



**HAL**  
open science

## Modéliser la mouillure du feuillage : une approche réaliste et sans station météo

Alexandre Leca, B. Boissonnier, Stéphane Bélair, Maria Abrahamowicz, V. Joubert, V. Philion

### ► To cite this version:

Alexandre Leca, B. Boissonnier, Stéphane Bélair, Maria Abrahamowicz, V. Joubert, et al.. Modéliser la mouillure du feuillage : une approche réaliste et sans station météo. Journée Technique Agropomme, Dec 2014, Saint-Joseph-du-Lac, Canada. hal-01603321

**HAL Id: hal-01603321**

**<https://hal.science/hal-01603321>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

# **Modéliser la mouillure du feuillage :** **Une approche réaliste** **et sans station météo**

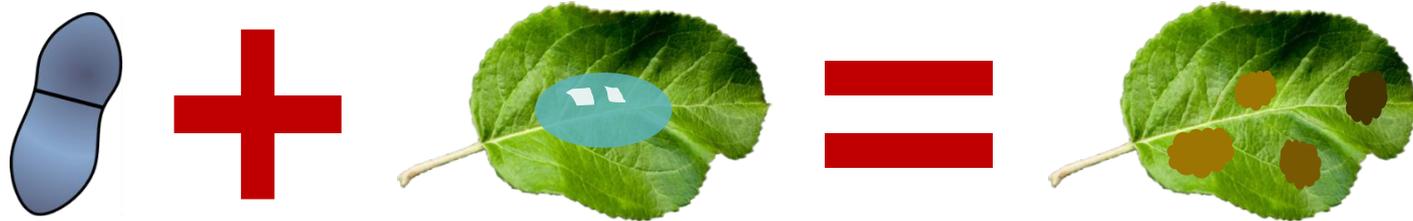
Alexandre Leca  
Vincent Philion  
Bastien Boissonnier  
Stéphane Bélair  
Maria Abrahamowicz  
Valentin Joubert



**Journée Technique Agropomme – 17 décembre 2014**

# Pas de tavelure sans mouillure

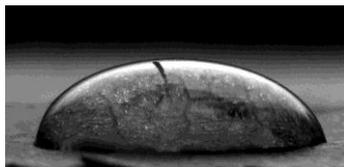
Les spores de *Venturia inaequalis* ont besoin d'eau libre présente assez longtemps pour infecter la plante



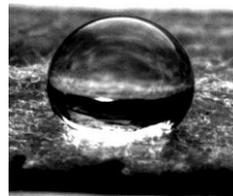
**Période de Mouillure**  
**= Durée d'Humectation**  
**= apport d'eau + évaporation**

## EAU LIBRE

Pluie



Rosée



**SÉCHAGE**

# Pourquoi prévoir l'humectation?

Prévoir le risque d'infection

“Pas de tavelure sans mouillure”

Savoir quand traiter

Humectation à risque = Traitement

Directives de plus  
en plus sévères



prévisions de plus en plus précises

Produits phytosanitaires plus exigeants . . .

# Méthodes actuelles de prévision

Modèles empiriques “85% d’humidité relative”



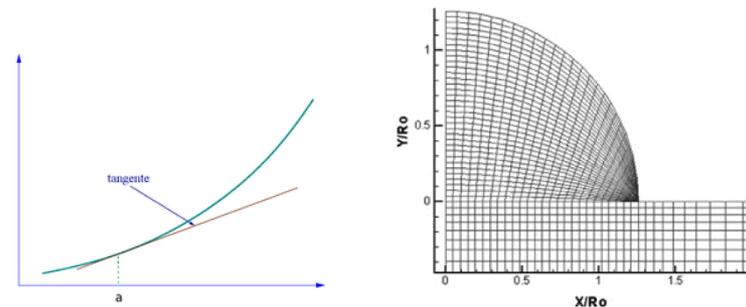
Capteurs de mouillure

- Installation très locale
- Maintenance
- Coût
- Pas de standard de mesure
- Sens des données mesurées?



Modèles physiques

- Trop simplistes (= erreurs) ...
- ... ou trop complexes pour nos besoins (= lenteur de calcul)



# Comment améliorer la prévision?

Un modèle physique **SIMPLE** et **RÉALISTE**

Technologies actuelles de calcul

Phénomènes bioclimatiques et thermodynamiques

Physique des pommiers (mouillabilité, architecture)

Arrêter les capteurs, se passer au maximum des stations en verger

# Tirer parti de la technologie

Avant le meilleur choix était :



Aujourd'hui ...



Pourquoi continuer à utiliser des méthodes approximatives obsolètes?

# Tirer parti de la technologie

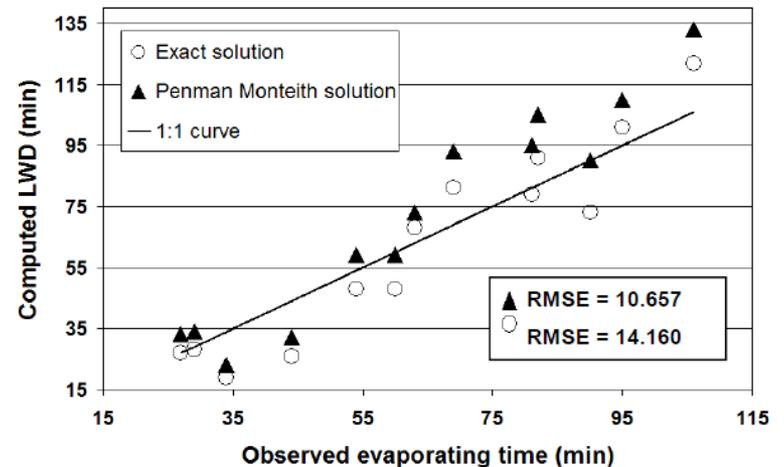
Méthodes de calcul approximatives :

Commodes pour la pédagogie (on comprend mieux ce qui est calculé et pourquoi)

Commodes il y a 40 ans (pas d'ordinateurs personnels performants)

AUJOURD'HUI ...

Nette réduction de l'erreur de simulation en améliorant simplement la méthode de calcul



# Comment améliorer la prévision?

Un modèle physique **SIMPLE** et **RÉALISTE**

Technologies actuelles de calcul

**Phénomènes bioclimatiques et thermodynamiques**

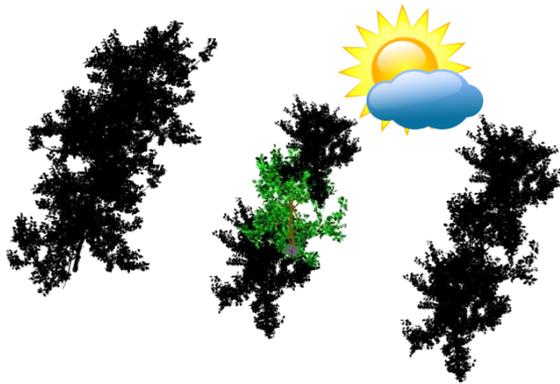
Physique des pommiers (mouillabilité, architecture)

Arrêter les capteurs, se passer au maximum des stations en verger

# Bioclimatologie et Thermodynamique

Évaporation de l'eau libre sur une feuille = nombreux facteurs

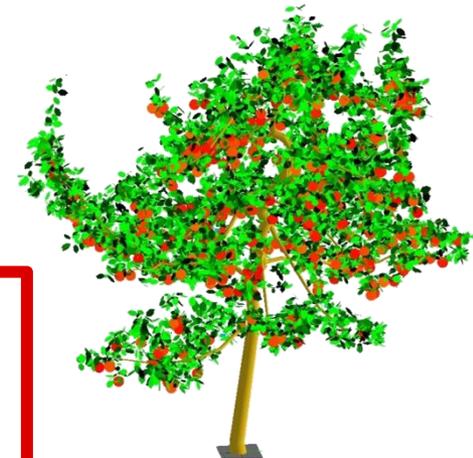
**Environnement**



Température  
Humidité  
Rayonnement  
Vent  
Précipitations

**Couronne de l'arbre**

Interception de pluie  
Interception de lumière



**Phyllocimat**  
(= microclimat du feuillage)

Mouillabilité  
Rosée  
Stockage de l'eau

# Comment améliorer la prévision?

Un modèle physique **SIMPLE** et **RÉALISTE**

Technologies actuelles de calcul

Phénomènes bioclimatiques et thermodynamiques

**Physique des pommiers (mouillabilité, architecture)**

Arrêter les capteurs, se passer au maximum des stations en verger

# Physique du pommier : Architecture

La structure du feuillage évolue au cours du temps

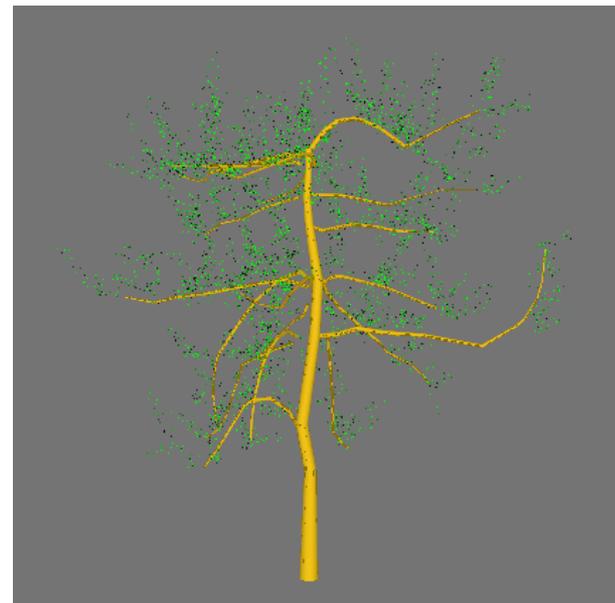
Densité foliaire

Surface foliaire

Âge des feuilles

Ne pas en tenir compte = risque d'erreurs

Possibilité de moduler les traitements en fonction de la phénologie et du mode de conduite



Comment estimer **simplement et rapidement** la variabilité spatiale et temporelle de la structure de l'arbre?

# Physique du pommier : Architecture

2013/2014 : tentatives de caractérisation de l'architecture par télédétection LIDAR

“Scan” latéral des arbres dans le verger

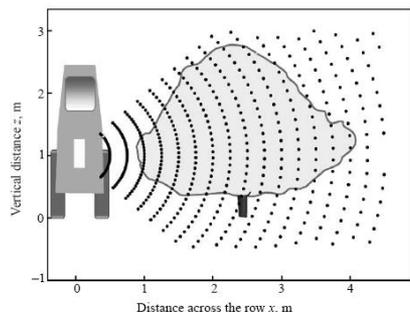
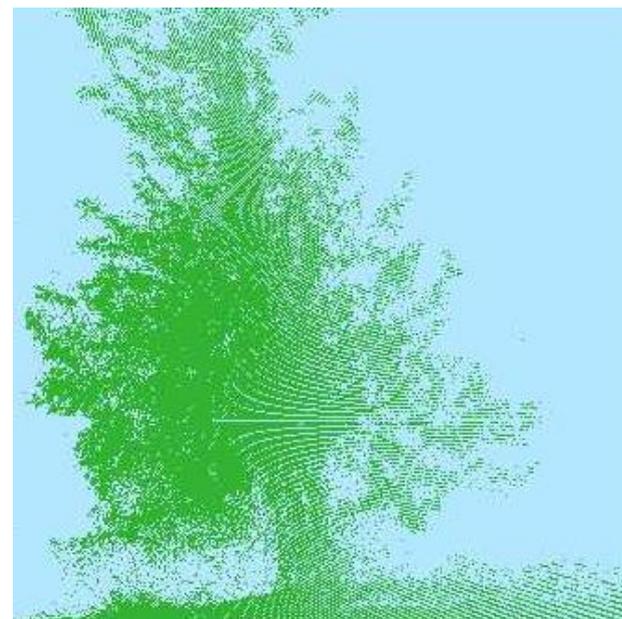


Fig. 3. Diagram showing the full grid pattern of contiguous elemental sampling volumes relative to the LIDAR origin.



Estimation précise de la densité foliaire (idéal pour la pulvérisation)

Difficulté d'évaluer l'interception d'eau et de lumière par une mesure latérale

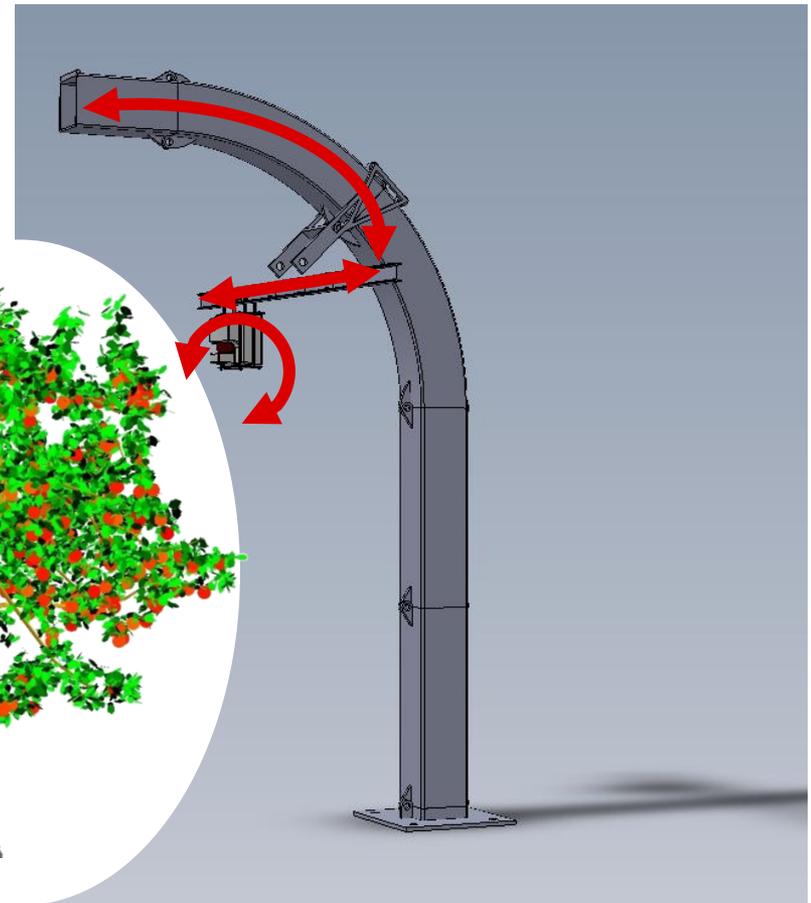
# Physique du pommier : Architecture

Notre objectif (2015) : caractériser les différentes zones d'architecture typiques et avoir un suivi dynamique de l'architecture (évolution de densité et surface foliaires)

Utilisation du détecteur LIDAR

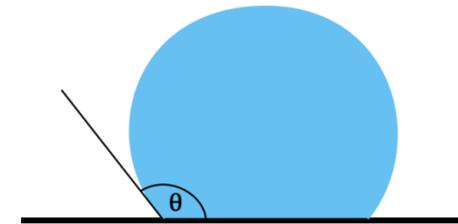
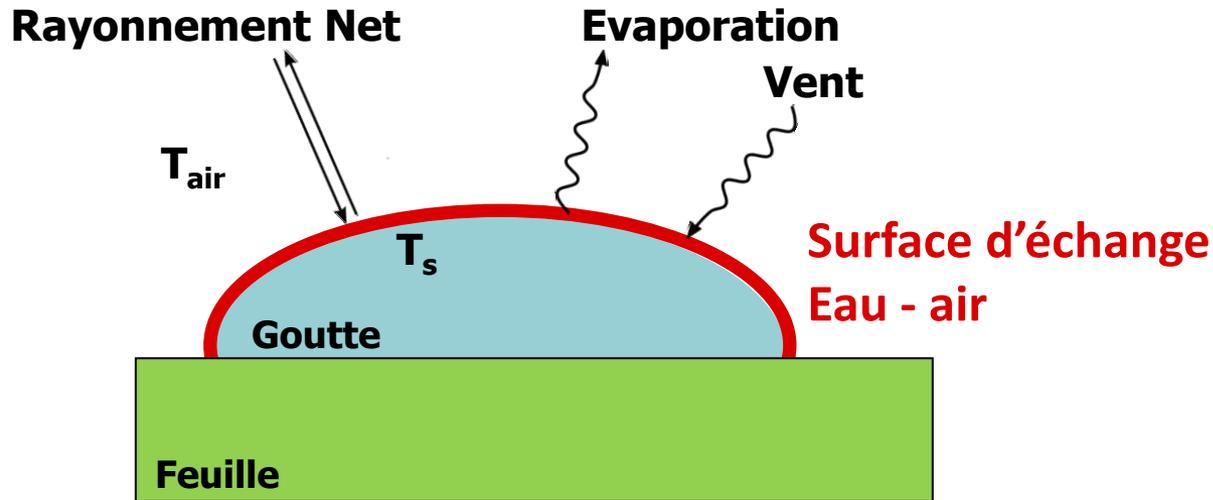
Nouveau dispositif : "ce que voit le soleil et ce que voit la pluie"

Mesures d'avant le débourrement jusqu'à la fin de la période d'infections primaires

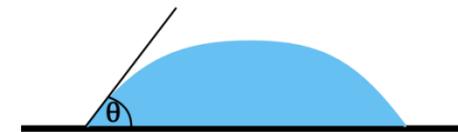


# Physique du pommier : Mouillabilité

Mouillabilité = forme de l'eau sur les feuilles



hydrophobic



hydrophilic

Effet de la surface d'échange eau-air sur la vitesse d'évaporation

Mouillabilité = Angle de Contact

Effet cultivar? Effet âge des feuilles? Pluie VS Rosée? Effet intensité de la pluie?

# Physique du pommier : Mouillabilité

2014 : étude des effets de l'âge, de la pluie, et du cultivar sur la mouillabilité

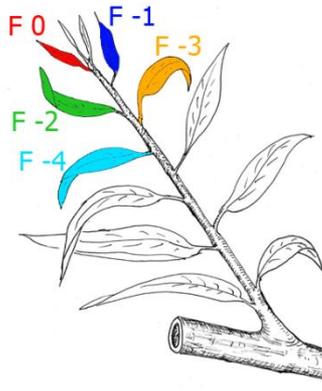
5 cultivars

McIntosh, Spartan, Empire, Cortland, HoneyCrisp

5 simulations de pluie et 1 rosée

Gouttes lâchées à différentes hauteurs

5 stades de développement

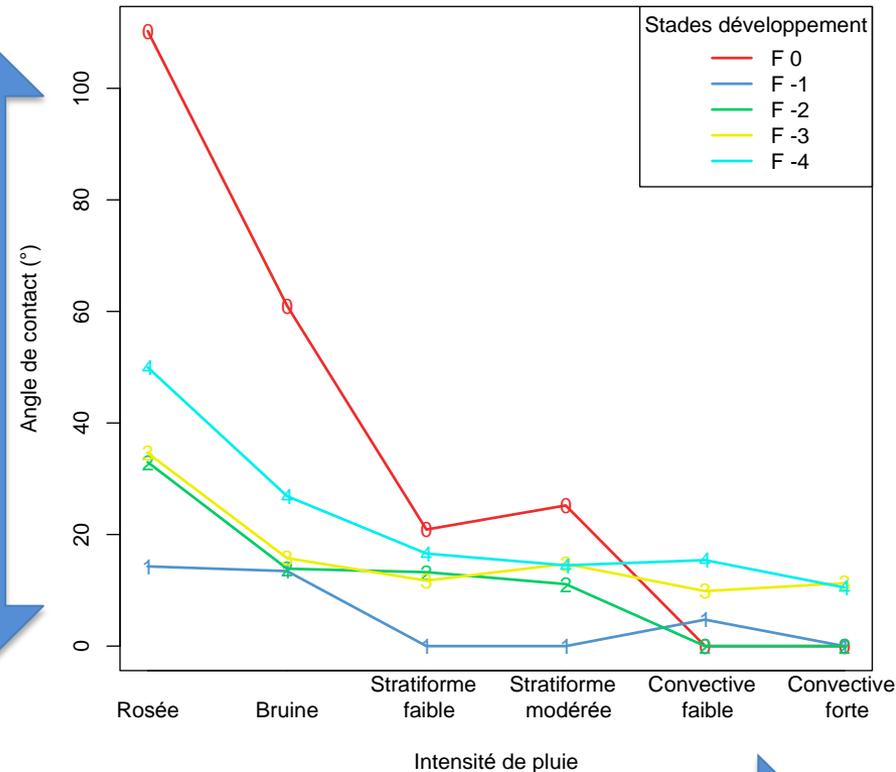


De la feuille déroulée (F 0) à la feuille résistante à la tavelure (résistance ontogénique)

Effet âge des feuilles

Étude par cultivar :

McIntosh



Effet intensité de la pluie

# Physique du pommier : Mouillabilité

2014 : étude des effets de l'âge, de la pluie, et du cultivar sur la mouillabilité

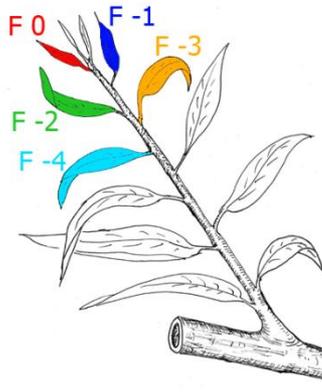
5 cultivars

McIntosh, Spartan, Empire,  
Cortland, HoneyCrisp

5 simulations de pluie et 1 rosée

Gouttes lâchées à différentes hauteurs

5 stades de développement

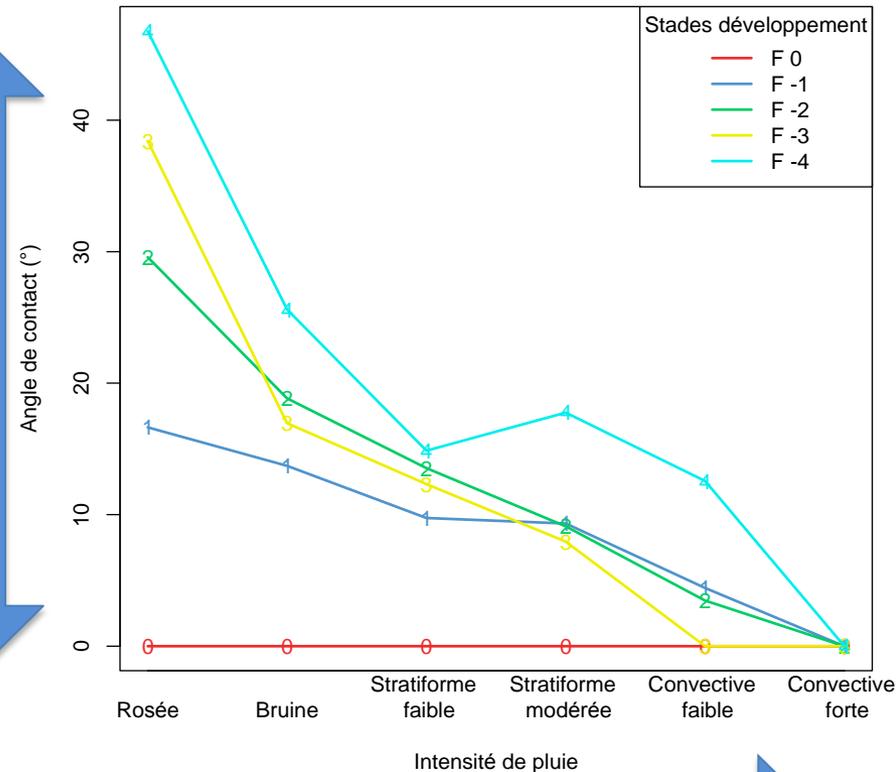


De la feuille déroulée (F 0)  
à la feuille résistante à la  
tavelure  
(résistance ontogénique)

Effet âge des feuilles

Étude par cultivar :

Spartan



Effet intensité de la pluie

# Physique du pommier : Mouillabilité

2014 : étude des effets de l'âge, de la pluie, et du cultivar sur la mouillabilité

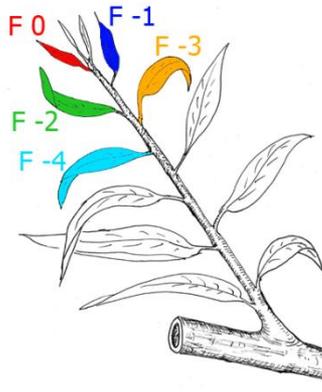
5 cultivars

McIntosh, Spartan, Empire,  
Cortland, HoneyCrisp

5 simulations de pluie et 1 rosée

Gouttes lâchées à différentes hauteurs

5 stades de développement

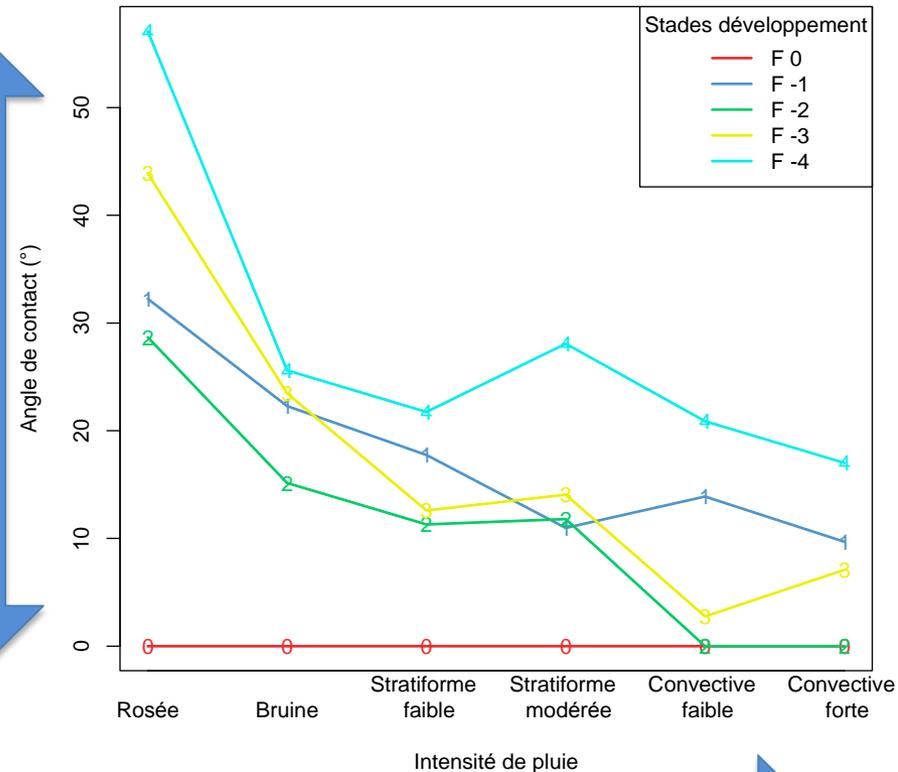


De la feuille déroulée (F 0)  
à la feuille résistante à la  
tavelure  
(résistance ontogénique)

Effet âge des feuilles

Étude par cultivar :

Empire



Effet intensité de la pluie

# Physique du pommier : Mouillabilité

2014 : étude des effets de l'âge, de la pluie, et du cultivar sur la mouillabilité

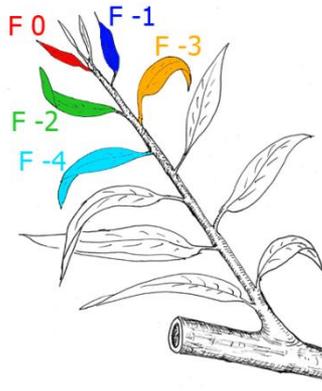
5 cultivars

McIntosh, Spartan, Empire,  
Cortland, HoneyCrisp

5 simulations de pluie et 1 rosée

Gouttes lâchées à différentes hauteurs

5 stades de développement

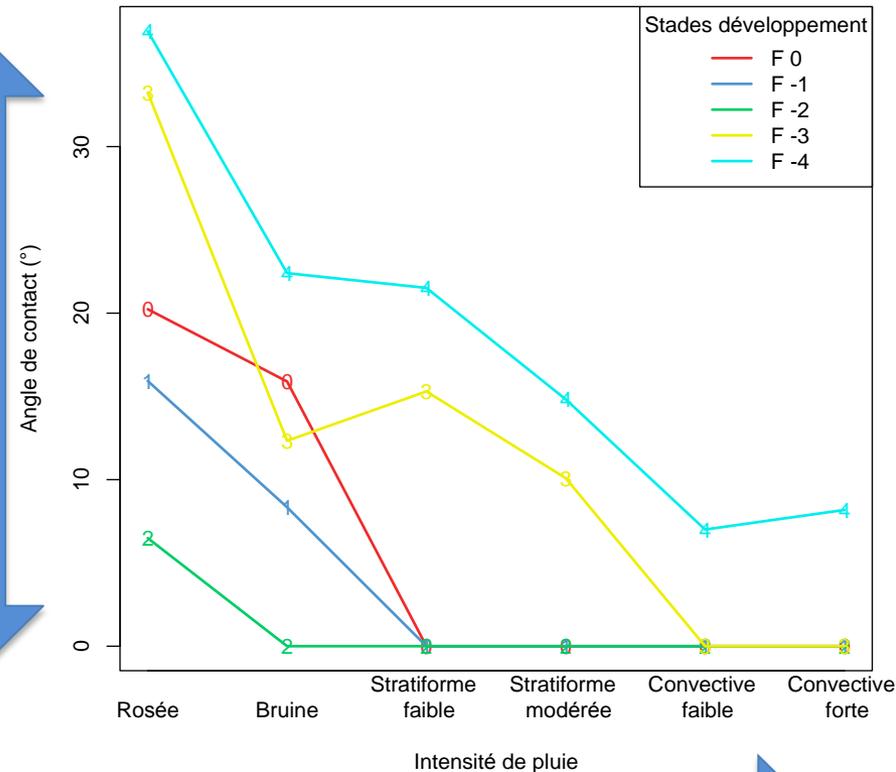


De la feuille déroulée (F 0)  
à la feuille résistante à la  
tavelure  
(résistance ontogénique)

Effet âge des feuilles

Étude par cultivar :

Cortland



Effet intensité de la pluie

# Physique du pommier : Mouillabilité

2014 : étude des effets de l'âge, de la pluie, et du cultivar sur la mouillabilité

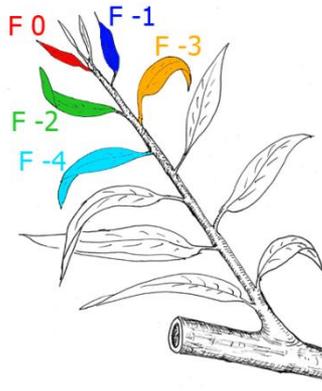
5 cultivars

McIntosh, Spartan, Empire,  
Cortland, HoneyCrisp

5 simulations de pluie et 1 rosée

Gouttes lâchées à différentes hauteurs

5 stades de développement

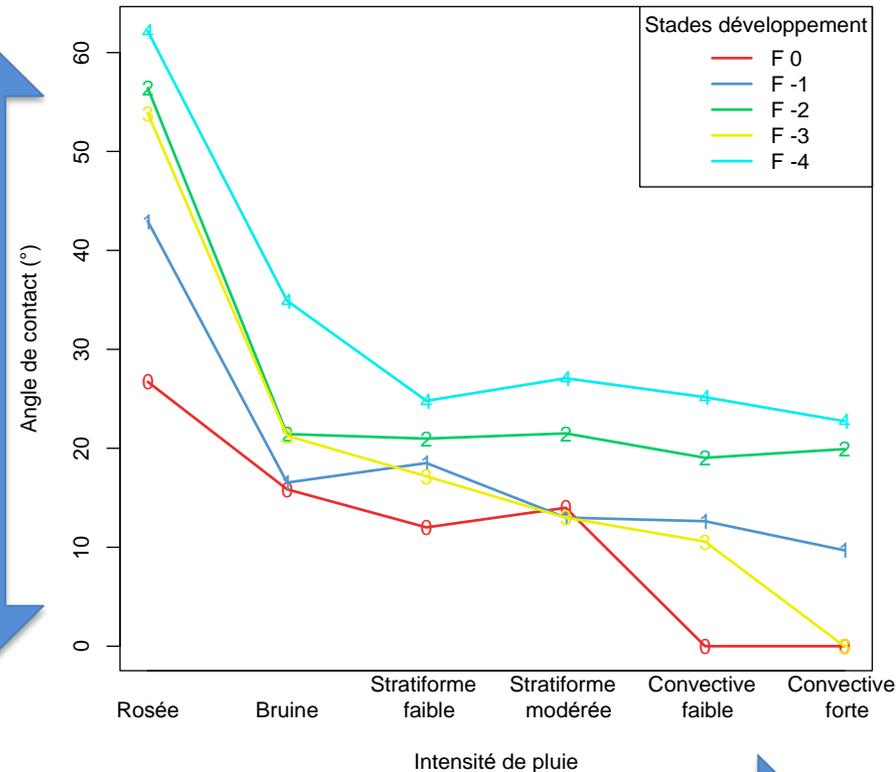


De la feuille déroulée (F 0)  
à la feuille résistante à la  
tavelure  
(résistance ontogénique)

Effet âge des feuilles

Étude par cultivar :

HoneyCrisp



Effet intensité de la pluie

# Physique du pommier : Mouillabilité

Conclusions pour le modèle de mouillure du feuillage :

Effet cultivar non négligeable mais difficile à modéliser

Prendre des moyennes ou agrandir la base de données de cultivars

Effet rosée et intensité de la pluie modélisable

Modélisation propre à chaque cultivar ou tendance moyenne à tous les cv

Effet âge des feuilles modélisable

Cependant pas toujours grand devant l'effet pluie

# Comment améliorer la prévision?

Un modèle physique **SIMPLE** et **RÉALISTE**

Technologies actuelles de calcul

Phénomènes bioclimatiques et thermodynamiques

Physique des pommiers (mouillabilité, architecture)

**Arrêter les capteurs**, se passer au maximum des stations en verger

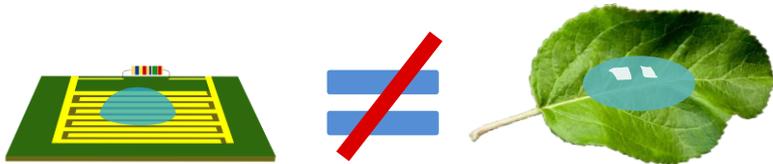
# Les capteurs : une fausse bonne idée



**Aucun standard de mesure**

Selon sa position le capteur peut rater des infections ou surestimer les risques

Ex: un capteur en terrain dégagé ne verra pas tout...un au coeur de l'arbre non plus!



**La mouillure du capteur n'est pas celle de la feuille!**

Étude en 2013 sur la durée de séchage d'une feuille VS un capteur

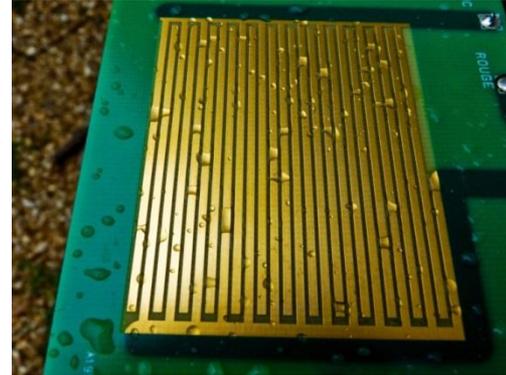
La différence de séchage est-elle importante?

# Les capteurs : une fausse bonne idée



3 cultivars

VS



Capteur Campbell 237

CULTIVAR	FACTEUR DE SÉCHAGE
McIntosh (2013)	1.54
Spartan	1.69
Paulared	1.14

Les feuilles sèchent plus lentement que les capteurs

Correctif empirique proposé en janvier 2014 (CDAQ) ...

... en attendant un modèle qui se passe des capteurs!

# Comment améliorer la prévision?

Un modèle physique **SIMPLE** et **RÉALISTE**

Technologies actuelles de calcul

Phénomènes bioclimatiques et thermodynamiques

Physique des pommiers (mouillabilité, architecture)

Arrêter les capteurs, **se passer au maximum des stations en verger**

# Données d'entrée du modèle

À l'heure actuelle : prévisions météo intègrent les stations dans les vergers (Réseau Pommier) : fonctionne bien

MAIS

Contraignant

Qui assume les coûts et qui s'occupe de la maintenance?

Les modèles de prévision météo sont de plus en plus performants et précis

Les stations au verger : toujours utiles?

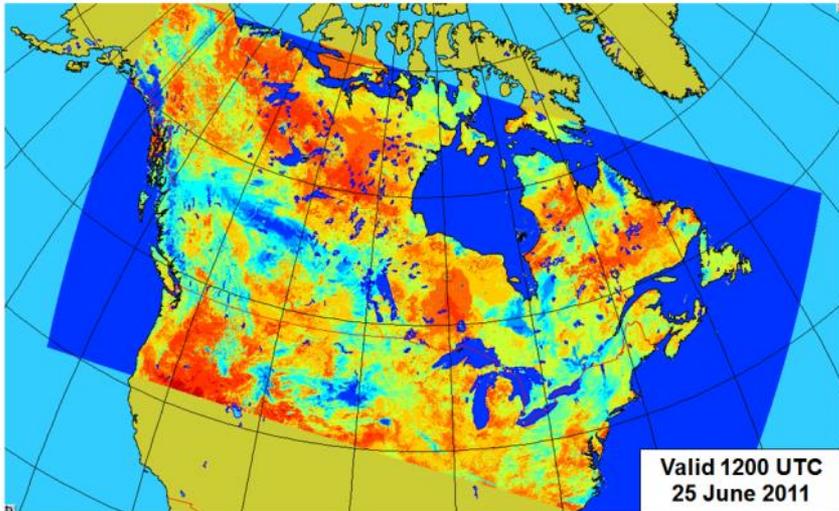
Sinon, comment s'en passer?

# Données d'entrée du modèle

Objectif : obtenir des prévisions météorologiques **locales** et à **court terme**, SANS stations agrométéorologiques installées dans les vergers

## Modèle HRDPS d'Environnement Canada

(*High Resolution Deterministic Prediction System*)



Source : S. Bélair, Environment Canada

Résolution temporelle : de 30 à 60 minutes selon le produit

Résolution spatiale : 2.5 km

Données d'entrée : majoritairement des données satellite

Fréquence : prévisions des 0 – 48 heures mises à jour aux 6 heures

Données fournies : température, humidité relative, rayonnement, vent, pluie, etc.

Fait marquant : utilisé (entre autres) pour les J.O. de Sotchi

Tout ce qu'il faut pour modéliser l'humectation!

# Données d'entrée du modèle

## Modèle HRDPS d'Environnement Canada (*High Resolution Deterministic Prediction System*)

Comparaison données horaires de la station de St Bruno VS prévisions horaires

Variable	Erreur standard	Commentaire
Température (°C)	1.83	Très satisfaisant!
Humidité Relative(%)	10.76	Erreur importante
Rayonnement (W/m <sup>2</sup> )	112.26	Satisfaisant
Vitesse du vent(km/h)	4.38	Satisfaisant
Pluie (mm)	0.86	Erreur < 1mm

Pourcentage Surestimé	10.76%
Pourcentage Sous-estimé	2.65%
Différence moyenne absolue	0.17mm

# Notre modèle d'humectation

Avec notre modèle physique **SIMPLE** et **RÉALISTE** nous voulons ...

... Exploiter les technologies actuelles de calcul,

... Simuler les phénomènes bioclimatiques et thermodynamiques,

... Prendre en compte la physique des pommiers aux échelles importantes,

... Nous passer des stations installées aux vergers.

# État actuel du projet

... Exploiter les technologies actuelles de calcul, 

Résolution des équations avec un minimum d'approximations  
Langages de programmation versatiles et "légers"

... Simuler les phénomènes bioclimatiques et thermodynamiques, 

Bilan énergétique à l'interface feuille-eau-air  
en fonction des variables environnementales

... Nous passer des stations installées aux vergers. 

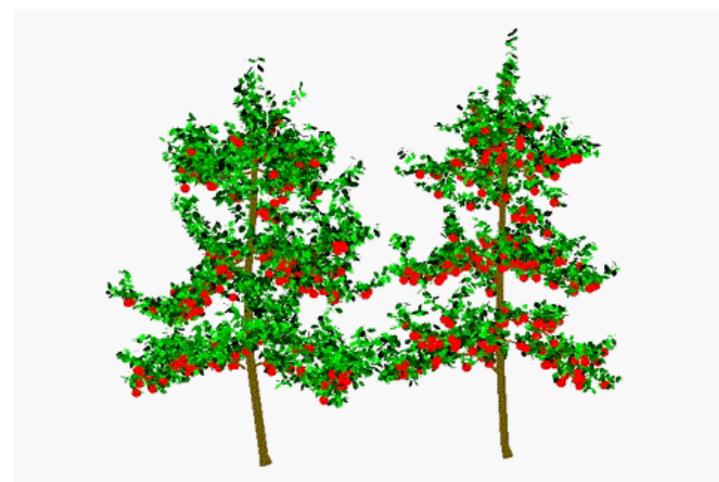
Accès aux données du modèle HRDPS d'Environnement Canada

... Prendre en compte la physique des pommiers aux échelles importantes,

Mouillabilité 

Architecture : 2015

... Valider le modèle : à la fin 2015



# MERCI DE VOTRE ATTENTION

Ces travaux n'auraient pas été rendus possibles sans l'aide des nombreux techniciens et stagiaires qui ont été impliqués dans les projets de recherche (Valentin J., Manon B., Bastien B., Vincent L., Cédric B., Carole H.)



Ces travaux ont été rendus possibles grâce au soutien financier du Programme Canadien d'Adaptation Agricole du CDAQ en 2013 et du programme Innov'Action Agroalimentaire de 2014 à 2016, ainsi qu'à la collaboration de l'équipe de modélisation météo du Dr. Stéphane Bélair (Environnement Canada)



Environment  
Canada

Environnement  
Canada