,5	55,625	66,875	78,125	89,375
L3	45	117,5	100,625	111,875	123,125	134,375
L4	45	162,5	145,625	156,875	168,125	179,375
L5	135	252,5	201,875	235,625	269,375	303,125

<sup>1</sup> Lorsque la longueur de larve n'était pas connue

**Tableau 3** Classification utilisée pour distinguer les stades larvaires du carpocapse de la pomme selon la largeur de la capsule céphalique (mm).

Stade	Mesure Capsule Céphalique <sup>1</sup>			
	Moyenne	écartype	Min	Max
L1	0.35	0.044	0.000	0.415
L2	0.47	0.034	0.415	0.565
L3	0.75	0.099	0.565	0.985
L4	1.17	0.088	0.985	1.375
L5	1.68	0.094	1.375	et +

<sup>1</sup> adapté de Weitzer et Whalon 1987

Pour les données récoltées en vergers (validation à la ferme et données historiques), étant donné qu'il n'était pas toujours possible de détecter une coupure claire entre les deux générations, il a été estimé que la fin du vol des adultes, de la période de ponte et de la période d'éclosion des œufs de la 1<sup>ère</sup> génération survenait respectivement à 473, 503 et 573 DJ<sub>10</sub> après le biofix. Les données historiques de captures (1999 à 2005 et 2009) provenant du verger pilote de Frelighsburg ont été utilisées pour déterminer le temps de génération du carpocapse pour le vol des adultes. Ce verger a été choisi puisqu'il s'agit d'une parcelle sans traitement insecticide pour laquelle plusieurs années de données de captures et de données météorologiques étaient disponibles. Le début du vol de la 1<sup>ère</sup> génération a été défini par la 1<sup>ère</sup> capture soutenue en début de saison et le début du vol de la 2<sup>e</sup> génération a été établi au moment de la ré-augmentation significative de captures suivant une période avec peu ou pas de captures. Le temps de génération (adulte à œuf) de 503 DJ<sub>10</sub> a été établi en considérant une période de pré-ponte de 30 DJ<sub>10</sub> et le temps de génération (adulte à larve), en considérant un temps de développement des œufs de 88 DJ<sub>10</sub> (Trapman *et al.* 2008). Différents auteurs ont mesuré le temps de génération du carpocapse en termes de DJ (Knight 2007, Pitcairn *et al.* 1992). Selon la région, les données rapportées se rapprochent de façon plus ou moins prononcée de celles utilisées dans le cadre de ce projet.

Afin de mesurer l'habileté prédictive de chacun des modèles, le pourcentage cumulatif simulé a été comparé au pourcentage cumulatif observé pour chacun des stades phénologiques et des sites étudiés. Plus le modèle est performant, plus le coefficient de détermination ( $R^2$ ) est élevé et plus la droite de régression se rapproche de la relation linéaire espérée. Les mêmes données sont également présentées sous forme de graphique présentant, dans le temps, le pourcentage observé et simulé de captures, de pontes ou d'éclosions. Ces figures permettent de mesurer rapidement de façon visuelle les décalages possibles entre les prédictions des modèles et les données observées.

Le tableau 4 résume les différents paramètres phénologiques qui ont été validés dans le cadre des différents volets du projet. Pour la validation à la ferme, les trois courbes (adultes, ponte et éclosion) de la 1<sup>ère</sup> génération ont été validées à l'aide de données provenant pour chacune des années (2008 et 2009) de trois vergers. Pour la 2<sup>e</sup>

génération, seules les prédictions du vol des adultes ont été comparées aux données recueillies en vergers car l'échantillonnage des larves ne s'est pas poursuivi suffisamment longtemps en raison de la récolte pour couvrir l'ensemble des pontes et des éclosions de la seconde génération de carpocapse. Dans le cadre de la validation en station de recherche, les larves diapausantes recueillies en 2008 ont permis de suivre l'évolution des différents stades de la 1<sup>ère</sup> génération. Cependant, pour la 2<sup>e</sup> génération, seulement neuf des 467 larves et quatre des 1656 larves récoltées dans les bandes-pièges installées respectivement à Frelighsburg et Rougemont durant l'été 2009 ont fait leur pupaison pour donner une seconde génération. Vu le nombre insuffisant d'individus disponible, les prédictions des modèles pour la 2<sup>e</sup> génération n'ont donc pas été validées à l'aide des données recueillies en station de recherche. Finalement, les données historiques récoltées entre 1999 et 2009 dans deux des vergers pilotes du Réseau-Pommier ont permis de valider les courbes prédites pour le vol des adultes de la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>e</sup> génération. Les données observées ont été comparées uniquement aux prédictions du modèle RIMpro-Cydia pour les raisons énoncées précédemment.

**Tableau 4** Stades phénologiques du carpocapse de la pomme ayant été validés dans le cadre des différents volets du projet.

Stades phénologiques	Validation à la ferme (2008-2009 <sup>1</sup> )	Validation en station de recherche (2009)	Données historiques (1999 à 2009)
<b>1<sup>ère</sup> génération (G1)</b>			
Vol des adultes	oui	oui	Oui (RIMpro-Cydia)
Ponte	oui	oui	-
Éclosion	oui	oui	-
<b>2<sup>e</sup> génération (G2)</b>			
Vol des adultes	oui	Nb insuffisant d'individus	Oui (RIMpro-Cydia)
Ponte	Données observées : génération incomplète	Nb insuffisant d'individus	-
Éclosion	Données observées : génération incomplète	Nb insuffisant d'individus	-

<sup>1</sup>En 2009 : abandon du verger Rougemont B (nb insuffisant d'individus)



## 4. RÉSULTATS OBTENUS

### Validation à la ferme

#### Vol des adultes (G1)

Contrairement à la plupart des modèles, le modèle RIMpro-Cydia prédit le vol des femelles et non celui des mâles. Le phénomène de protandrie étant observée chez le carpocapse, il est généralement reconnu que l'émergence des mâles va devancer de façon plus ou moins prononcée celle des femelles. Or, dans le cadre de la validation à la ferme, seules des données de captures de mâles pouvaient être recueillies par piègeage. Ces données ont tout de même été comparées aux données prédites pour le vol des femelles et, dans la majorité des cas, le modèle RIMpro-Cydia a donné une bonne prédiction du vol des adultes ( $R^2 > 0.93$ ) (Figures 1-2). En effet, de façon générale, la relation linéaire entre les pourcentages cumulatifs observés et simulés se rapprochaient de la droite espérée. Seules les prédictions du modèle pour 2009 à Frelighsburg s'écartaient davantage des données observées (Figure 1a-b) ce qui peut être attribué aux captures fulgurantes relevées en début de saison dans ce verger.

Il faut noter que, dans le cas du modèle RIMpro-Cydia, deux possibilités s'offrent à l'utilisateur comme point de départ pour faire tourner le modèle: 1) le modèle peut prédire la période de sortie de diapause des larves en se basant d'abord sur la photopériode puis sur l'accumulation de degrés-jours; 2) les prédictions peuvent être générées à partir du Biofix spécifié par l'utilisateur pour une région donnée. Selon nos observations, l'utilisation d'un Biofix permettait d'améliorer grandement la performance du modèle pour nos régions étant donné que, suivant la première option, le modèle utilise par défaut des valeurs développées pour le nord-ouest de l'Europe.

Pour sa part, le modèle d'Agropomme a également généré, dans la majorité des cas, des prédictions pour le vol des mâles qui se rapprochaient des données observées ( $R^2 > 0.94$ ) (Figures 3-4). À nouveau, les valeurs prédites par le modèle pour le verger de Frelighsburg en 2009 n'étaient pas aussi bien corrélées aux données observées (Figure 3a-b). Dans les faits, la validation des prédictions du modèle d'Agropomme pour le vol des adultes équivaut à valider celles du modèle inclus dans le logiciel CIPRA puisque le modèle d'Agropomme utilise comme point de départ les captures prédites par CIPRA pour simuler l'apparition des autres stades du carpocapse. Ce modèle ayant été développé et validé à partir de données recueillies au Québec, il n'est pas étonnant d'observer une bonne similarité entre les données prédites et les données terrain.

#### Activité de pontes (G1)

La performance générale du modèle RIMpro-Cydia pour prédire la période de ponte était peu satisfaisante ( $R^2 < 0,80$ ) (Figures 5-6). Le portrait obtenu en 2008 et 2009 était similaire pour tous les vergers soit une prédiction trop hâtive comparativement aux données observées en vergers. Seules les prédictions pour Rougemont en 2008 ( $R^2 = 0,9384$ ) correspondaient davantage aux données observées (Figure 6 e-f).

Le modèle d'Agropomme, quant à lui, a prédit avec beaucoup plus de précision l'activité de ponte du carpocapse et ce, pour les deux années de suivi (Figure 7-8). Les données simulées confrontées aux données observées suivaient de près la relation linéaire espérée ( $R^2 > 0,88$ ) avec, à l'occasion, un léger retard dans les prédictions.

### **Période d'éclosion (G1)**

Le même décalage que celui observé pour la prédiction de la ponte par RIMpro-Cydia était observé pour la prédiction de l'éclosion des œufs (Figures 9-10). En général, le modèle prédisait le pic d'éclosion environ deux semaines trop tôt comparativement aux données observées (Figure 9d-e-f; Figure 10d-e). À nouveau, seules les prédictions de 2008 pour Rougemont coïncidaient avec les données observées (Figure 10 e-f). Par contre, tout comme pour les prédictions de la ponte, le modèle d'Agropomme restait assez fidèle dans ses prédictions de l'éclosion des œufs du carpocapse ( $R^2 > 0,87$ ) (Figures 11-12).

### **Vol des adultes (G2)**

Un écart important était observé entre les prédictions du vol des adultes de la 2<sup>e</sup> génération par RIMpro-Cydia et les données observées (Figures 13-14) particulièrement en 2009. Selon le modèle, la 2<sup>e</sup> génération débutait toujours beaucoup plus tard comparativement aux captures observées sur le terrain.

Les prédictions du modèle Agropomme pour la 2<sup>e</sup> génération, quoique assez variables, se rapprochaient davantage des données de captures observées (Figures 15-16) surtout pour 2008. En 2009, un retard était également observé entre les captures observées et les prédictions du modèle pour le début du vol de la 2<sup>e</sup> génération.

## **Validation en station de recherche**

### **Vol des adultes (G1)**

La validation effectuée en station de recherche permettait d'accumuler des données sur l'émergence à la fois des femelles et des mâles. Cette fois, les prédictions de RIMpro-Cydia pour le vol des femelles ont donc pu être comparées avec les données observées pour les femelles. Les deux modèles ont prédit avec précision le vol des adultes de la 1<sup>ère</sup> génération (Figure 17) que ce soit celui des femelles simulée par RIMpro-Cydia ( $R^2=0,9697$ ) ou celui des mâles simulé par le modèle Agropomme ( $R^2=0,9872$ ). Le phénomène de protandrie n'a pas été observée de façon prononcée puisque l'émergence des femelles n'est pas décalée par rapport à celle des mâles (Figure 17 b-d). Par ailleurs, le début de l'émergence était prédit correctement par les modèles. Cependant, la fin du vol des femelles était prédite par RIMpro-Cydia alors qu'environ 10% des femelles n'étaient pas encore émergées. Par contre, le modèle Agropomme prédisait la fin des captures de mâles tardivement comparativement aux données observées.

### **Activité de ponte (G1)**

L'activité de ponte simulée par le modèle Agropomme (Figure 18 c-d) correspondait de près à celle observée au sein des individus maintenus en conditions semi-naturelles ( $R^2=0,9864$ ). Comparativement à la validation effectuée avec les données récoltées en vergers, la performance du modèle RIMpro-Cydia était meilleure ( $R^2=0,9317$ ) (Figure 18 a-b). Le modèle a prédit correctement le début et la fin de l'activité de ponte cependant selon les prédictions, le pic de ponte survenait de façon beaucoup plus hâtive par rapport aux données observées.

### **Période d'éclosions (G1)**

La comparaison des périodes prédites et observées d'éclosion des œufs du carpocapse en conditions semi-naturelles permet de poser un diagnostic similaire à celui observé pour la ponte quant à la performance des deux modèles (Figure 19). Une plus grande similarité était observée entre les données prédites par le modèle Agropomme et les données observées ( $R^2=0,9807$ ) comparativement au modèle RIMpro-Cydia ( $R^2=0,9191$ ). Celui-ci prédisait hâtivement le pic d'éclosion comparativement aux données observées.

### **Données historiques**

#### **Vol des adultes (G1)**

De façon générale, pour les cinq années de captures observées au verger pilote de Rougemont (2005 à 2009), le modèle RIMpro-Cydia a donné une bonne prédiction du vol des adultes de la 1<sup>ère</sup> génération (Figure 20). Quoique relativement satisfaisantes en 2001 et 2003, les prédictions du vol d'adultes par RIMpro-Cydia pour le verger pilote de Freighsburg s'écartaient davantage des données observées pour les autres années. Tel que mentionné, le même portrait a été observée lors du suivi réalisé dans le cadre de ce projet en 2009 et peut être attribué à l'augmentation très rapide des captures souvent observée en début de saison dans cette parcelle qui ne recevait aucun traitement insecticide.

#### **Vol des adultes (G2)**

Les prédictions du modèle RIMpro-Cydia pour le vol de la 2<sup>e</sup> génération d'adultes étaient moins bonnes que pour la 1<sup>ère</sup> génération (Figure 21). En général, les captures prédites par le modèle étaient plus tardives comparativement aux captures observées, particulièrement pour le verger pilote de Rougemont.

### **Discussion**

Le projet comportait deux volets complémentaires : validation à la ferme et validation en station de recherche. Dans un premier temps, la validation à la ferme a permis de valider les prédictions des modèles dans différentes régions pomicoles à partir d'informations recueillies directement en verger. Par contre, dans le cadre de ce volet, la méthode utilisée pour suivre la ponte et l'éclosion ne reflète que les œufs dont la larve a survécu jusqu'à l'échantillonnage. Ceci peut entraîner une certaine sous-estimation du nombre d'œufs pondus ou éclos due à la mortalité des larves particulièrement durant les premiers stades. Également, en verger, uniquement le vol des mâles a pu être mesuré à l'aide de piège à phéromone et un certain décalage peut être observé entre leur émergence et leur capture selon l'attraction variable des phéromones dans le temps. Dans un deuxième temps, la validation en station de recherche a permis de valider les prédictions des modèles grâce au suivi d'individus maintenus en conditions semi-naturelles se rapprochant de celles enregistrées dans un verger. Bien que l'utilisation d'individus confinés puisse induire un changement de comportement, cette méthode a permis de suivre de façon fine le patron d'émergence à la fois des mâles et des femelles ainsi que le patron réel de ponte et d'éclosion.

Les deux méthodes de validation utilisées ont permis d'établir le même diagnostic quant à la performance générale de chacun des modèles. Bien que leur précision pour prédire le vol des adultes de la 1<sup>ère</sup> génération fût comparable, la période et l'intensité de la ponte et de l'éclosion ont été prédites de façon plus fidèle par le modèle Agropomme que par le modèle RIMpro-Cydia. Différents points peuvent être soulevés pour expliquer l'écart entre les deux modèles. Lors de l'établissement de ses prédictions, pour le début de la saison, la période de pré-ponte sur laquelle se base le modèle RIMpro-Cydia est beaucoup plus longue que celle utilisée par le modèle Agropomme (80DJ<sub>10</sub> vs 30 DJ<sub>10</sub>). De plus, la période crépusculaire propice pour la ponte en considération par le modèle RIMpro-Cydia est beaucoup plus courte (2h) comparativement au modèle Agropomme (7h). La durée du jour semble également être estimée de façon plus précise d'une localité à l'autre ou de façon mieux adaptée à nos conditions par le modèle Agropomme comparativement au modèle RIMpro-Cydia. Finalement, le modèle Agropomme prend en compte le patron de ponte des femelles (nb d'œufs pondus quotidiennement selon l'âge des femelles) lors de l'établissement de ses prédictions alors que ce paramètre ne semble pas être considéré par le modèle RIMpro-Cydia.

Plusieurs paramètres du modèle RIMpro-Cydia peuvent être ajustés selon les particularités régionales. Puisque, au départ, la majorité de ces paramètres n'étaient pas connus pour le Québec, les valeurs par défaut, établies pour le Nord-Ouest de l'Europe, ont été utilisées. À la lumière des informations obtenues dans le cadre de ce projet, différentes améliorations pourraient être apportées au modèle pour améliorer ses prédictions de la ponte et de l'éclosion sous nos conditions. Ainsi, les différents avantages offerts par ce modèle pourraient être mis à profit, notamment ceux relatifs aux paramètres utilisés pour simuler la 2<sup>e</sup> génération. En effet, sous nos conditions, on considère généralement que le carpocapse complète une seule génération mais qu'il peut passer par une 2<sup>e</sup> génération, complète ou partielle, lorsque les conditions sont propices. Or, en plus des conditions climatiques qui varient d'une année à l'autre, la proportion de larves ayant la possibilité de donner une seconde génération varie également selon la composition génétique de la population puisqu'une certaine fraction des individus va entrer en diapause, indépendamment des conditions climatiques. Le modèle RIMpro-Cydia offre la possibilité de préciser, pour une région donnée, quelle est l'importance de cette fraction univoltine de la population. Les larves matures récoltées à l'aide de bandes-pièges en 2009 qui étaient destinées au suivi de la 2<sup>e</sup> génération mais qui ont en grande majorité diapauser ont été conservées et seront utilisées pour estimer, sous nos régions, la fraction univoltine de la population de carpocapse.

## **5. RETOMBÉES DES ACTIVITÉS RÉALISÉES**

Les activités réalisées dans le cadre de ce projet ont permis d'accumuler de l'information précieuse sur la performance des deux modèles prévisionnels du carpocapse de la pomme pour nos conditions. À la lumière des résultats obtenus, l'activité reproductive (ponte et éclosion) prédite par le modèle Agropomme pour la 1<sup>ère</sup> génération correspond davantage à nos observations que celle prédite par le modèle RIMpro-Cydia. Pour le vol des adultes, les deux modèles offrent une bonne prédiction des captures pour

la 1<sup>ère</sup> génération. Cependant, leur habileté prédictive pour le vol des adultes de la 2<sup>e</sup> génération varie davantage d'une année à l'autre. En général, les captures prédites sont plus tardives comparativement aux captures observées, le décalage étant plus important avec les prédictions du modèle RIMpro-Cydia comparativement aux prédictions du modèle Agropomme.

Le modèle prévisionnel actuellement utilisé au Québec pour le carpocapse de la pomme prédit uniquement le vol des adultes du carpocapse. Suite aux résultats obtenus avec le modèle Agropomme, les producteurs et les conseillers pourront se baser sur un second outil prévisionnel, validé sous les conditions du Québec, pour optimiser la lutte contre le carpocapse. Offrant de l'information additionnelle sur la phénologie du carpocapse et intégrant davantage de paramètres pour l'établissement de ses prédictions que l'accumulation simple de degré-jours, l'utilisation du modèle Agropomme pourra permettre d'améliorer grandement la surveillance et les mesures de lutte en verger contre le carpocapse, particulièrement pour la 1<sup>ère</sup> génération. Il est prévu que le modèle Agropomme soit intégré au logiciel CIPRA. Des discussions ont été entamées à ce propos entre les parties concernées durant la deuxième année de ce projet.

Ces dernières années, les populations et les dommages de carpocapse ont connu une progression préoccupante dans l'ensemble des régions pomicoles du Québec. De plus, avec l'arrivée de nouveaux produits pour lutter contre ce ravageur qui possèdent différents modes d'action comparativement aux produits traditionnellement utilisés, la nécessité de bien cibler les applications devient primordiale. Dans ce contexte, le projet aura un impact positif indéniable pour les producteurs de pomme québécois en leur permettant de faire face à la pression grandissante du carpocapse tout en intégrant efficacement les produits phytosanitaires les plus récents dans leurs programmes de lutte.

## **6. CONCLUSION**

Suite aux travaux réalisés en 2008 et 2009, l'objectif général du projet a été atteint avec succès. En dépit du fait que, tel que prévu initialement, la validation du modèle SOPRA n'ait pu être réalisée, les prédictions de deux modèles phénologiques prévisionnels du carpocapse de la pomme, le modèle RIMpro-Cydia et le modèle développé par le club Agropomme ont été validées sous les conditions du Québec. Pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse, les deux modèles ont fourni une bonne prédiction du vol des adultes. Le modèle Agropomme a également prédit avec précision la ponte et l'éclosion alors que les prédictions du modèle RIMpro-Cydia pour ces deux paramètres étaient moins fidèles aux données observées. De plus, les informations accumulées suite aux deux années de validation à la ferme ont été confirmées par les données recueillies dans le cadre de la validation réalisée en station de recherche.

Par ailleurs, en plus des essais de validation ayant permis de mesurer la performance des deux modèles sous nos conditions, le projet aura permis d'accumuler de l'information additionnelle sur le carpocapse de la pomme, de même que sur d'autres lépidoptères internes de la pomme. En effet, l'échantillonnage des larves a permis d'obtenir de l'information sur l'importance relative des différentes espèces de lépidoptères étroitement apparentés au carpocapse de la pomme. Des données, jusqu'ici inconnues pour le Québec, pourront également être obtenues grâce aux travaux réalisés

dans le cadre de ce projet, notamment sur le voltinisme du carpocapse, la fécondité des femelles et l'induction de la sortie de diapause.

## 7. RÉFÉRENCES

- Knight, A.L. 2007. Adjusting the phenology model of codling moth (Lepidoptera : Tortricidae) in Washington state apple orchards. *Environ. Entomol.* 36(6) : 1485-1493.
- Trapman, M., H. Helsen et M. Polfliet. 2008. Development of a dynamic population model as a decision support system for codling moth (*Cydia pomonella* L.) management. Proceedings of the 13th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing : 247-251.
- Richardson, J.C., C.D. Jorgensen et B.A. Croft. 1982. Embryogenesis of the codling moth, *Laspeyresia pomonella* : use in validating phenology models. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 75 : 201-209
- Weitzer, P. et M.E. Whalon. 1987. Head capsule widths as an indicator of the larval instar of codling moth (Lepidoptera : Olethreutidae). *The Great Lakes entomologist* 20(3) : 147-150.
- Pitcairn, J.M, F.G. Zalom et R.E. Rice. 1992. Degree-day forecasting of generation time of *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae) populations in California. *Environ. Entomol.* 21(3) : 441-446.

## **8. REMERCIEMENTS**

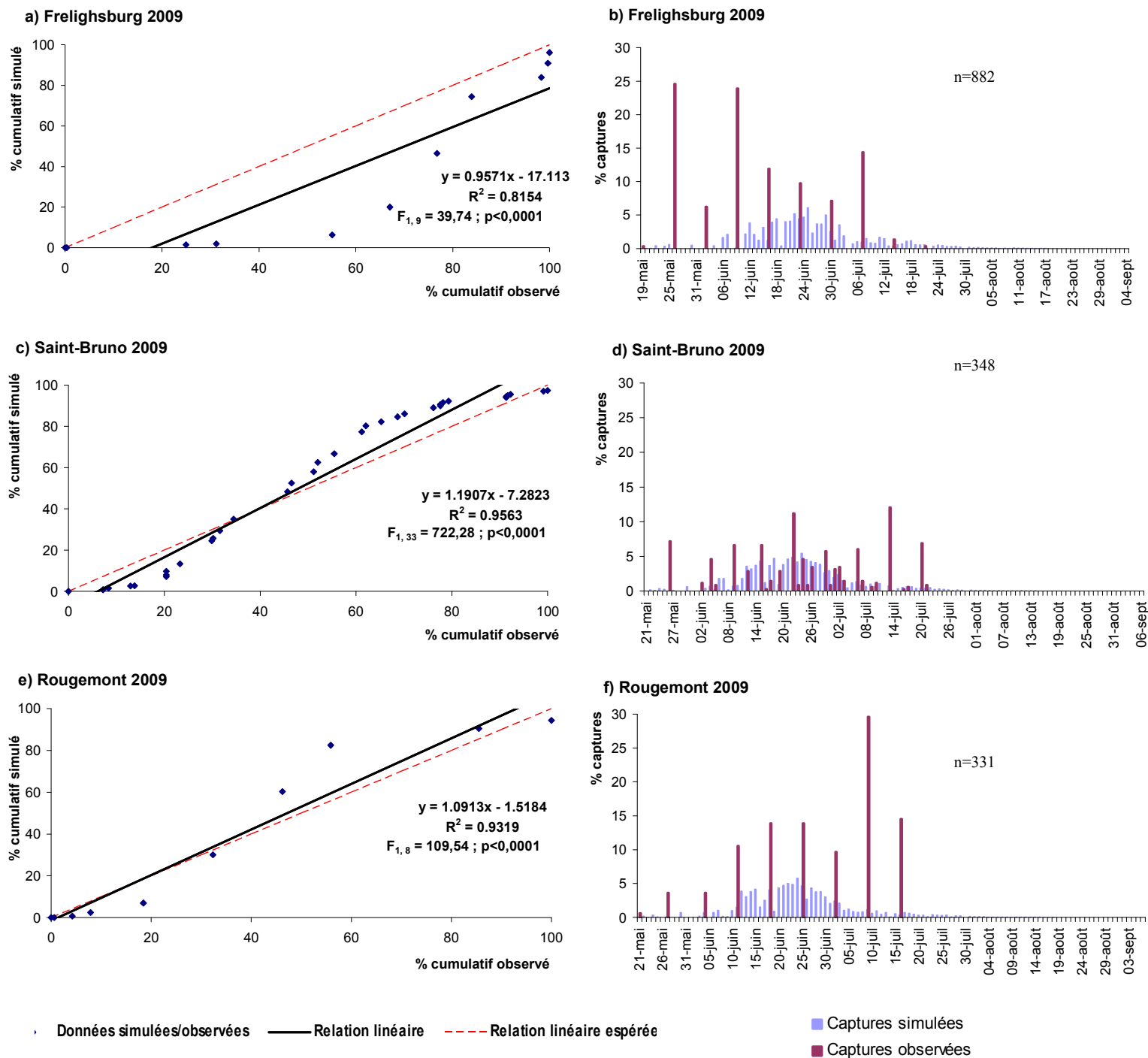
Les auteurs remercient Yvon Morin, Nathalie Tanguay et Gilles Tremblay, conseillers agronomes respectivement du club Pro-Pomme, du CET des producteurs du sud-ouest de Montréal et du club Transpomme pour leur participation lors de la recherche des parcelles expérimentales. Nous remercions également les producteurs qui ont gentiment acceptés de fournir une parcelle non traitée aux insecticides ainsi que Monique Audette de la ferme expérimentale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Frelighsburg pour l'accès à la parcelle expérimentale. Nous tenons aussi à remercier Roland Joannin du club Agropomme et Alain Rochia de Tranquillesoft, concepteurs du modèle Agropomme et Marc Trapman pour ses précieux conseils et l'accès au logiciel RIMpro-Cydia. Des remerciements à Steve Lamothe et Martin Duquette pour la prise de données biologiques en verger et en laboratoire. Soulignons également l'appui et le support de la Fédération des producteurs de pommes du Québec. Ce projet a été réalisé grâce à une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre du Programme de soutien à l'innovation horticole.



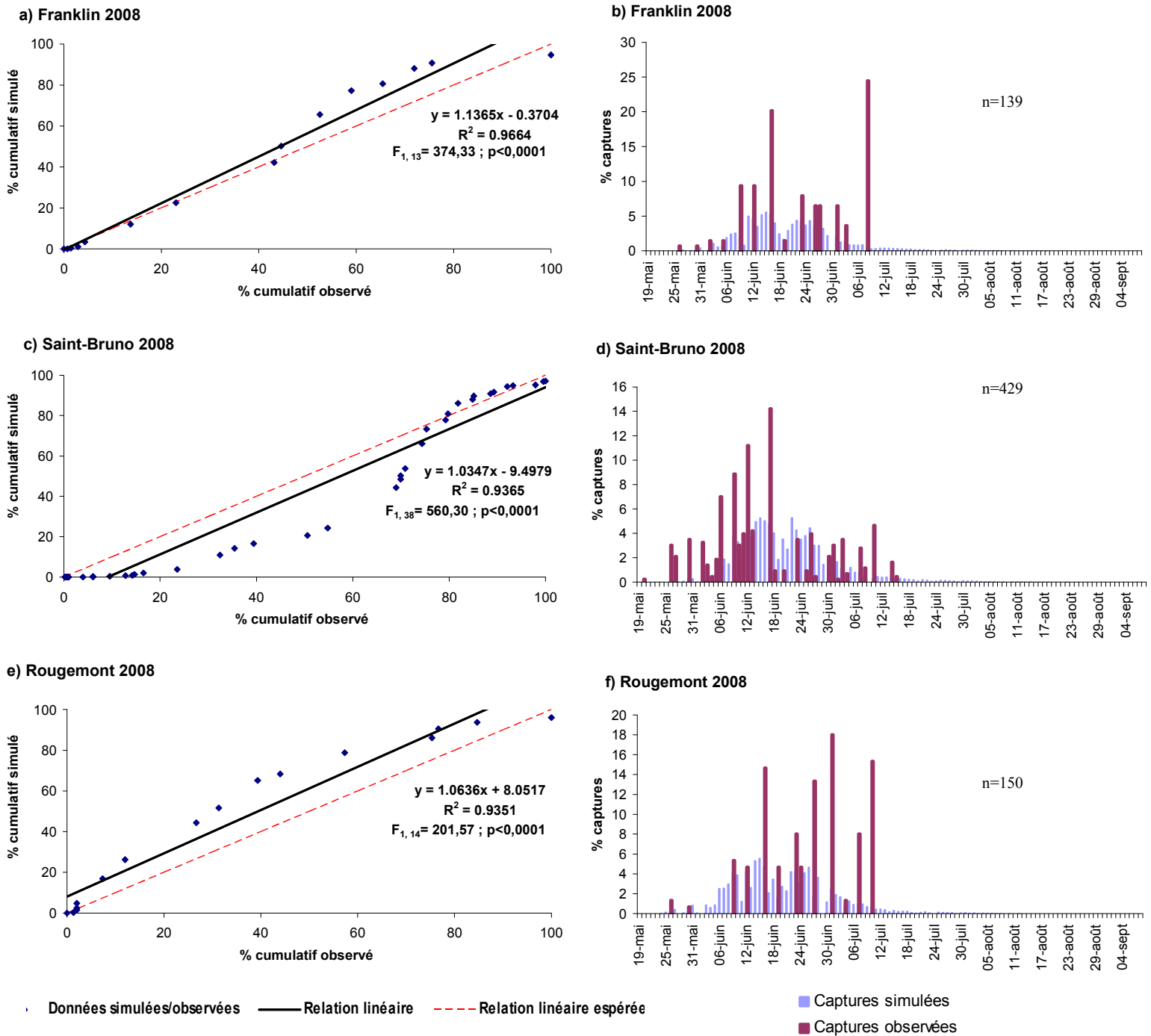
## LISTE DES FIGURES

- Figure 1** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**19**
- Figure 2** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**20**
- Figure 3** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**21**
- Figure 4** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**22**
- Figure 5** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**23**
- Figure 6** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**24**
- Figure 7** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**25**
- Figure 8** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**26**
- Figure 9** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**27**
- Figure 10** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....**28**

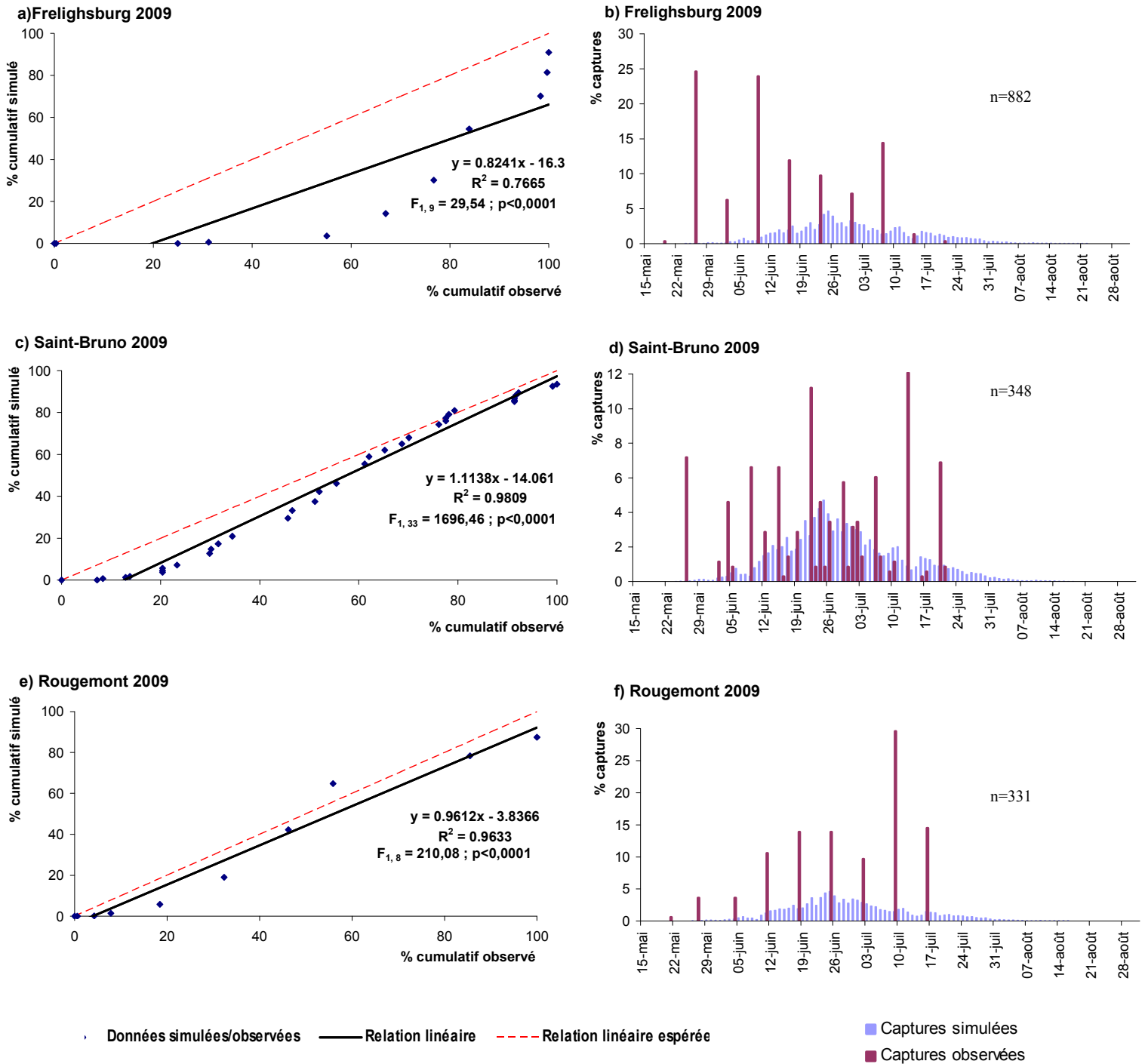
- Figure 11** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....29
- Figure 12** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....30
- Figure 13** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....31
- Figure 14** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....32
- Figure 15** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....33
- Figure 16** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f). .....34
- Figure 17** Comparaison de l'émergence observées et prédites par les modèles RIMpro-Cydia (a-b) et Agropomme (c-d) pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme en stations de recherche. ....35
- Figure 18** Comparaison des pontes observées et prédites par les modèles RIMpro-Cydia (a-b) et Agropomme (c-d) pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme en stations de recherche. ....36
- Figure 19** Comparaison des éclosions observées et prédites par les modèles RIMpro-Cydia (a-b) et Agropomme (c-d) pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme en stations de recherche. ....37
- Figure 20** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme entre 1999 et 2009 dans les vergers-pilotes de Frelighsburg (a-e) et Rougemont (f-j). .....38
- Figure 21** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme entre 1999 et 2009 dans les vergers-pilotes de Frelighsburg (a-e) et Rougemont (f-j). .....39



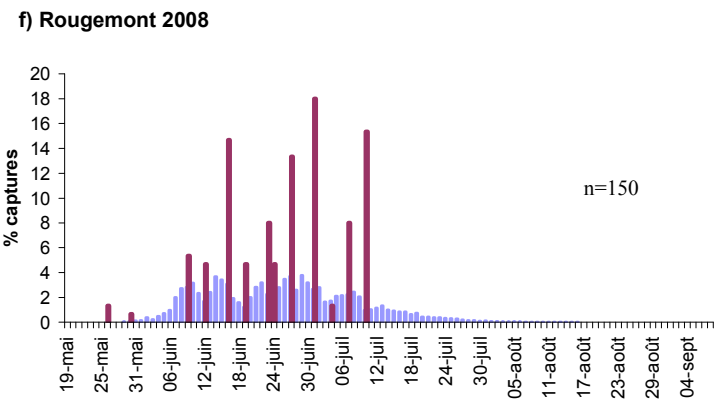
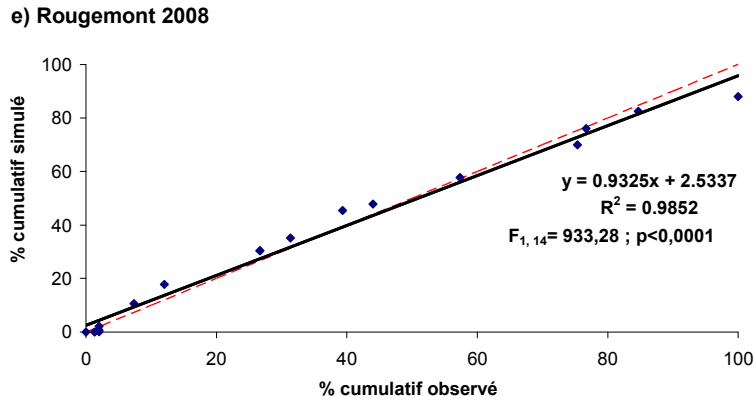
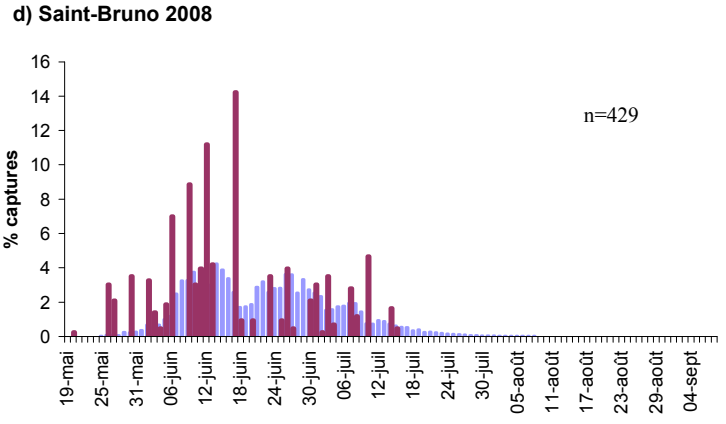
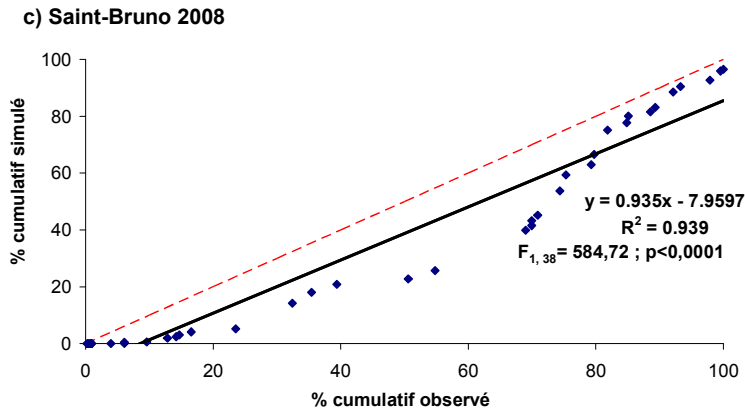
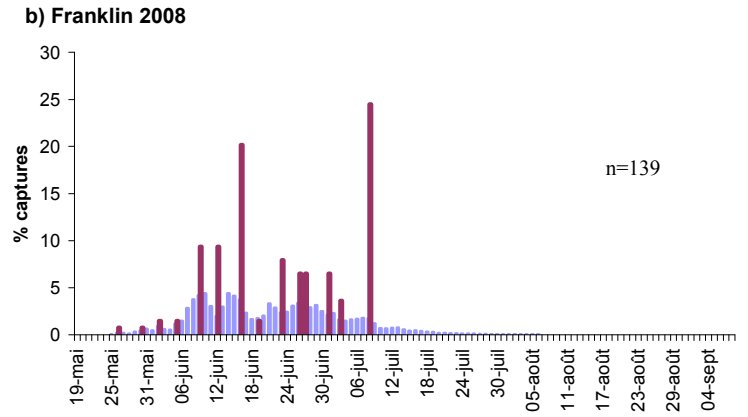
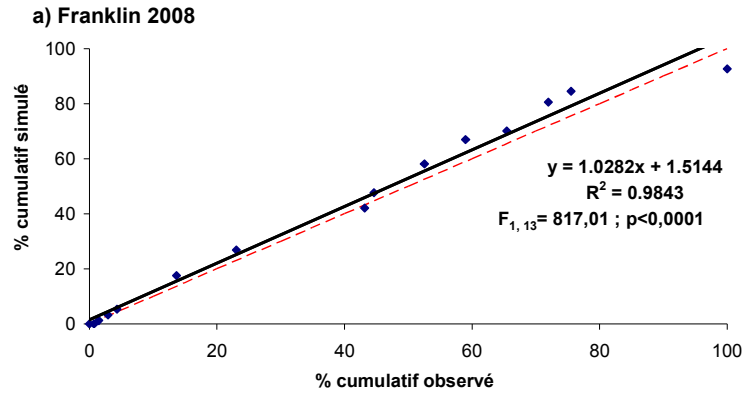
**Figure 1** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).



**Figure 2** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).



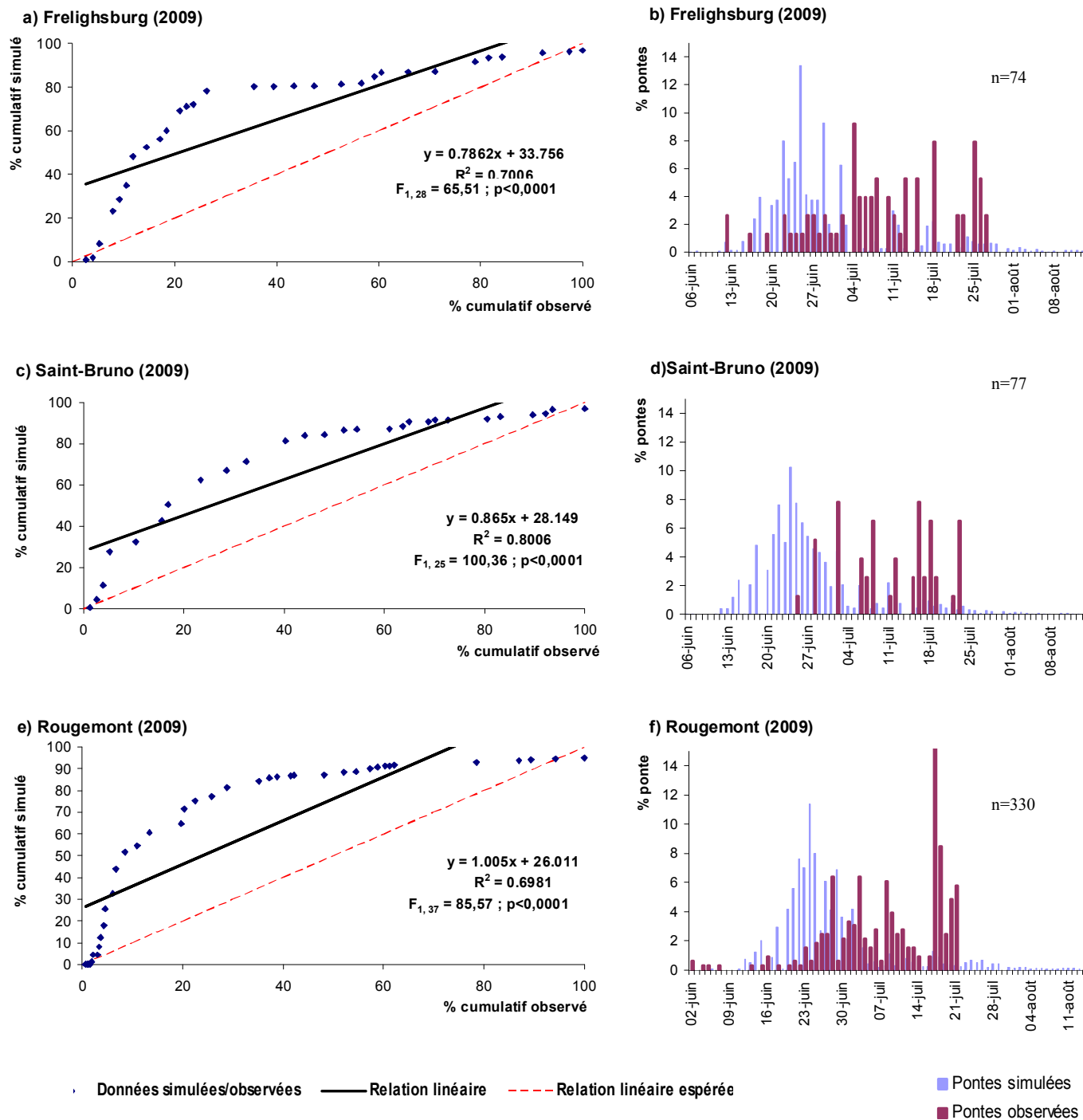
**Figure 3** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).



Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

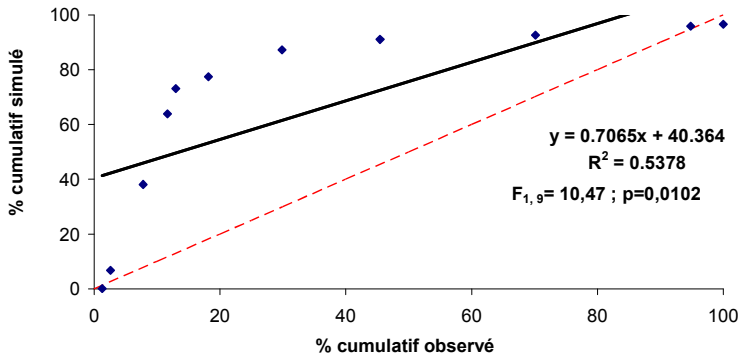
■ Captures simulées ■ Captures observées

**Figure 4** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

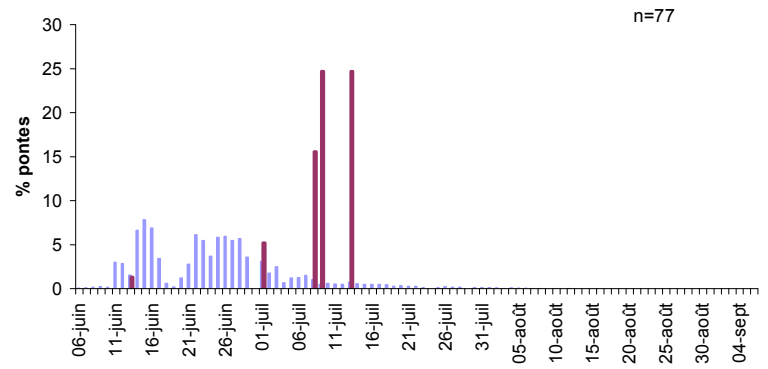


**Figure 5** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

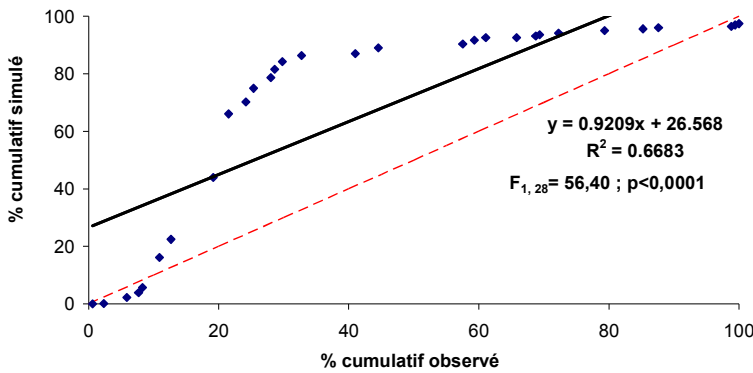
a) Franklin 2008



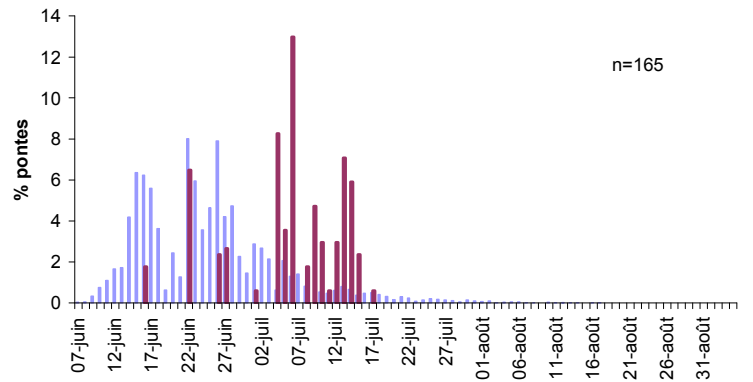
b) Franklin 2008



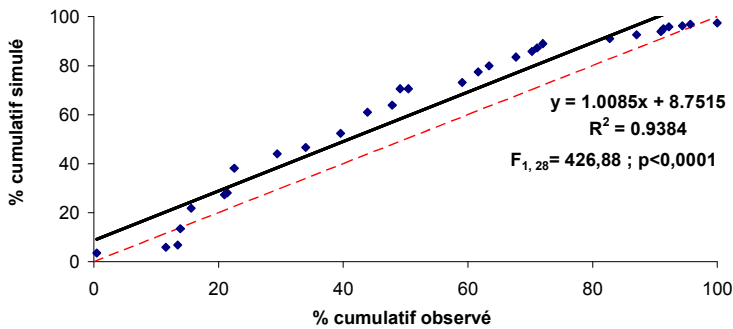
b) St-Bruno 2008



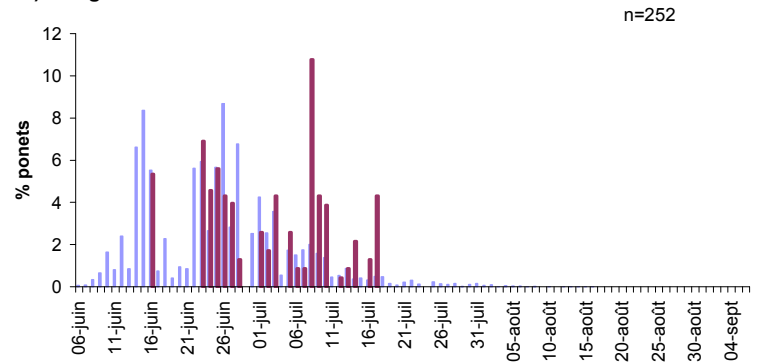
d) St-Bruno 2008



e) Rougemont 2008



f) Rougemont 2008

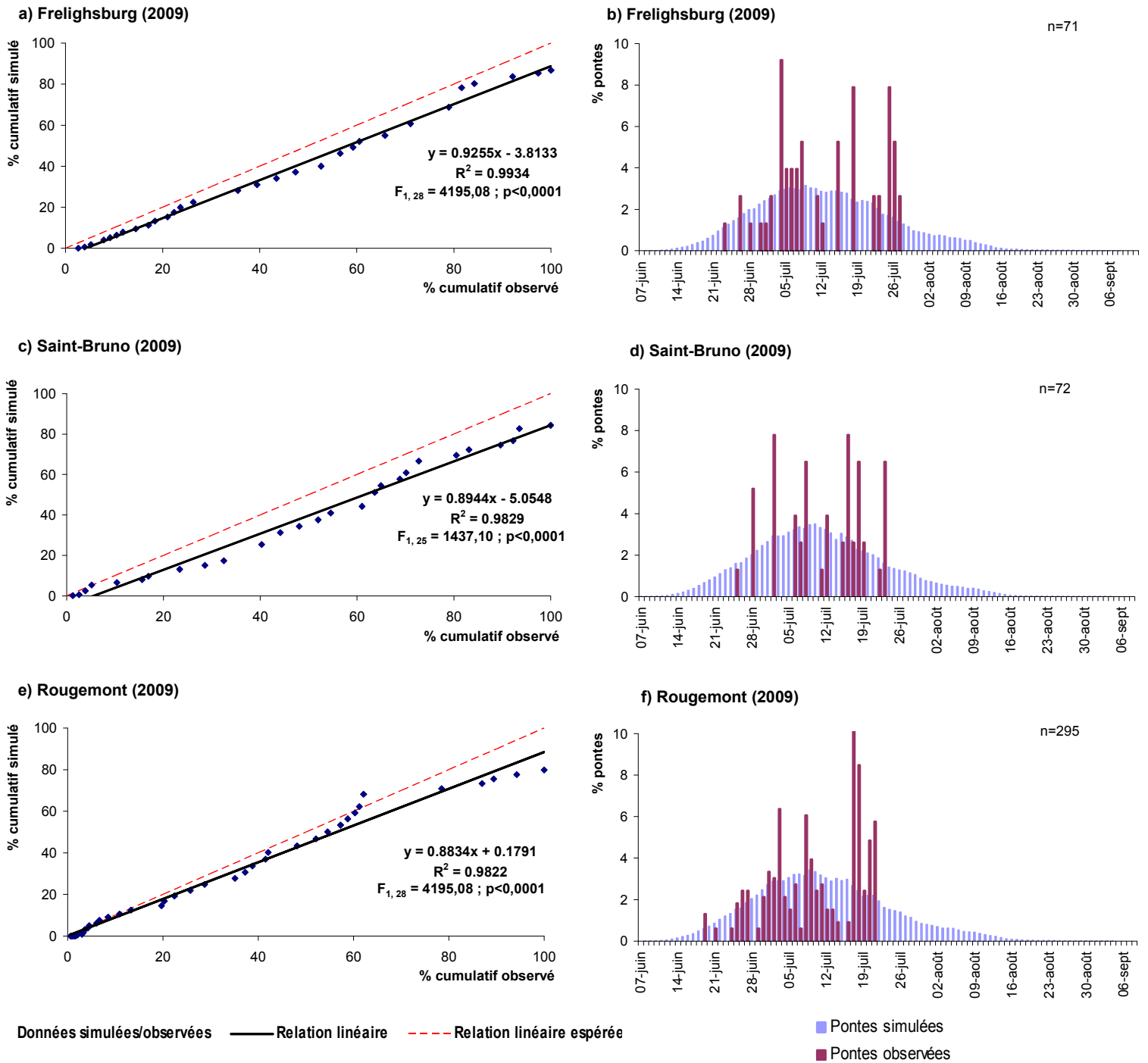


◆ Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

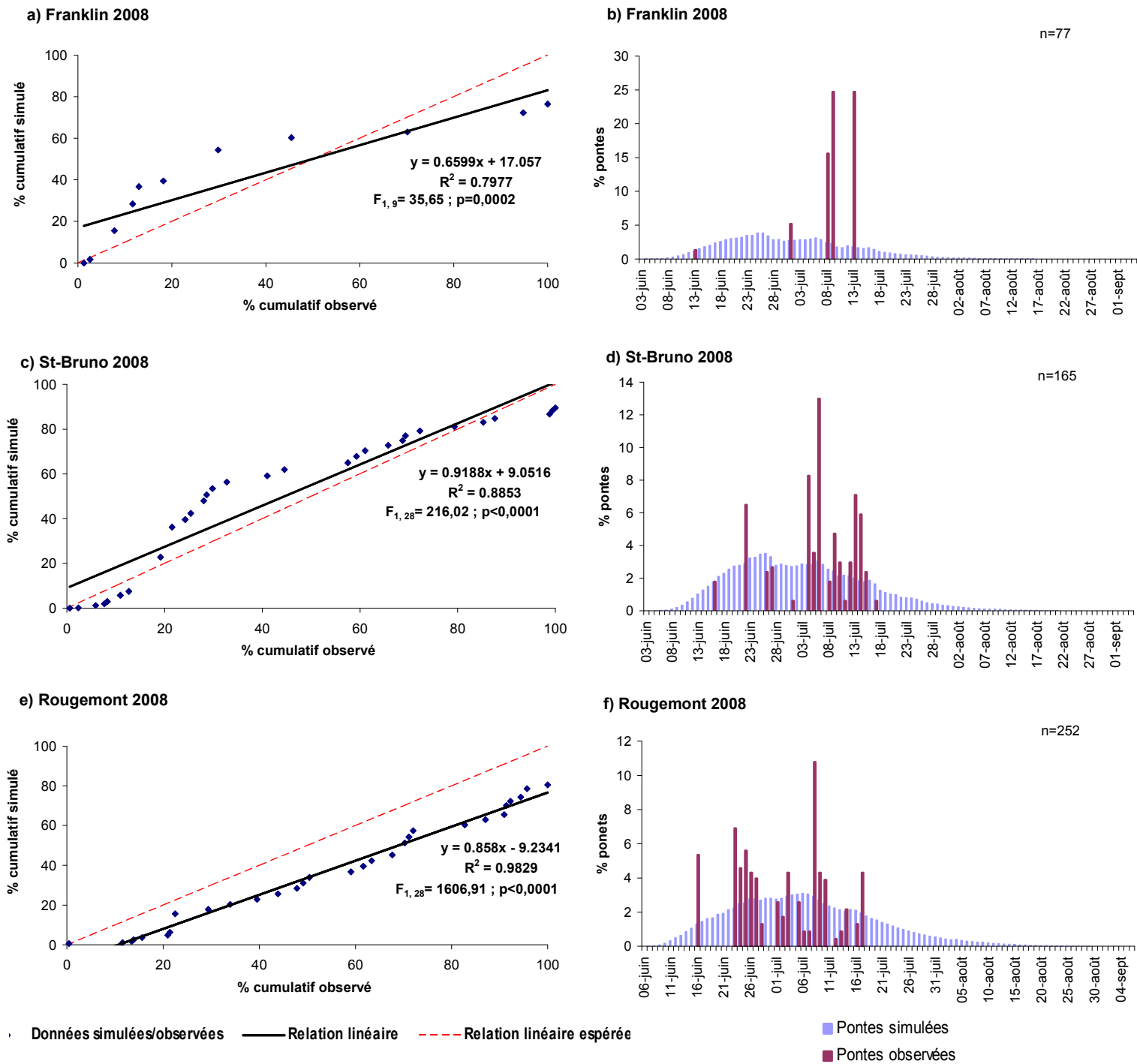
■ Pontes simulées  
■ Pontes observées

**Figure 6** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

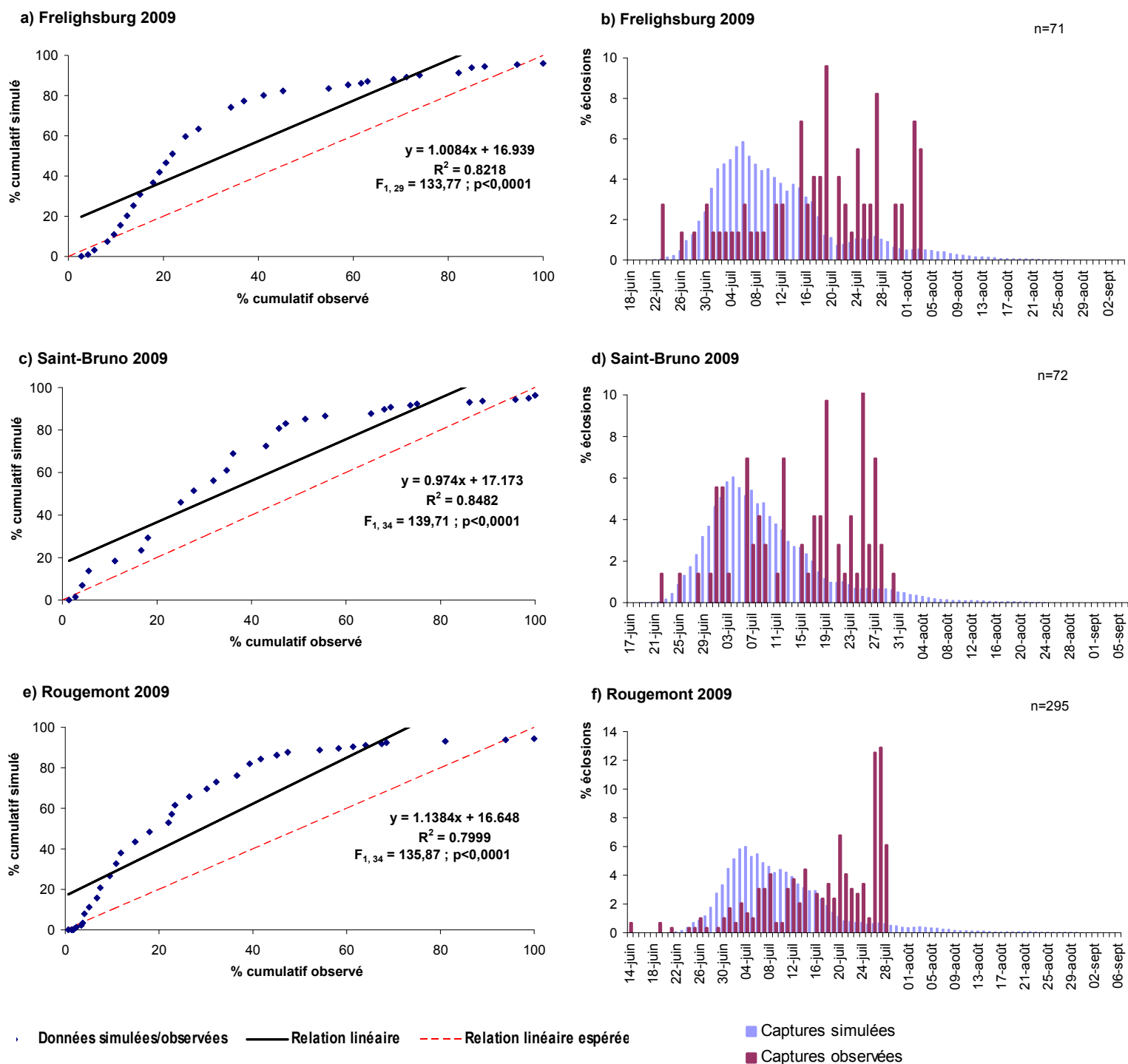




**Figure 7** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

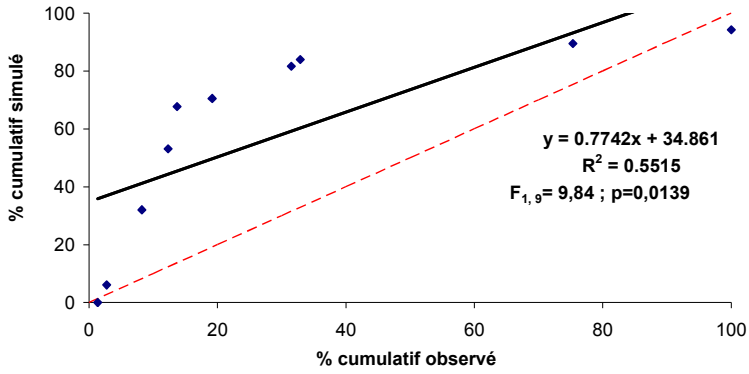


**Figure 8** Comparaison des pontes observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

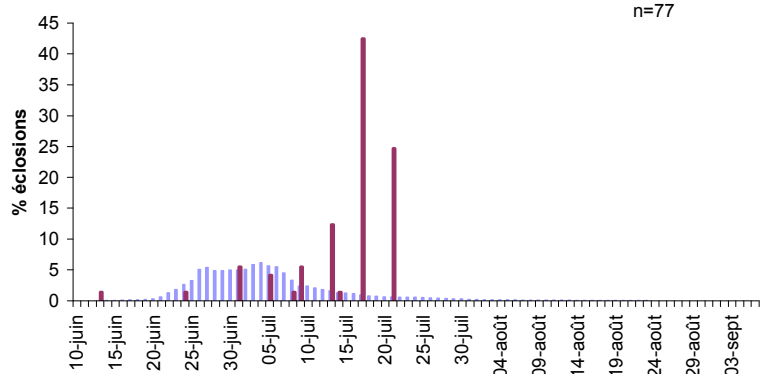


**Figure 9** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

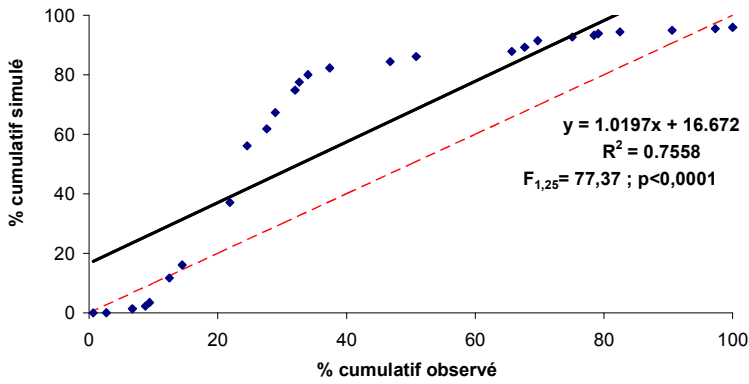
a) Franklin 2008



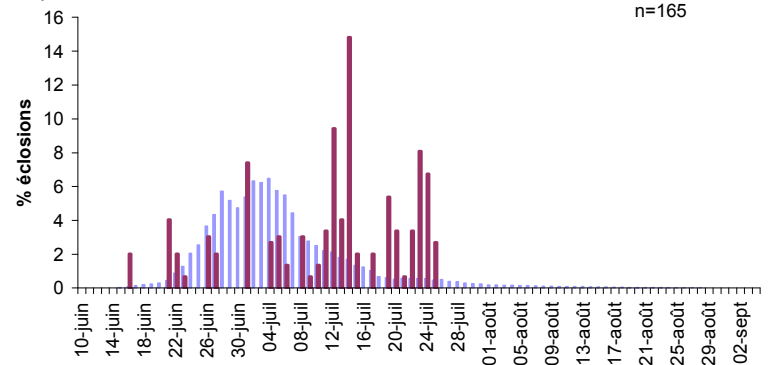
b) Franklin 2008



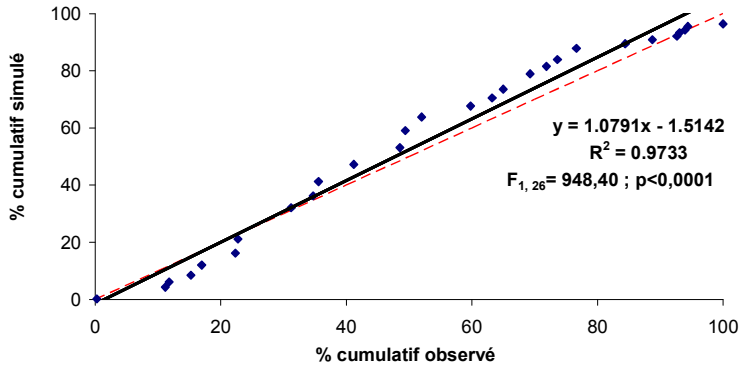
c) St-Bruno 2008



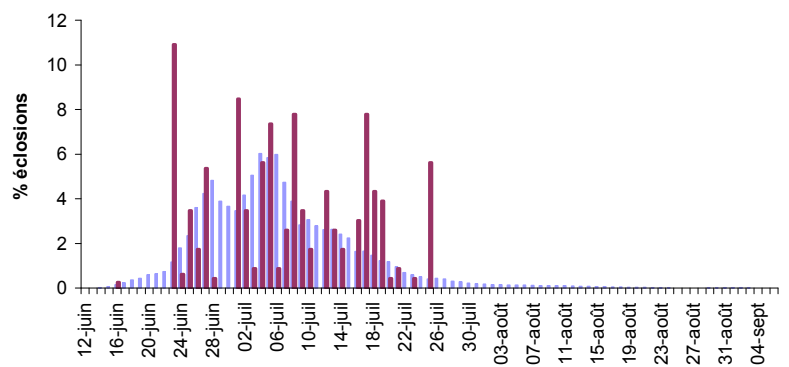
d) St-Bruno 2008



e) Rougemont 2008



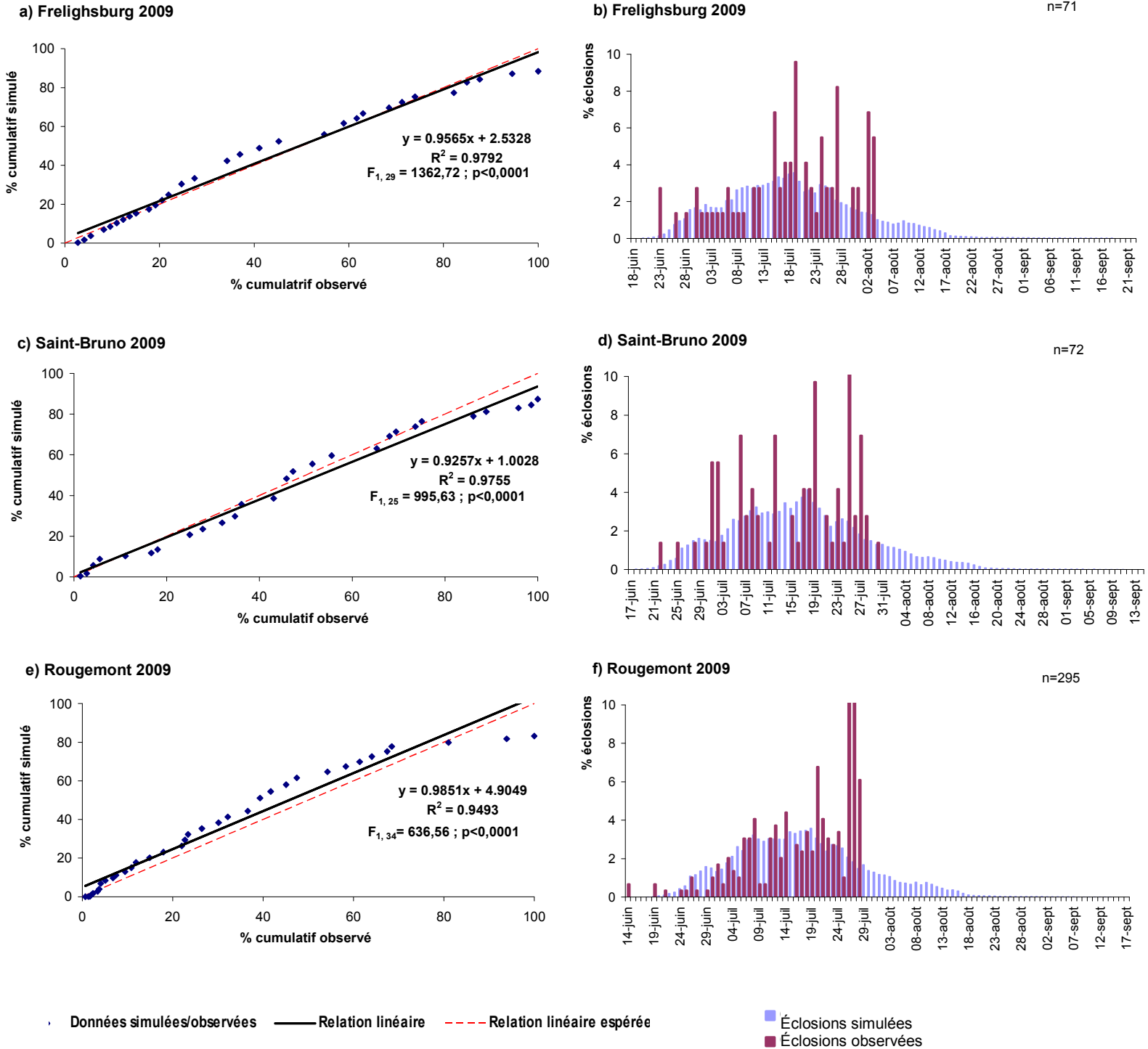
f) Rougemont 2008



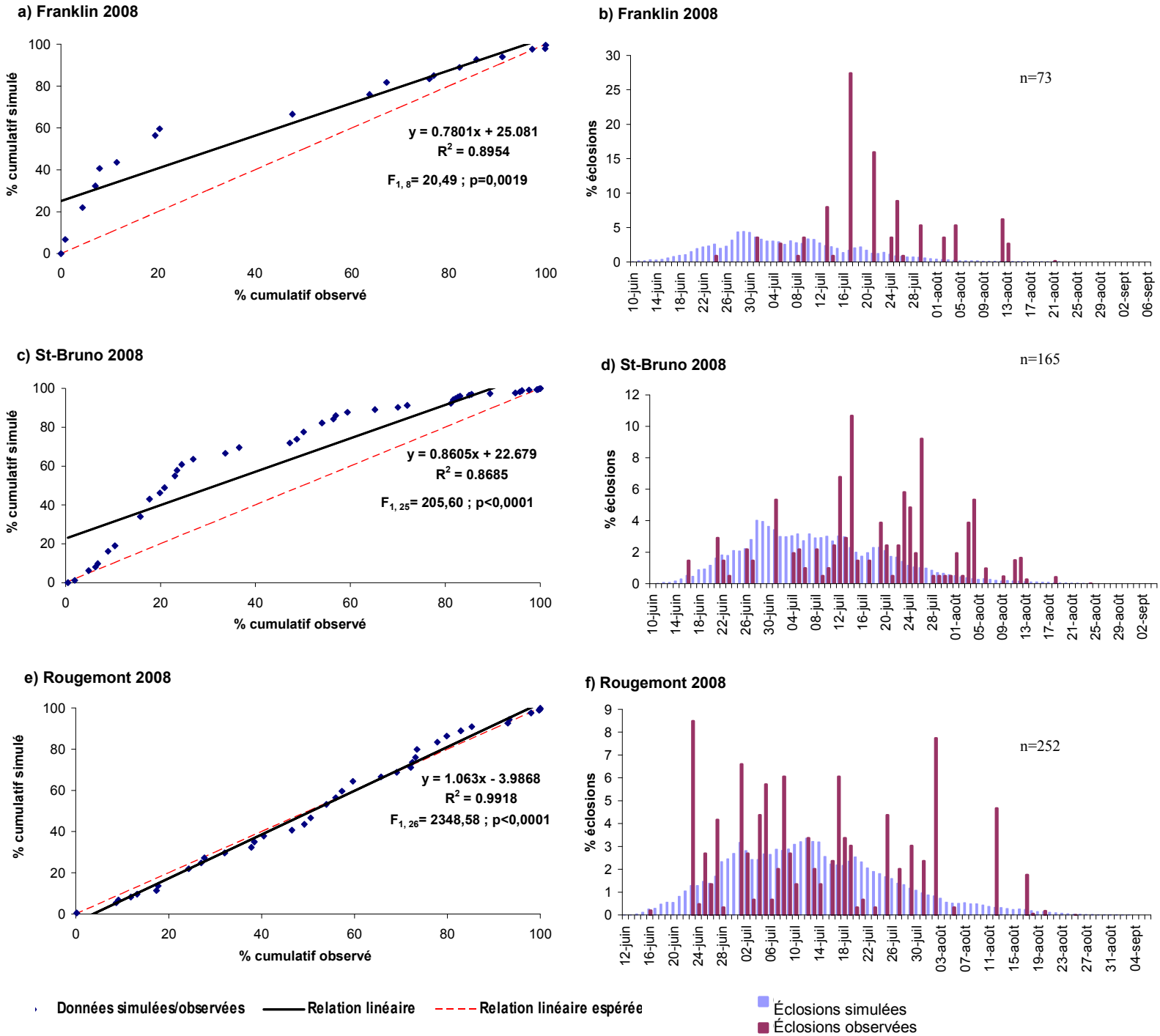
Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

■ Éclosions simulées  
 ■ Éclosions observées

**Figure 10** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

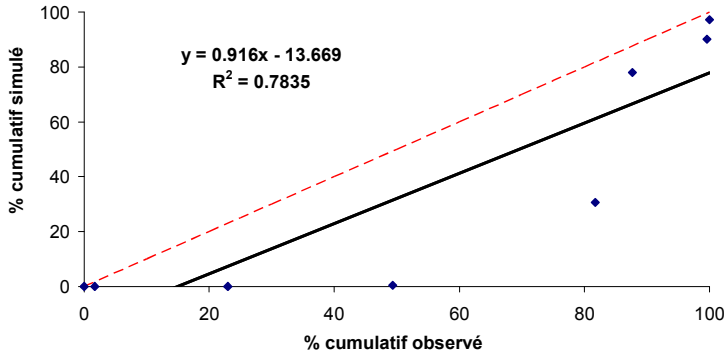


**Figure 11** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

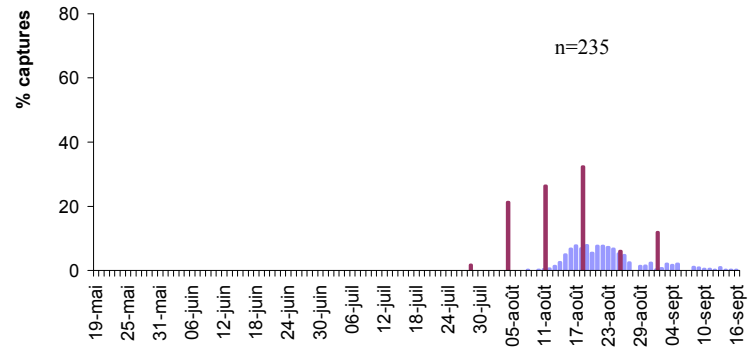


**Figure 12** Comparaison des éclosions observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

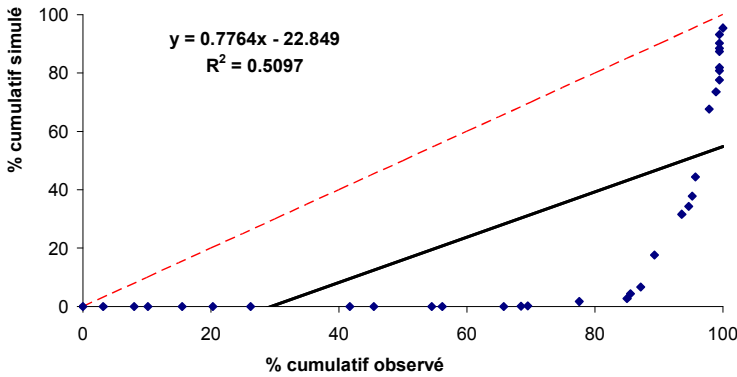
a) Frelighsburg 20092



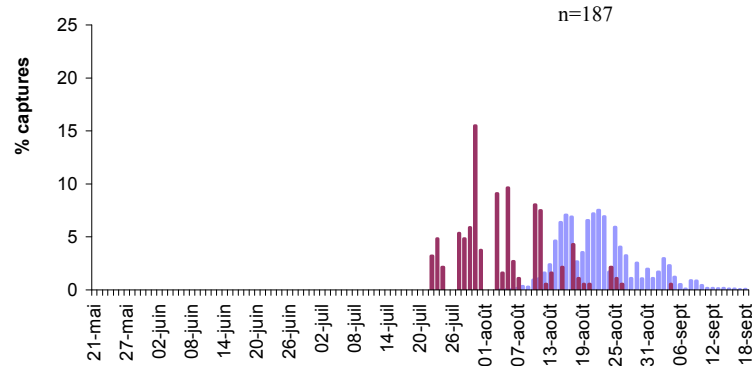
b) Frelighsburg 2009



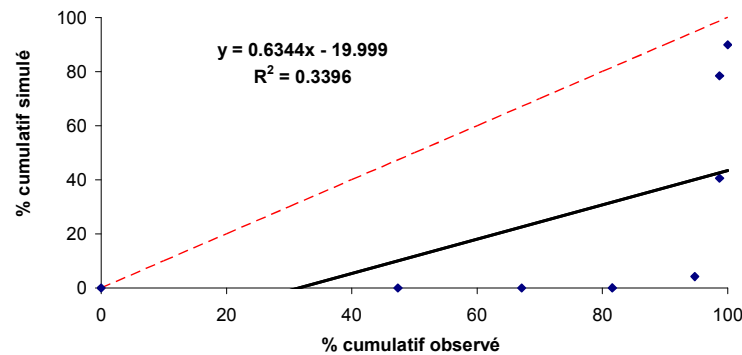
c) Saint-Bruno 2009



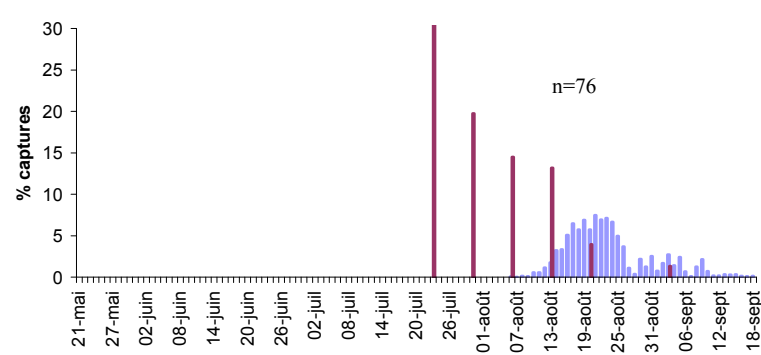
d) Saint-Bruno 2009



e) Rougemont 2009



f) Rougemont 2009

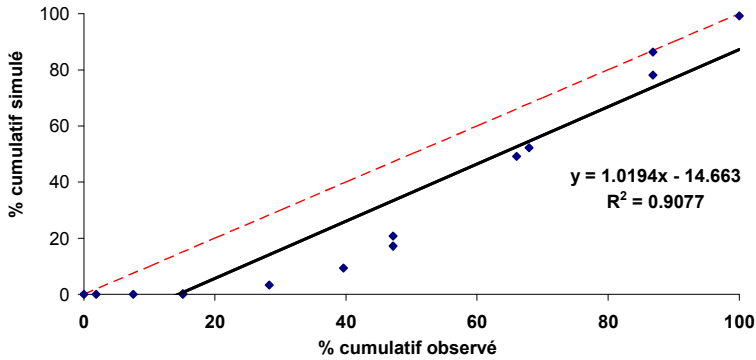


Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

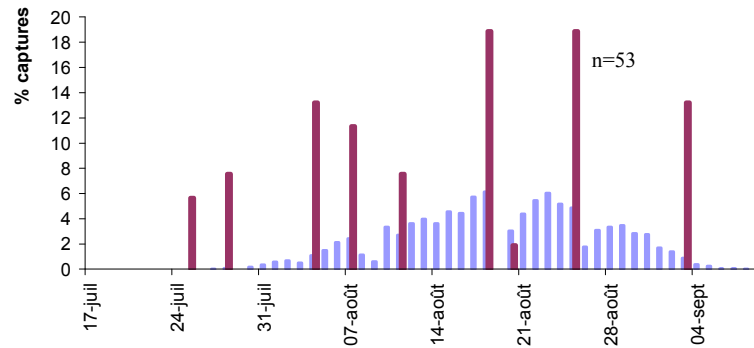
■ Captures simulées  
■ Captures observées

**Figure 13** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2009 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

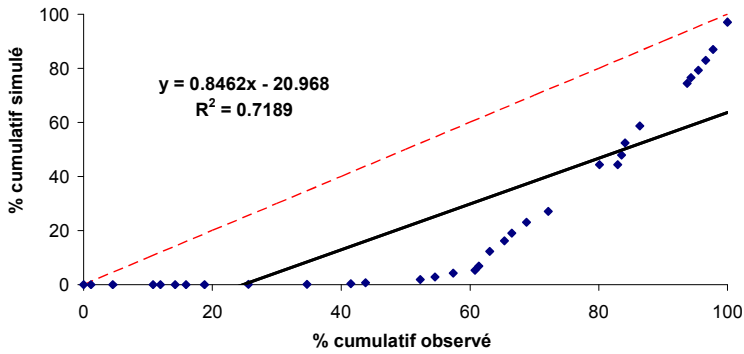
a) Franklin 2008



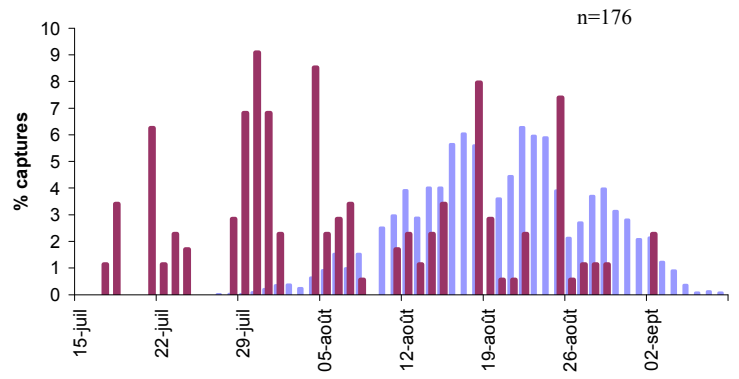
b) Franklin 2008



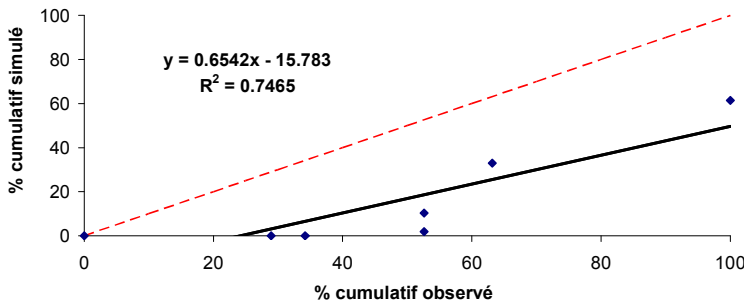
c) Saint-Bruno 2008



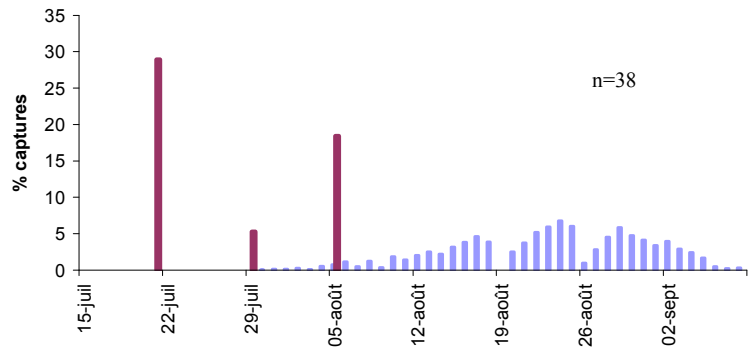
d) Saint-Bruno 2008



e) Rougemont 2008



f) Rougemont 2008

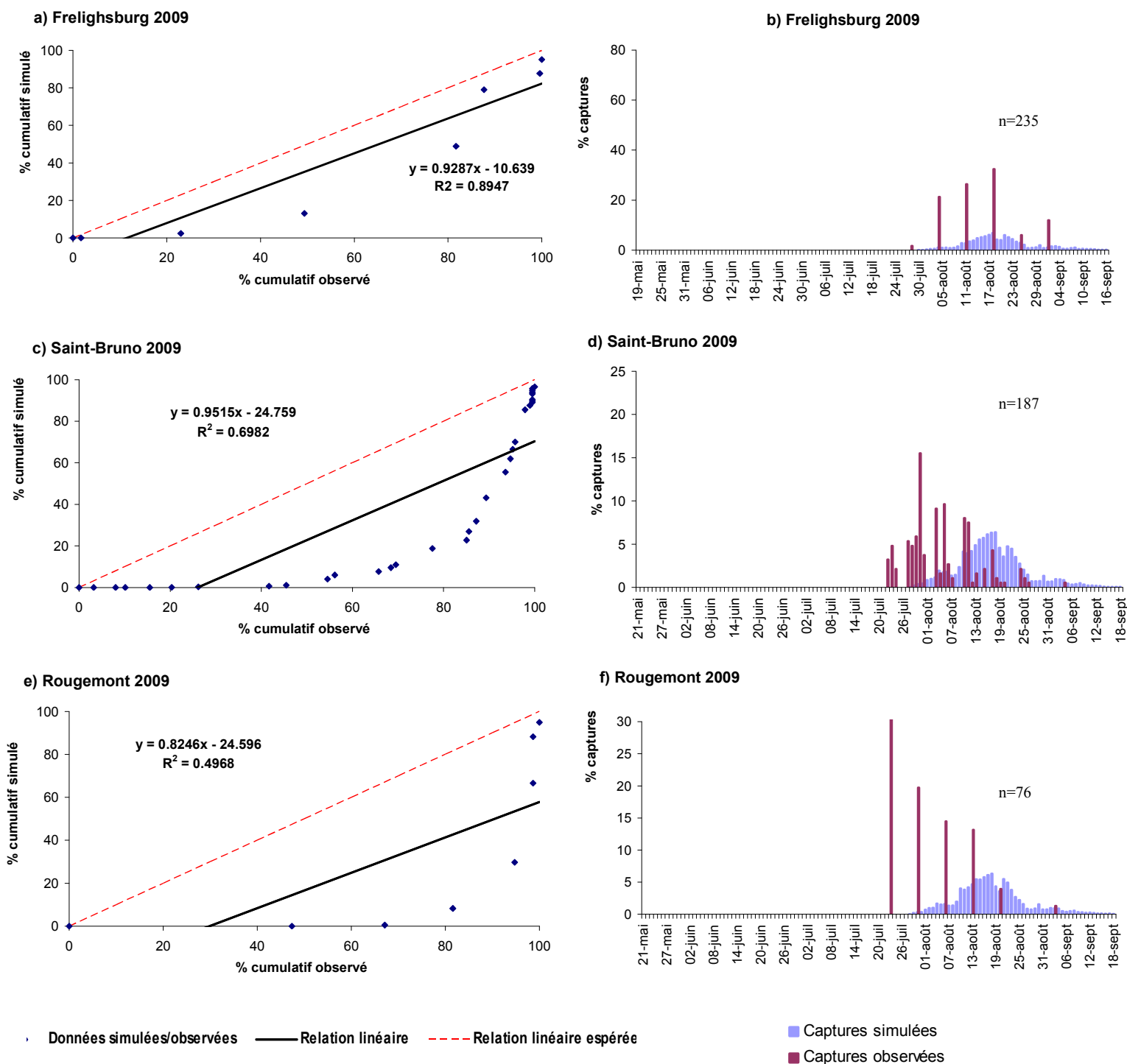


Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

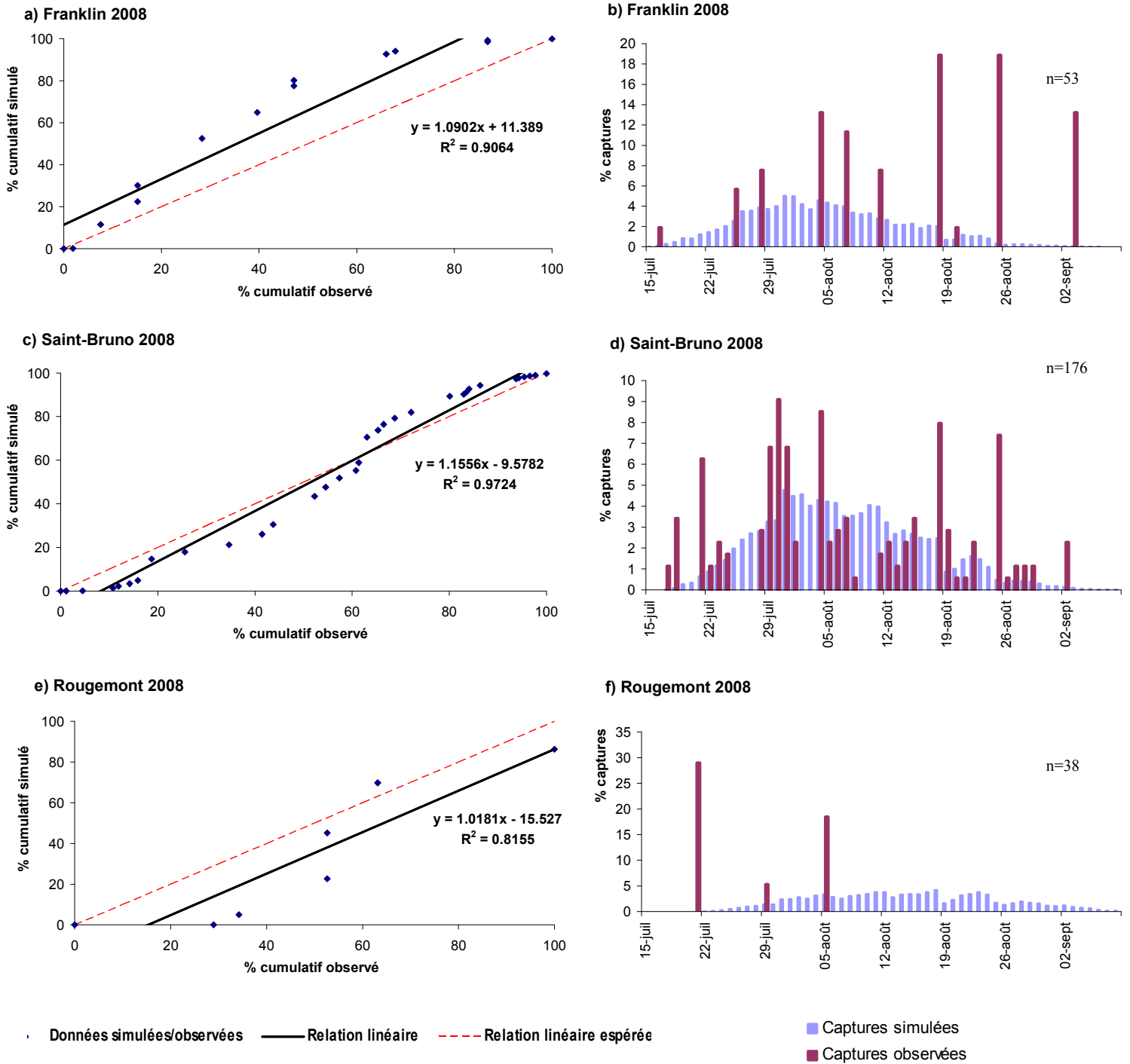
■ Captures simulées  
■ Captures observées

**Figure 14** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia en 2008 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).



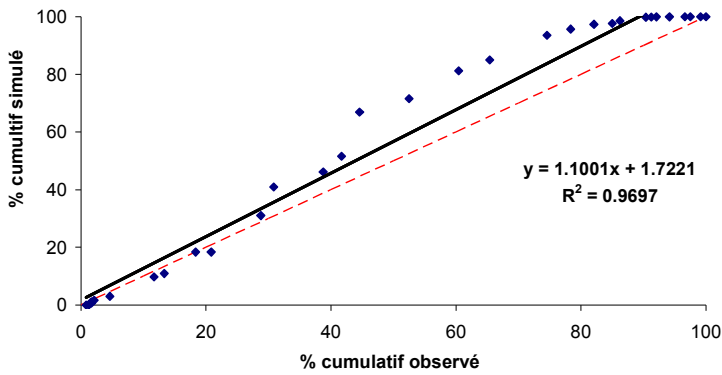


**Figure 15** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2009 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

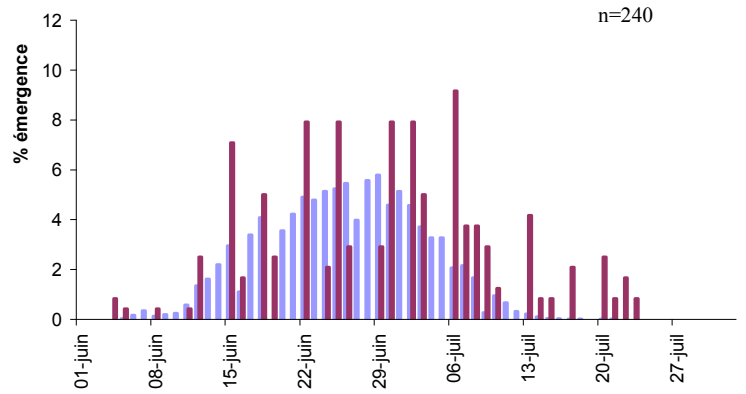


**Figure 16** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle Agropomme en 2008 pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme dans les vergers de Frelighsburg (a-b), Saint-Bruno (c-d) et Rougemont (e-f).

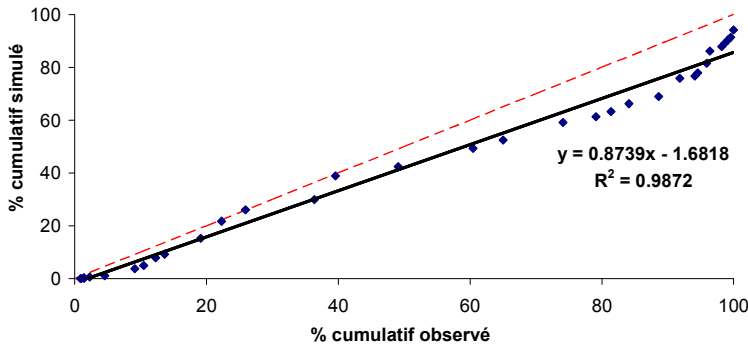
a) Émergence des femelles - RIMpro-Cydia



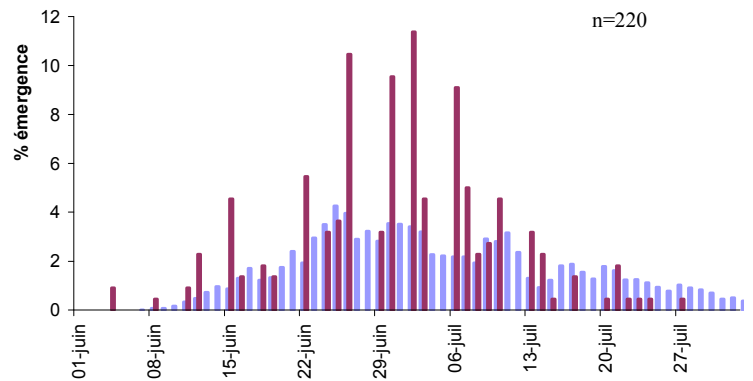
b) Émergence des femelles- RIMpro-Cydia



c) Émergence des mâles - Agropomme



d) Émergence des mâles - Agropomme

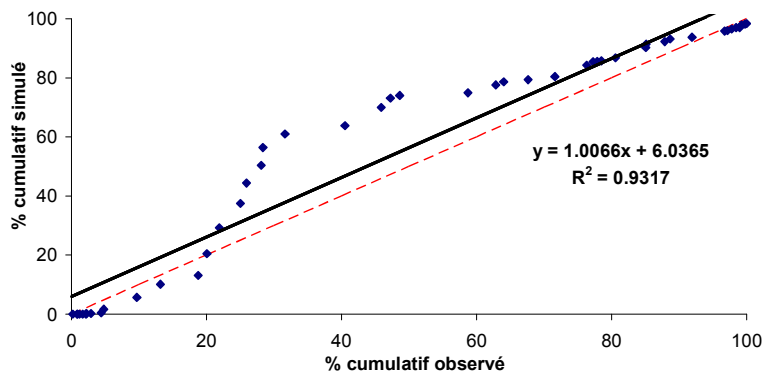


Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

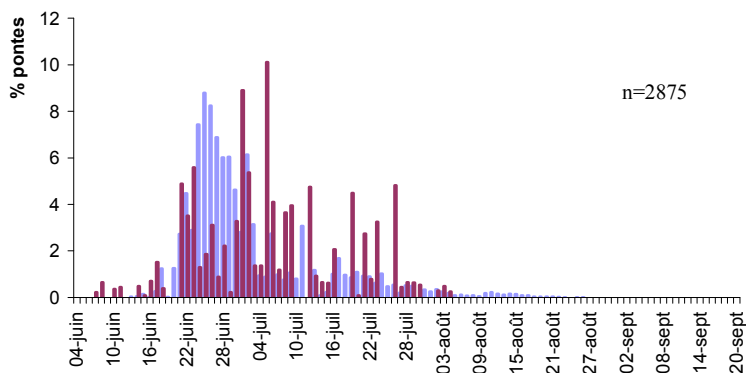
■ Émergence simulée  
■ Émergence observée

**Figure 17** Comparaison de l'émergence observées et prédites par les modèles RIMpro-Cydia (a-b) et Agropomme (c-d) pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme en stations de recherche.

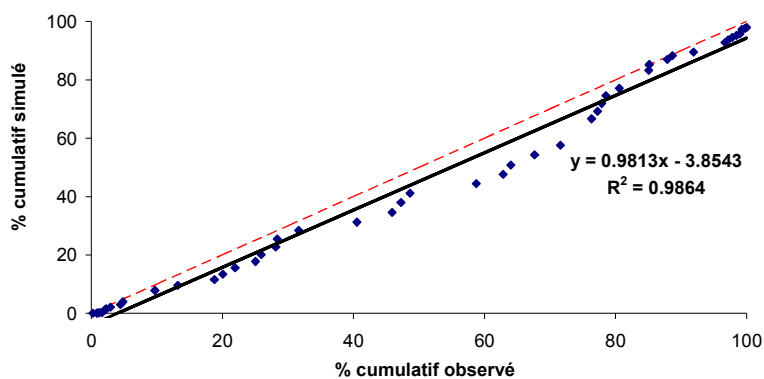
a) RIMpro-Cydia



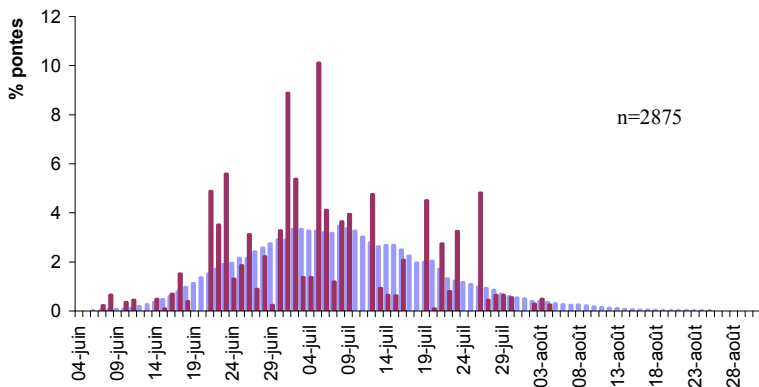
b) RIMpro-Cydia



c) Agropomme



d) Agropomme

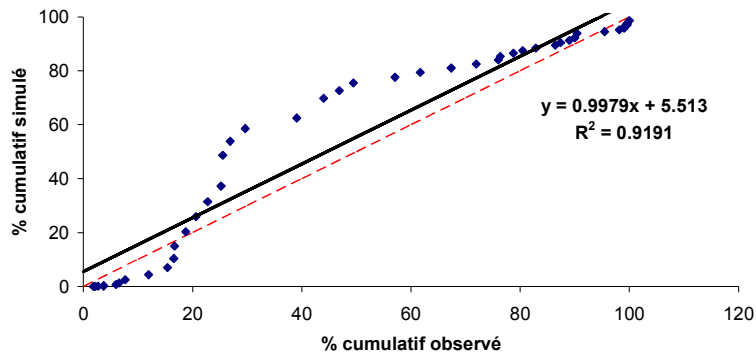


Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

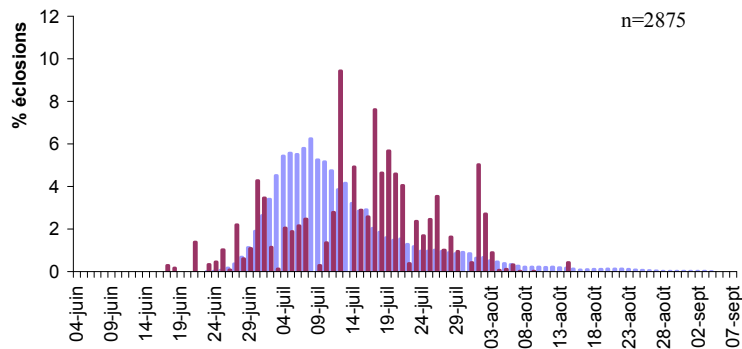
■ Pontes simulées  
■ Pontes observées

**Figure 18** Comparaison des pontes observées et prédites par les modèles RIMpro-Cydia (a-b) et Agropomme (c-d) pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme en stations de recherche.

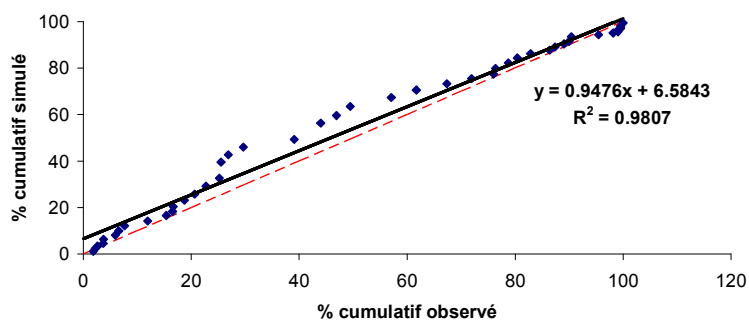
a) RIMpro-Cydia



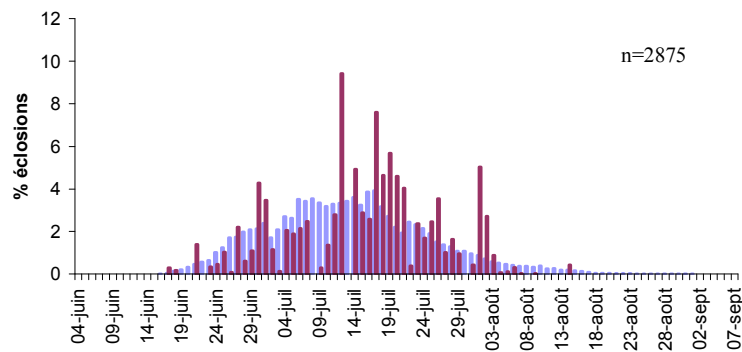
b) RIMpro-Cydia



c) Agropomme



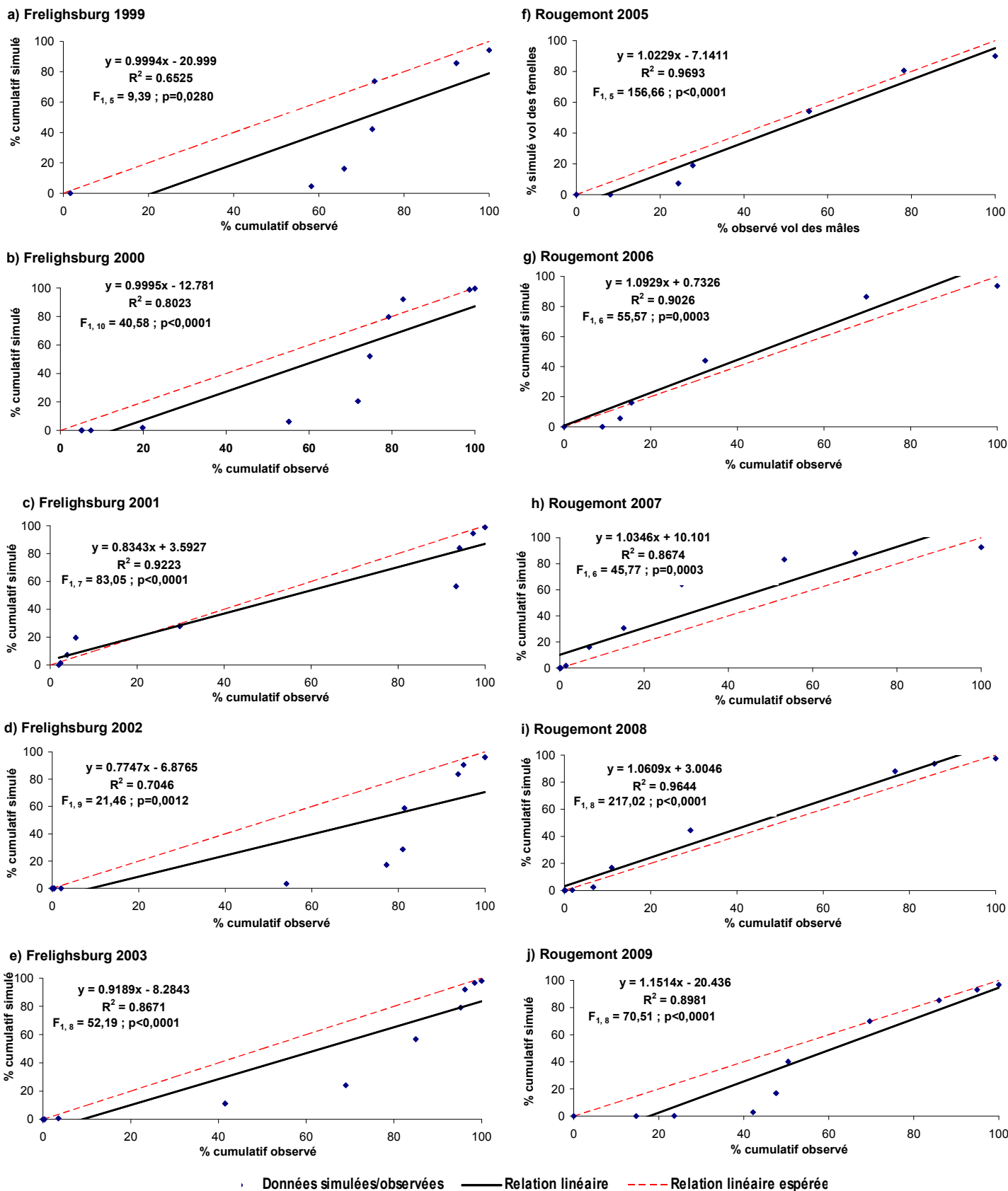
d) Agropomme



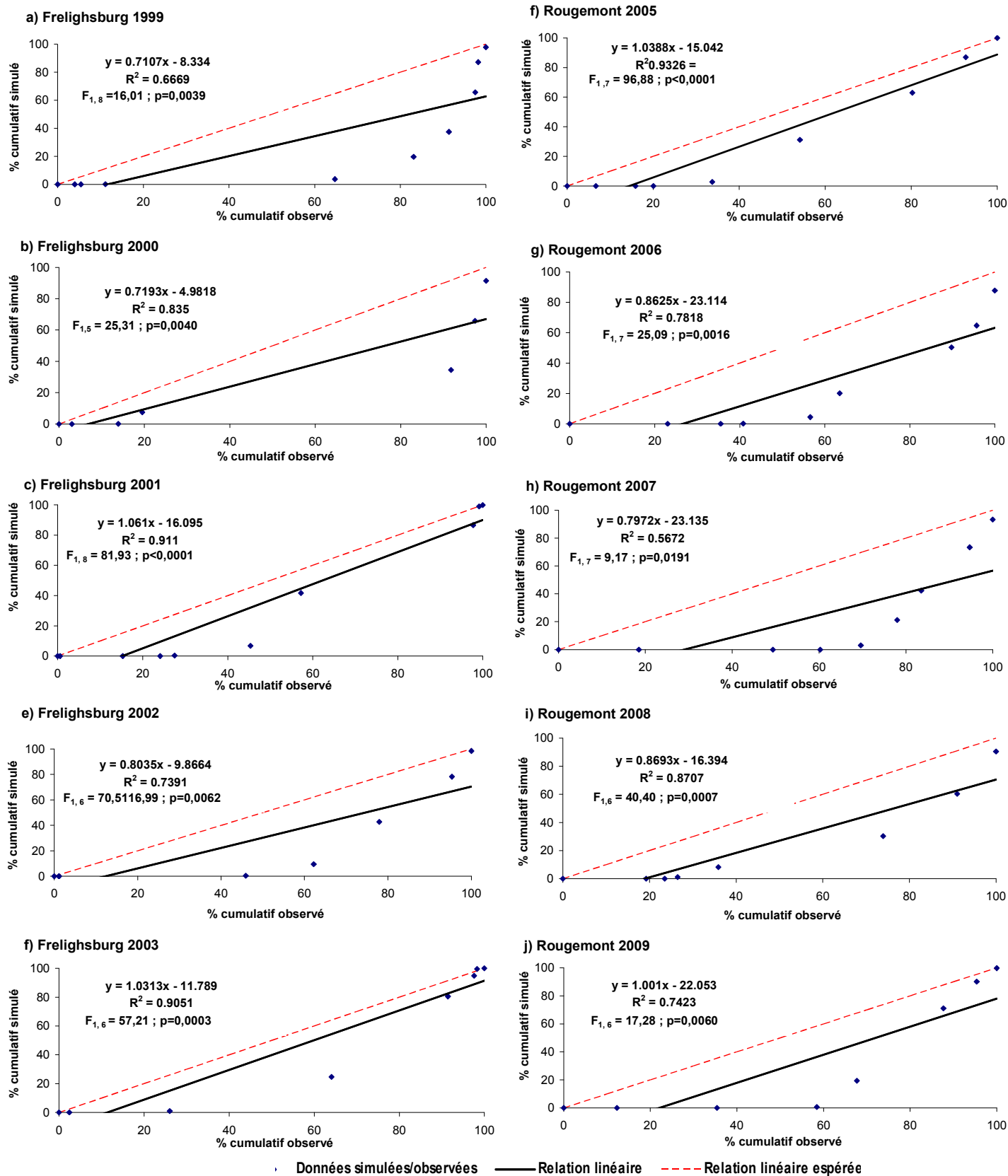
Données simulées/observées — Relation linéaire - - - Relation linéaire espérée

■ Éclosions simulées  
■ Éclosions observées

**Figure 19** Comparaison des éclosions observées et prédites par les modèles RIMpro-Cydia (a-b) et Agropomme (c-d) pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme en stations de recherche.



**Figure 20** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia pour la 1<sup>ère</sup> génération de carpocapse de la pomme entre 1999 et 2009 dans les vergers-pilotes de Frelighsburg (a-e) et Rougemont (f-j).



**Figure 21** Comparaison des captures observées et prédites par le modèle RIMpro-Cydia pour la 2<sup>e</sup> génération de carpocapse de la pomme entre 1999 et 2009 dans les vergers-pilotes de Frelighsburg (a-e) et Rougemont (f-j).