

Développements méthodologiques pour le suivi de l'humidité du sol par télédétection spatiale

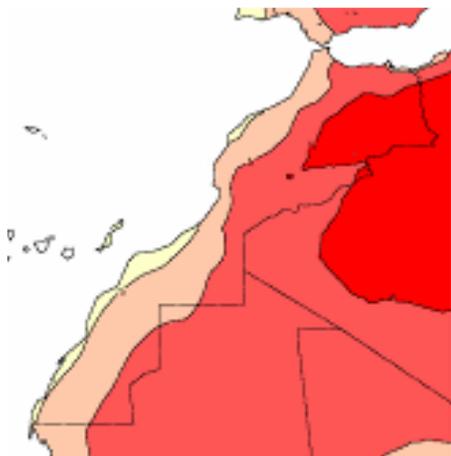
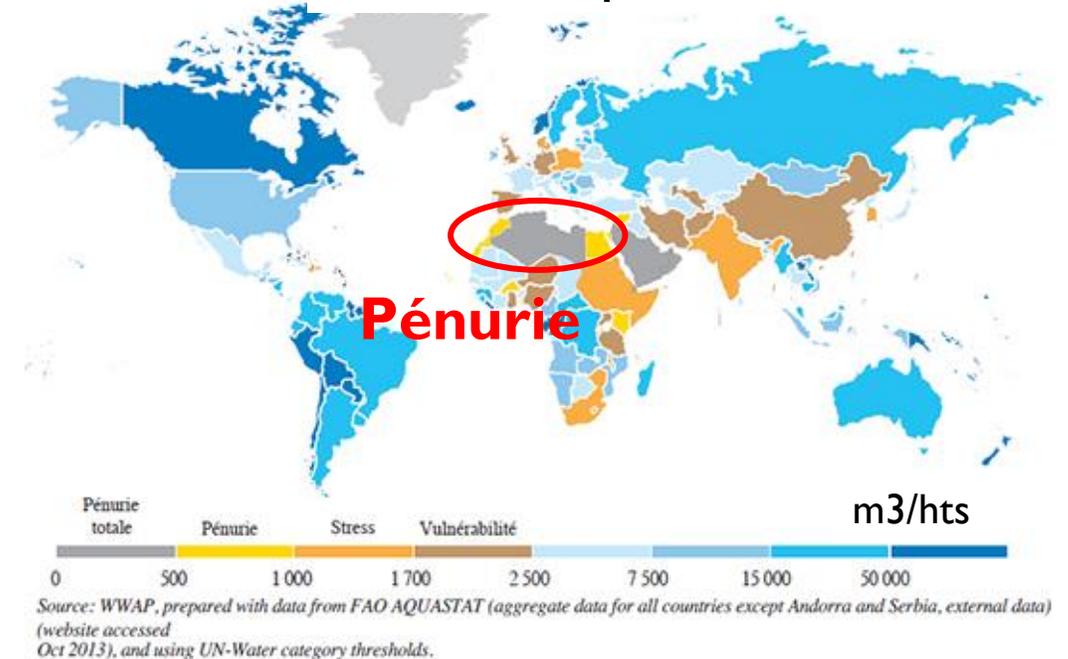
Ezzahar Jamal et al.
ENSAS/UCAM

Projet CHAAMS, 04 Juillet 2022

- 1 **Premier volet : Estimation SSM sur un Sol Nu à partir du signal radar**
 - ✓ Comparaison entre les modèles de la rétrodiffusion (**Oh, Dubois et IEM**) les **ML (SVR)**
- 2 **Deuxième volet : Estimation SSM sur un couvert végétal (Blé) à partir du signal radar**
 - ✓ Synergie entre les modèles de la rétrodiffusion: **Modèles pour le sol (Oh) et la végétation WCM**

- Ressources en eau **limitées** (<580 m³ par hab par an)
...
- ... et **irrégulièrement distribuées** dans le temps / espace
- Demande en eau **croissante** (démographie, expansion urbaine, intensification de l'agriculture)

Ressource par habitant



(Fatima Driouech, These)

Hot-Spot du changement climatique (GIEC)

- Diminution des **précipitations** estivales de 10 à 30 %
- Augmentation de la **température**
- Intensification de la **sécheresse** et de la **désertification**



Augmentation des conflits (**Irrigation**, eau potable / tourisme, ...)

Irrigation

- 80% de l'eau mobilisée
- Surface agricole irriguée en forte augmentation
- Des pratiques consommatrices → principal levier d'économie

Meilleure gestion de l'eau agricole → outil d'aide au pilotage de l'irrigation

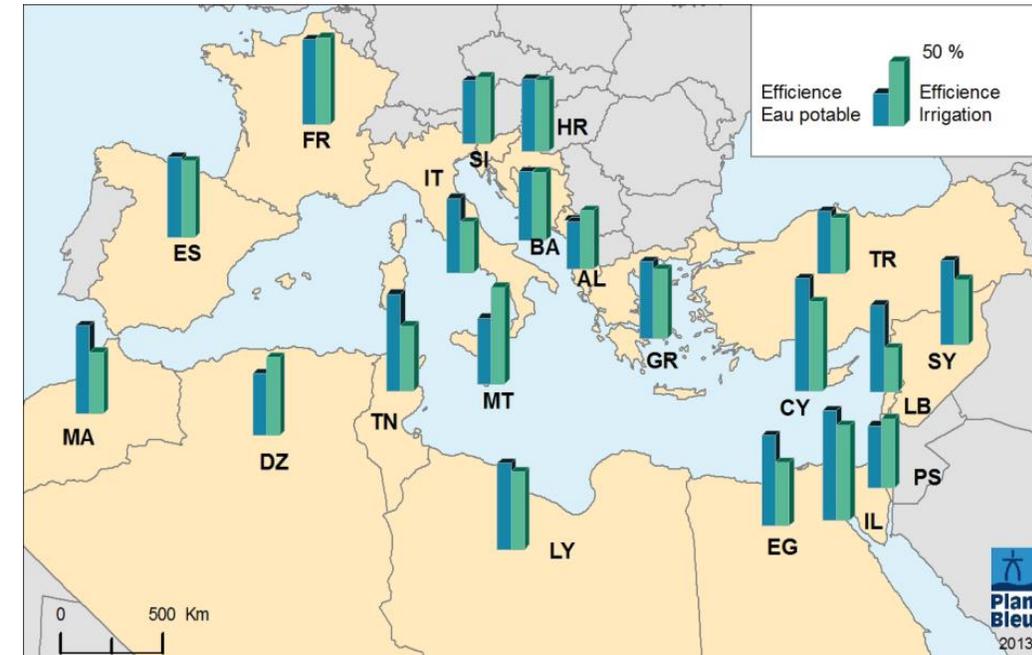


↓
Suivi de l'état hydrique des couverts / échelle de la parcelle

↙
Stress hydrique

↘
Les apports en eau

Efficiences de l'utilisation de l'eau, 2005-2010



Contexte d'étude : Enjeux scientifiques / Suivi de l'état hydrique

Observations *in situ* / enquête

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



Observations satellite



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



Altération des cellules

- Détection tardive
- Couverture nuageuse

Visible/Proche infrarouge

Infrarouge thermique

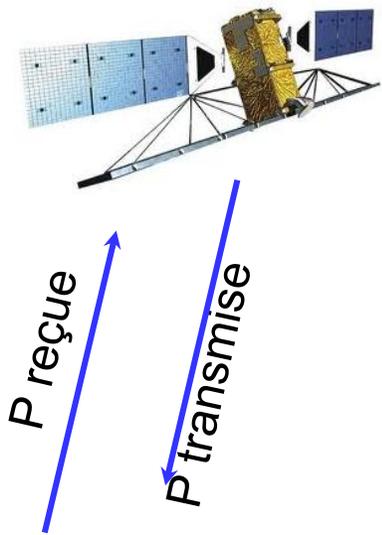
Micro-ondes

- Pas d'observation
- Couverture nuageuse

Réchauffement des tissus

Sentinel-1
Variation du contenu en eau

Contexte d'étude : Enjeux scientifiques / Télédétection radar



Capteur actif /
émission-
réception d'une
onde EM
hyperfréquences
(ou micro-onde) /
longueur d'onde
centimétrique



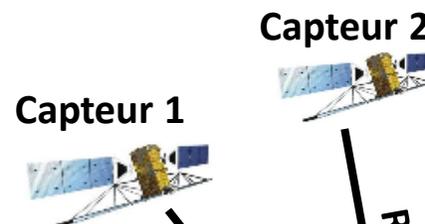
+ Mesures jour et nuit ...
+ ... indépendantes des conditions
atmosphériques

Mesure un « coefficient de rétrodiffusion » σ^0
(intensité rétrodiffusée par la cible) fonction de :

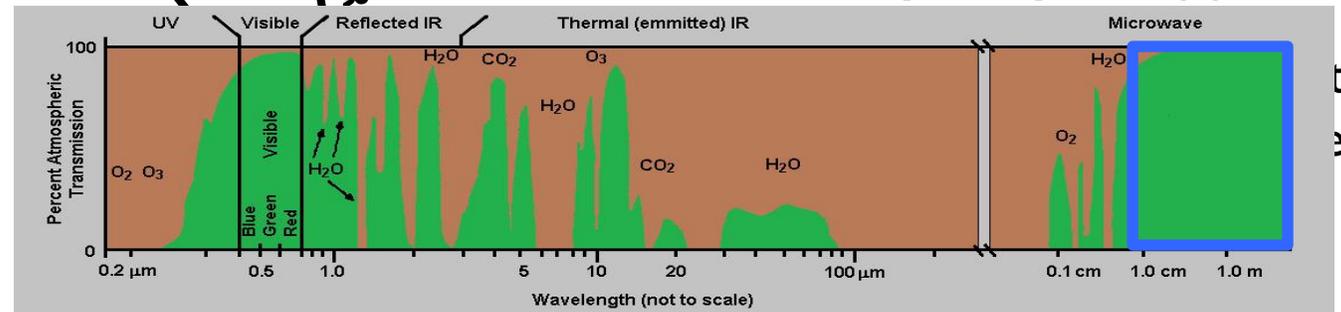
- Propriété du capteur (longueur d'onde, géométrie d'acquisition, polarisation)
- Propriétés de la cible
 - diélectriques (contenu en eau)
 - géométriques (biomasse aérienne, orientation, rugosité du sol ...)

Et la « cohérence interférométrique » ρ

- Variance de la **phase** interférométrique
- Caractérise la **stabilité** des diffuseurs

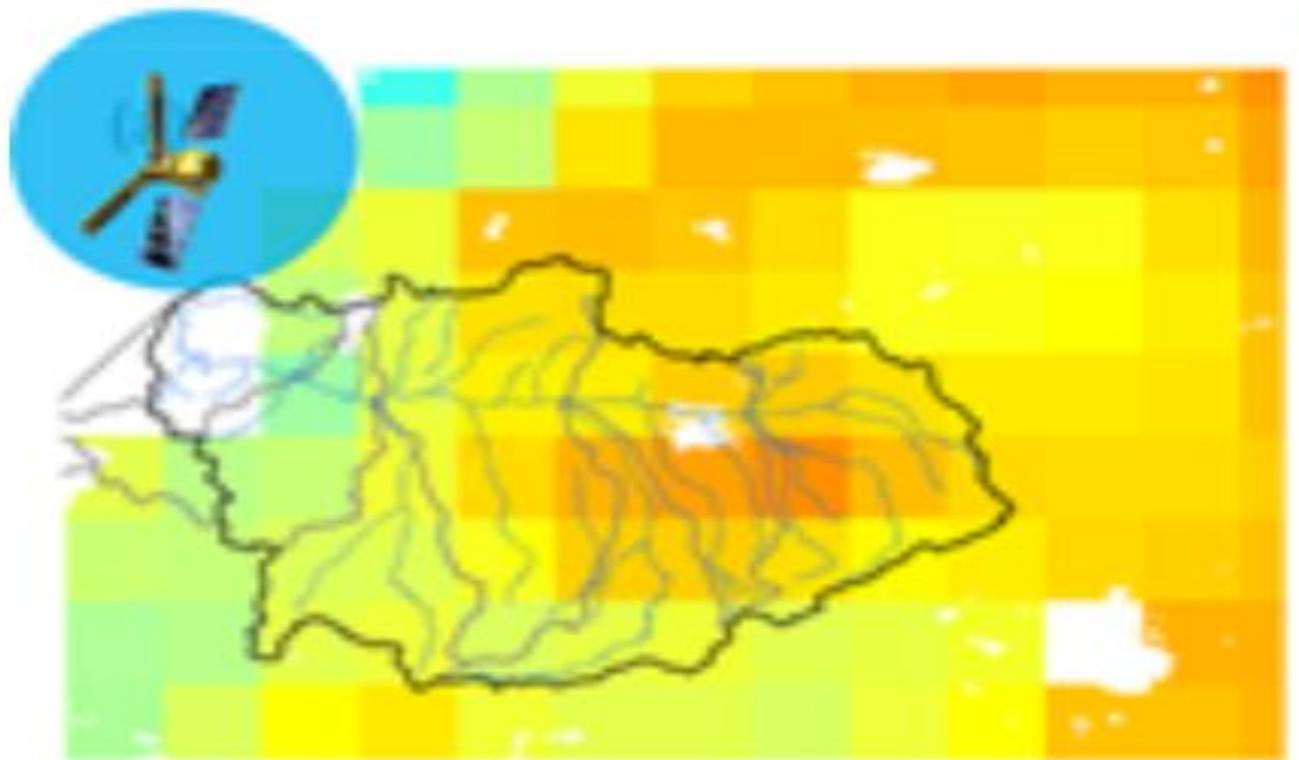


Pourcentage de transmission atmosphérique = $f(\lambda)$



Produits d'humidité existants /
 capteurs passifs (SMOS, SMAP,
 AMSR)

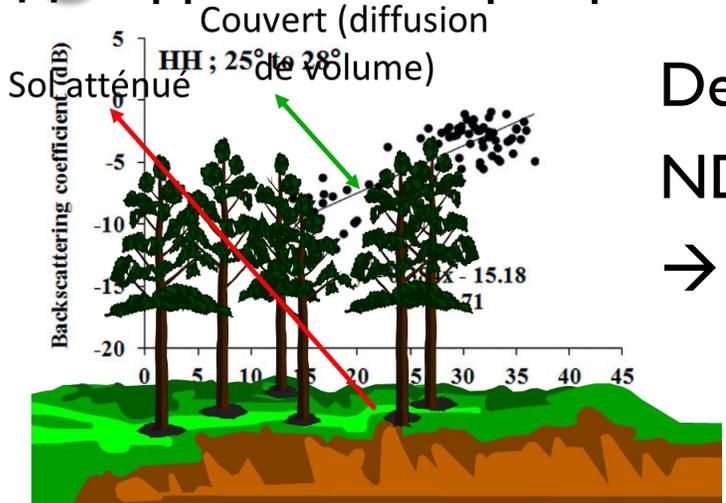
- + produits globaux tous les 3 jours
- résolution spatiale (>25 km)
 incompatible avec l'échelle
 parcellaire



Produits Sentinel-1 (radar)

- + observations globales tous les 6 jours
- + résolution spatiale (10 m)
 compatible avec l'échelle
 parcellaire

Approches complémentaires



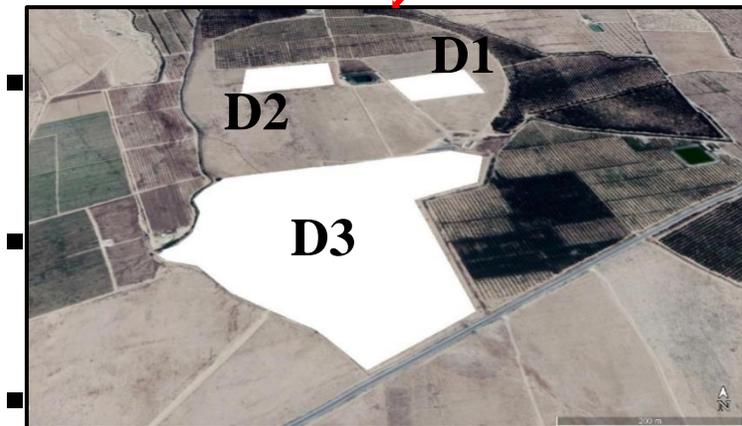
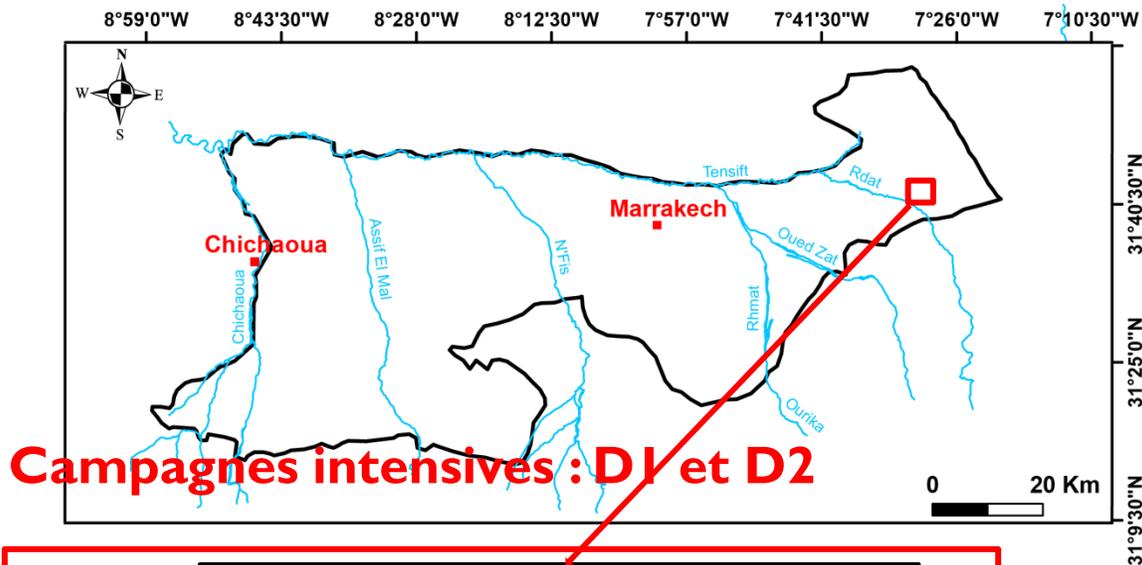
Densité du couvert /
 Spécifique au site
 NDVI optique
 → Généralisation ?
 → couverture nuageuse ?

Objectif scientifique

Développer des méthodes novatrices pour l'estimation de l'humidité du sol sous un couvert de blé dans la région Sud-Méditerranéenne à partir des observations radar Sentinel-1 seulement (sans utilisation des données optiques)

Site d'étude : Site d'étude principal / Maroc

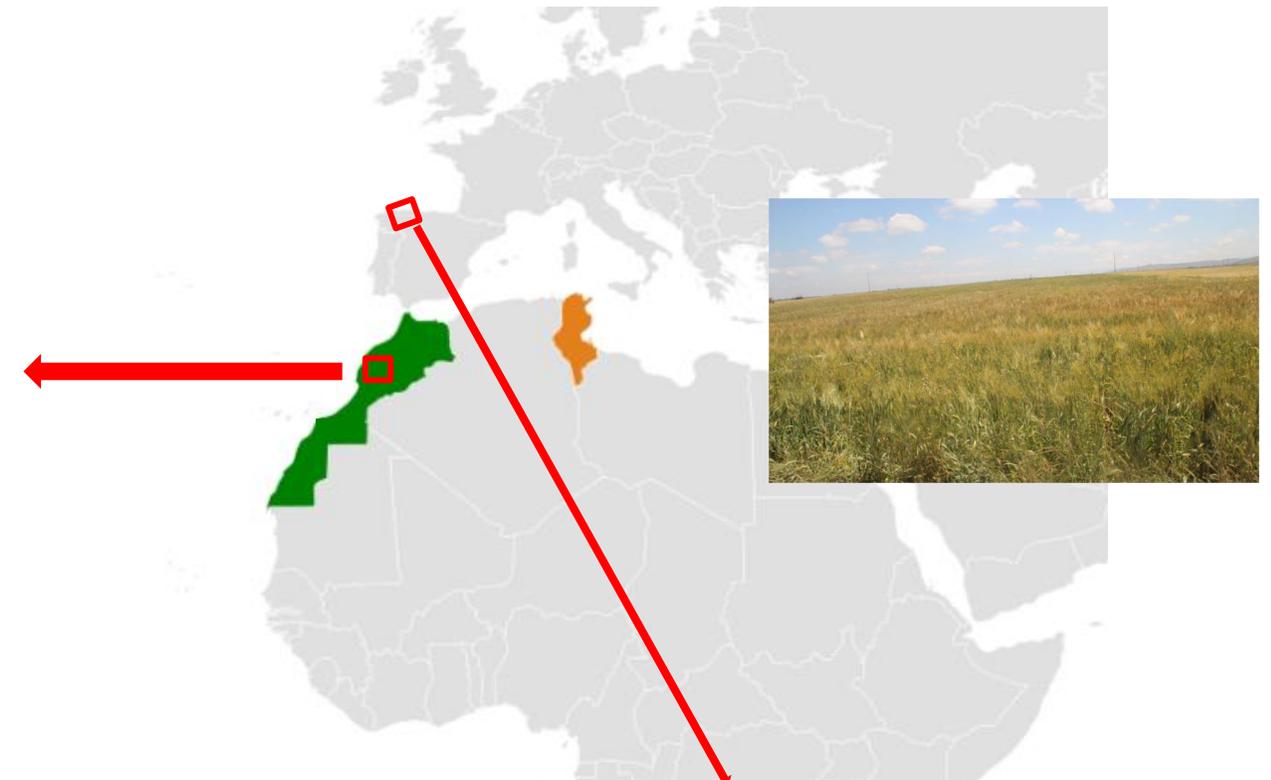
Plaine de Haouz



D1-D3 (Drip)

3 parcelles

3 saisons agricoles : 2016-2019



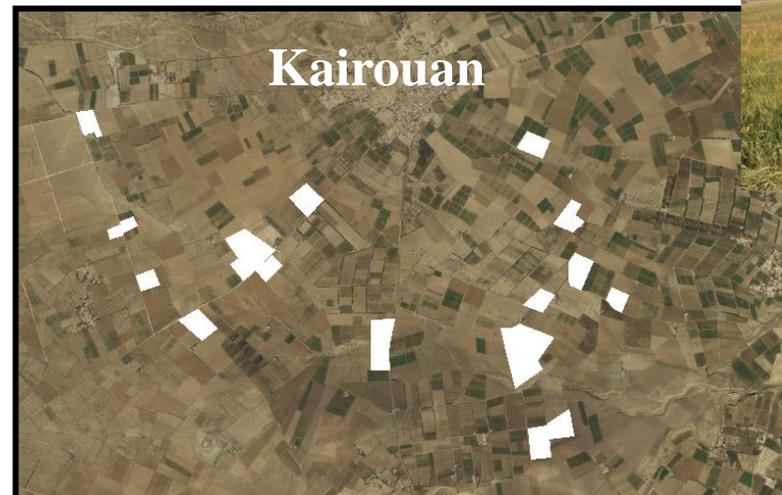
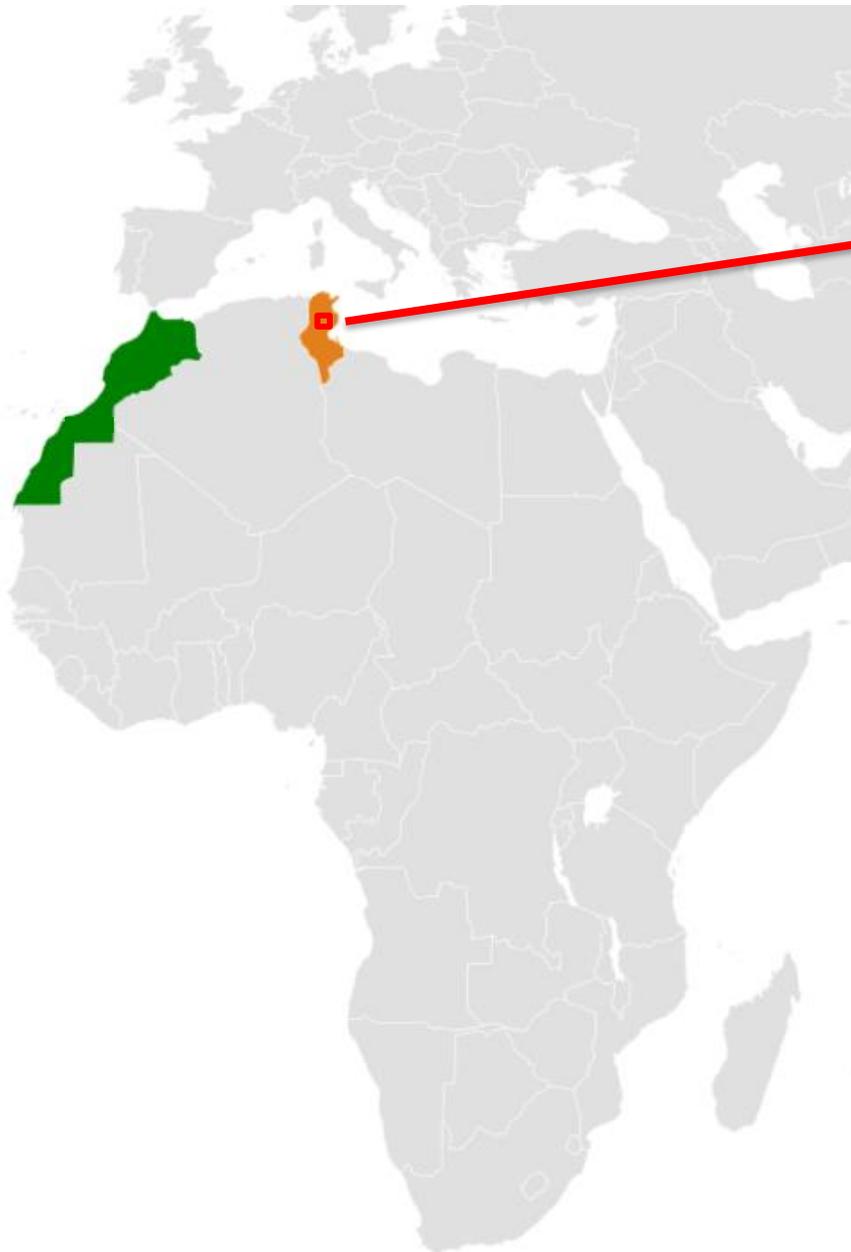
R1 (Rainfed)

4 saisons agricoles : 2014-2018

La plaine de Kairouan

(Thèse Safa Bousbih)

- Climat **semi-aride** (Pluie ~300 mm / ET0 ~1600 mm)
- **Température** / ~30 °C en été et ~12°C en hiver
- La saison agricole / Nov - Mai-Juin



Saison agricole : 2016-2017

- 18 parcelles (blé)
 - 12 parcelles irriguées
 - 6 parcelles pluviales

Campagnes de mesure (~15 jours) et mesures automatiques



Sondes TDR



Thetaprobe



Rugosimètre

Sol

- Humidité du sol
- La rugosité de surface

DI, D2, D3, R1



Gravitaire



Goutte à goutte

Irrigations

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

Toutes parcelles

Végétation (blé)

- Biomasse
- Contenu en eau
- Surface foliaire / LAI
- Hauteur du blé
- Fraction de couvert



Biomasse



Photo hémisphérique

DI, D2, D3, R1



Station météorologique

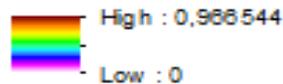
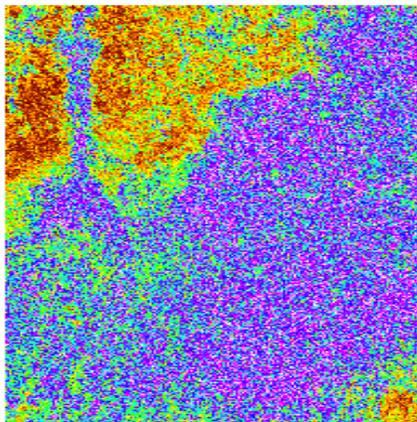
Données météorologiques

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

Toutes parcelles

Produits Sentinel-1

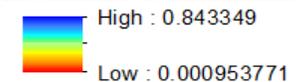
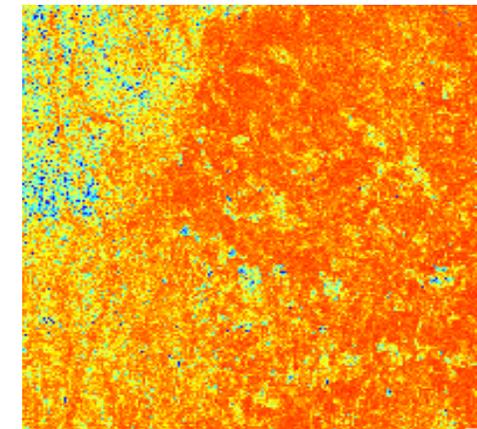
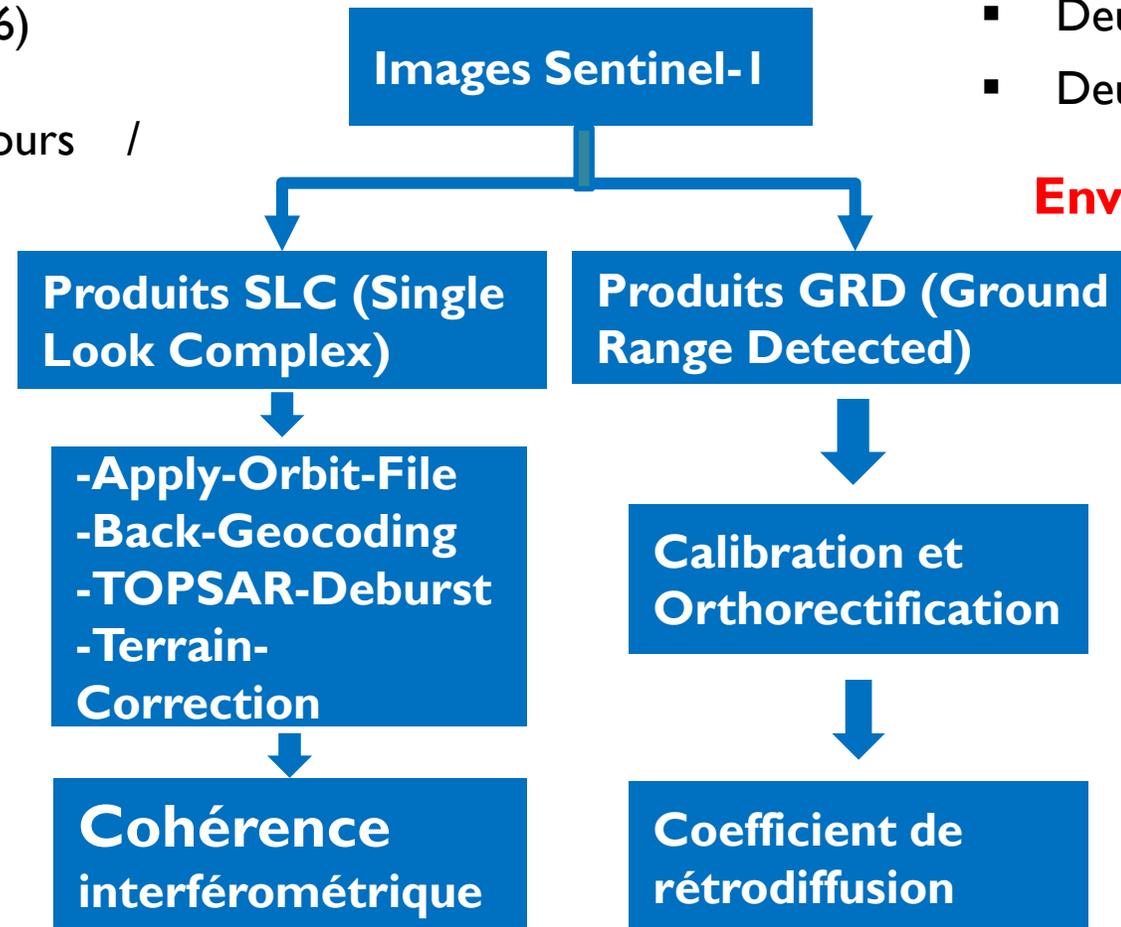
- Deux satellites A et B (2014-2016)
- Bande C (5.33 GHz)
- Résolutions temporelle 6 jours / spatiale 10 m



Site d'étude principal

- Deux orbites : 35.2°, 45.6°
- Deux polarisations : VV et VH

Environ 740 images traitées



Pierre-Louis Frison (Univ. Gustave Eiffel - LaSTIG)

Produits Sentinel-2

- Deux satellites A et B (2015-2017)
- Résolutions temporelle 5 jours / spatiale 10 m

Produits corrigés des effets atmosphériques L2A



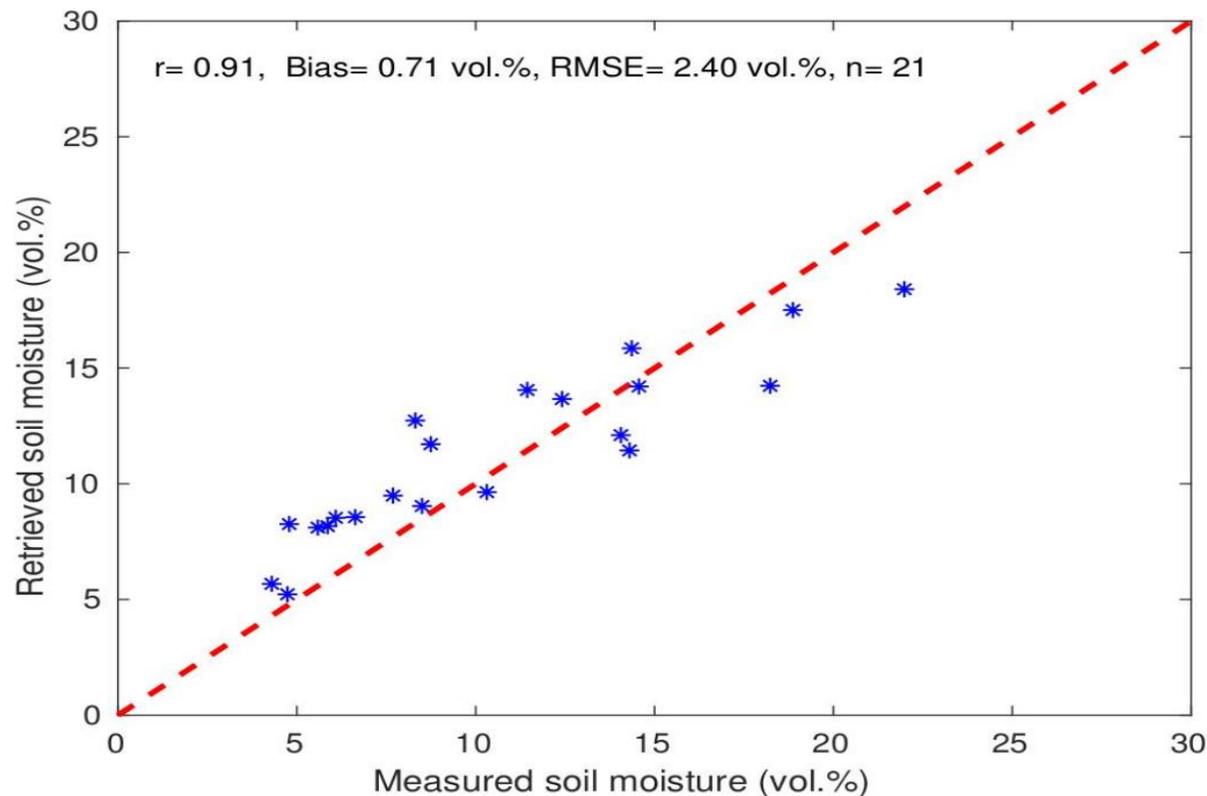
$$\rightarrow NDVI = \frac{\text{Bande8} - \text{Bande4}}{\text{Bande8} + \text{Bande4}}$$

Résultats & discussion: Inversion de SSM (Sol Nu)

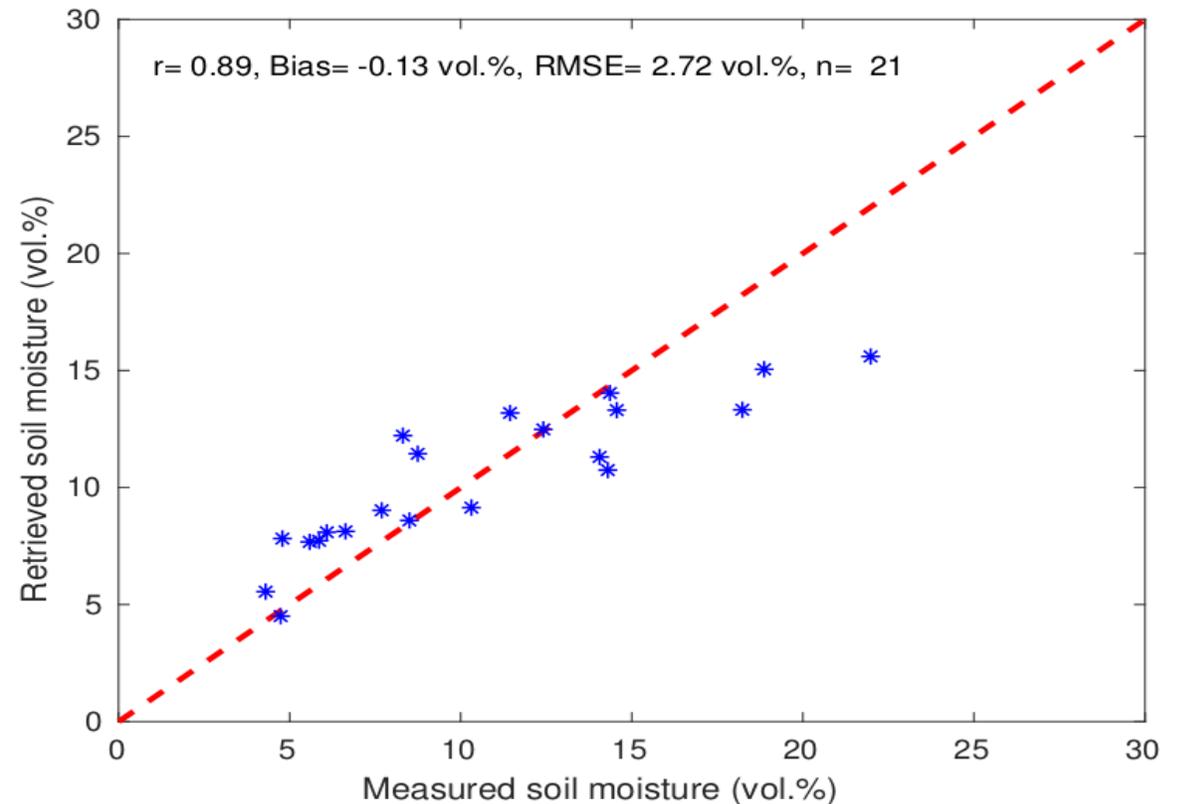
Machines Learning (ML) vs Modèles de rétrodiffusion



Sentinel-1 :
RS (10 m) & RT (5-6 jours)



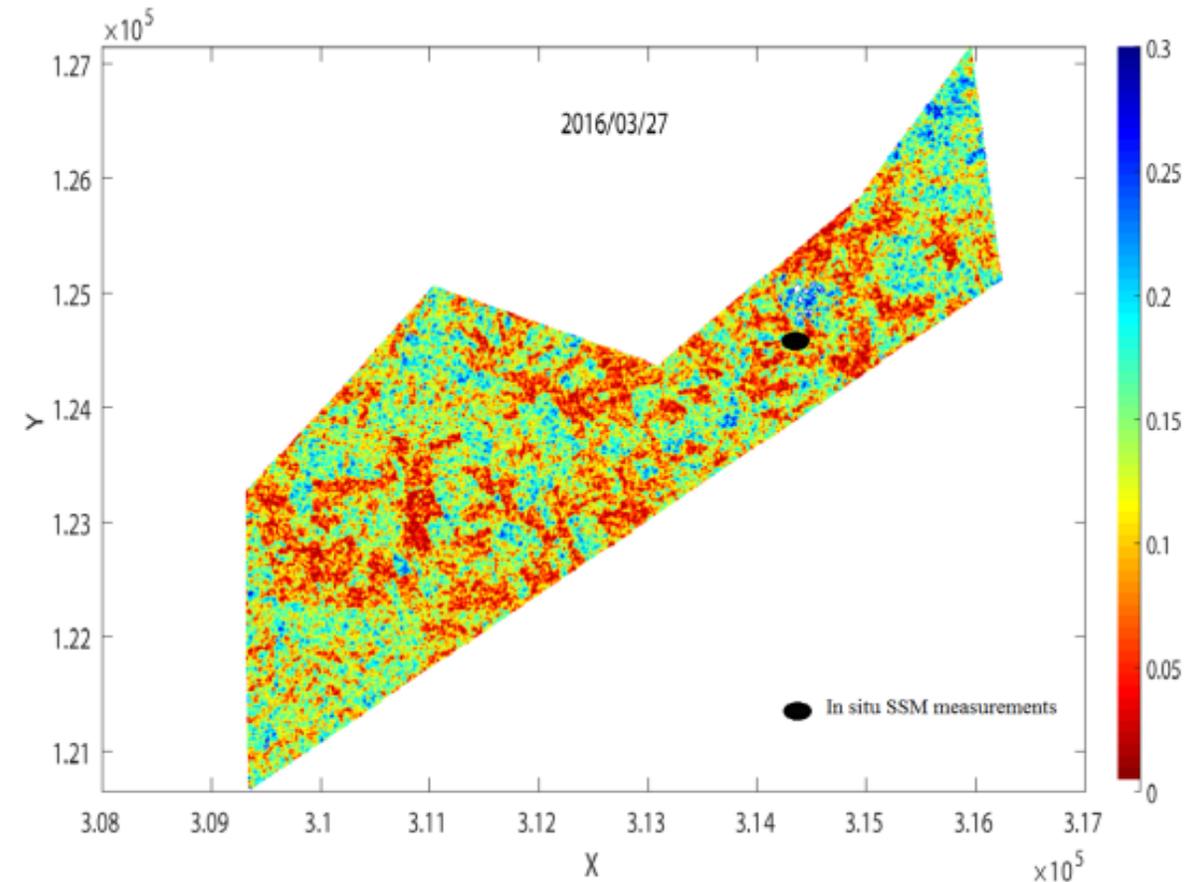
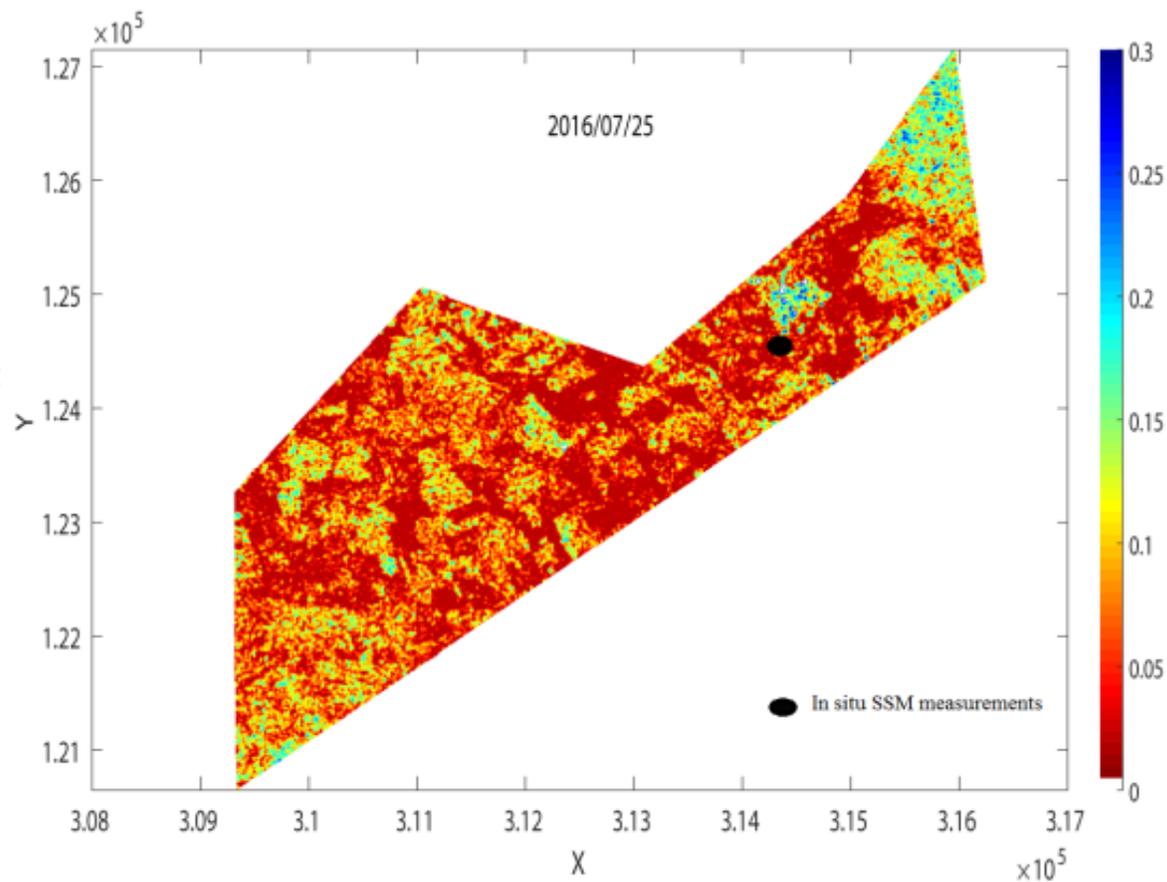
IEM (Coefficient de la rétrodiffusion et la rugosité)



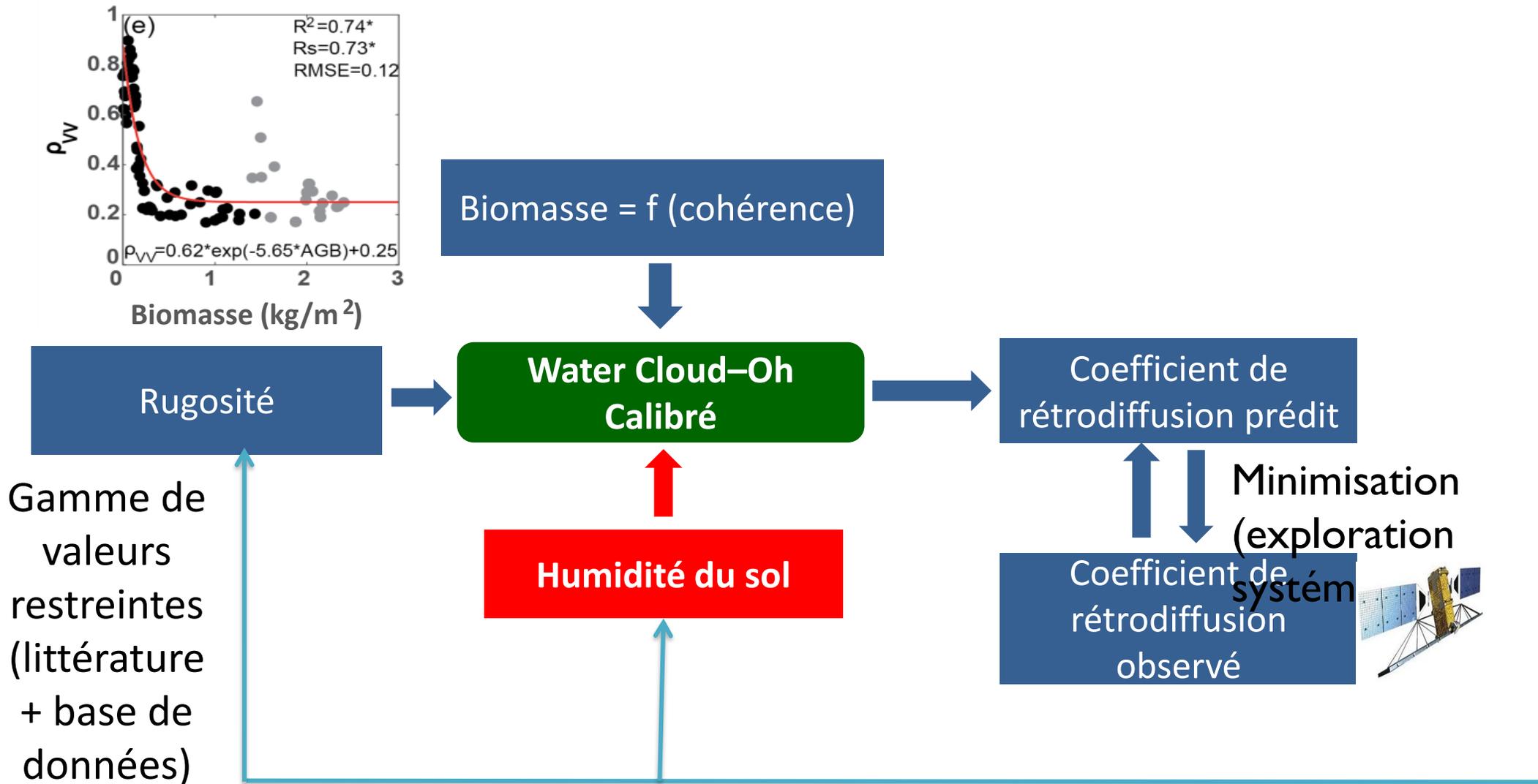
ML (Coefficient de la rétrodiffusion)

Résultats & discussion: Cartographie de SSM (Sol Nu)

Spatialisation de SM en utilisant Sentinel-1 & ML



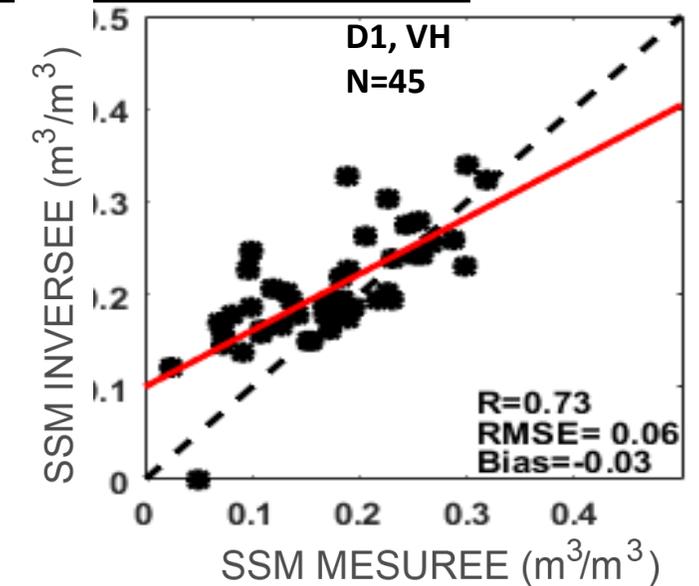
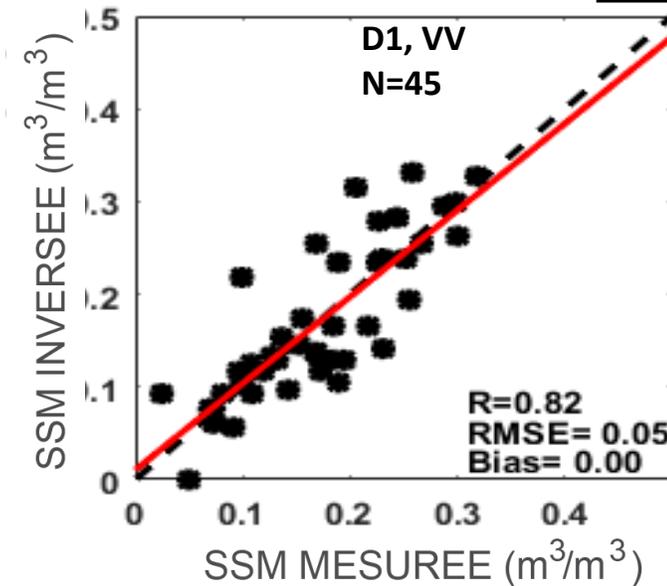
Peut-on s'affranchir de l'utilisation de donnée optique ?



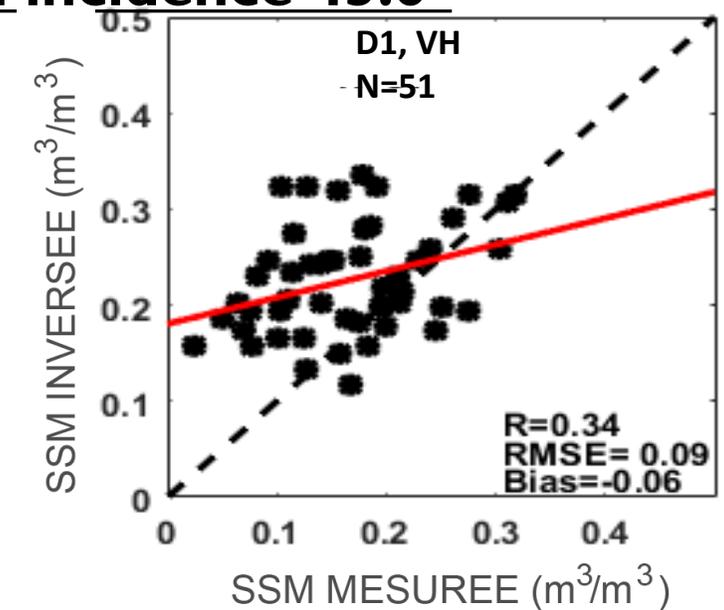
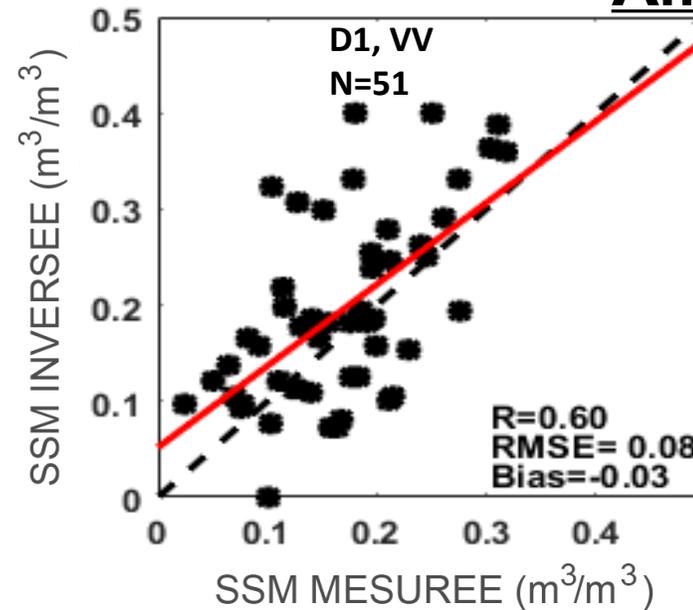
Site d'étude principal

- Meilleurs résultats en VV qu'en VH / effet important de la végétation en VH
- Meilleurs résultats à 35.2° qu'à 45.6°
- Biais quasi-nul et RMSE en accord avec la littérature

Angle d'incidence 35.2°



Angle d'incidence 45.6°



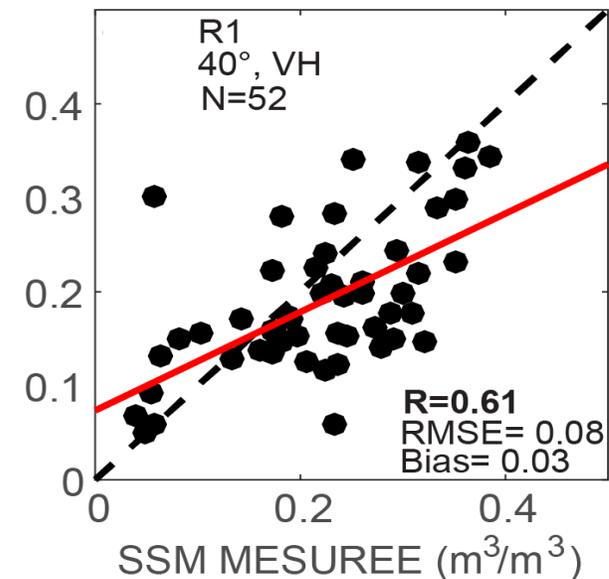
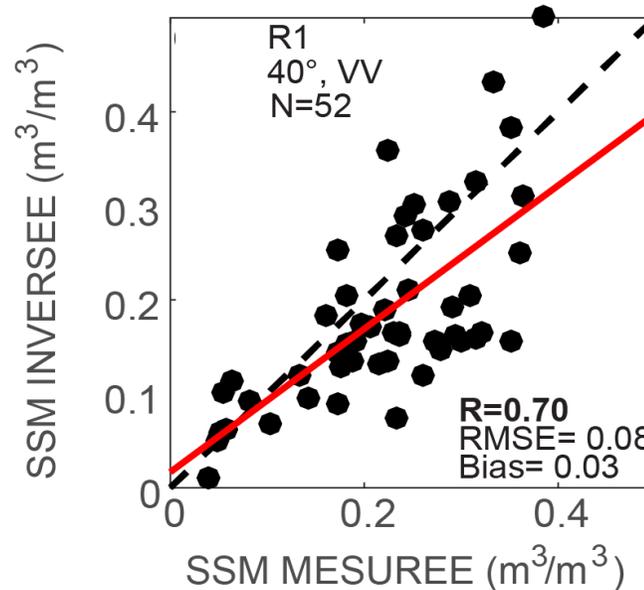
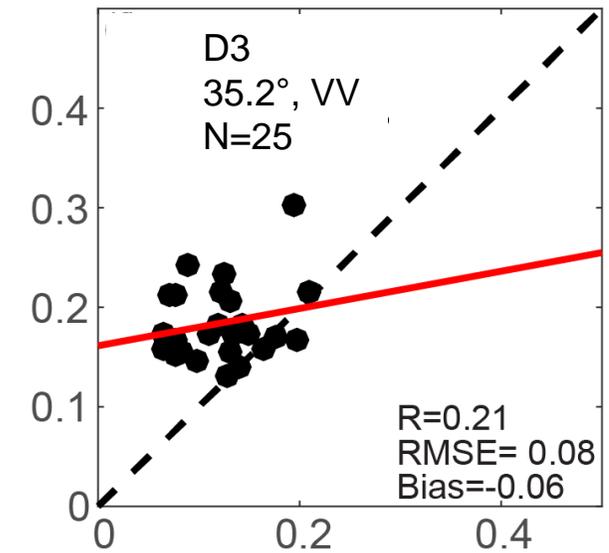
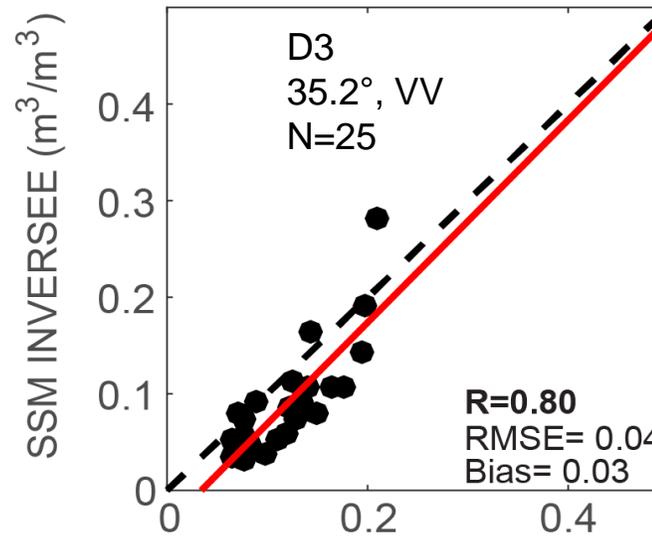
Sites de validation / Maroc

D3 / blé irriguée

R1 / blé pluvial

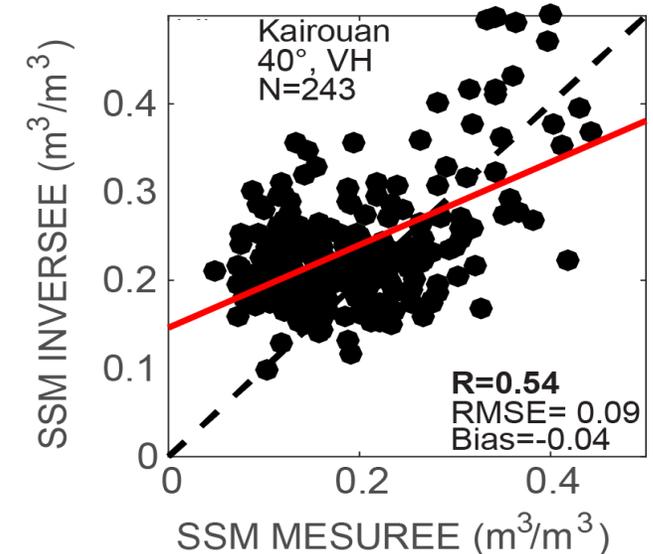
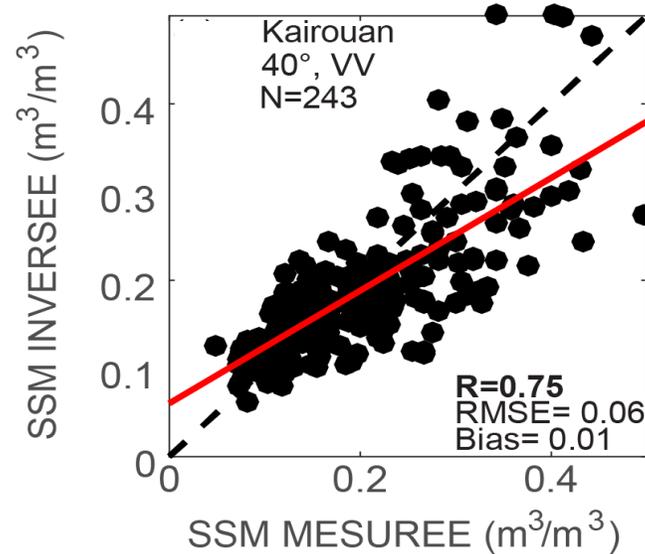
- Résultats satisfaisants / statistiques de même ordre de grandeur que celles obtenues sur le site d'étude

- Meilleurs résultats sur D3 que sur R1 / angle d'incidence plus élevé au R1

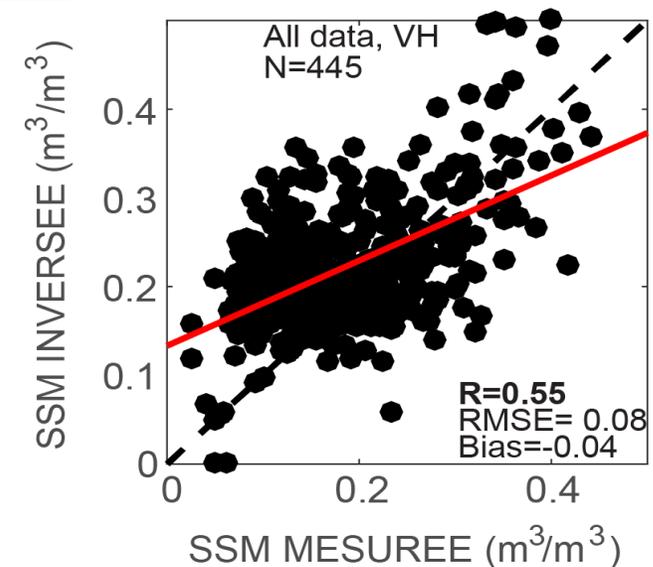
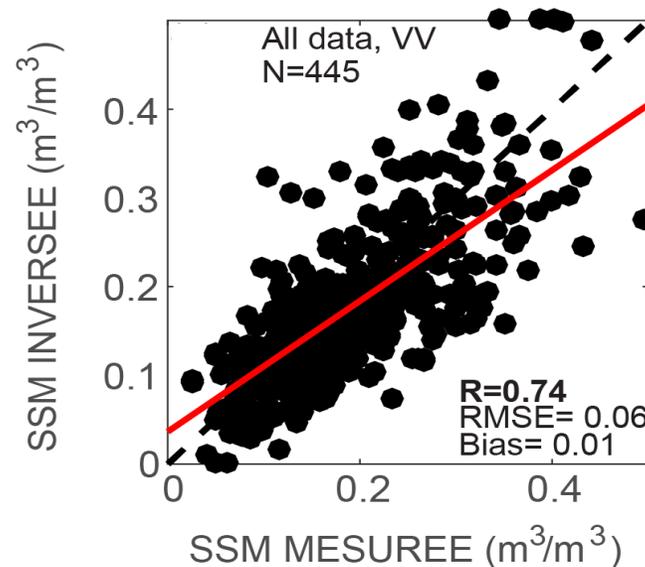


Résultats & discussion: Inversion de SSM (couvert du blé)

Sites de validation / Tunisie



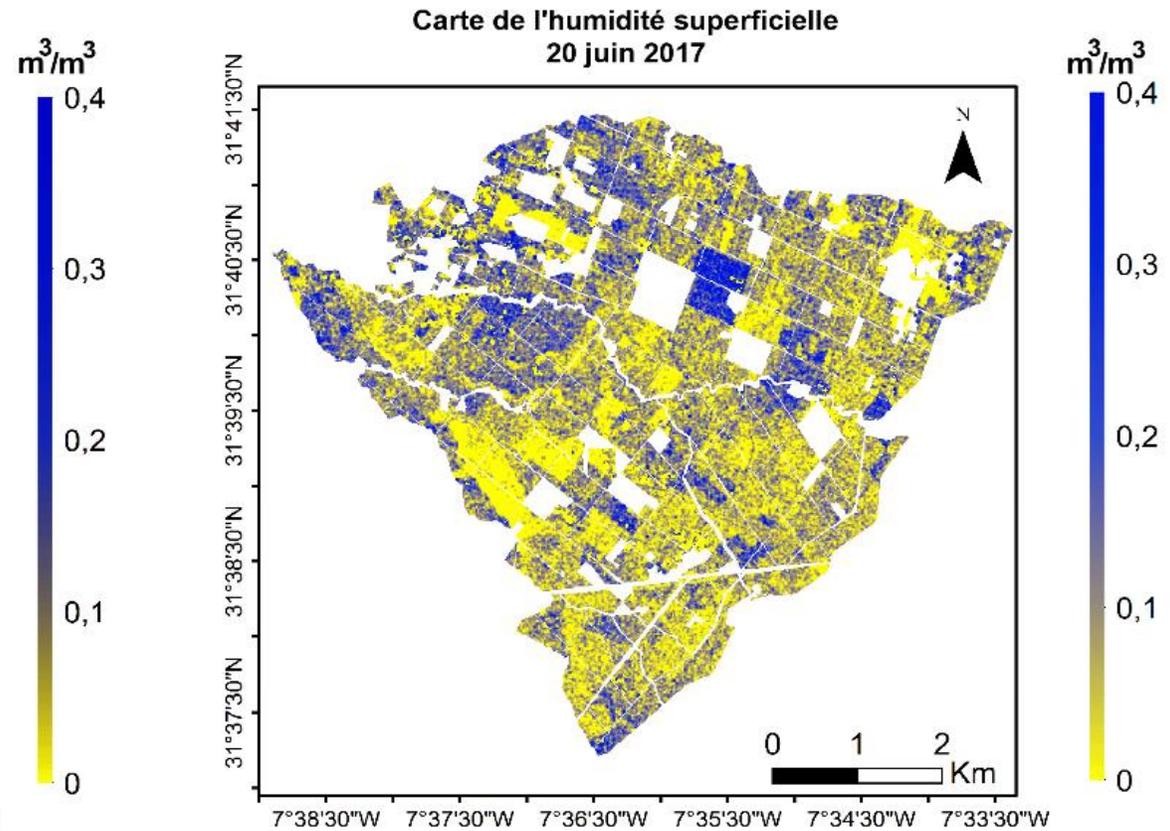
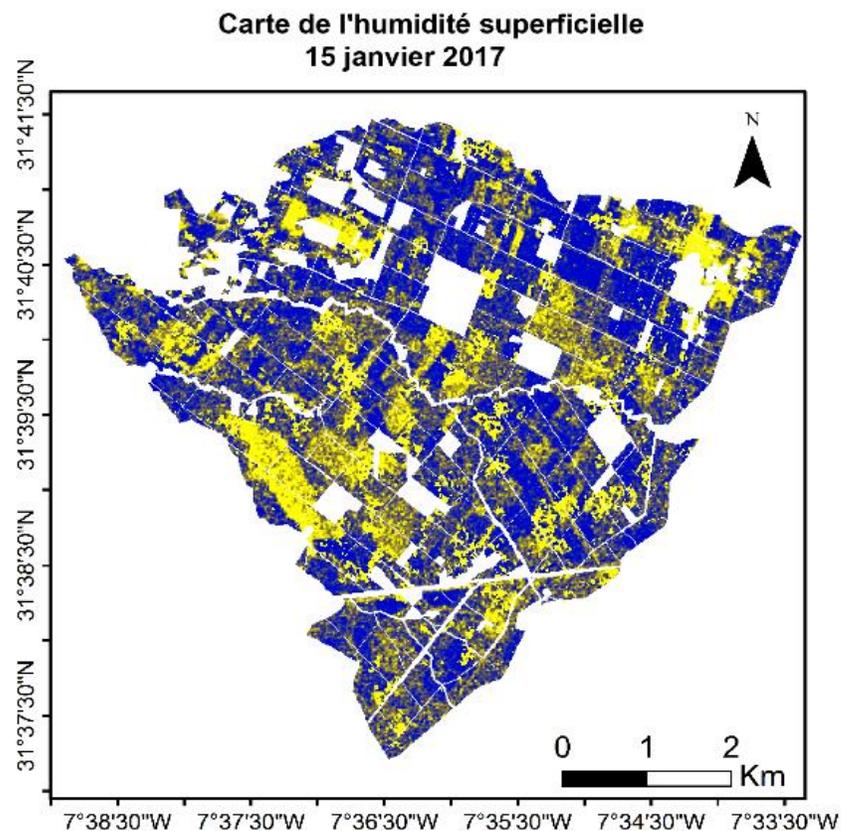
All data



- 18 parcelles irriguées et pluviales / coefficient de corrélation élevé et RMSE et biais faibles
- Perte de performances limitée sur tous les sites de validation → robustesse de l'approche développée

Résultats & discussion: Cartographie de SSM (couvert du blé)

- L'approche est utilisée pour la cartographie de l'humidité sur un périmètre **irrigué** au Maroc dominé par le **blé**
 - **Janvier** / parcelles irriguées
 - **Mi-juin** / parcelles récoltées / peu d'irrigation
- Humidité estimée à l'échelle du **pixel** Sentinel-1
- L'approche permet le suivi de la variation **de l'état hydrique** dans chaque parcelle: clairement observée sur les cartes



Thank you for your attention