

Estimation de la croissance foliaire comme outil d'aide à la gestion raisonnée de la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*) : correction du modèle développé en 2008

Simulateur de traitement tavelure du site d'Agropomme

AgroNuit ▾					Période de mouillure (calcul Agropomme)		Données horaires				Observation mouillure du feuillage
Date heure locale	Période mouil. hr:mn	Temp moy. °C	Préc. Cum. mm	Indice infection	Simuler ▾	Temp moy. °C	HR. %	Préc (mm)	Vent km / h		
09 mai 20:00	0h 48mn	10.4	0.8	0.1 Aucun		10.4	73.6	0.8	12.2		
09 mai 21:00	1h 48mn	9.6	1.7	0.2 Aucun		9.0	79.9	0.9	13.2		
09 mai 22:00	2h 48mn	9.5	4.2	0.3 Aucun		9.3	87.3	2.5	13.8		
09 mai 23:00	3h 48mn	9.7	5.6	0.4 Aucun		10.2	91.4	1.4	15.2		
10 mai 00:00	4h 48mn	9.9	6.2	0.5 Aucun		10.5	87.9	0.6	14.8		
10 mai 01:00	5h 48mn	9.9	8.9	0.6 Aucun		10.2	93.2	2.7	16		
10 mai 02:00	6h 48mn	9.9	11.0	0.6 Aucun		9.8	95.9	2.1	14.3		
10 mai 03:00	7h 48mn	9.9	11.5	0.7 Aucun		9.7	93.6	0.5	15.3		
10 mai 04:00	8h 48mn	9.9	12.9	0.8 Aucun		9.7	96.5	1.4	14.3		
10 mai 05:00	9h 48mn	9.8	19.1	0.9 Aucun		9.3	99.3	6.2	13.2		
10 mai 06:00	10h 48mn	9.7	30.1	1.0 Minimal	0.3 f/bqt	9.0	99.3	11.0	14.2		
10 mai 07:00	11h 48mn	9.6	33.3	1.4 Minimal		8.7	99.3	3.2	14.5		
10 mai 08:00	12h 48mn	9.6	34.7	1.7 Minimal		8.7	99.3	1.4	15.5		
10 mai 09:00	13h 48mn	9.5	34.8	2.0 Léger		8.6	99.3	0.1	15.7		
10 mai 10:00	14h 48mn	9.5	35.0	2.2 Léger		8.9	99.3	0.2	13.8		
10 mai 11:00	15h 48mn	9.4	35.9	2.4 Léger		9.1	99.3	0.9	11.2		
10 mai 12:00	16h 48mn	9.4	40.9	2.5 Léger		9.3	99.3	5.0	11		
10 mai 13:00	17h 48mn	9.4	46.3	2.7 Léger		9.7	99.3	5.4	10.5		
10 mai 14:00	18h 48mn	9.5	46.9	2.9 Léger		10.3	99.3	0.6	9.7		
10 mai 15:00	19h 48mn	9.6	46.9	3.1 Moyen	0.2 f/bqt	11.2	99.3	0.0	10.5		
10 mai 16:00	20h 48mn	9.7	46.9	3.2 Moyen		11.9	99.4	0.0	11.2		
10 mai 17:00	21h 48mn	9.9	46.9	3.3 Moyen		15.1	94.6	0.0	10.8		
10 mai 18:00	21h 48mn	9.9	46.9	3.3 Moyen		15.8	84.8	0.0	19.9		
10 mai 19:00	21h 48mn	9.9	46.9	3.3 Moyen		15.1	78.8	0.0	23.2		
10 mai 20:00	22h 48mn	10.1	47.0	3.4 Moyen		13.5	77.3	0.1	21		
10 mai 21:00						12.3	78.6	0.0	17.6		

Collecte de données par Agropomme

- ❖ Suivi de 10 bouquets floraux puis de 10 sites végétatifs sur McIntosh/Cepiland (1997)
- ❖ 2 par arbre sur 5 arbre de chaque côté du rang
- ❖ Comptage des feuilles tous les matins du débourrement à la fin des primaires
- ❖ Données se trouvent sur le site d'Agropomme




Collecte de données par Agropomme

Bouquets floraux

Sites végétatifs

Vergers de référence: McIntosh / Cepiland ; bouquets floraux

 débourré (on voit du vert sur le bourgeon floral)

	bqt floral 1		bqt floral 2		bqt floral 3		bqt floral 4		bqt floral 5		bqt floral 6		bqt floral 7		bqt floral 8		bqt floral 9		bqt floral 10		total 10 bqt floraux			
	Nombre de feuilles																							
	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles
ven 26 avr 10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sam 27 avr 07:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dim 28 avr 07:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lun 29 avr 06:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mar 30 avr 06:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mer 01 mai 05:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jeu 02 mai 06:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	5	5	5
ven 03 mai 06:00	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	2	0	1	0	2	0	9	9	9
sam 04 mai 06:00	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	2	0	1	0	2	0	10	10	10
dim 05 mai 05:50	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	1	0	1	0	2	0	2	0	2	0	14	14	14
lun 06 mai 06:50	1	3	1	3	0	4	1	3	0	4	1	3	1	3	1	3	1	3	0	4	7	33	40	40
mar 07 mai 06:00	2	4	1	4	1	4	2	4	2	4	1	4	1	4	2	4	1	4	2	3	15	39	54	54
mer 08 mai 05:40	2	4	1	4	2	3	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	19	39	58	58

par

Bouquets floraux

Verger de référence

	bqt floral 1		bqt floral 2
	complètes	partielles	complètes
ven 26 avr 10:00	0	0	0
sam 27 avr 07:30	0	0	0
dim 28 avr 07:30	0	0	0
lun 29 avr 06:30	0	0	0
mar 30 avr 06:50	0	0	0
mer 01 mai 05:50	0	0	0
jeu 02 mai 06:00	0	1	0
ven 03 mai 06:00	0	1	0
sam 04 mai 06:00	0	1	0
dim 05 mai 05:50	0	1	0
lun 06 mai 06:50	1	3	1
mar 07 mai 06:00	2	4	1
mer 08 mai 05:40	2	4	1



débourré (on voit du vert sur le bourgeon floral)

bqt floral 8	bqt floral 9		bqt floral 10		total 10 bqt floraux		
	complètes	partielles	complètes	partielles	complètes	partielles	total
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	5	5
2	0	1	0	2	0	9	9
2	0	1	0	2	0	10	10
2	0	2	0	2	0	14	14
3	1	3	0	4	7	33	40
4	1	4	2	3	15	39	54
4	2	4	2	4	19	39	58

Validation des modèles avec les observations d'Agropomme

- ❖ 2020 : Intégration au modèle tavelure, seulement visible par les conseillers → Observation tout au long de la saison afin de le valider
- ❖ 2021 : Intégration dans le modèle tavelure pour tous les utilisateurs de la plateforme, si modèle de croissance validé.

Estimation de la croissance foliaire comme outil d'aide à la gestion raisonnée de la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*) : correction du modèle développé en 2008

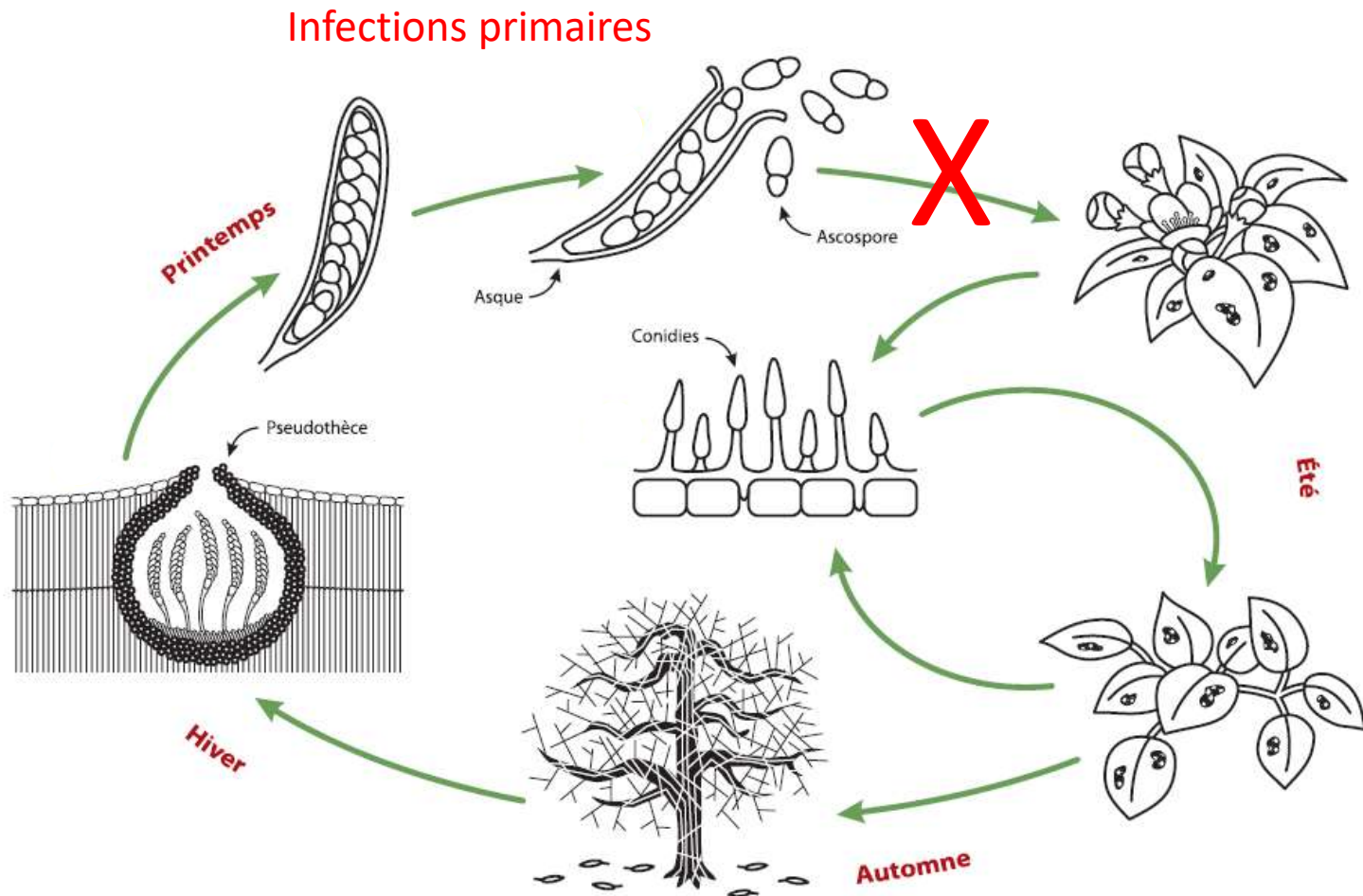
Odile Carisse, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Roland Joannin, Agropomme

Maude Richard, Agropomme



La tavelure (*Venturia inaequalis*)



Les infections primaires

❖ Automne



❖ Printemps



❖ Été



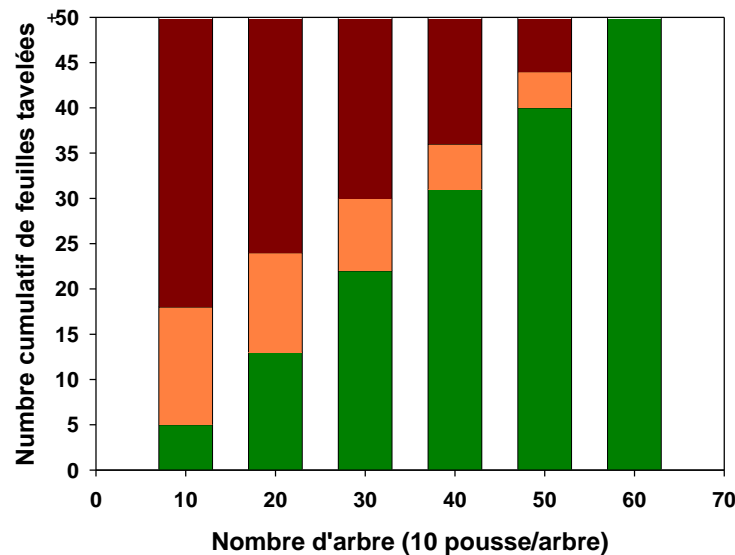
Infections primaires

- ❖ L'inoculum primaire
- ❖ Les conditions météo
- ❖ La croissance foliaire



L'inoculum primaire: quantité

- ❖ Quantité proportionnelle à la sévérité de la tavelure l'automne précédent
- ❖ Conditions hivernales, décomposition des feuilles



■ l'inoculum est faible
■ l'inoculum est élevé
■ Continuer l'échantillonnage

L'inoculum primaire: disponibilité

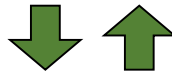
Stock potentiel
d'ascospores



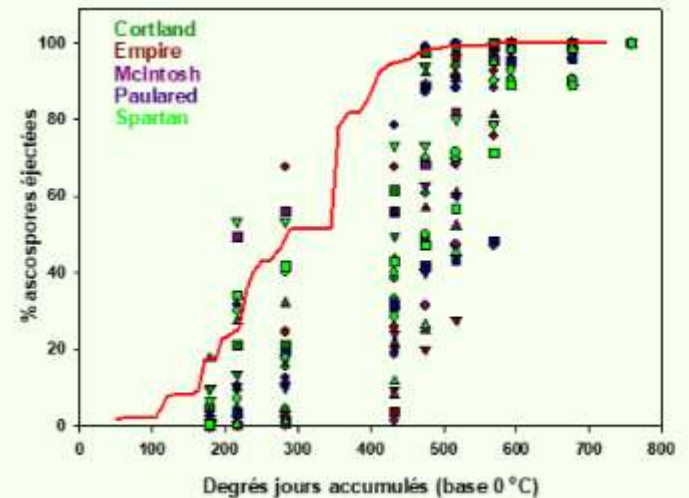
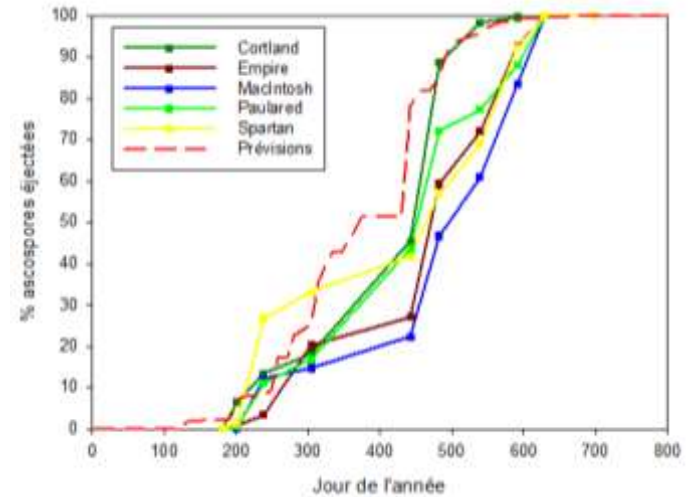
Maturation des
pseudothèques
(T, HR, Pluie)



Acclimatation
(Lumière, HR, Pluie)

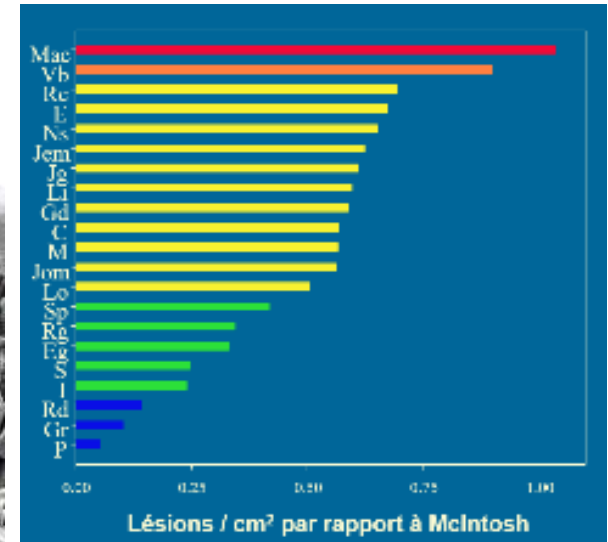
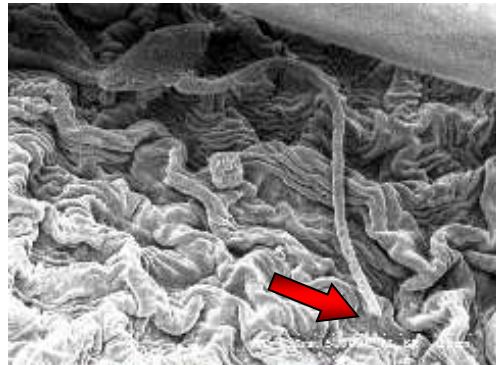
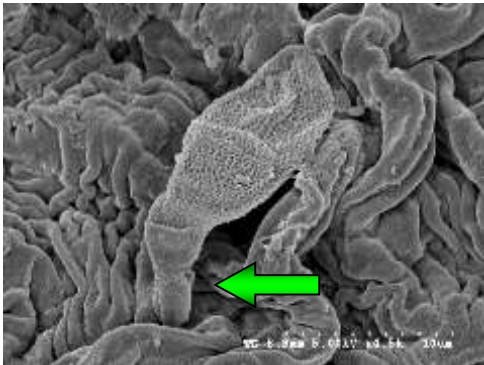


Relâchement
(Température , Pluie)



Le feuillage

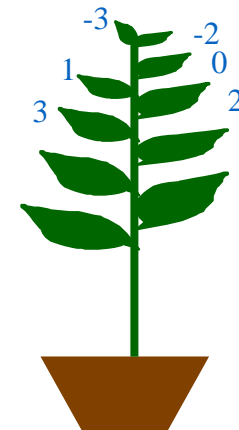
❖ Sensibilité de la variété




❖ La réceptivité des feuilles

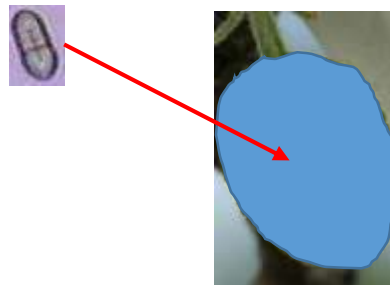
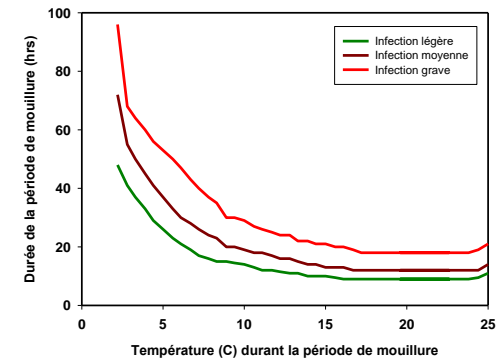
- ❖ Sensibilité diminue avec l'âge et réapparaît en fin de saison

❖ La croissance foliaire



La croissance foliaire

- ❖ La probabilité qu'une ascospore tombe sur une feuille et cause une infection dépend :
 - ❖ Des conditions météo (T, mouillure)
 - ❖ Du nombre de feuilles présentes
 - ❖ De la sensibilité des feuilles
 - ❖ De la surface foliaire 
- ❖ et de la protection par les fongicides



La croissance foliaire un premier modèle

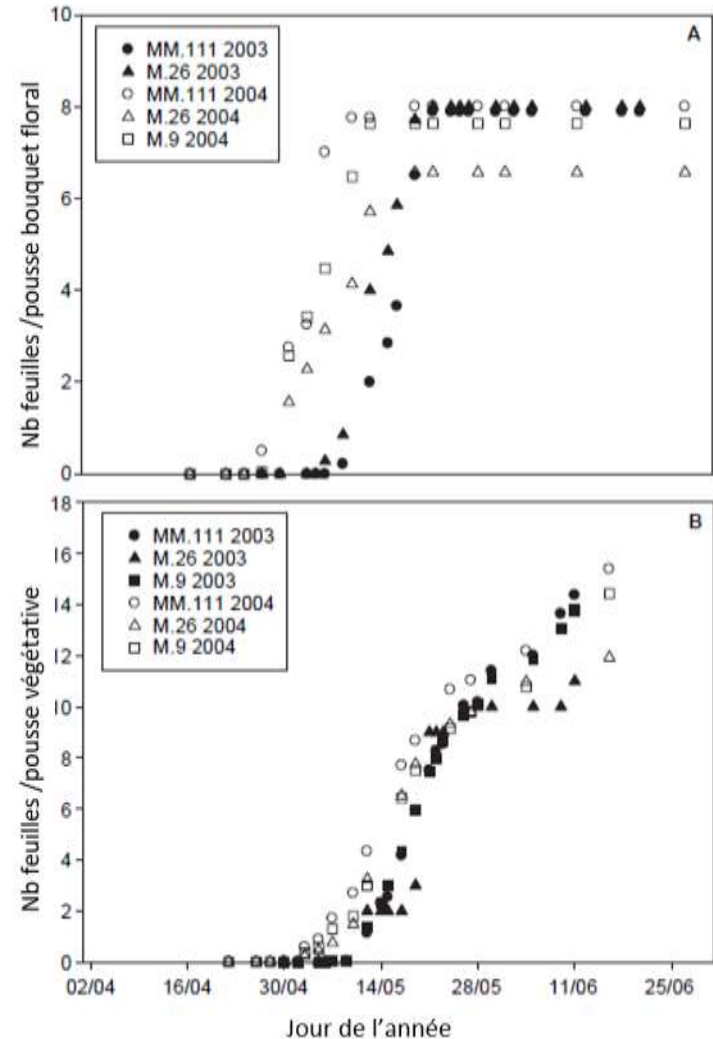
- ❖ Modèle de prévision de l'émergence des feuilles de pousses de bouquets floraux et de pousses végétatives durant la période des infections primaires
- ❖ 2003 à 2005 sur pommiers 'Summerland McIntosh' greffés sur porte-greffes (M.9, MM.111, M.26)
- ❖ Variétés: Cortland, Empire, Lobo, McIntosh, Paulared et Spartan sur deux sites.

Carisse, O., Jobin, T. et Bourgeois, G. 2008. Prédiction de l'émergence des feuilles de pommier à partir de l'accumulation des degrés-jours durant la période de tavelure primaire. Can. J. Plant Sci. 88: 229238.

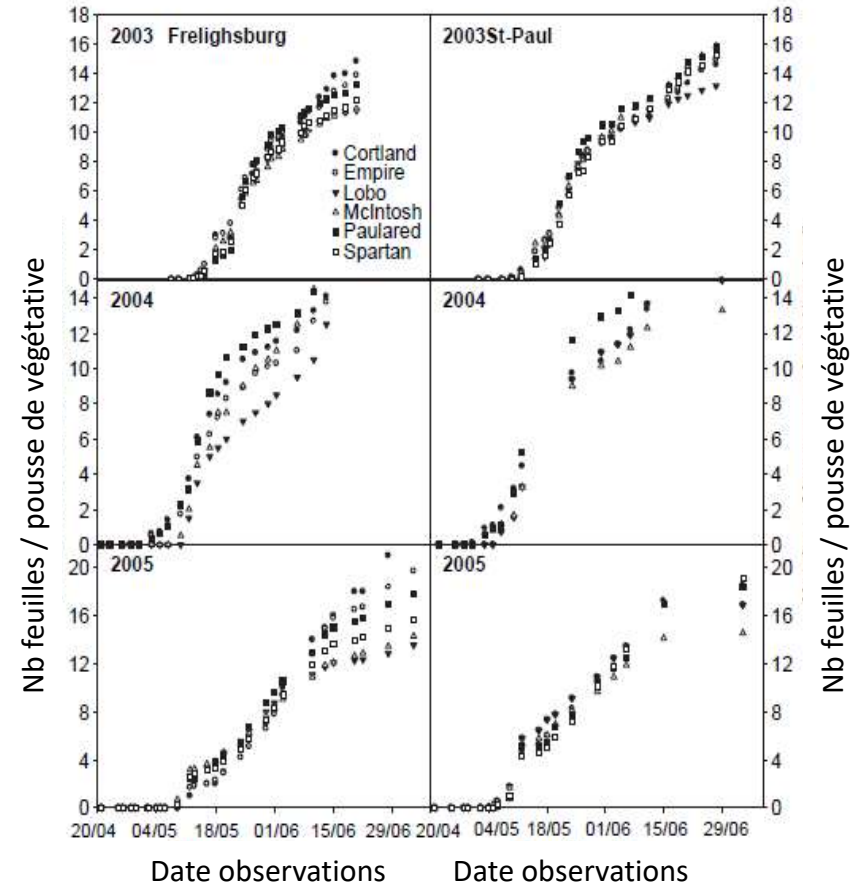
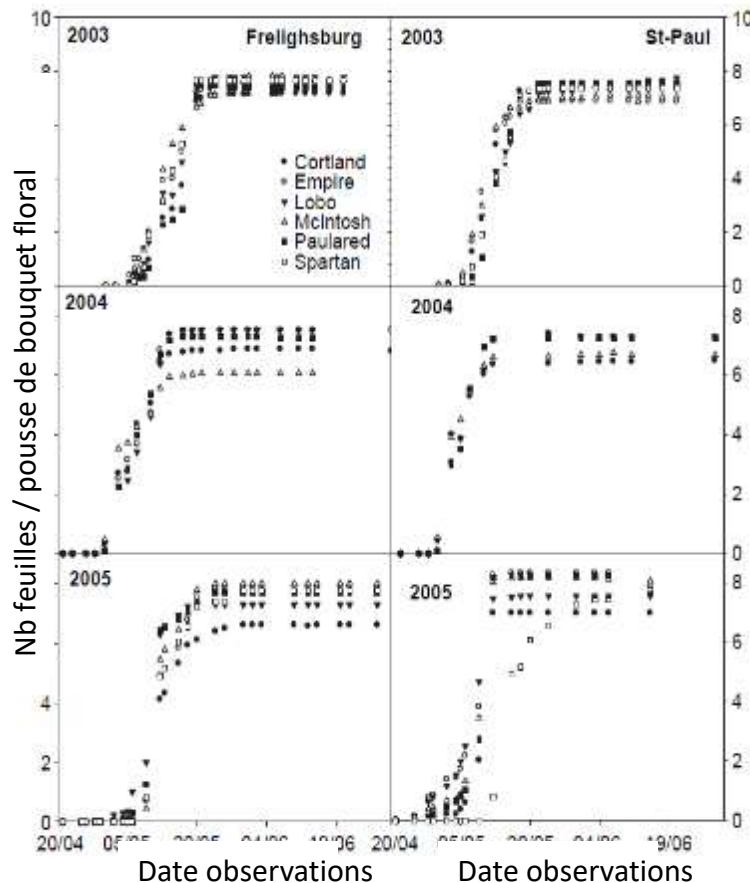


Influence du porte-greffe

- ❖ Peu de différences entre les porte-greffes

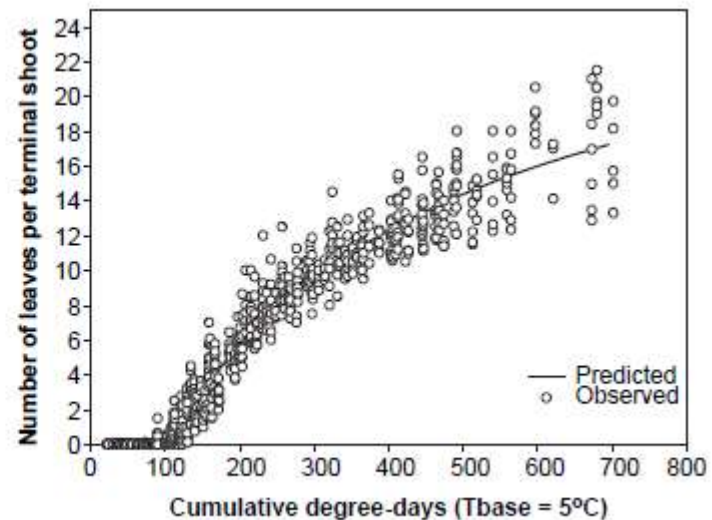
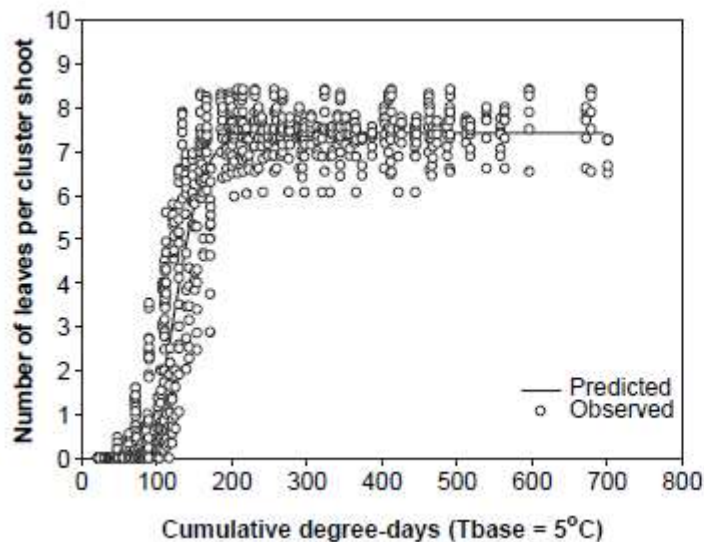


Émergence des feuilles de pousses de bouquet floral et végétatif



Émergence des feuilles de pousses de bouquets floraux et végétatives

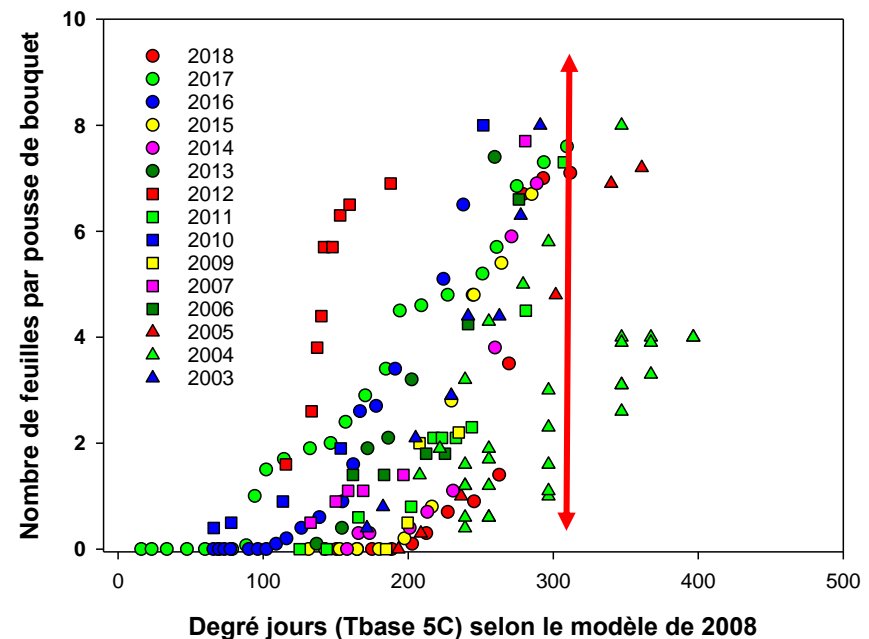
- ❖ Deux modèles basés sur les degrés-jours en base 5C accumulés depuis le 1^{er} avril ($T_{base} 5^{\circ}C$)
- ❖ $DJ = ((T_{max} + T_{min}) / 2) - 5^{\circ}C$



Émergence des feuilles de pousses de bouquets floraux

- ❖ Les modèles soient fiables lorsque comparés aux observations de 2003-2005
- ❖ Ils sont beaucoup moins fiables lorsque comparés à des données recueillies de 2001 (2003) à 2018 dans la région de Deux-Montagnes.

- ❖ Dj Tbase 5°C?
- ❖ Humidité/pluie?
- ❖ Pas de temps:
 - ❖ jours versus heures



Ajustement des modèles: variables

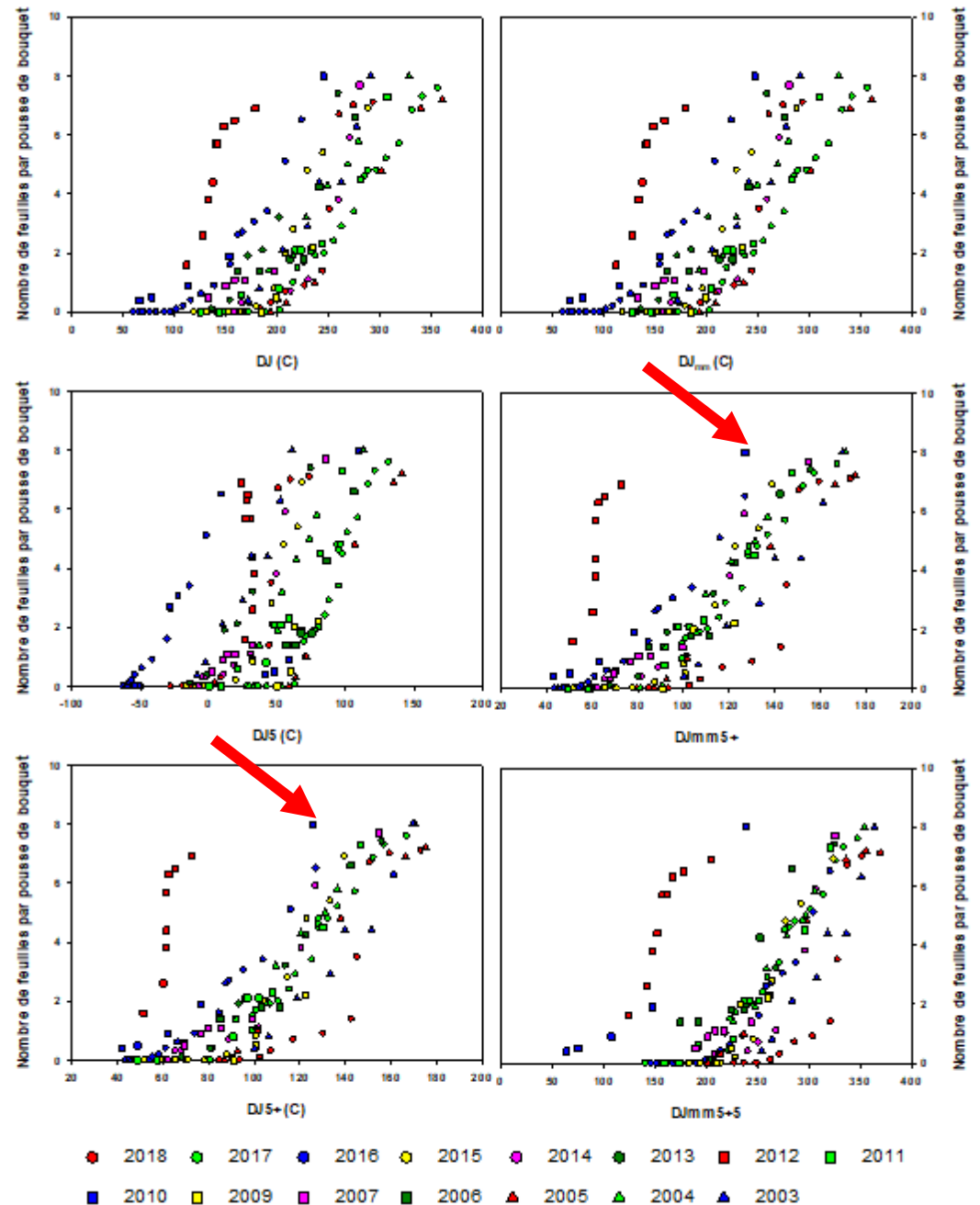
Variable	Description (calcul)
DJ	Température quotidienne moyenne $\Sigma (T_{moy_h})/24$
DJ _{mm}	Température quotidienne moyenne : $\Sigma((T_{max_h}+T_{min_h})/2)/24$
DJ5	Degrés jours base 5C : $\Sigma (T_{moy_h}-5)/24$
DJ _{mm} 5	Température quotidienne moyenne : $\Sigma(((T_{max_h}+T_{min_h})/2)-5)/24$
DJ5+	Degrés jours DJ5 : les températures sous 0C sont ignorées (=0)
DJ _{mm} 5+	Degrés jours: DJ _{mm} 5 : les températures sous 0C sont ignorées (=0)
DJ _{mm} 5+5	Degrés jours: DJ _{mm} : les températures sous 5C sont ignorées (=5)
HRH>85	Nombre heures par jour avec HR _≥ 85%
HRH>90	Nombre heures par jour avec HR _≥ 90%
DURP	Nombre heures par jour avec _≥ de 0 mm de pluie
DURP2mm	Nombre heures par jour avec _≥ de 2 mm de pluie
DJ_RH>85	DJ horaire si RH _≥ 85%
DJ_RH>90	DJ horaire si RH _≥ 90%

Ajustement des modèles: variables

Variable	Description (calcul)
DJ _{mm} 5+_RH>90	DJ _{mm} 5+ horaire si RH \geq 90%
DJ _{mm} 5+_RH>95	DJ _{mm} 5+ horaire si RH \geq 95%
DJ _{mm} 5+_RH>60	DJ _{mm} 5+ horaire si RH \geq 60%
DJ _{mm} 5+_RH>70	DJ _{mm} 5+ horaire si RH \geq 70%
DJ _{mm} 5+5_RH>60	DJ _{mm} 5+5 horaire si RH \geq 60%
DJ _{mm} 5+5_RH>70	DJ _{mm} 5+5 horaire si RH \geq 70%
TPLUIE2mm	DJ horaire si \geq de 2 mm de pluie dans l'heure
TPLUIE	DJ horaire si \geq de 0 mm de pluie dans l'heure
Djmm5+5_Pluie	DJ _{mm} 5+5 cumulé uniquement pour les heures avec pluie
Djmm5+5_HR \geq 94%	DJ _{mm} 5+5 cumulé uniquement pour les heures avec HR \geq 94%

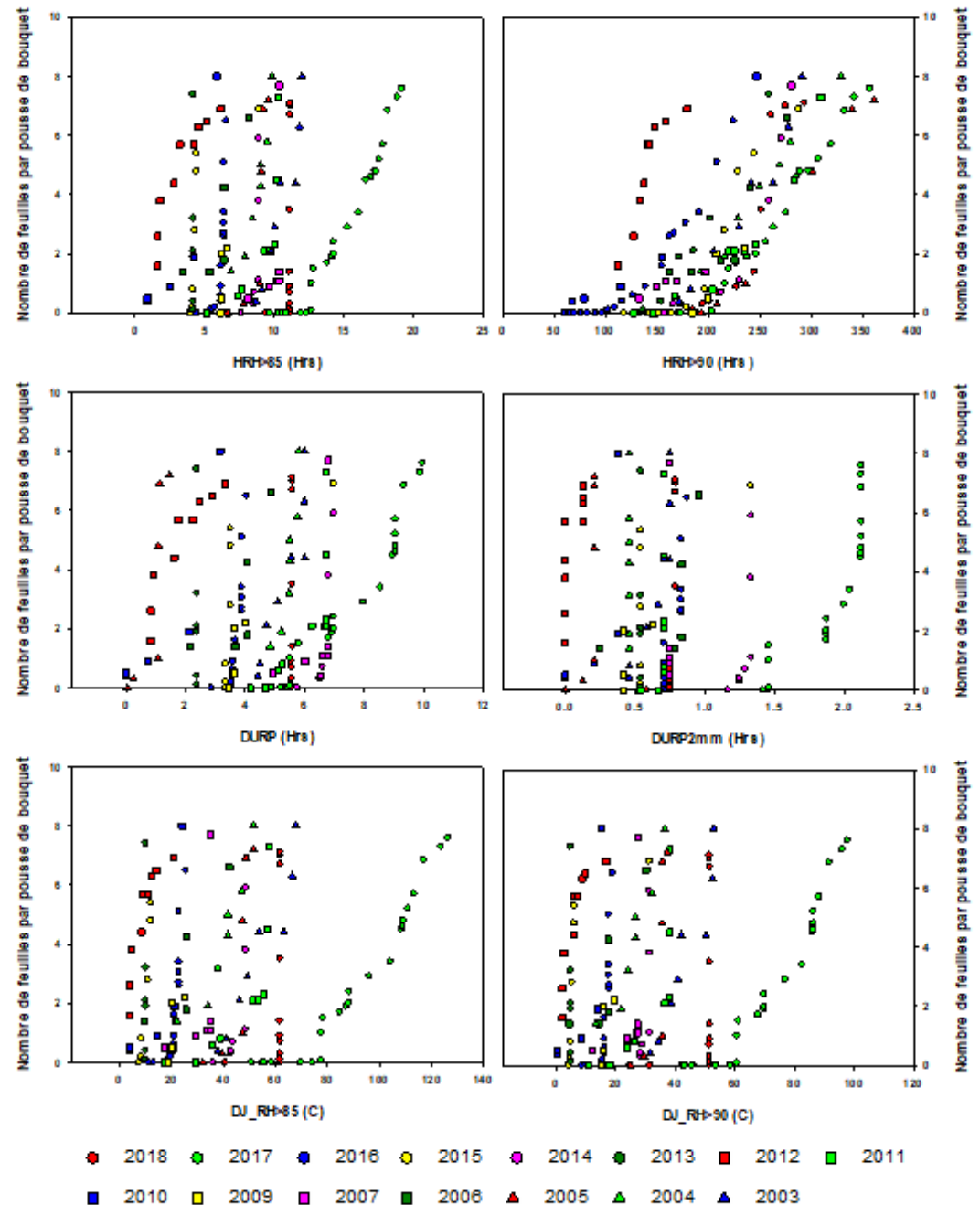
Pousses bouquets

- ❖ Variables liées à la température
- ❖ Accumulées depuis le 1^{er} avril
- ❖ Mauvaise prévisions pour certaines années



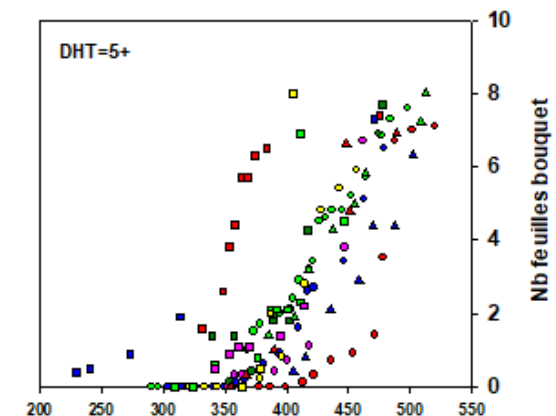
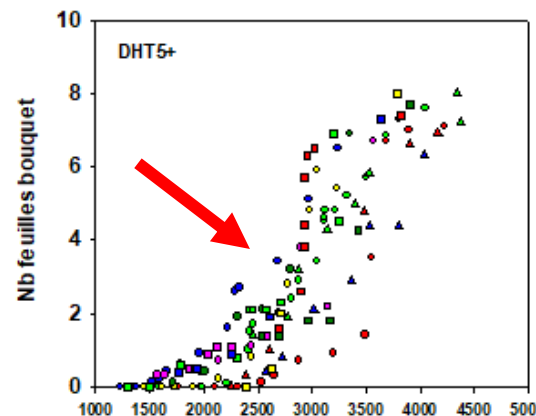
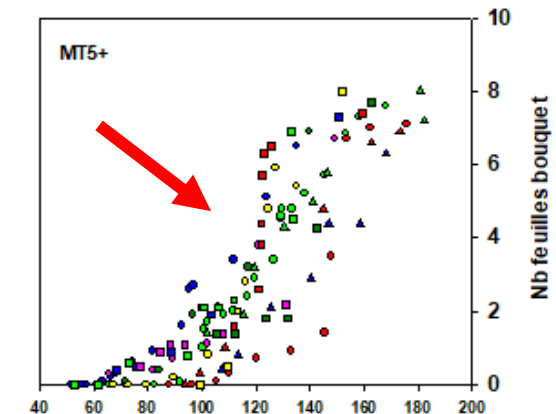
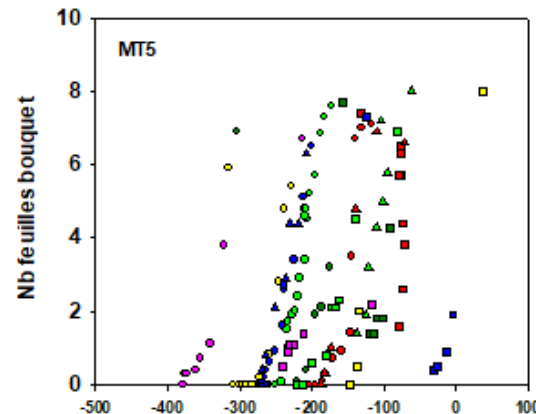
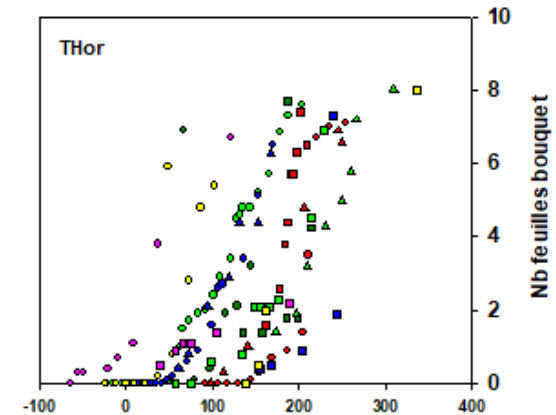
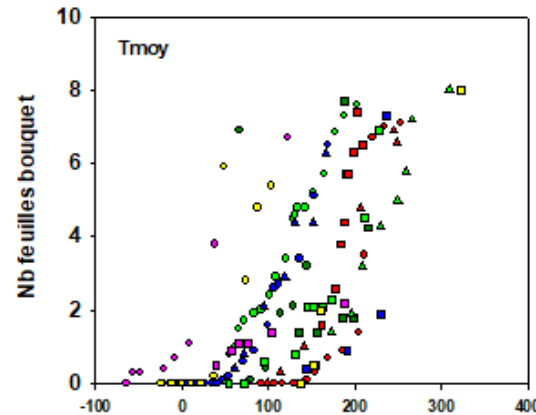
Pousses bouquets

- ❖ Variables liées à la température et l'humidité
- ❖ Accumulées depuis le 1^{er} avril
- ❖ Peu de corrélation avec le nombre de feuilles par pousse



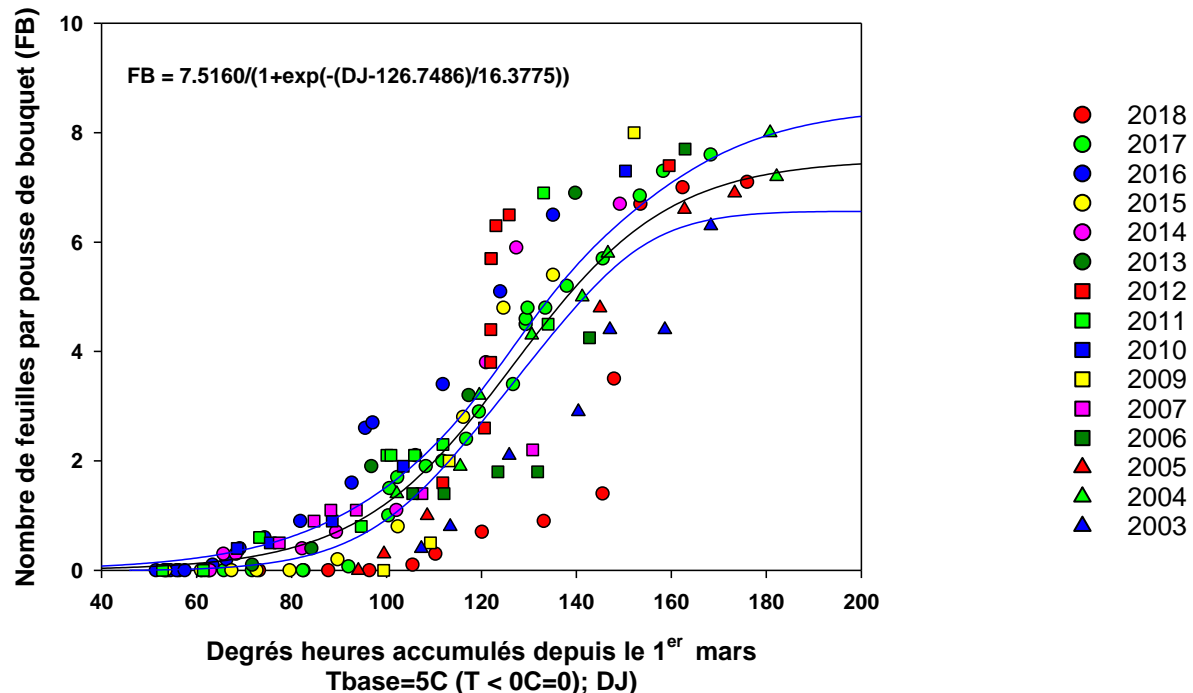
Pousses bouquets

- ❖ Degrés jours DJ5+ : les températures sous 0°C sont ignorées (=0)
- ❖ Accumulées depuis le 1^{er} mars



Prévision du nombre de feuilles par pousse de bouquets floraux

- ❖ Bonnes prévisions avec Dj5+ accumulés depuis le 1^{er} mars (82%)

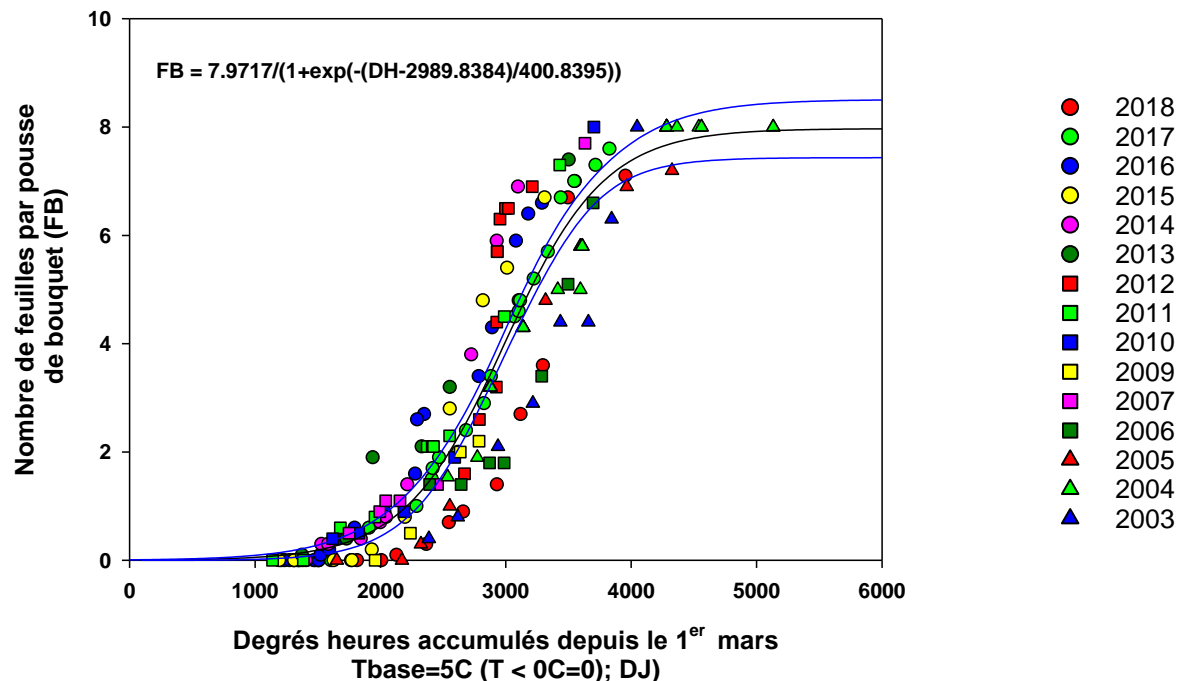


Prévision du nombre de feuilles par pousse de bouquets floraux

3	Verger	Variété	Date échant	Année	JA	HA	TotF
4	VergerJJ	Mac-Cepi	lun-25-04-11 09:00	2011	115.38	2769.0	0
5	VergerJJ	Mac-Cepi	mer-27-04-11 07:30	2011	117.31	2815.5	0
6	VergerJJ	Mac-Cepi	ven-29-04-11 06:00	2011	119.25	2862.0	1
7	VergerJJ	Mac-Cepi	dim-01-05-11 12:00	2011	121.50	2916.0	1
8	VergerJJ	Mac-Cepi	mer-04-05-11 05:53	2011	124.25	2981.9	2
9	VergerJJ	Mac-Cepi	jeu-05-05-11 06:00	2011	125.25	3006.0	2
10	VergerJJ	Mac-Cepi	ven-06-05-11 06:00	2011	126.25	3030.0	2
11	VergerJJ	Mac-Cepi	sam-07-05-11 06:00	2011	127.25	3054.0	2
12	VergerJJ	Mac-Cepi	lun-09-05-11 16:00	2011	129.67	3112.0	5
13	VergerJJ	Mac-Cepi	jeu-12-05-11 07:30	2011	132.31	3175.5	7
14	VergerJJ	Mac-Cepi	lun-16-04-12 15:00	2012	107.63	2583.0	2
15	VergerJJ	Mac-Cepi	mer-18-04-12 14:00	2012	109.58	2630.0	3

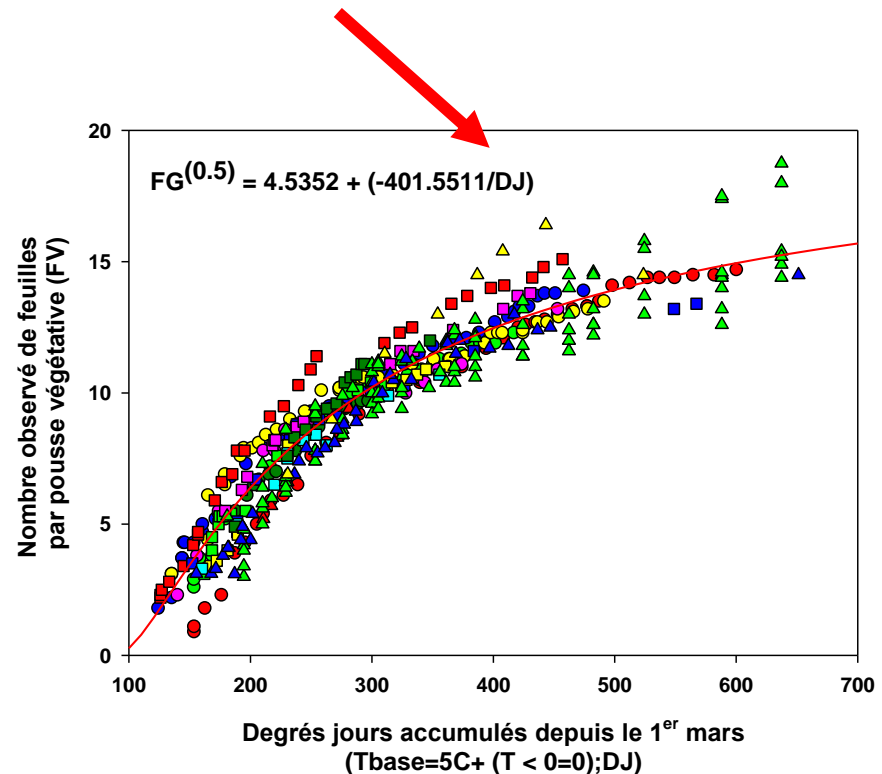
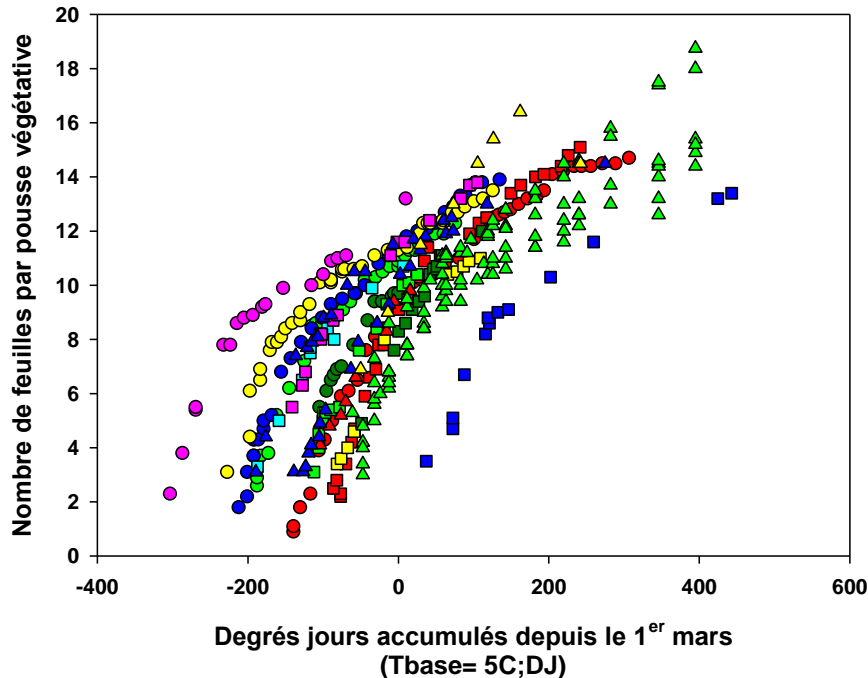
Prévision du nombre de feuilles par pousse de bouquet floral

- ❖ Meilleures prévisions avec Dh5+ accumulés depuis le 1^{er} mars (89%)



Prévision du nombre de feuilles par pousse végétative

- ❖ Important de ne pas considérer les hrs <0C
- ❖ Bonnes prévisions avec Dj5+ cumulés depuis le 1^{er} mars (92%)



Conclusions

- ❖ Nouveaux modèles plus simples et beaucoup plus fiables
- ❖ Importance de travailler avec des données horaires
- ❖ Importance de valider les modèles de prévisions
- ❖ Importance de travailler ensemble
 - ❖ Producteurs
 - ❖ Conseillers
 - ❖ Chercheurs



MERCI!



Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture et
Agroalimentaire Canada