



Toulouse | 05–06 Mai 2022

# Estimation des dates et des quantités d'irrigation par l'assimilation des données d'humidité de surface du sol dans l'approche FAO-56 dans la région sud-méditerranéenne

**N. Ouaadi**, L. Jarlan, S. Khabba, J. Ezzahar, M. Le Page, O. Merlin



HILIAISE

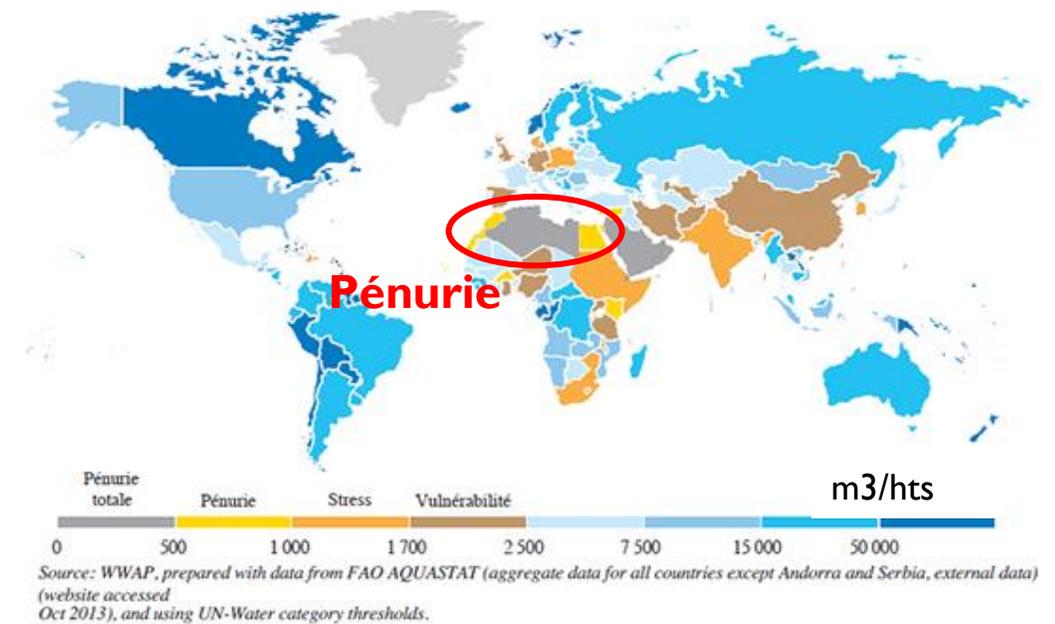


- Ressources en eau **limitées** (<580 m<sup>3</sup> par hab par an)
- ... et **irrégulièrement distribuées** dans le temps / espace
- Demande en eau **croissante** (démographie, expansion urbaine, intensification de l'agriculture)

## Irrigation

- 80% de l'eau mobilisée
  - **Surface agricole irriguée** en forte augmentation
  - Des pratiques consommatrices
- Suivi de **l'irrigation** à échelle de la parcelle : gestion rationnelle et durable des ressources

Ressource par habitant



## Observations *in situ* / enquête

- Enquêtes
  - + compréhension des pratiques
  - souvent tardives (1-3 ans) et biaisées
- Observations
  - + Réalité du terrain
  - localisées, lourdes et coûteuses à recueillir



## Observations satellite



- + Vision globale et fréquente
- + Nombreuses variables observables liées à l'état hydrique



Signatures spectrales

- Couverture nuageuse
- Précipitations

Visible/Proche infrarouge

Infrarouge thermique

Micro-ondes

- Pas d'observation
- Couverture nuageuse

Température de surface

SSM

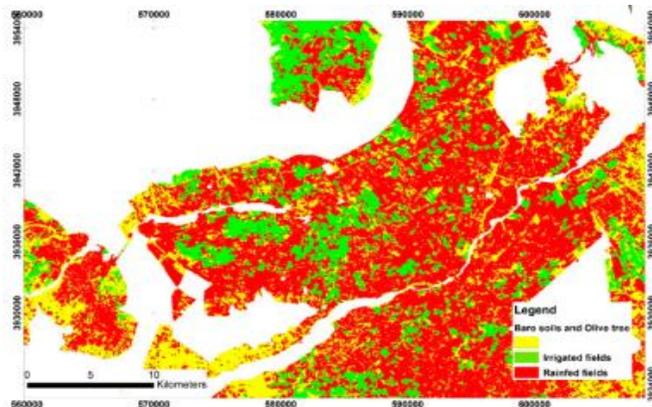
Variation du contenu en eau

## 1 Cartographie des zones irriguées

Nombreux travaux / combinaison de données multi-spectrales

- Draeger (1976)
- Heller and Johnson (1979)
- Ambika et al. (2016)
- Kumar et al. (2015)

...

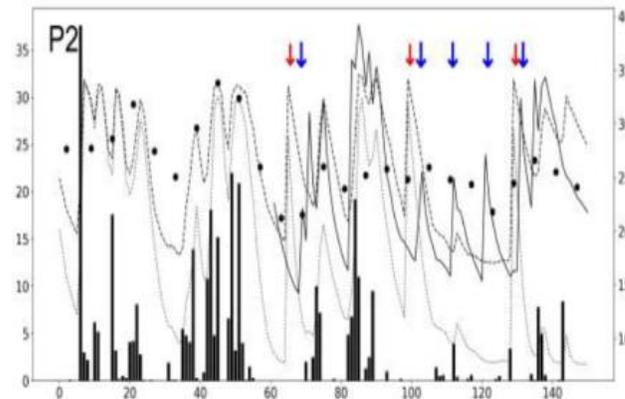


Bousbih et al. 2018

## 2 Timing / Calendrier des évènements

Peu d'études / humidité du sol Sentinel-1

- Bazzi et al. (2020)
- Le Page et al. (2020)



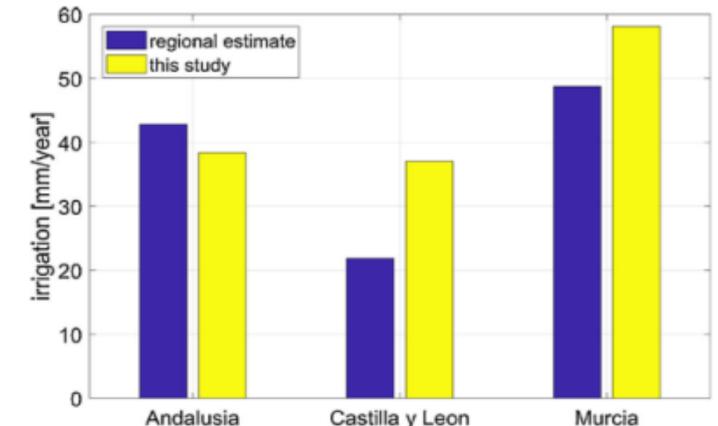
Le page et al. 2020

## 3 Quantités d'eau utilisée

Combinaison modèle de surface / produits satellites

I- Produits humidité basse résolution

- Brocca et al. (2018)
- Jalilvand et al. (2019)
- Zappa et al. (2020)



Brocca et al. 2018

2- Température de surface LANDSAT : Olivera-Guerra et al (2020)

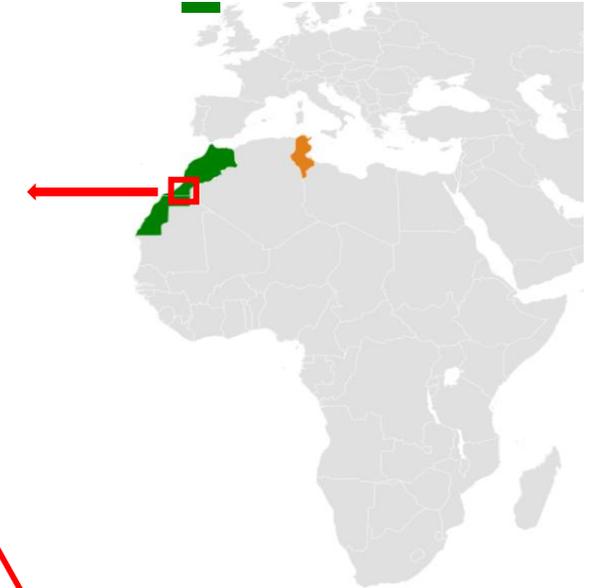
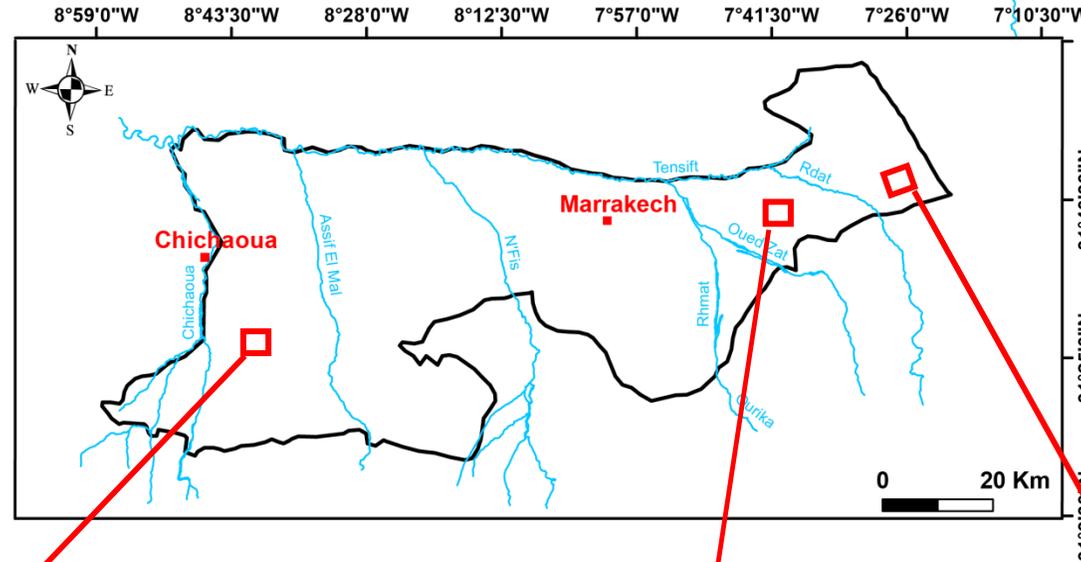
→ Nouvelle approche d'inversion de l'irrigation dates et quantités à l'échelle de la parcelle / Sentinel-1

# Site d'étude (Centre du Maroc)



## Plaine de Haouz

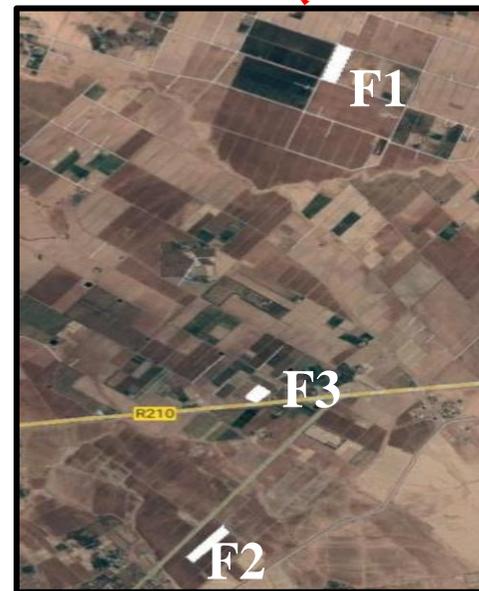
- Climat **semi-aride**  
(Pluie ~250 mm /  
ET0 ~ 1600 mm)
- **Température** ~37 °C  
en été et ~ 5°C en  
hiver
- La saison agricole :  
Nov - Mai-Juin



D1, D2 (Drip)

2 parcelles

2 saisons agricoles : 2016-2018



F1, F2 et F3 (Flood)

3 parcelles

Saison agricole : 2015-2016 / 2003



R1 (Rainfed)

4 saisons agricoles : 2014-2018

## Mesures *in situ*



TDR sensors

### Humidité du sol



Weather station

### Données météorologiques

- Precipitations
- Temperature
- Humidité de l'air
- Rayonnement solaire
- Vitesse du vent



Flood



Drip

## Satellite data : Sentinel-1 and Sentinel-2

### Soil moisture products

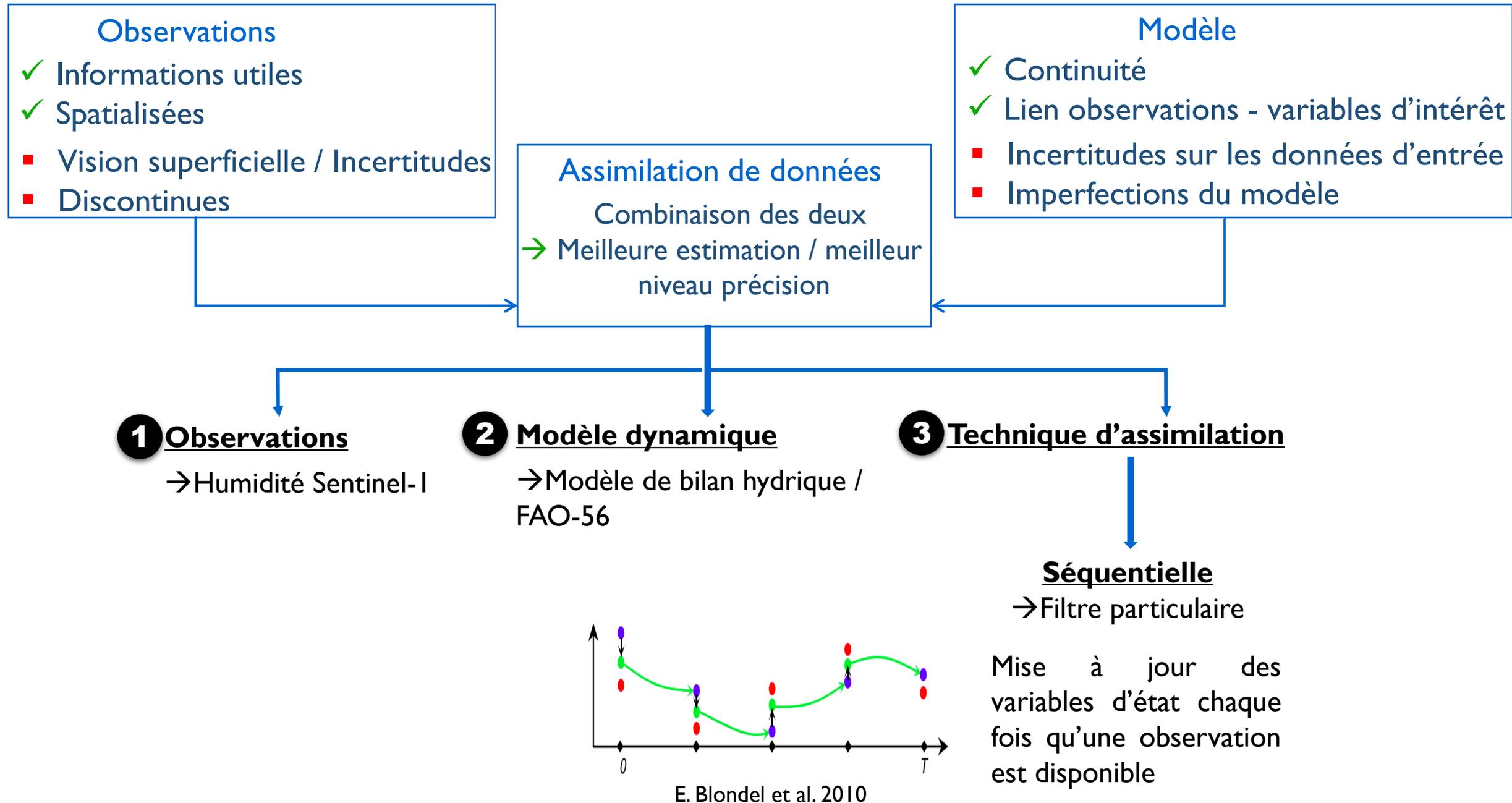
- Soil moisture products derived from Sentinel-1 (Ouaadi et al. 2020)
- Relative orbits : 52 (35.2°) for DI and 45/154 (40°) for F2, F3 et RI
- Polarization : VV

### NDVI

- Sentinel-2 Theia products corrected from atmospheric effects
- Bands : 4 et 8

### Irrigations

- Goutte à goutte : Débitmètre
- Gravitaire : Débit du canal



Modèle de bilan hydrique du sol, largement utilisé pour l'estimation de l'évapotranspiration des cultures

$$ET_r = (K_s K_{cb} + K_e) * ET_0$$

- Facile à mettre en œuvre
- Bons résultats en littérature
- Calibré sur nos sites (Rafi et al, 2019, Er-Raki et al. 2010...)

- Fraction de couvert **fc** → NDVI Sentinel-2 (Diarra et al. 2017)

$$f_c = 1.12 * NDVI - NDVI_{min}$$

- Coefficient **Kcb** → NDVI Sentinel-2 (Er-Raki et al. 2010)

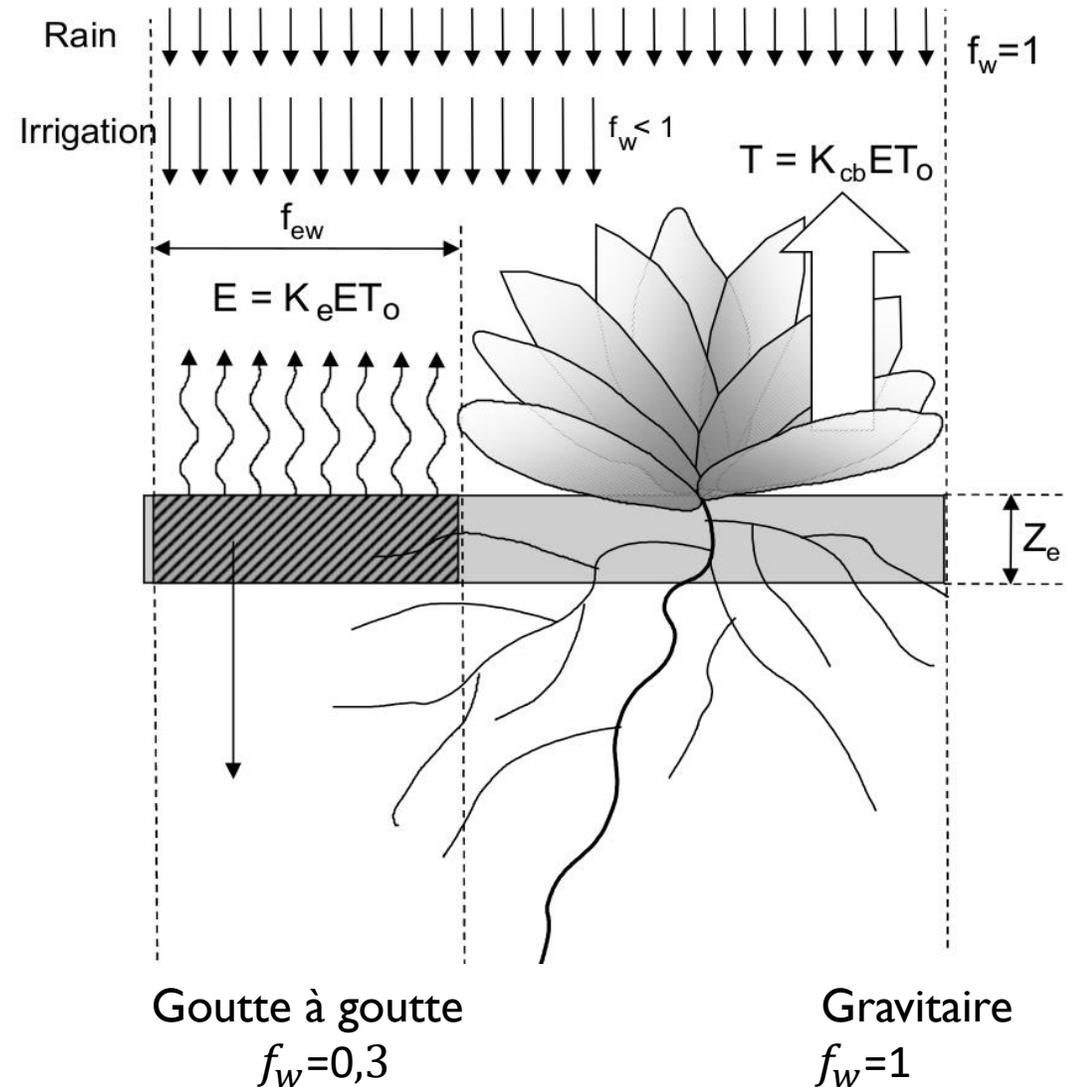
$$K_{cb} = K_{cb} = 1.07 \left( \left( \frac{NDVI_{max}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^{0.84/0.54} \right)$$

L'humidité de surface / bilan hydrique du sol

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - P_i - R_{o,i} - \frac{I_i}{f_w} + \frac{E_i}{f_{ew}} + T_{ew,i} + DP_i$$



$$SSM_m = \theta_{fc} - \frac{D_e}{Z_e * 1000}$$



# Principe du filtrage particulaire

1- Générer des particules de poids égal

2- Propager les particules de l'état  $i$  à  $i+n$  où une observation est disponible

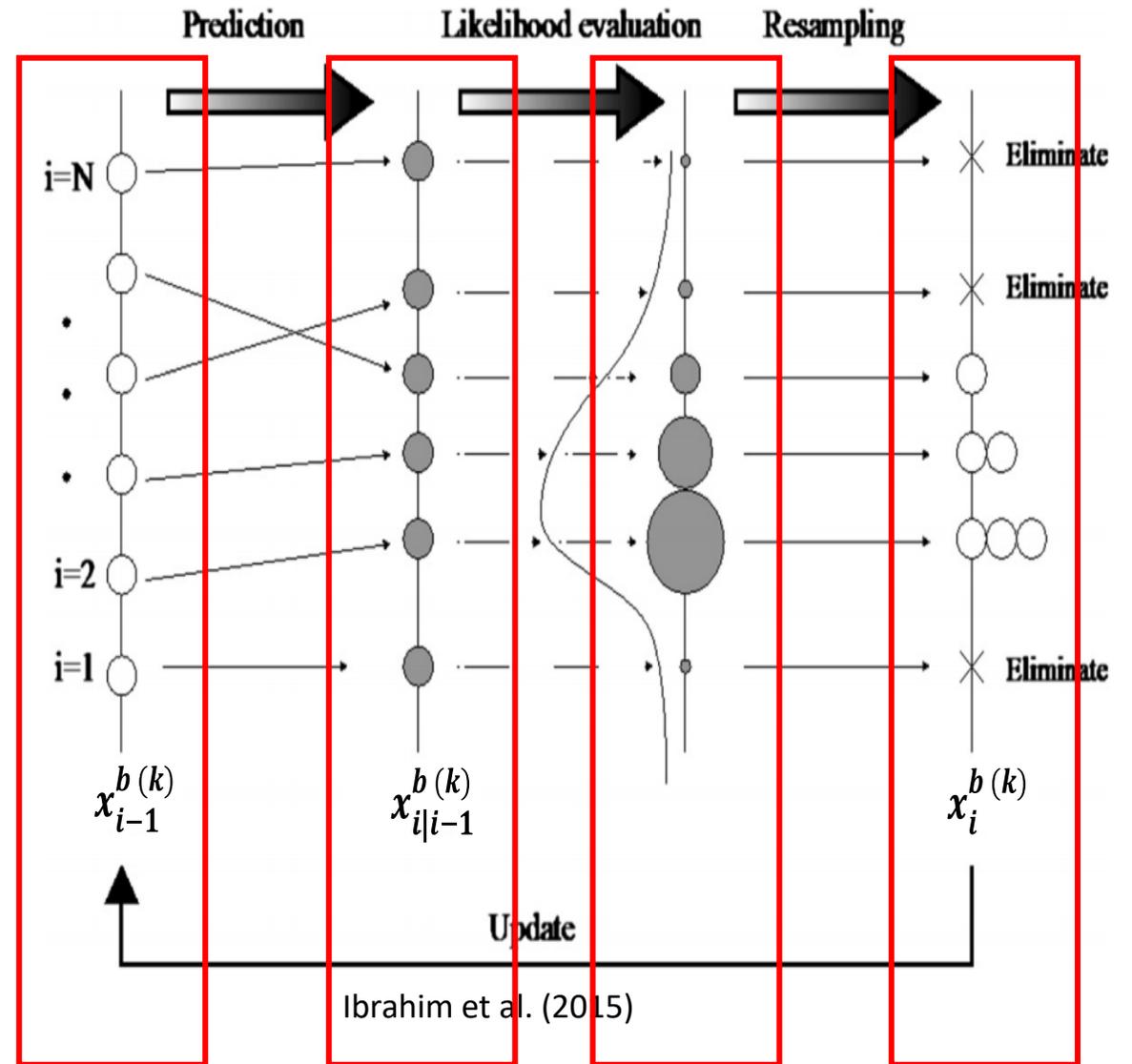
3- Calculer la vraisemblance

$$p(y_i | x_i^k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \det(C_V)}} e^{-0.5 * (y_i - x_i^k)^T * C_V^{-1} * (y_i - x_i^k)}$$

4- Actualisé les poids des particules

$$w_i^k = \frac{p(y_i | x_i^k)}{\sum_{k=1}^N p(y_i | x_i^k)}$$

5- Ré-échantillonnage  $N_{eff} = \frac{1}{\sum_{k=1}^N (w_i^k)^2} < 0,5 * N$



➡ Particule avec le poids le plus élevée

Assimilation de données de l'humidité (SSM) dans la FAO-56 en utilisant un algorithme de filtrage particulaire

## Scenarios d'irrigation:

Contrainte de quantité

- Gravitaire / 20 - 80 mm
- Goutte à goutte / 0 - 40 mm

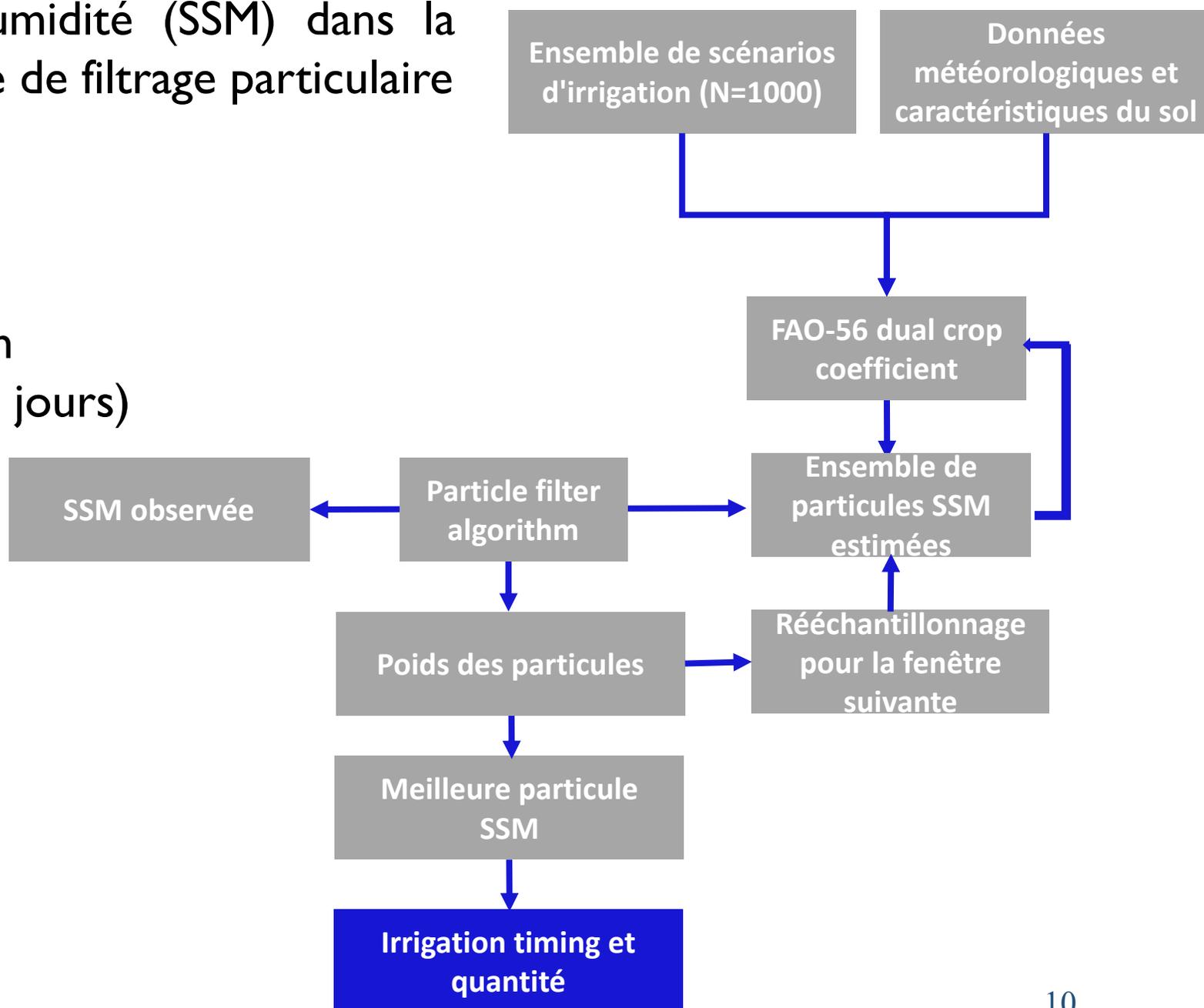
Contrainte de temps de retour (5 jours)

## Longueur de fenêtre

temps de revisite du satellite (3, 6 et 12 jours en fonction des sites)

## Observations de l'humidité

- Mesures *in situ*
- Produits Sentinel-1



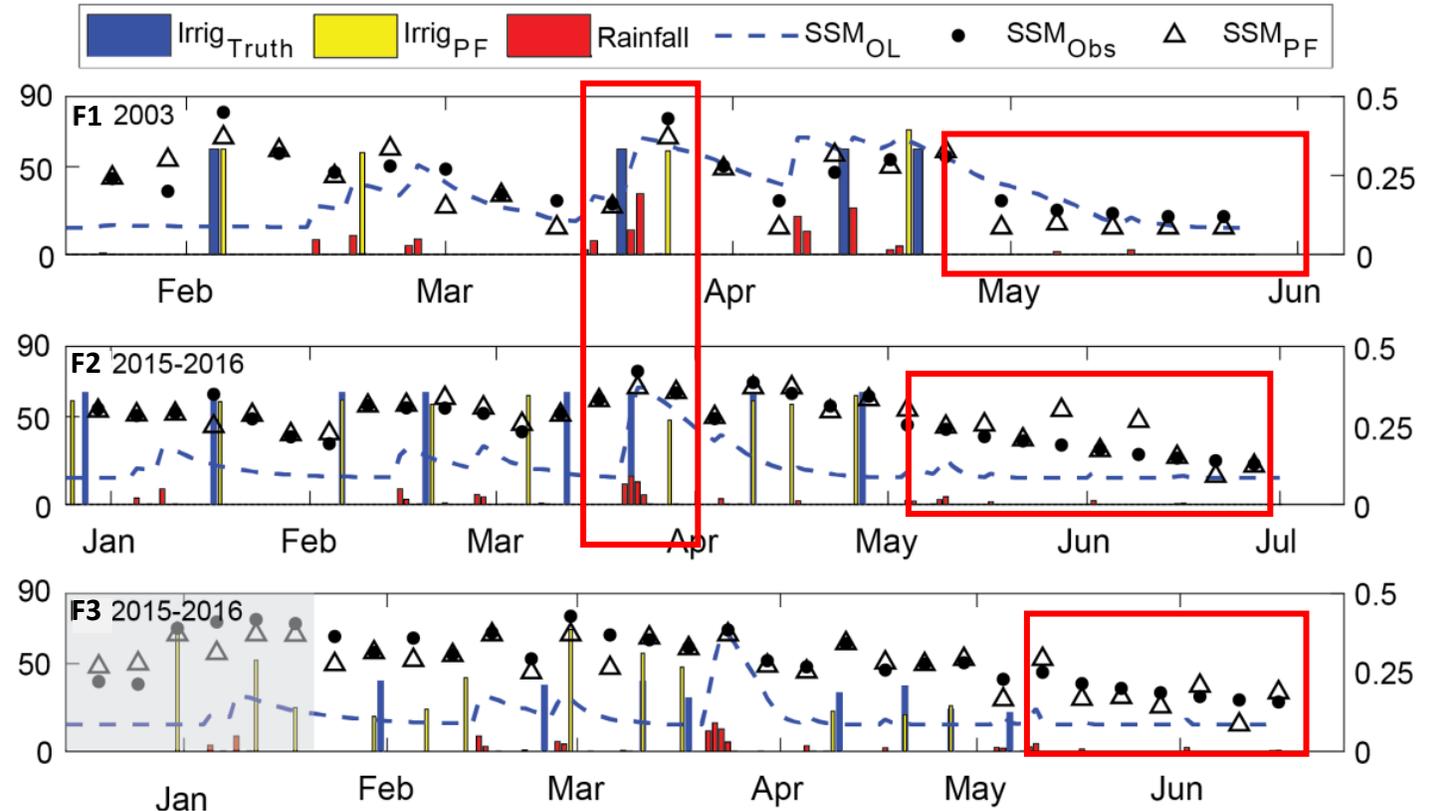
# Assimilation de l'humidité in situ / séries temporelle



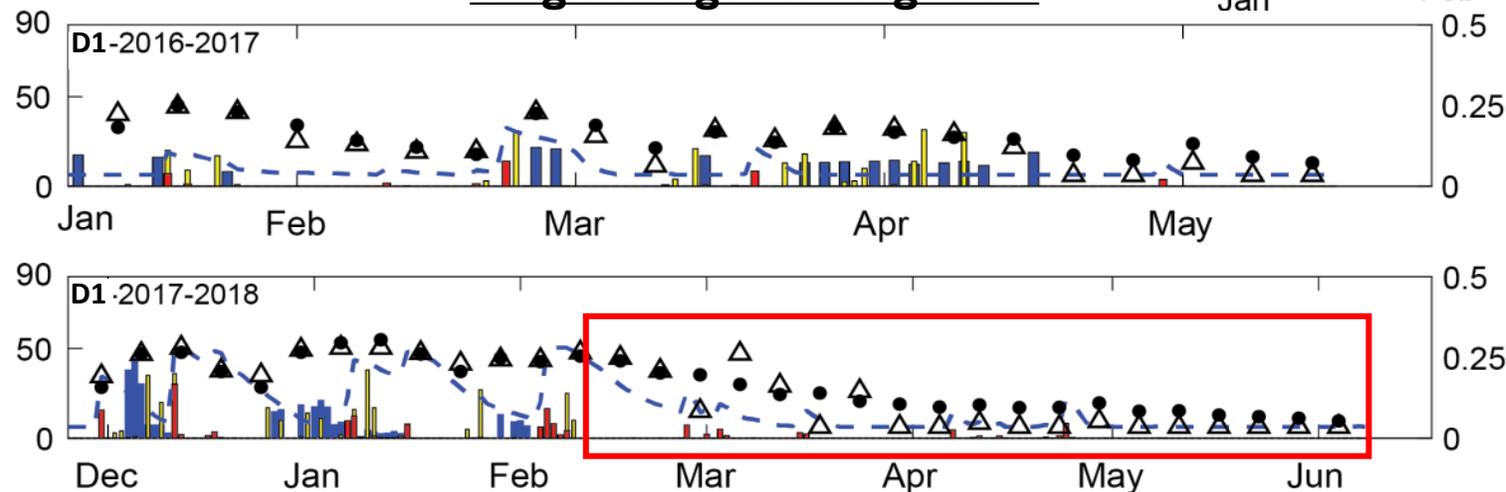
## Fréquence des observations / 6 jours

- Quantités et timing en bon accord
- Aucune fausse détection en fin de saison
- Difficile d'identifier des événements concomitant avec des précipitations

### Irrigation gravitaire



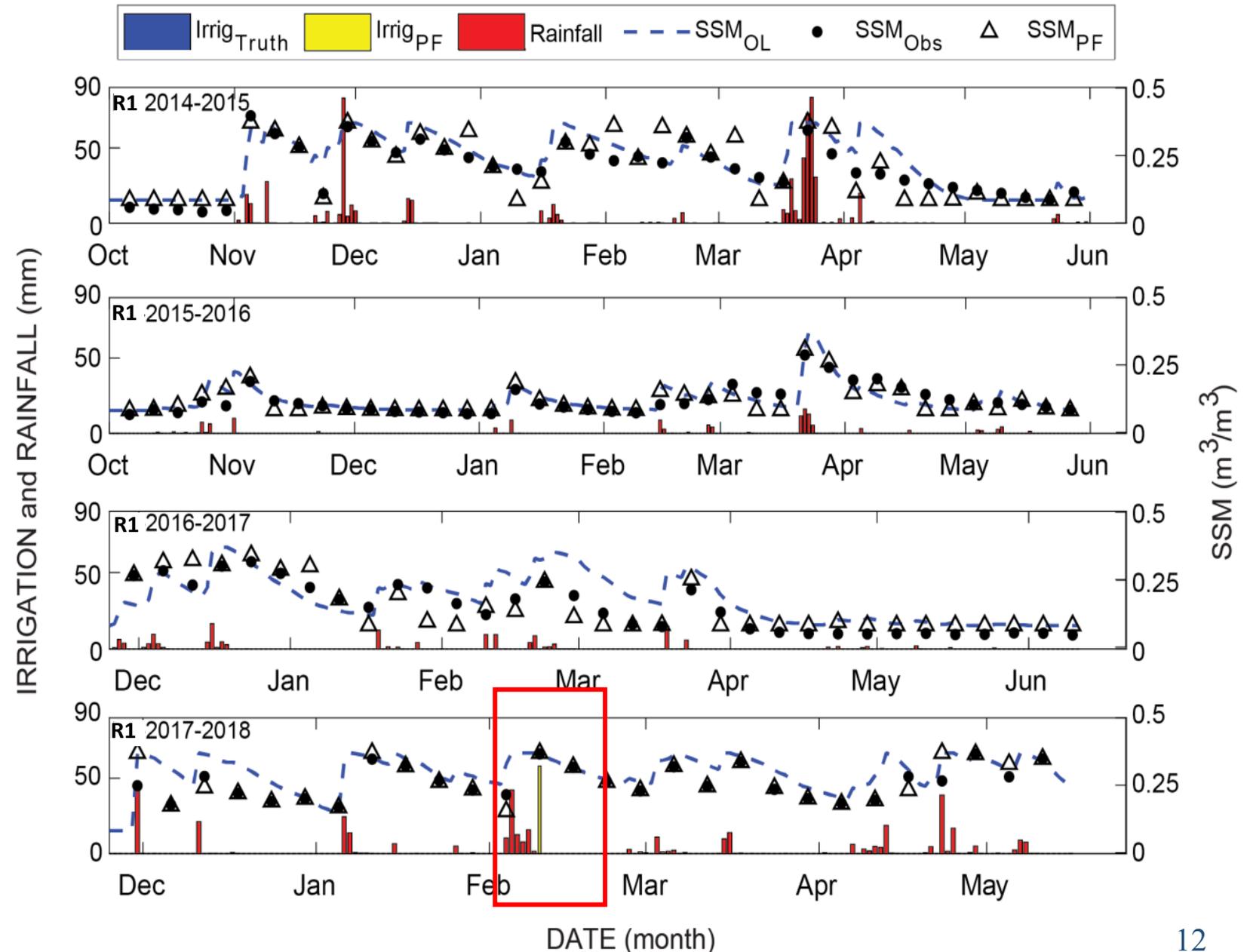
### Irrigation goutte à goutte



- Sous-estimation au début de 2017-2018  
→ 141 mm appliqués en une semaine / limite d'une approche basée sur l'humidité superficielle

## Fréquence des observations / 6 jours

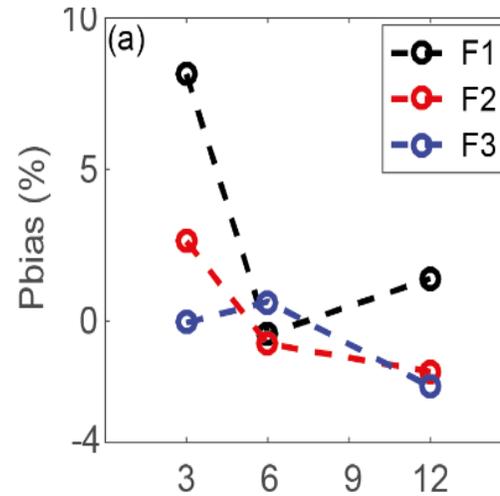
### Parcelle pluviale



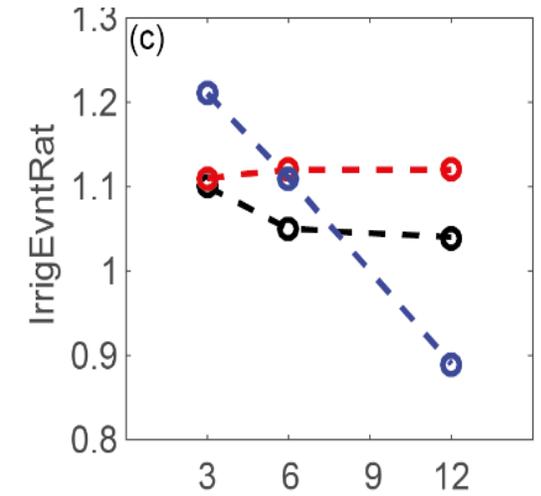
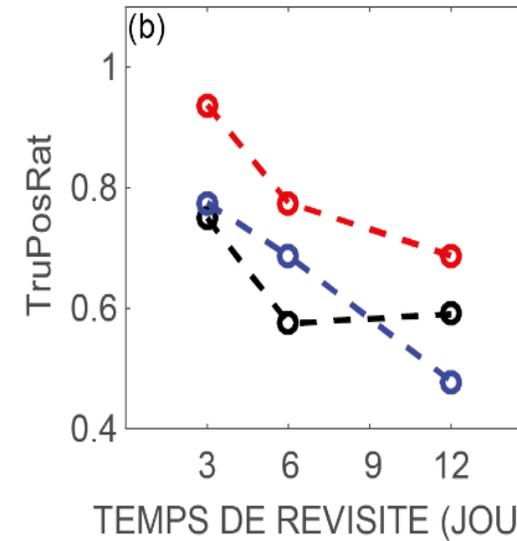
### Irrigation

- Aucun événement d'irrigation n'est détecté sur les trois saisons de 2014 à 2017
- Un seul faux événement est détecté pendant la saison 2017-2018

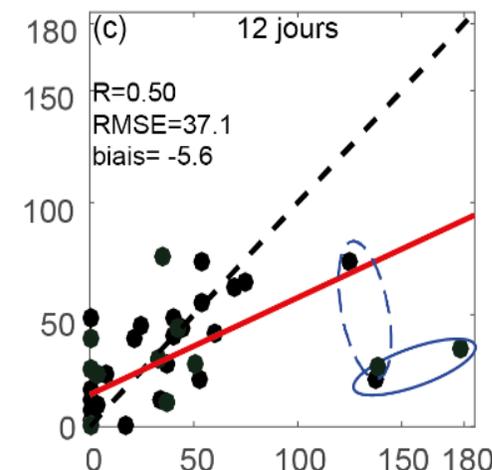
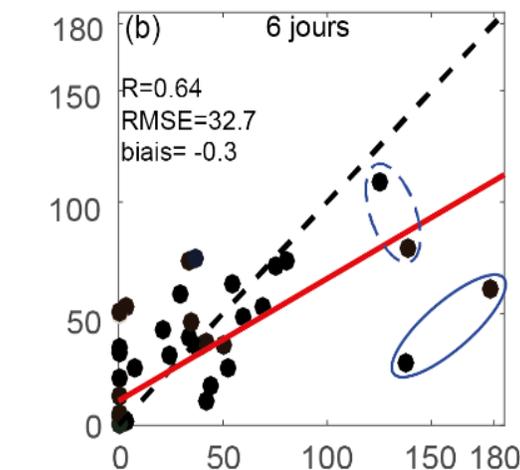
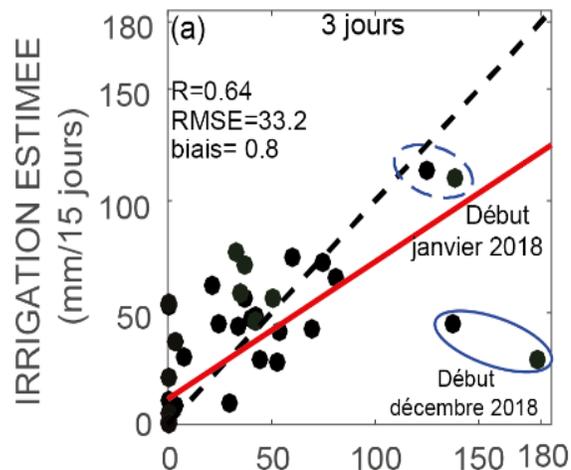
- Bons résultats avec le Pbias entre 10 et -2%
- ~70% des irrigations sont détectées +/- 4 jours pour une fenêtre de 6 jours
- Au maximum un seul événement faussement détecté ou manqué



## Irrigation gravitaire



## Irrigation goutte-à-goutte, quantités cumulées sur 15 jours



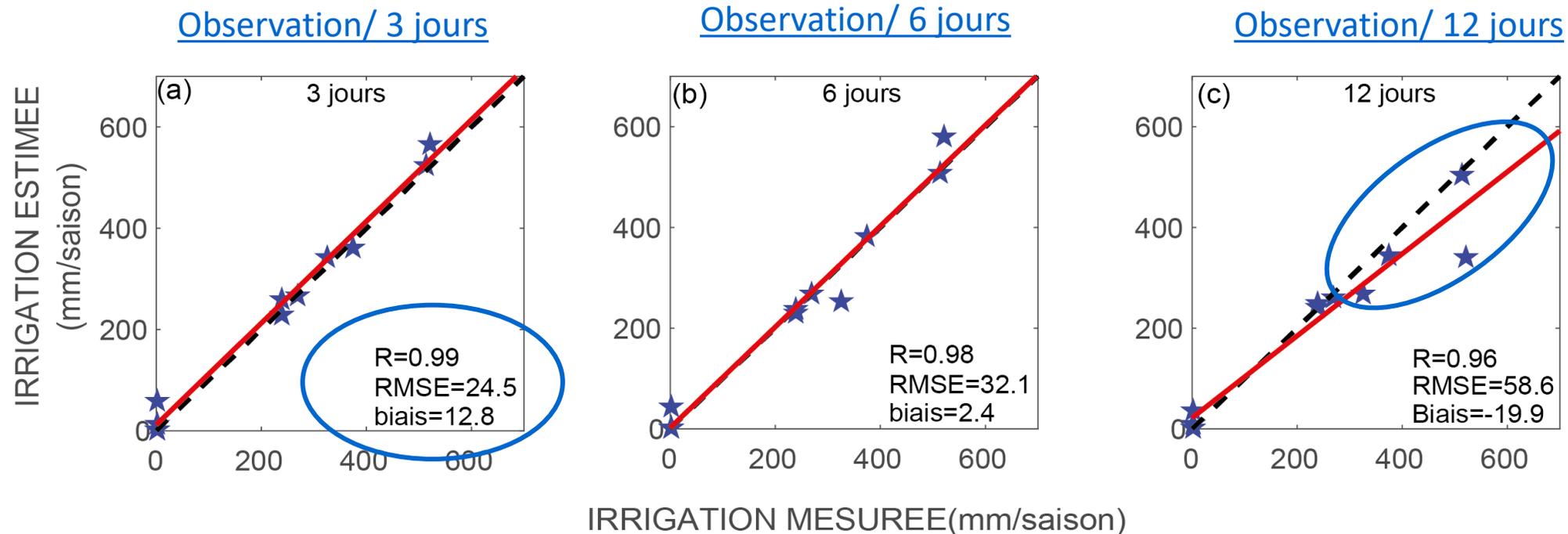
IRRIGATION MESUREE (mm/15 jours)

## Irrigation goutte à goutte

- Résultats satisfaisants / meilleures performances → 3 jours
- Sous-estimation au début de saison / grande quantité d'irrigation saison 2017-2018

→ 11 parcelles (5 saisons)

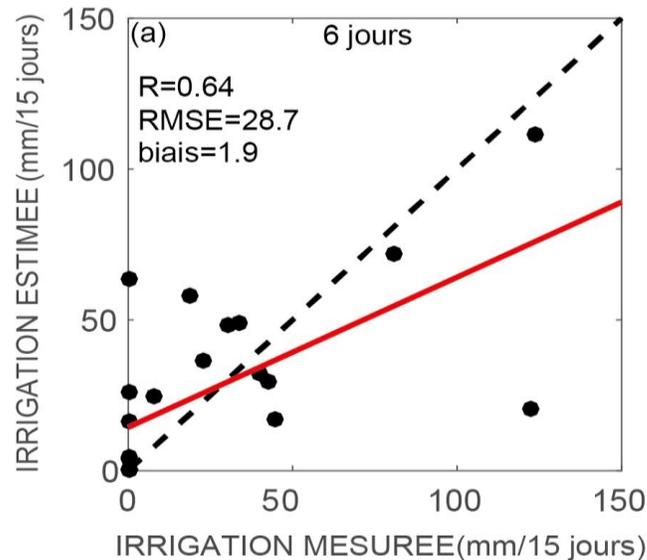
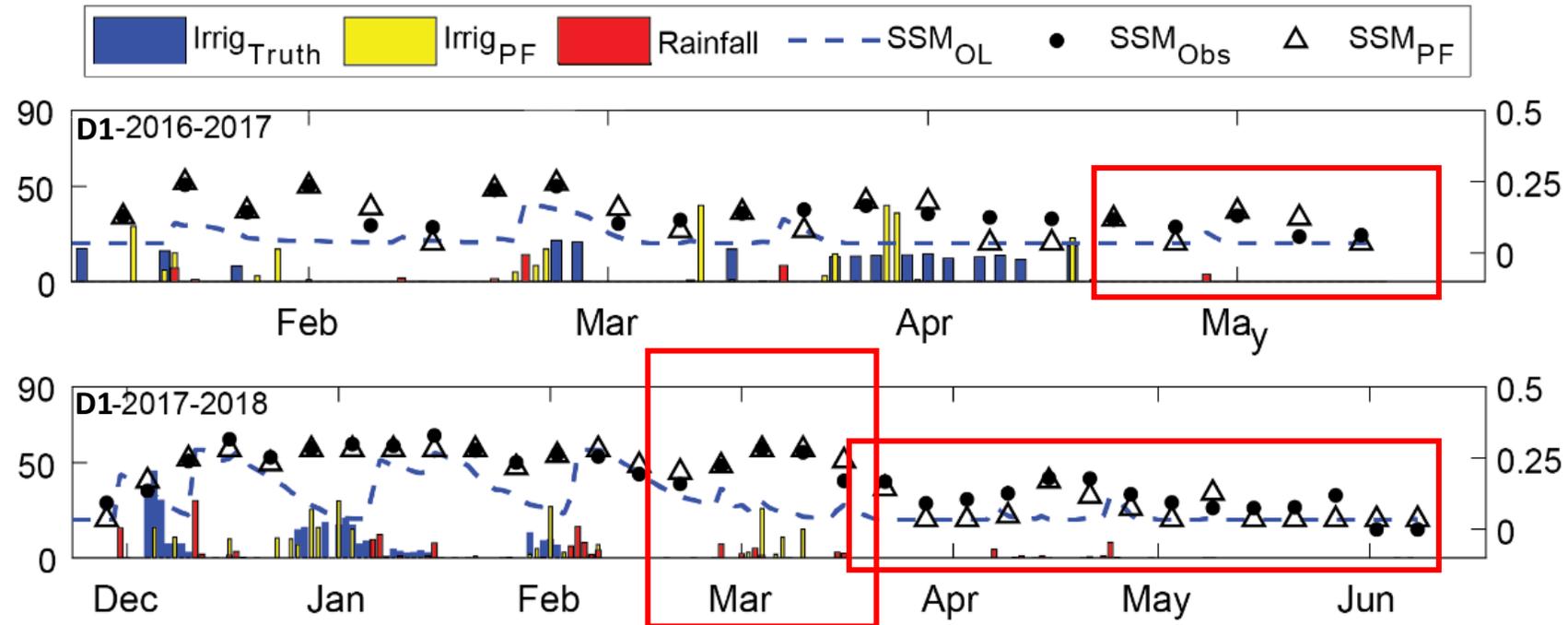
→ 3 fenêtres : 3, 6 et 12 jours



- Meilleures estimations obtenues pour une fenêtre de 3 jours
- Légère sous-estimation observée pour la fenêtre de 12 jours / difficulté à détecter les irrigations avec une information sur l'humidité superficielle lorsque la fréquence d'observation est faible

## Fréquence des observations / 6 jours

- Aucun événement d'irrigation n'est détecté en fin de saison
- Événements faussement détectés en présence de précipitation

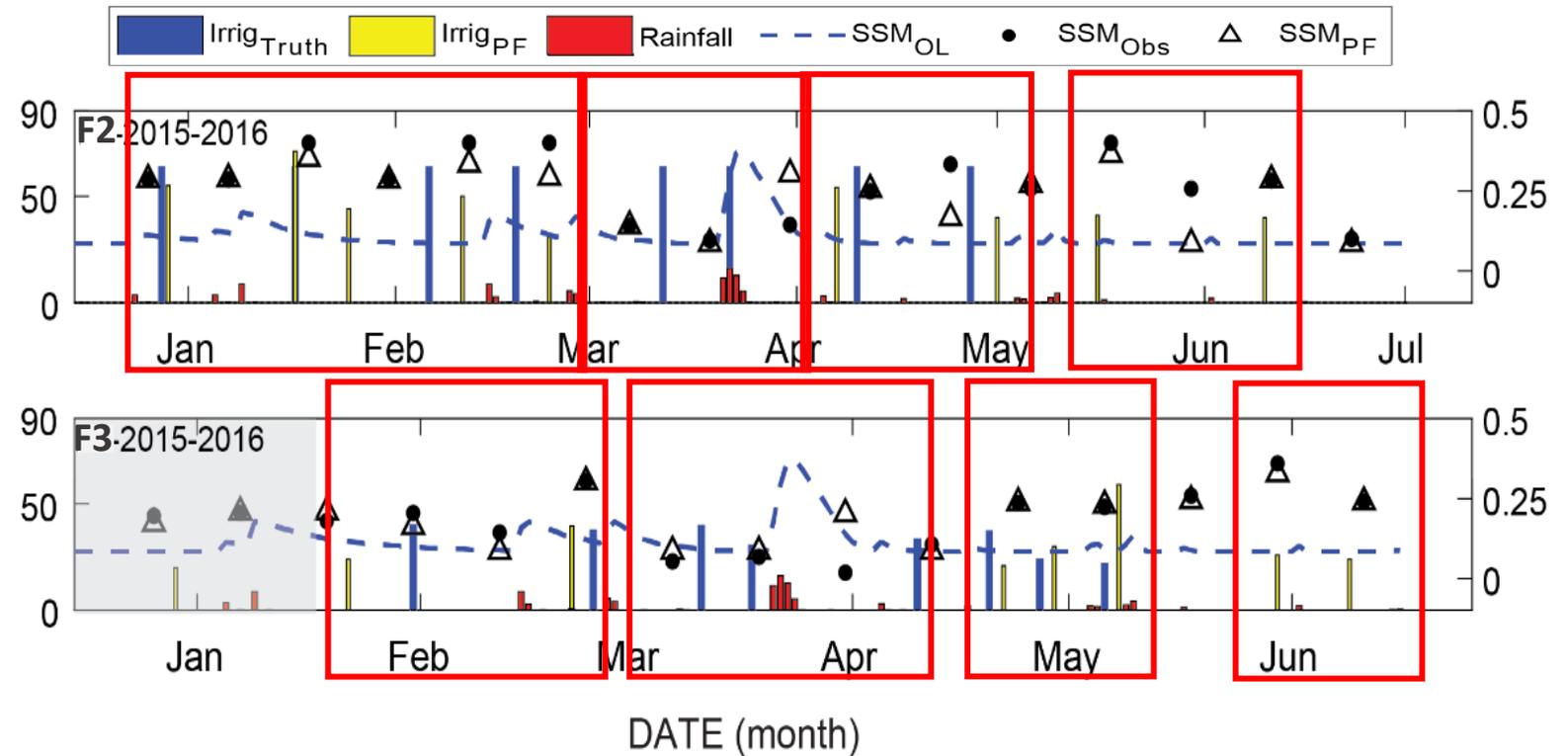


## Accumulation par 15 jours

- Statistiques raisonnables et proches de celles obtenues avec les mesures *in situ*
- Sous-estimation début de saison 2017-2018 obtenue par l'assimilation de l'humidité *in situ* → Observée pour les produits Sentinel-1

## Fréquence des observations / 12 jours

- Événements début et fin de période de avec une précision raisonnable (timing et quantités)
- Fausses détections après l'arrêt des irrigations fin de la saison
- Évènement manqué en mars / (problème produit humidité)



## Résultats statistique

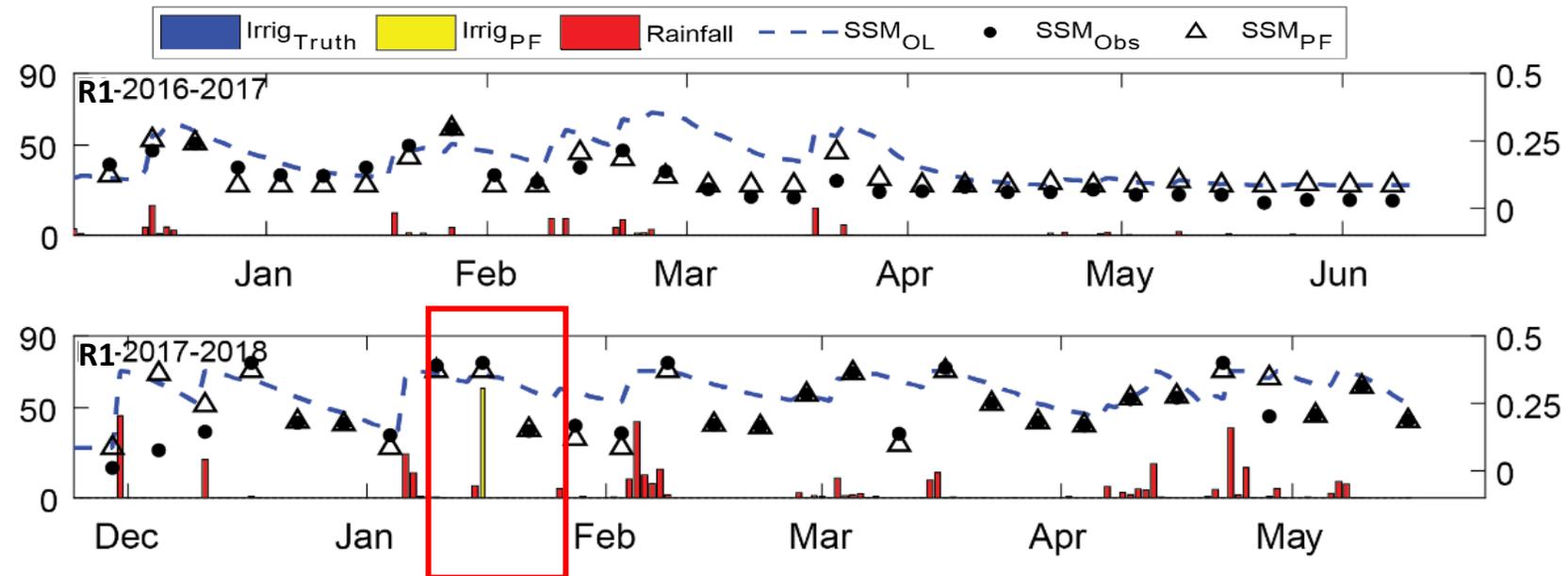
TPR (4 days)		TPR (5 days)		INR		Pbias	
F2	F3	F2	F3	F2	F3	F2	F3
0.50	0.44	0.63	0.56	1.15	1.09	-3.14	3.98

- ~50 % des événements peuvent être détectés (+/-4 à 5 jours)
- Pbias limité à 4 %
- Surestimation maximale d'un événement sur la saison

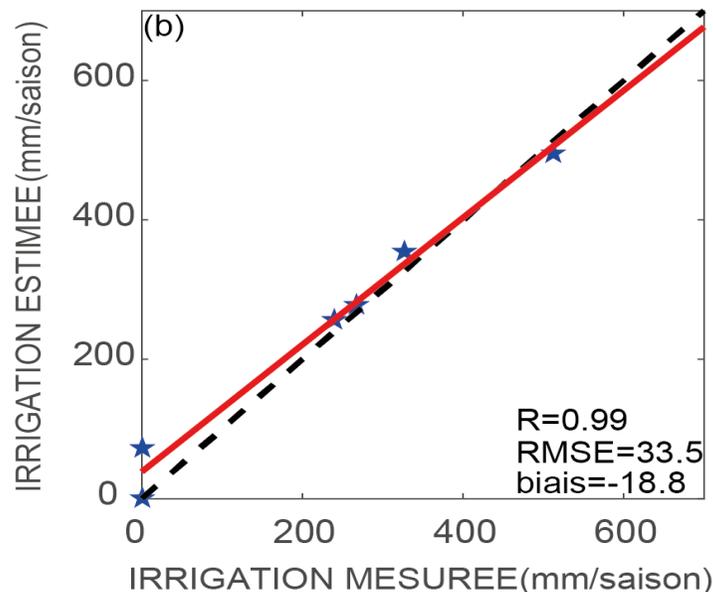
## Fréquence des observations / 6 jours

### R1

- aucune irrigation n'est détectée pour la saison 2016-2017
- un seul événement a été détecté pour 2017-2018



## Cumuls saisonniers



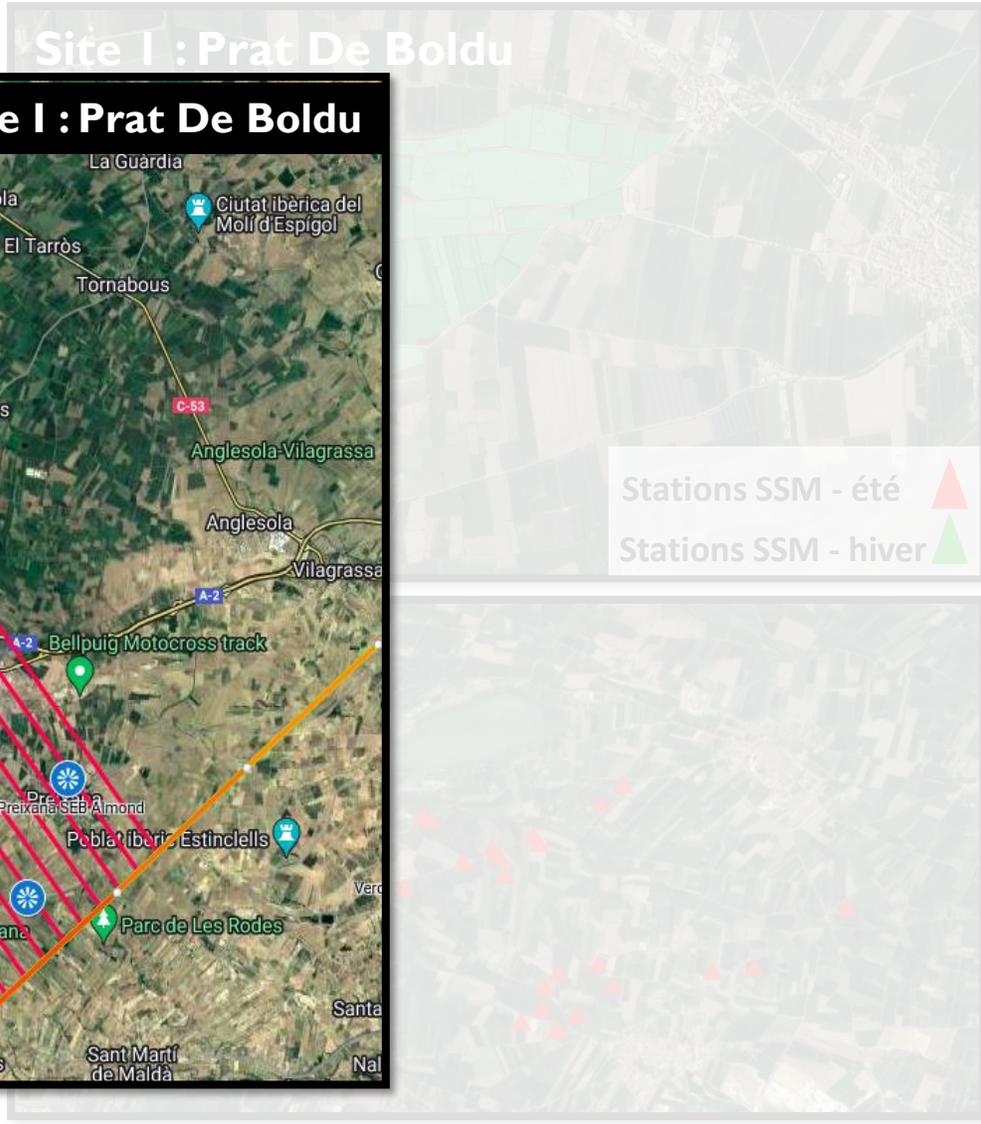
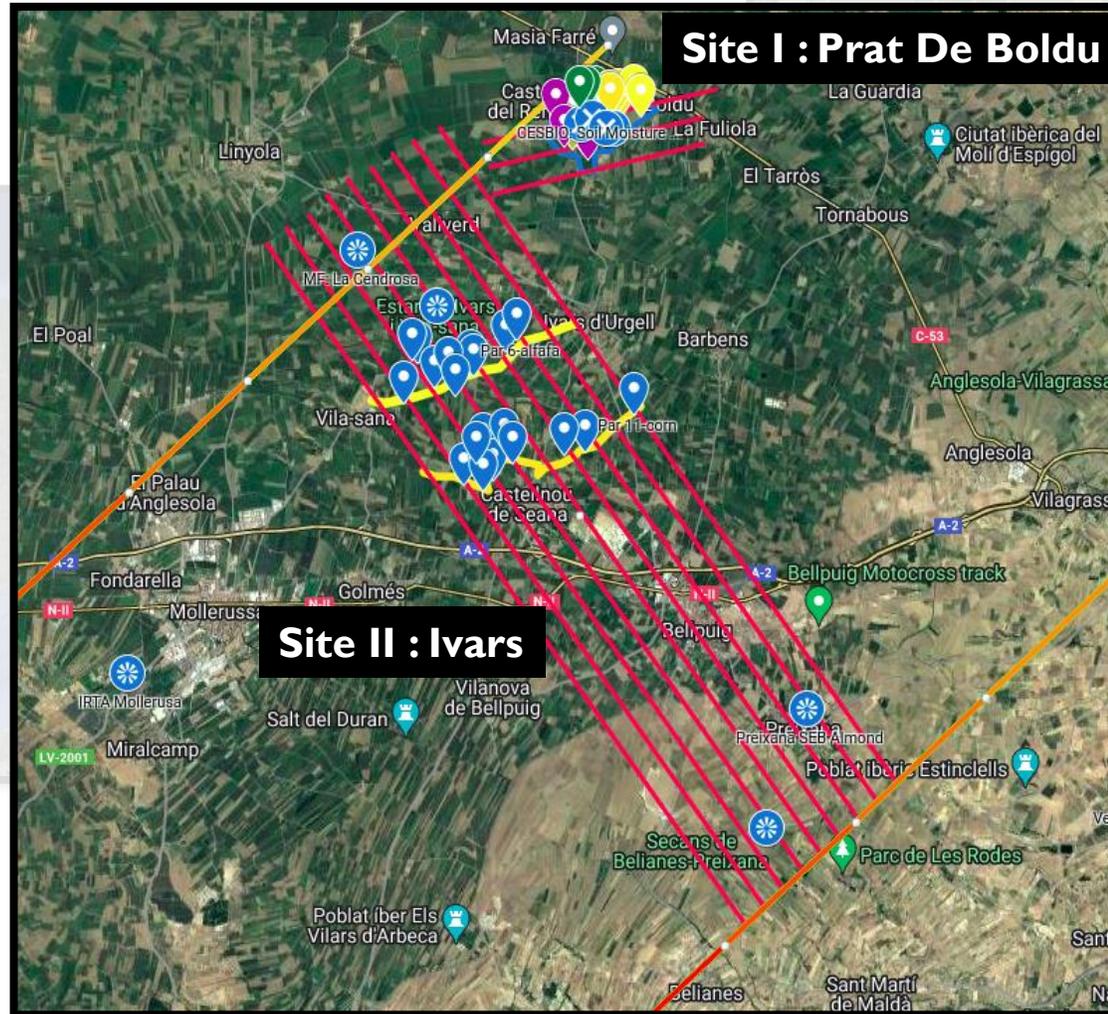
- De bonnes estimations des quantités saisonnières

- Nouvelle approche pour l'inversion des irrigations en termes de quantité et timing à l'échelle de la parcelle
- L'assimilation de l'humidité de surface dérivée des données Sentinel-1 → résultats encourageants
- Estimations précises pour 6 jours / meilleures estimations à 3 jours (future mission Sentinel-1)
- Bases de données limitées (après 2016) / gravitaire
- Limites de l'approche / connaissance nécessaire du type d'irrigation et caractéristiques du sol
- Présence du pluie peut dégrader la performance de l'approche (Brocca et al. 2018, Jalilvand et al. 2019)

# Travail en cours ...

→ Tetster sur les sites espagnols 2021 /

projet HILIAISE



→ Amélioration de l'approche par assimilation conjointe de l'humidité et d'une variable liée à la zone racinaire / évapotranspiration (données thermique).