



# Projet «Global Change: Assessment and Adaptation to Mediterranean Region Water Scarcity » (CHAAMS)

## BESOINS & EFFICIENCE DE L'EAU DES CULTURES AU CAP BON

*Hedia Chakroun, Fethi Bouksila, Fairouz Slama, Nesrine Zemni, Nesrine Chehata  
Vetiya Dellali, Ali Benhmid, Sara Bouhlel, Amal Belhaj*

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT), Université Tunis El Manar, Tunisie  
Institut National de Recherches en Genie Rural, Eau & Forets, Université Carthage, Tunisie  
Bordeaux INP/ Université Bordeaux Montaigne, France

[hedia.chakroun@enit.utm.tn](mailto:hedia.chakroun@enit.utm.tn)

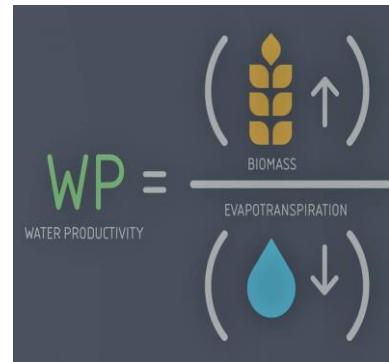
---

Workshop de clôture du projet CHAAMS, CESBIO 4-5 juillet 2022

## 1. Contexte / Constats

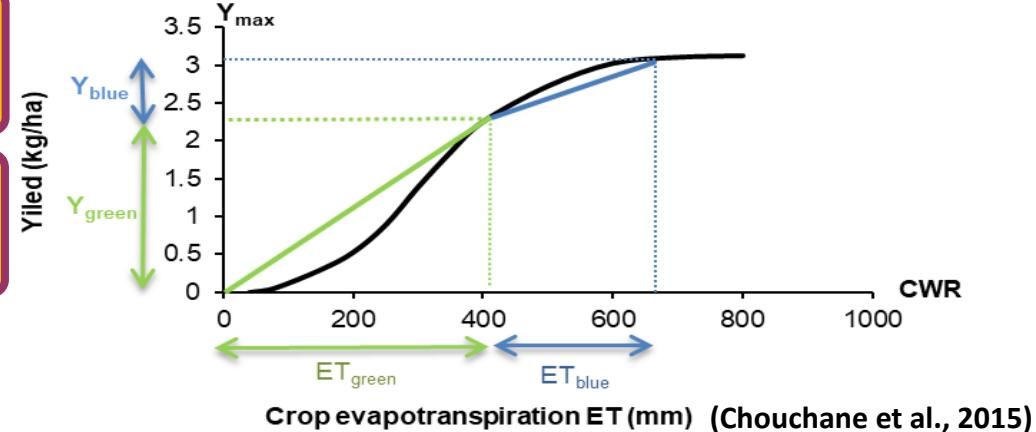


### More crop per drop



**BIOMASSE**  
**EVAPOTRANSPIRATION**

→ **Water footprint (m<sup>3</sup>/Kg)**  
**(Green Water, blue Water)**



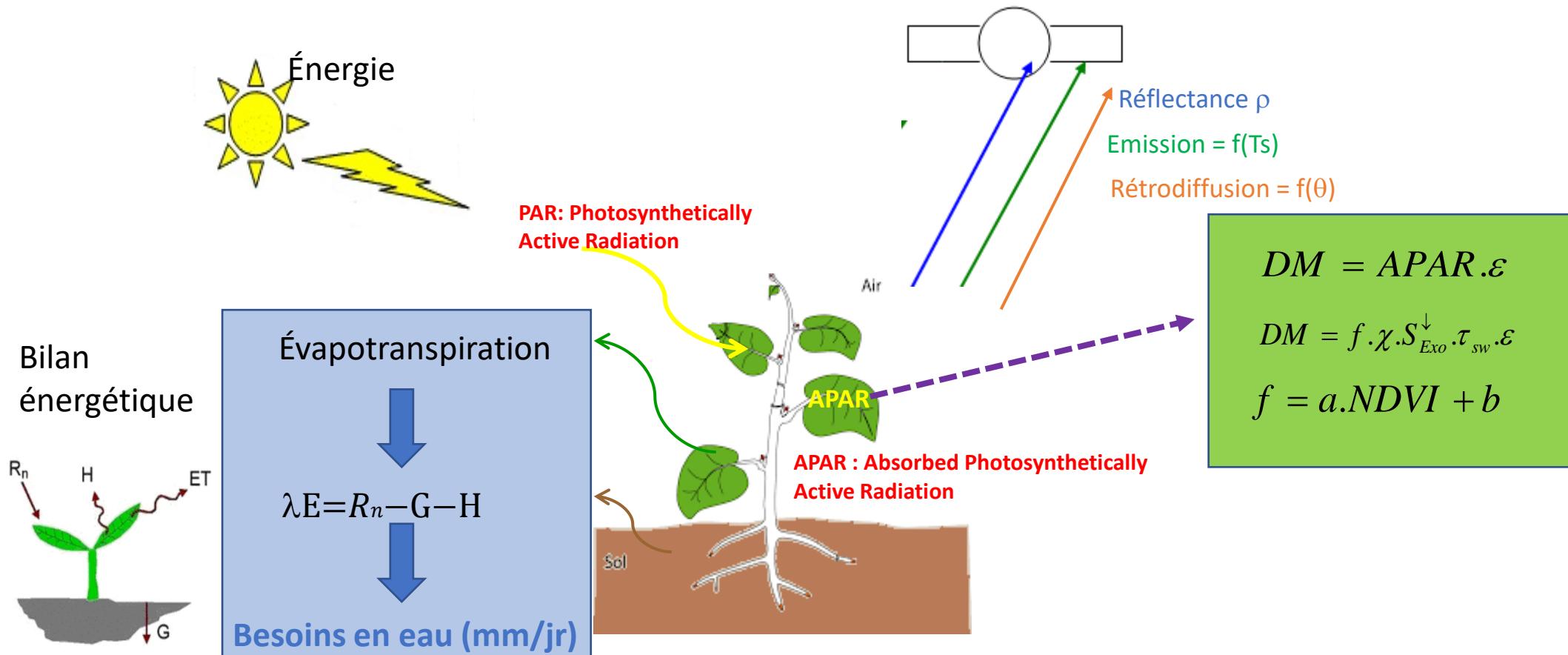
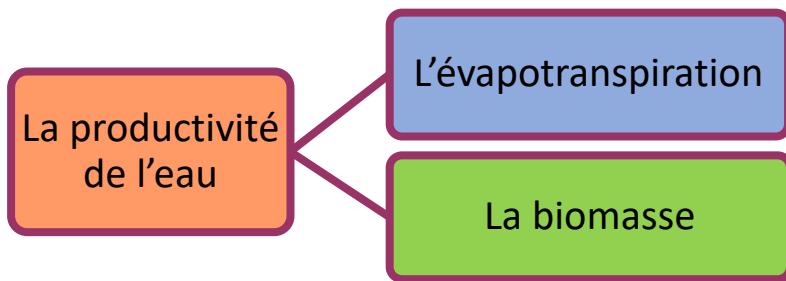
### EFFICIENCE DE L'EAU EN AGRICULTURE

- **Usages** de l'eau agricole
- Irrigation **en excès**, forages illicites , méconnaissance des besoins
- **Pluvial vs Irrigué** (3/4 de la production agricole en Tunisie est en pluvial)
- **Productivité** de l'eau des cultures (Kg/m<sup>3</sup>) par approches globales : **PE(pluvial) > PE(irrigué)**

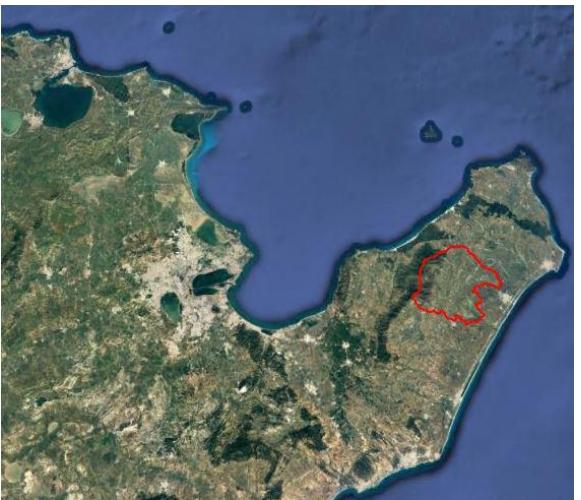
→ Diversifier les approches

→ Spatialiser : Dynamique, Scenarios

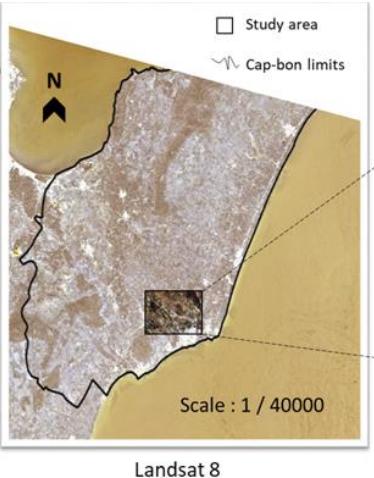
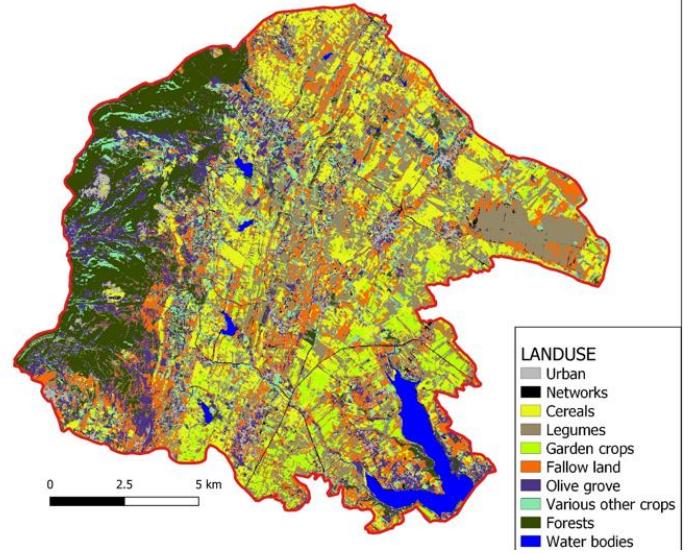
# 1. Contexte / Principe basé sur les variables biophysiques OT



## 2. Site d'étude: Cap Bon



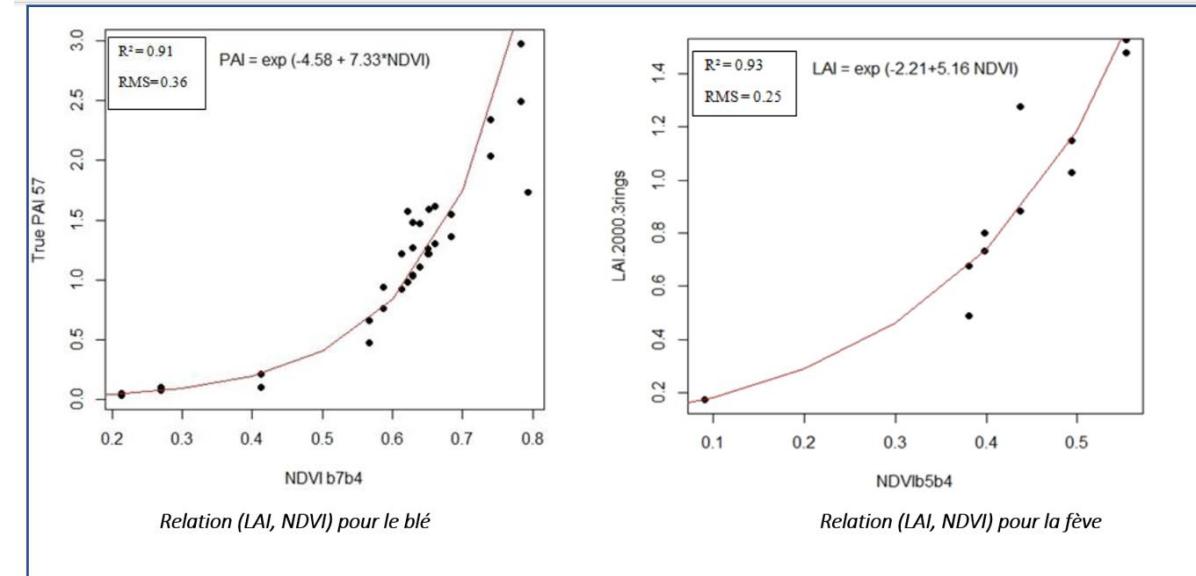
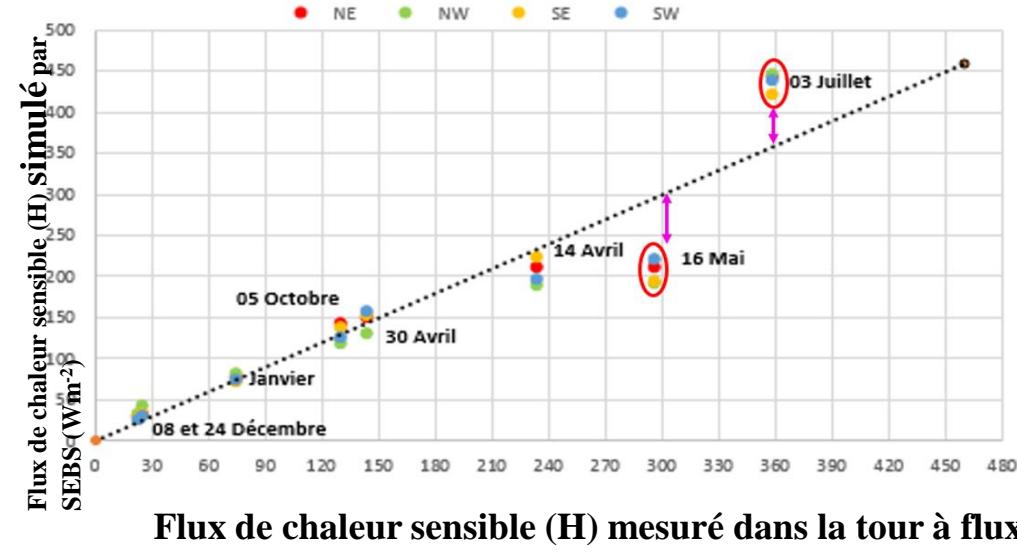
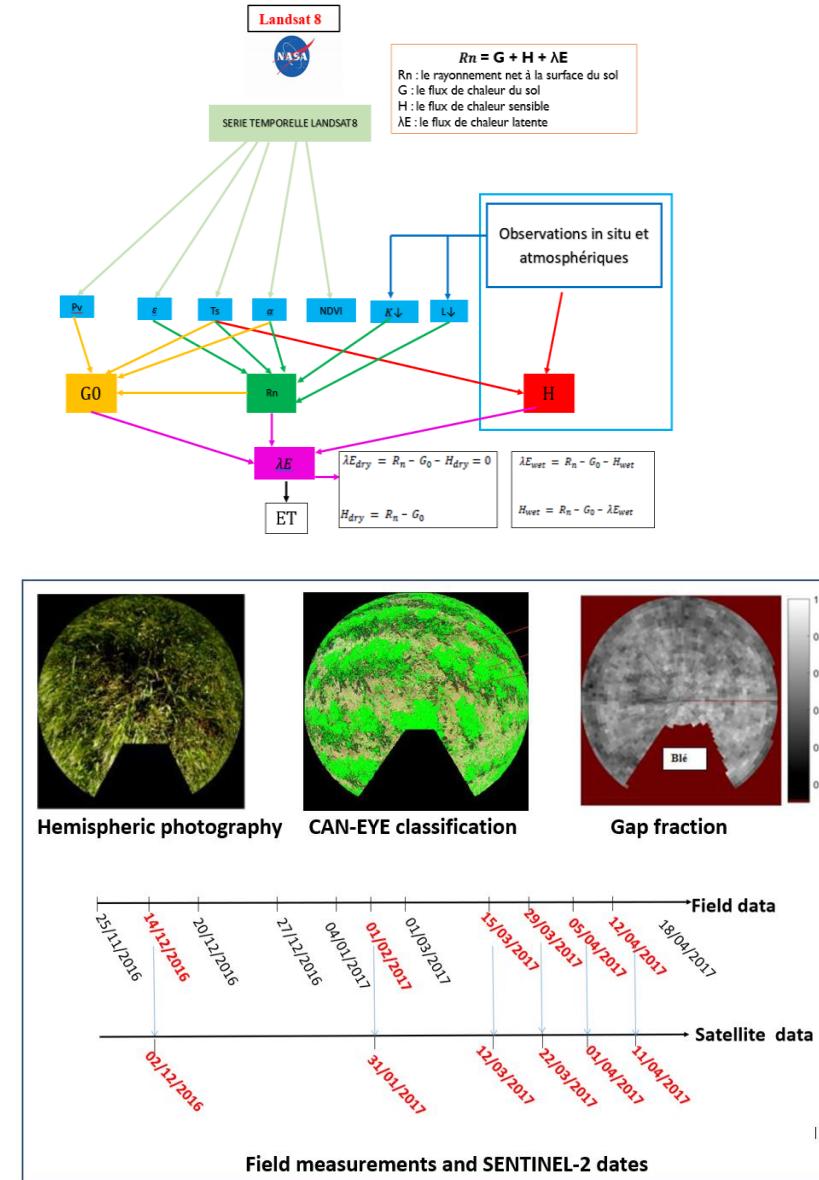
*Cereals (rainfed) & Legumes Crops , S = 210 km<sup>2</sup>  
P= 450 - 800 mm/yr  
Mean ET = 1000-1500 mm/yr*



- Station climatologique (15mn)
- Sondes capacitives 5TE (teneur en eau  $\theta$ ), (Ts) (conductivité ECp) (15 ou 60 mn)
- Suivi des pratiques agricoles (labour, semis, fertilisation, etc.) et de la production pommes de terre et orge)

### 3. Travaux antérieurs

Modélisation de l'ETc par SEBS utilisant la télédétection



Comparaison entre flux de chaleur estimés par SEBS (LANDSAT8) et mesurés dans le Kamech (2015-2016)

## 4. Approches Besoins en eau

### Approche régionale

$$R_n = G_0 + H + \lambda E$$

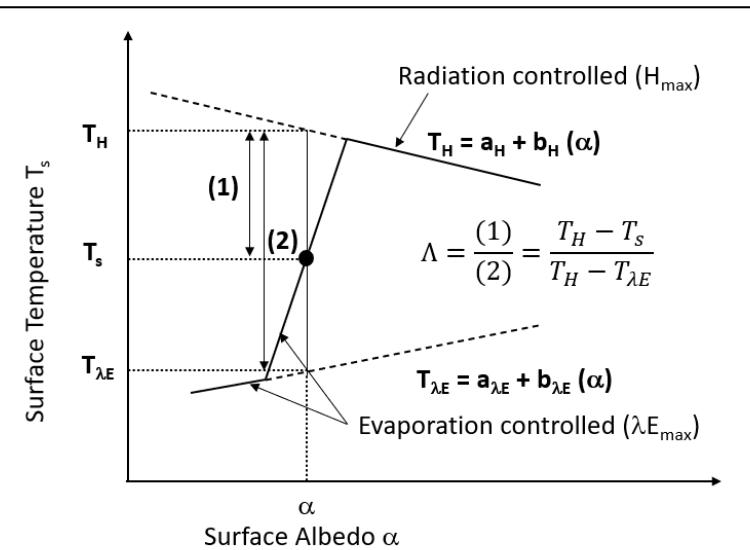
Rn : Rayonnement net ( $\text{W/m}^2$ )

G0 : Flux de chaleur du sol ( $\text{W/m}^2$ )

H : Flux de chaleur sensible ( $\text{W/m}^2$ )

$\lambda E$  : Flux de chaleur latente ( $\text{W/m}^2$ )

S-SEBI based on spatial variability of **surface temperature** and **reflectance** extracted by images remote sensing.



### ET par Bilan d'eau (SWB)

Méthode basée sur les variations du bilan d'eau dans la zone racinaire (Soil Water Balance, SWB)

$$P + I + W - ET - R - D = \pm \Delta S$$

P : précipitation

I : irrigation

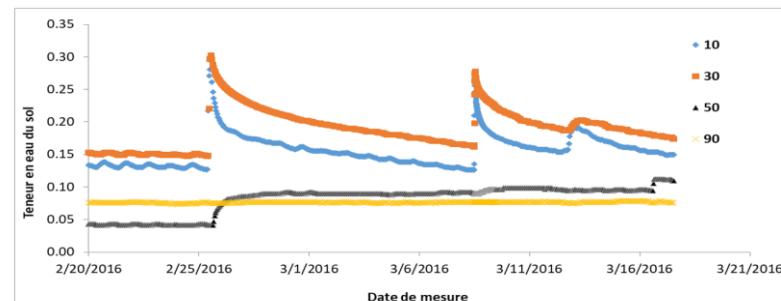
W : remontée capillaire

D : drainage

R : ruissellement

ET : évapotranspiration

DS : stock d'eau dans la zone racinaire



### Approches locales

#### ET par Hydrus

##### Upper Boundary conditions

Atmospheric boundary conditions with surface run off (From 1997 to 2015)  
Daily potential values of evaporation, transpiration and precipitation were added as variable boundary conditions



$$T_a = ET_c \cdot SCF$$

$$E_a = ET_c \cdot (1 - SCF)$$

$$SCF = 1 - \exp(0.46 \cdot LAI)$$

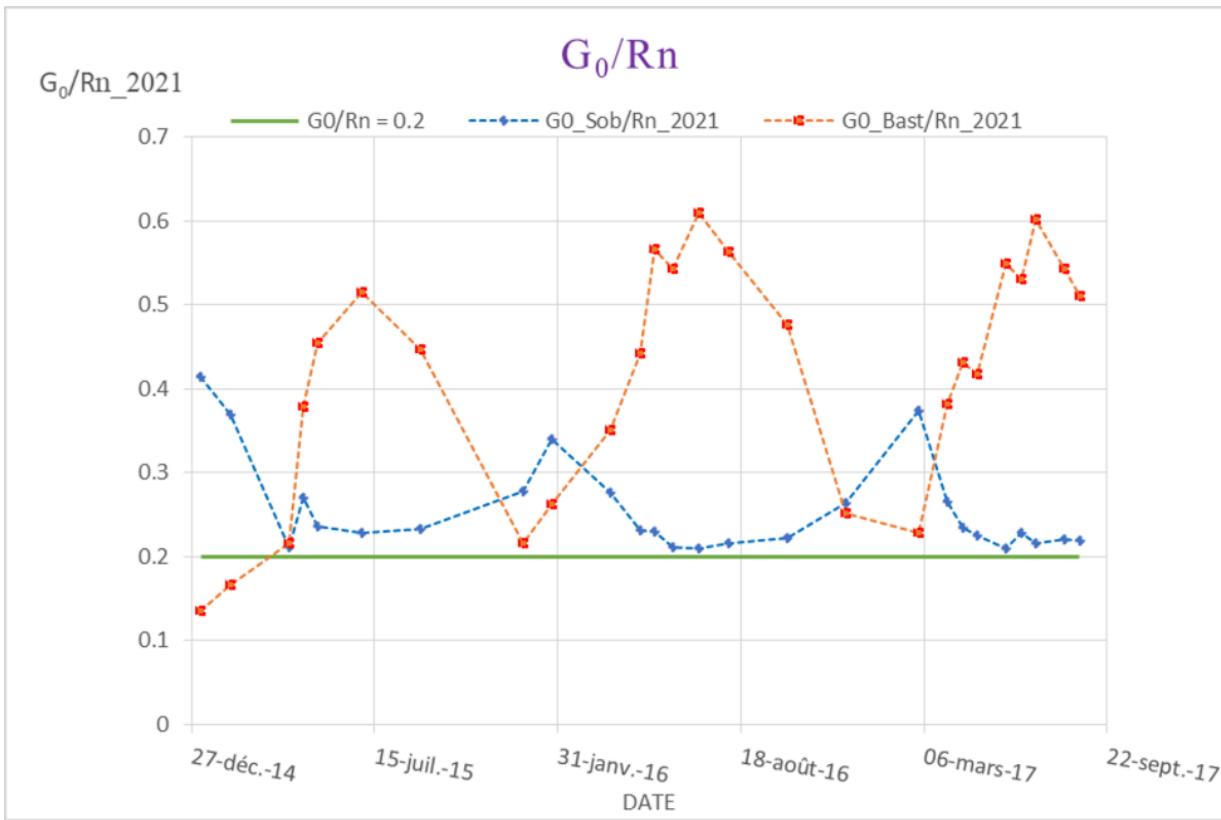
$$\Lambda = \frac{\lambda E}{\lambda E + H} = \frac{\lambda E}{R_n - G_0}$$

$$\Lambda = \frac{a_{\lambda E} + b_{\lambda E} * \alpha}{a_H + a_{\lambda E} + (b_H - b_{\lambda E}) * \alpha}$$

## 4. Approches Besoins en eau / Effet Go

Rainfed Barley (sowing 18/10/2016 → Harvest 20/06/2017)

Irrigated Potato 1 (sowing 11/03/2015 → Harvest 07/07/2015) & Potato 2 (sowing 18/01/2016 → Harvest 17/05/2016)

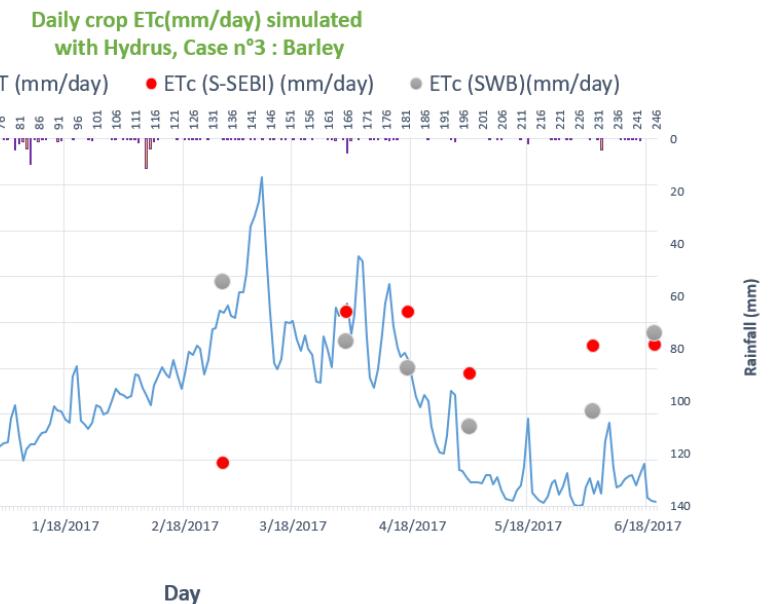
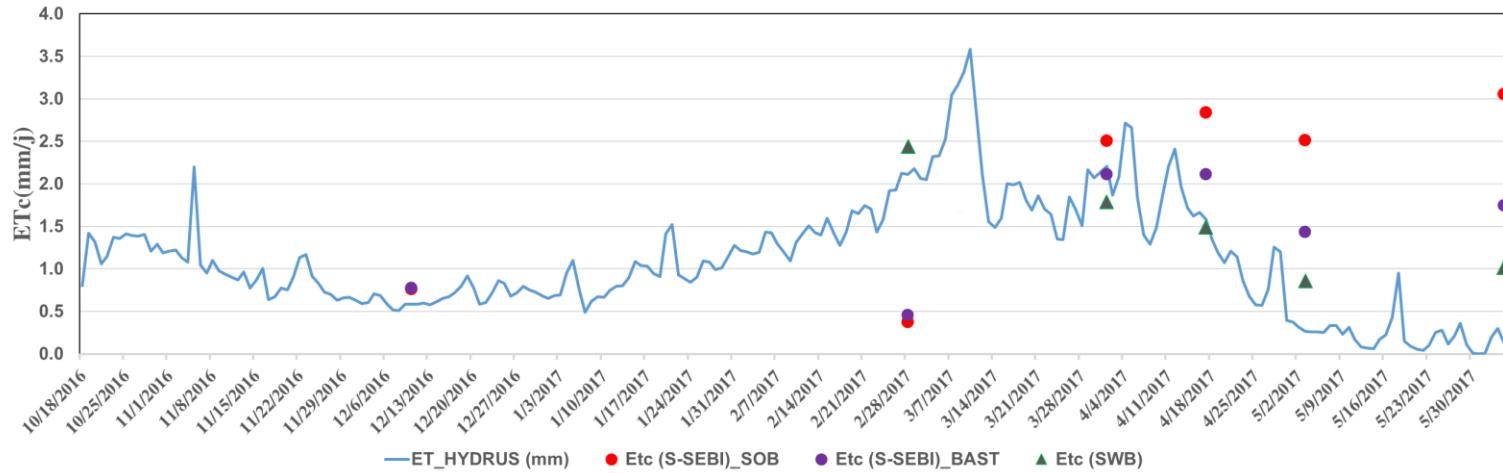


Différences entre Go par Bastianssen et al. (1998)  
[NDVI, Albedo] et Sobrino et al. (2005) [MSAVI]

RMS (W.m <sup>-2</sup> )	$\Delta G$	$\Delta H$	$\Delta \lambda E$
Orge	103	49	55
Pomme terre	90	78	13

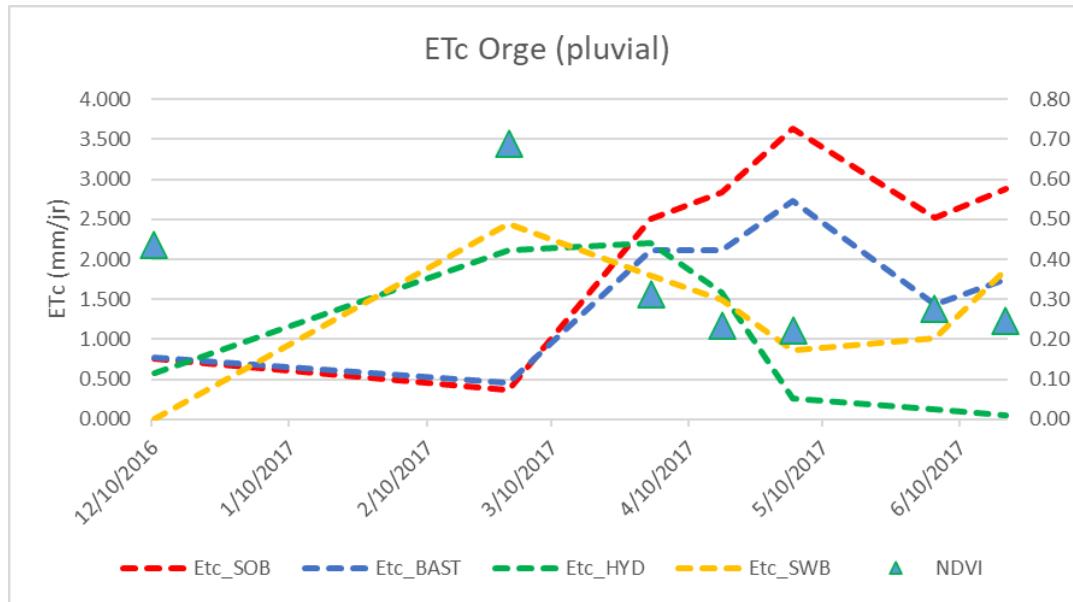
## 4. Approches Besoins en eau / ETc par S-SEBI, HYDRUS, BILAN (SWB)

ETc OF BARELEY IN OUED SOUHIL BY S-SEBI, SWB & HYDRUS

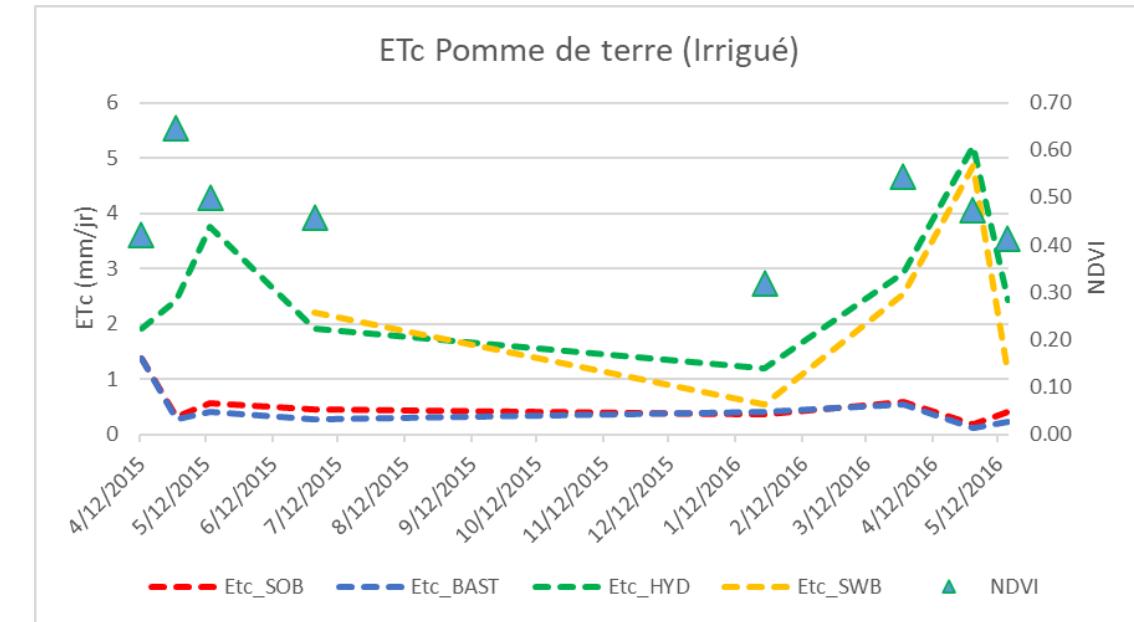


## 4. Approches Besoins en eau / ETc par S-SEBI, HYDRUS, BILAN (SWB)

ORGE



POMME DE TERRE



## 5. Productivité de l'eau (échelle parcelles)

WATPRO (Zwart et al., 2010)

$$WP = \frac{Y_{act}}{\sum_{t=e}^{t=h} ET_{act}(t)} (\text{kg m}^{-3})$$

(Zwart et al., 2010)

```

    +-----+
    |       |
    | WATPROETR | WATPRONDVI
    +-----+
  
```

*Time series Albedo & NDVI*

$$WP = \frac{HI \cdot \sum_{t=e}^{t=h} (a \cdot NDVI + b) \cdot \Lambda \cdot \chi \cdot \tau_{sw} \cdot S_{Exo}^{\downarrow} \cdot \varepsilon_{max} T_1 T_2 0.864}{(1 - \theta_{grain}) \cdot \sum_{t=e}^{t=h} \Lambda ((1 - \alpha) \cdot S_{Exo}^{\downarrow} \cdot \tau_{sw} - 135 \cdot \tau_{sw}) \cdot 0.35}$$

*Modeled Evaporative Fraction*

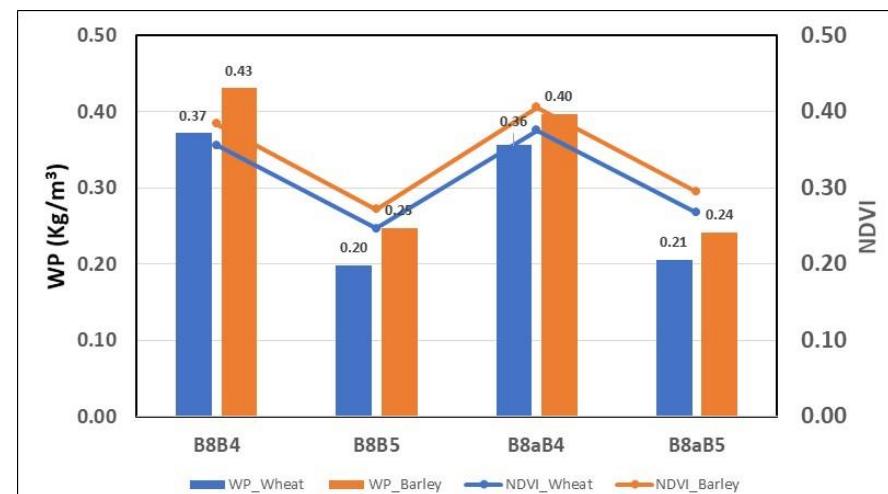
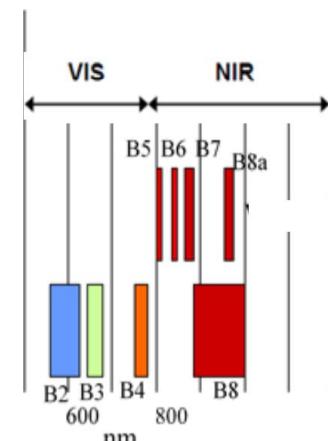
1. Original WATPRO  
2. Simplified WATPRO

**WP (kg/m<sup>3</sup>) by WATPRO in plots (0.1-1.7 ha)**

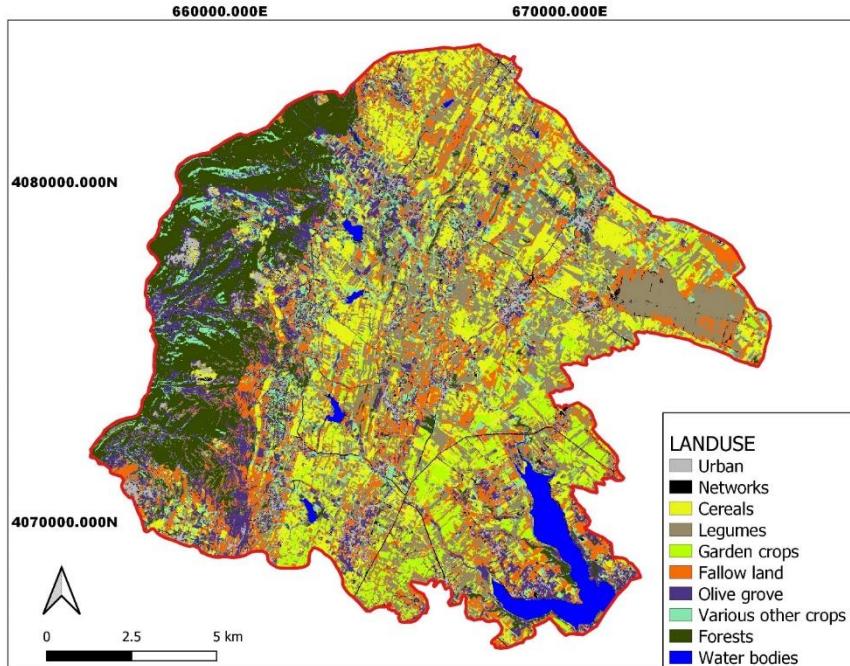
	LANDSAT-8 (NDVI <sub>5-4</sub> )	SENTINEL-2 (NDVI <sub>8-4</sub> )
Barley (50 plots)	0.42	0.43
Wheat (45 plots)	0.36	0.37

Mean cereals WP :

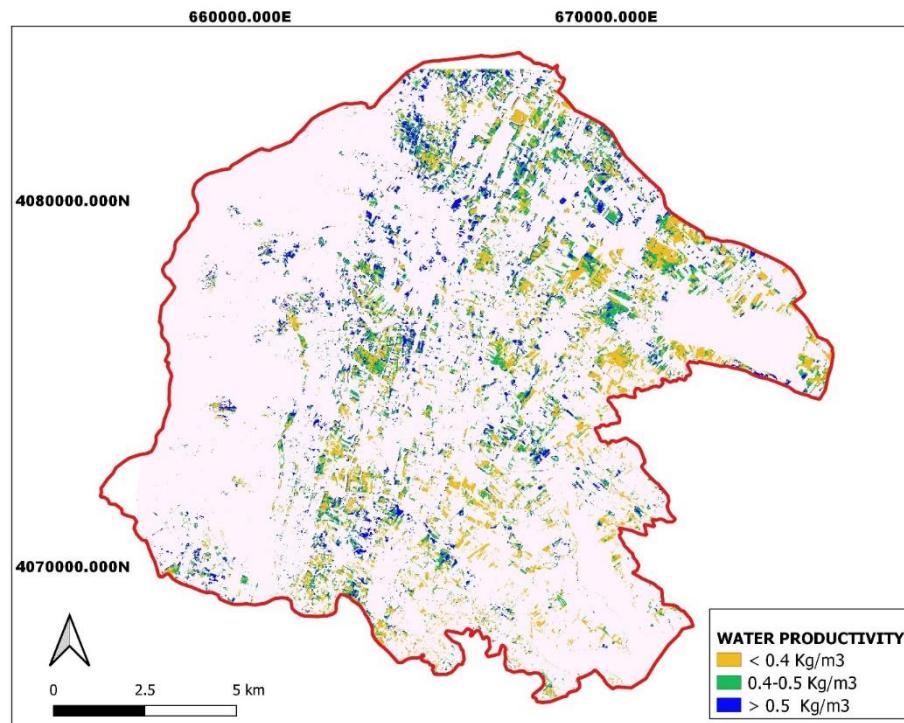
- ➔ in Tunisia : 0.36 Kg/m<sup>3</sup>
- ➔ in the world : 0.2-1.2 Kg/m<sup>3</sup>



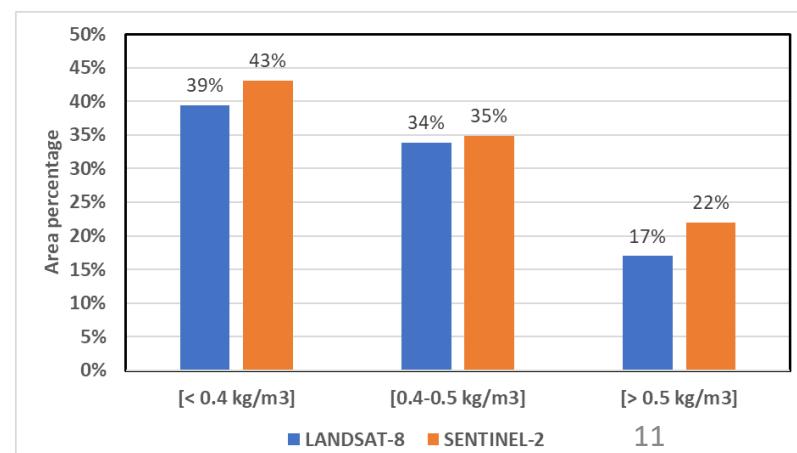
## 5. Productivité de l'eau / Spatialisation



**Classification par SVM de la série  
SENTINEL-2 temporelle 2015-2016  
(OA = 91% kappa = 90%)**



**WP of cereals by WATPRO  
based on SENTINEL-2 times-  
series (2016)**



**Low WP areas  
located in the  
south of the  
basin (semi-arid  
climate)**

## 6. Encadrements

---

### MASTERES

1. Ali Ben Hmid (Mastere, ENIT/INRGREF 2021) Evapotranspiration comparison of S-SEBI remote sensing model to unsaturated zone water flow methods in Cap Bon region
2. Amal Ben Hadj (Mastere, ENIT/INP Bordeaux 2019) Evolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le Lebna et Korba par classification d'images SENTINEL2
3. Sara Bouhlel (Mastere, ENIT/INP Bordeaux 2018) Modeling water productivity of cereals by remote sensing (SENTINEL2 & LANDSAT8) in Cap Bon region
4. Fedi Sboui (Mastere, ENIT/LMI NAILA 2017) Evaluation of SEBS model for water consumption modeling by LANDSAT8 images in Lebna region
5. Myriam Boukari (Mastere, ENIT/LMI NAILA 2017) Potential of SENTINEL2 images in biophysical variables modelling for water productivity mapping in Lebna region

### THESE

Vetiya Dellali (Thèse ENIT 2023) Cartographie de l'empreinte eau des céréales par télédétection au Cap Bon et au Merguellil:

- Besoins en eau par télédétection: ETc par Modèles SEBS et S-SEBI dans les 2 sites CHAAMS
- Evaluation des Rendements (1 année Merguellil (données 2012-2013 Thèse Chahbi et 2 années Cap Bon 2021-2022)
- Dynamique de l'occupation du sol (cartographie des céréales sur le Lebna 2016/2019/2021/2022)
- Evaluation de l'empreinte eau dans les 2 sites CHAAMS: modèles CROPWAT, AQUACROP, WATPRO

## Coordination UTM (WP1 & WP4)



## Dynamique de l'Occupation du sol Besoins & Ressources en eau (WP2, WP3, WP4)



## Impact des CC & Projections (WP4 & WP5)

- H. Chakroun (Co pilote)
- R. Bouhlila (Co pilote WP4)
- F. Slama (Cf. Poster Slama et al.)
- E. Gargouri (Cf. Poster Gargouri et al.)
- F. Bouksila
- F. Hamzaoui (Cf. Poster Hosni et al.)
- R. Cherif
- M. Bouteffeha

## Outils d'aide à la décision (WP6)

# Travaux Etudiants Equipe UTM



Nom	Sujet	Encadrants
Vetiya Dellali (ENIT)	Cartographie de l'empreinte eau des cultures par télédétection dans le Cap Bon et le Merguellil (Thèse en cours)	H. Chakroun
Amal Ben Hadj	Evolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le Lebna et Korba par classification d'images SENTINEL2 (2019)	H. Chakroun N. Chehata (INP Bordeaux)
Safa Maiza (ENIT)	Impact de la recharge artificielle aux eaux usées traitées sur la nappe de la côte orientale (2019)	R. Bouhlila
Aymen Kalboussi (ENIT)	Évaluation des indices normalisés de précipitations et d'évapotranspiration et des indices de niveaux des eaux souterraines dans la région de Kairouan (2019)	E. Gargouri
Nadia Tarifa (ENIT)	Assessment of the impact of climate change on water resources in Lebna using standardized precipitation, evapotranspiration, groundwater, and vegetation indices (2021)	E. Gargouri
Ons Sidhom (ENIT)	Modeling groundwater recharge under Climate Change in sub-humid and semi-arid regions in Tunisia (2021)	F. Slama, H. Dakhlaoui E. Gargouri
Ali Benmid (ENIT)	«Evapotranspiration comparison of S-SEBI remote sensing model to unsaturated zone water flow methods in Cap Bon region (2021)	H. Chakroun, F. Bouksila (INRGREF), F. Slama
Yesmine Gastli (ENIT)	Suivi des retenues collinaires et de leurs volumes de remplissages par télédétection dans le Kamech, Cap Bon (2022)	M. Bouteffeha, H. Chakroun
Sahar Hosni (FST)	Géochimie des eaux de la plaine de Kairouan (2022)	F. Hamzaoui (FST)



Chakroun H., Bouhlel S., Belhaj A., Chehata N. **MODELING CEREALS WATER PRODUCTIVITY BY REMOTE SENSING IN LEBNA BASIN, TUNISIA.** 2022 IEEE Mediterranean and Middle-East Geoscience and Remote Sensing Symposium, 7 - 9 March, 2022 Virtual Conference

Dellali V., Chakroun H., Boulet G., Chahbi A., Lili Chabaane Z. **Estimation of actual evapotranspiration using surface energy balance models in Merguellil.** AGIC-2021: Water Quality, Global Changes and Groundwater Responses, 22-24 mars 2021

Cherif, R. and Gargouri Ellouze, E. **Flow signatures and basin parameters for Hierarchical tunisian Catchments clustering and similarity assessement.**, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-492, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-492>

Slama, F., Gargouri-Ellouze, E. & Bouhlila, R. **Impact of rainfall structure and climate change on soil and groundwater salinization.** Climatic Change (2020). <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02789-0>

Slama F., Gargouri E., Bouhlila R. **Impact of rainfall structure and climate change on soil and groundwater salinization.** Proceedings of IAH2019, the 46th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists, Málaga (Spain), September 22-27, 2019

Slama F. Carrillo-Rivera J. J., Claude C., Bouhlila R. **Multiple salinization processes along groundwater flow paths in a coastal irrigated plain, Korba, Tunisia.** Proceedings of IAH2019, the 46th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists, Málaga (Spain), September 22-27, 2019

# Dissémination

Kick Off Meeting Oct. 2018



The collage includes:

- Logos: Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), and CHAAMS.
- Photos: A person working in a field, a windmill in a field, and a group of people at a meeting.
- Text: "ERANET-MED CHAAMS Kick Off Meeting Institut National Agronomique de Tunisie 24 & 25 Octobre 2018".
- Map: A map of the Mediterranean region showing study sites in Libya, Tunisia, and Algeria.
- Text: "projet ERANET-MED CHAAMS « Global CHanges: Assessment and Adaptation for Mediterranean Region Water Scarcity »".
- Text: "L'eau est un enjeu stratégique pour le développement économique de la région méditerranéenne. L'équilibre séculaire fragile entre ressources et usages est aujourd'hui menacé par les bouleversements profonds et rapides de l'agriculture dans les régions semi-arides du côté sud. L'objectif du projet CHAAMS est double: (1) Contribuer à une meilleure compréhension de l'évolution des ressources sous effet des changements globaux et évaluer les trajectoires les plus probables et (2) Proposer plusieurs solutions innovantes à moyen et long termes pour rationaliser utilisation de l'eau agricole dans la région sur la base des outils de décision développés par le consortium."
- Text: "Comité d'organisation : Zohra Lili Chabaane (UCAR/INAT/GREEN-TEAM), Hédia Chakroun (UTM/ENIT/ LMHE), Lionel Jarlan (IRD / CESBIO), Mehrez Zribi (CNRS/ CESBIO)".
- Logos of partners: IRD, Université de Carthage, ORMVAH, Pôle de Recherche et d'Innovation en Géomatique (PRI), LISAH, AED, CNRS, G-eau, GERTE, TREMA, GREEN-TEAM, CESBIO, and Agence de l'Eau Archeus.

# Dissémination



Comité d'application, 2019 ENIT (CRDA Nabeul, CRDA Kairouan, Association AED, BPEH, ....)

**ERANET-MED CHAAMS**  
<http://www.eranetmed-chaams.org/>

Global Change : Assessment and Adaptation to Mediterranean Region Water Scarcity

**Réunion du Comité d'Applications du projet CHAAMS**

20 Novembre 2019, ENIT, Tunisie

Logos of participating institutions: ENIT, University of Tunis El Manar, University of Carthage, INAT, AED, URD, CNRS, TREMA, CERTE, ORMAS, GREEN TEAM, LISAH, G-eau, AED, and others.



# Formations

Formation Télédétection, INAT, Tunis, Jul. 2019 (INAT, ENIT & CESBI)



**FORMATION EN TELEDETECTION**  
INAT, 18-19 Juillet 2019, Salle Informatique



**PROGRAMME**

**18 Juillet**

- 8h-9h30 : Principes de base de la télédétection (Théorie)  
9h30-10h : Pause  
10h-13h30 : Découverte des outils de lecture des images satellite (Atelier)

**19 Juillet**

- 8h-9h30 : Principes de base de traitement d'images satellites (Théorie)  
9h30-10h : Pause  
10h-13h30 : Applications de la télédétection (Atelier)

Par

**Dr. Mehrez Zribi (CNRS), Mr Mohammad El-Hajj (IRSTEA)**  
**Dr Zeineb Kessouk (INAT), Mlle Safa Bousbih (Doctorante, INAT)**

**Comité d'organisation :**

Hedia Chakroun (ENIT) ; Zohra Lili Chabaane (INAT)  
Mehrez Zribi (CNRS/IRD) ; Zeineb Kessouk (INAT)

Contact: Hedia Chakroun ([heidia.chakroun@enit.utm.tn](mailto:heidia.chakroun@enit.utm.tn); Mobile: 27 460 264)



# Formations



Projet ERANETMED CHAAMS  
« Global Change: Assessment and Adaptation to  
Mediterranean Region Water Scarcity »



## FORMATION EN LIGNE QGIS & SAT-IRR

(CRDA Nabeul)



### PROGRAMME

#### 16 mars 2021 (Hédia Chakroun)

- 9h00 à 10h30 : Partie Théorique : Introduction aux SIG  
10h30 à 11h : Pause  
11h à 13h : Prise en main du logiciel QGIS et importation des données  
13h00 à 14h : Pause déjeuner  
14h à 16h : Analyses spatiales dans QGIS

#### 17 mars 2021 (Hédia Chakroun & Rim Cherif)

- 9h00 à 10h30 : Analyses spatiales dans QGIS  
10h30 à 11h : Pause  
11h à 13h : Edition de cartes dans QGIS  
13h00 à 14h : Pause déjeuner  
14h à 16h : Application SAT-IRR (Gestion de l'irrigation par télédétection)

## Formation QGIS & SATIRR Mars 2021 (ENIT)

