



**UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE**



**LOTERR**

Centre de recherche en géographie

# **Contribution des outils géonumériques à la prévision de la sécheresse en terres arides.**

Cas du périmètre irrigué de Tadla (Centre-Est du Maroc).

Ikram BOUTIRAME



**FESTIVAL INTERNATIONAL  
DE GÉOGRAPHIE**  
de Saint-Dié-des-Vosges

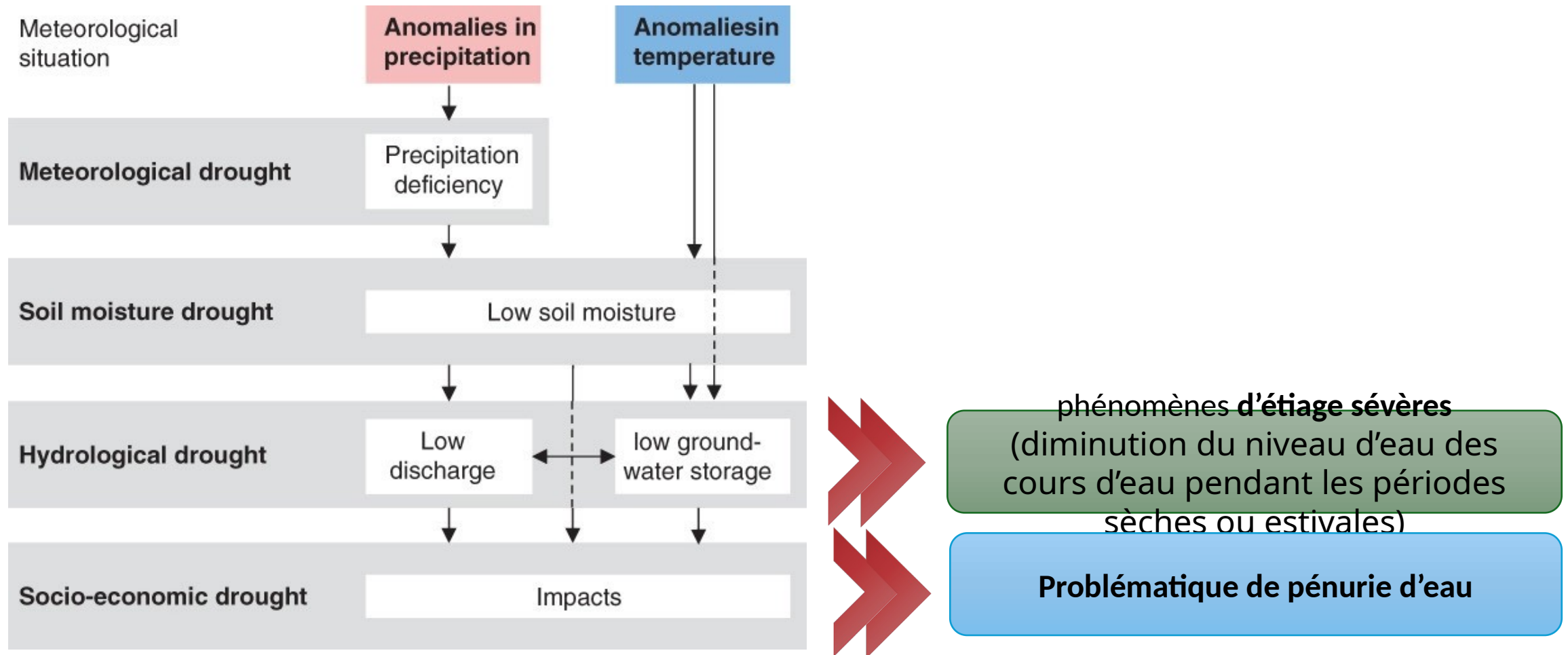
04/10/2024

# Plan de la présentation

- **Contexte et problématique**
  - ✓ **Ressources en eau au Maroc** : Enjeux et Défi
  - ✓ Étude de cas : bassin de l'Oum Er'Rbia, siège d'une sécheresse prolongée et persistante.
- **La GIRE : anticiper pour mieux s'adapter au changement climatique**
- **Les SIG et la télédétection , outils d'aide à la décision**
- **Résultats préliminaires**
- **Conclusion**

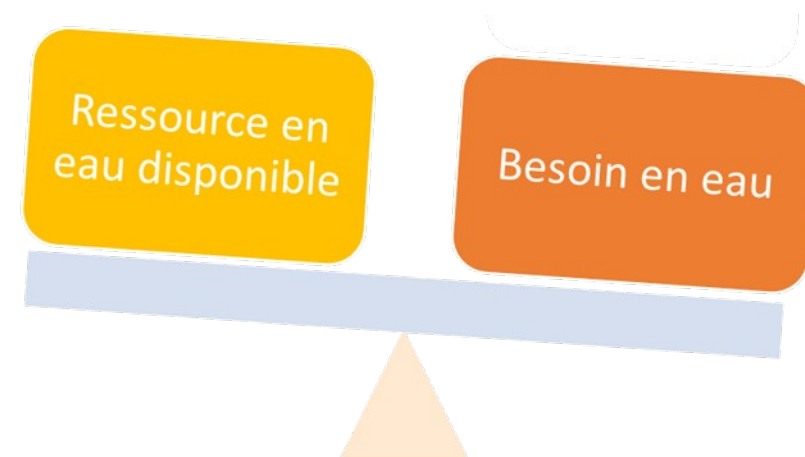
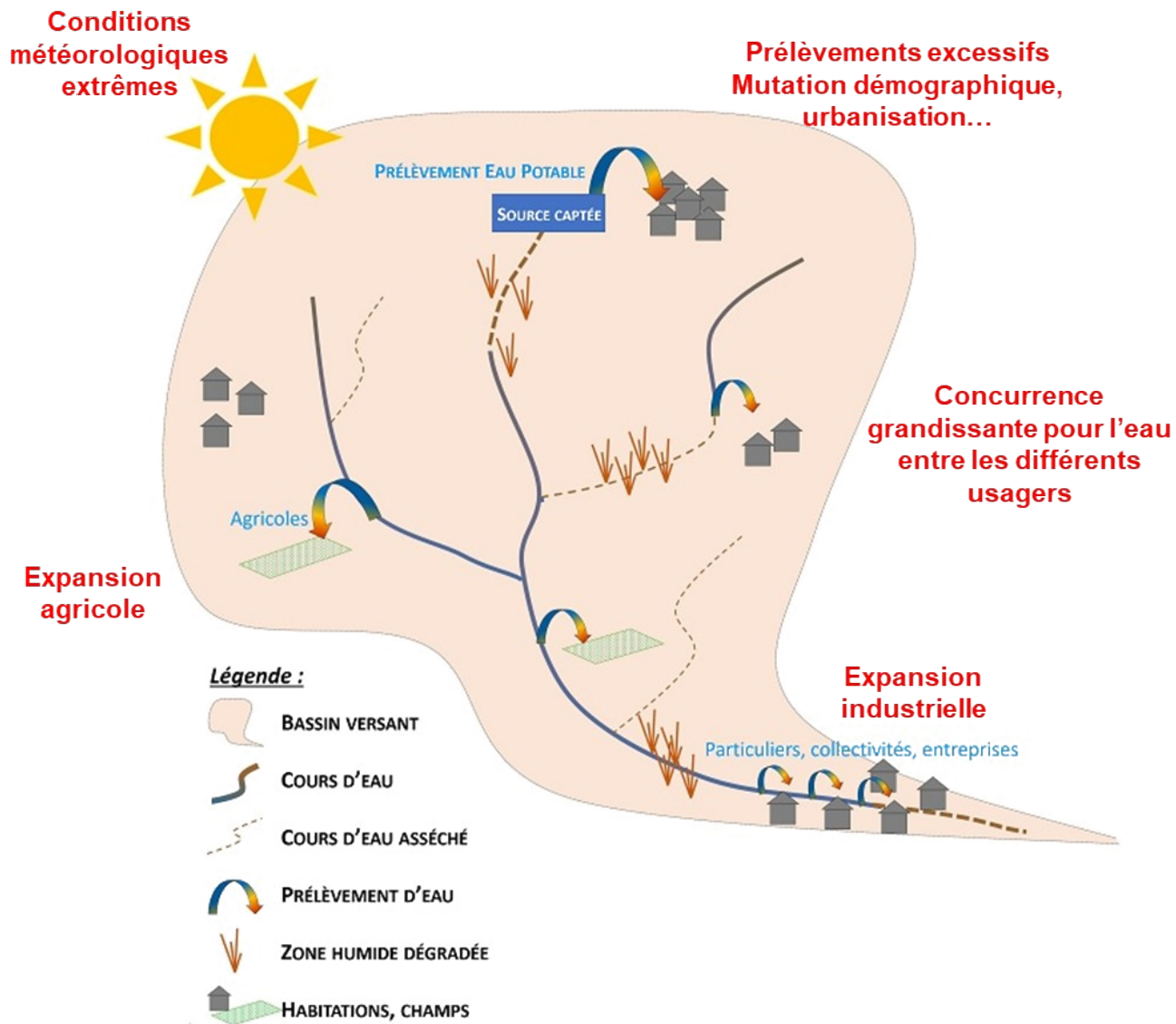
# Contexte et problématique

## La sécheresse : phénomène complexe dans sa genèse et son évolution



Propagation de la sécheresse météorologique aux autres types de sécheresse (Van Loon, 2015)

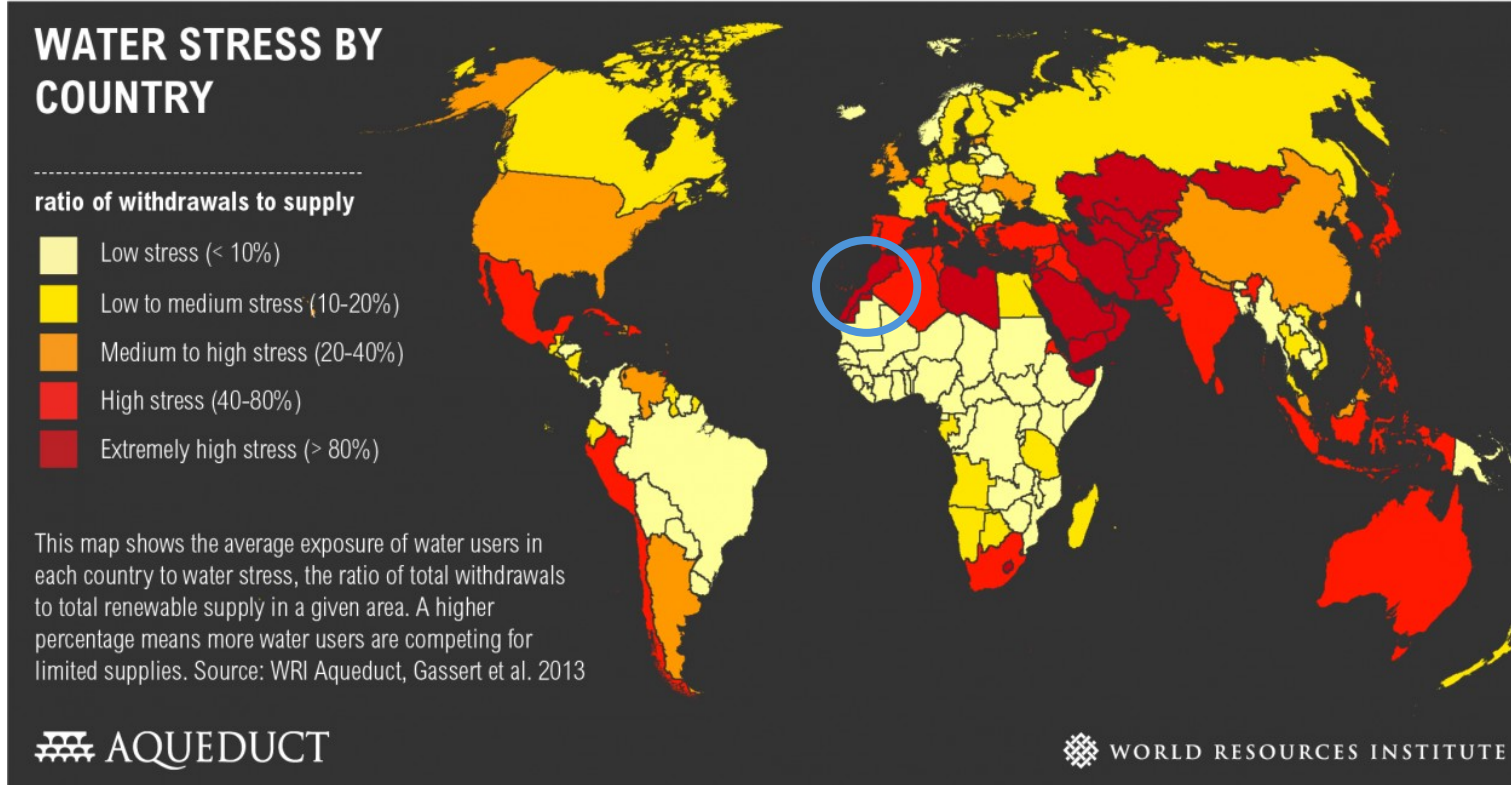
# Contexte et problématique



- **Stress hydrique**
- **phénomènes d'étiage sévères**
- **Risque de pénurie d'eau**

# Stress hydrique

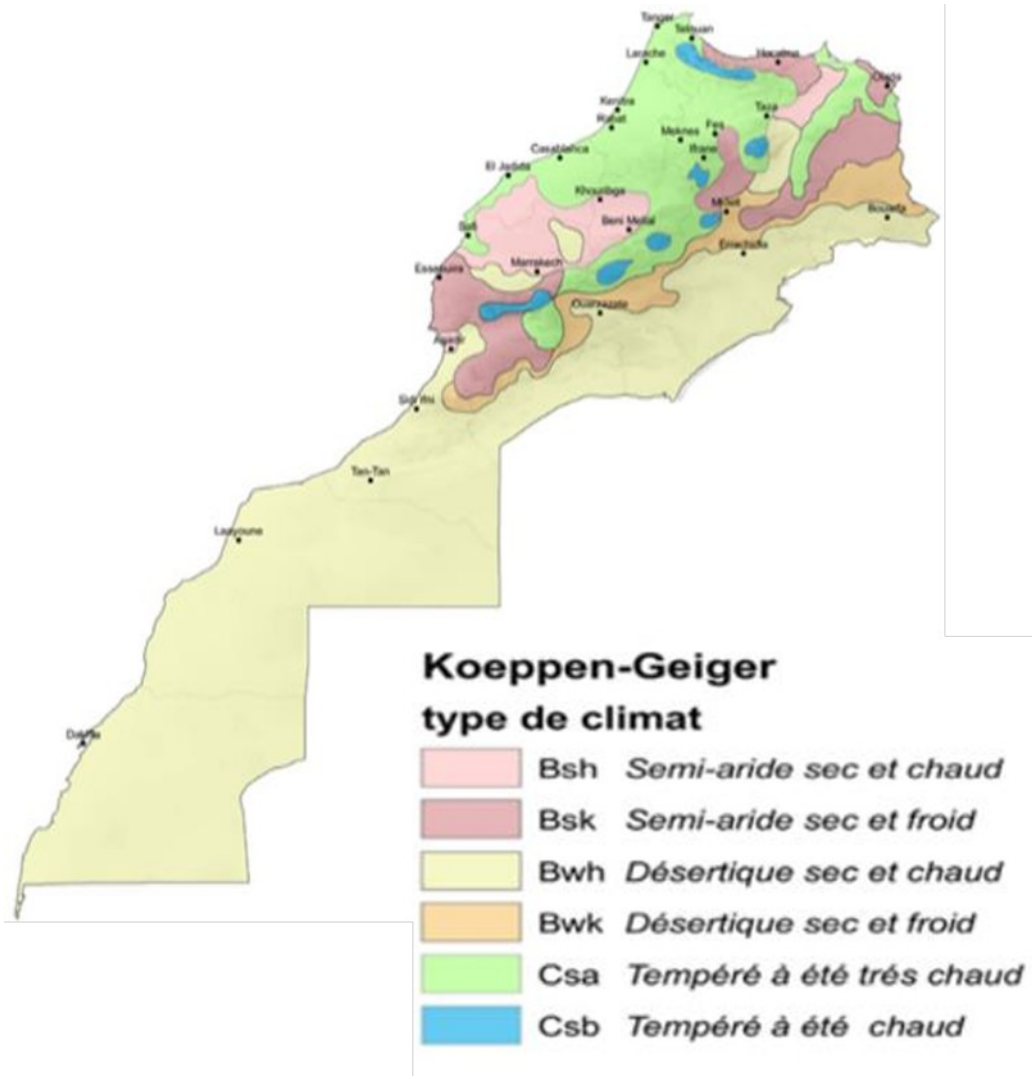
Le Maroc figure dans la zone rouge des pays les plus concernés par la sécheresse



- ∅ L'Afrique du Nord et Moyen-Orient : stress hydrique extrêmement élevé dans plusieurs pays.
- ∅ Le Maroc se situe à la 27ème position sur 164 pays dans le classement mondial du stress hydrique.
- ∅ L'eau : une ressource vitale confrontée à des défis croissants et complexes.

<https://www.wri.org/>

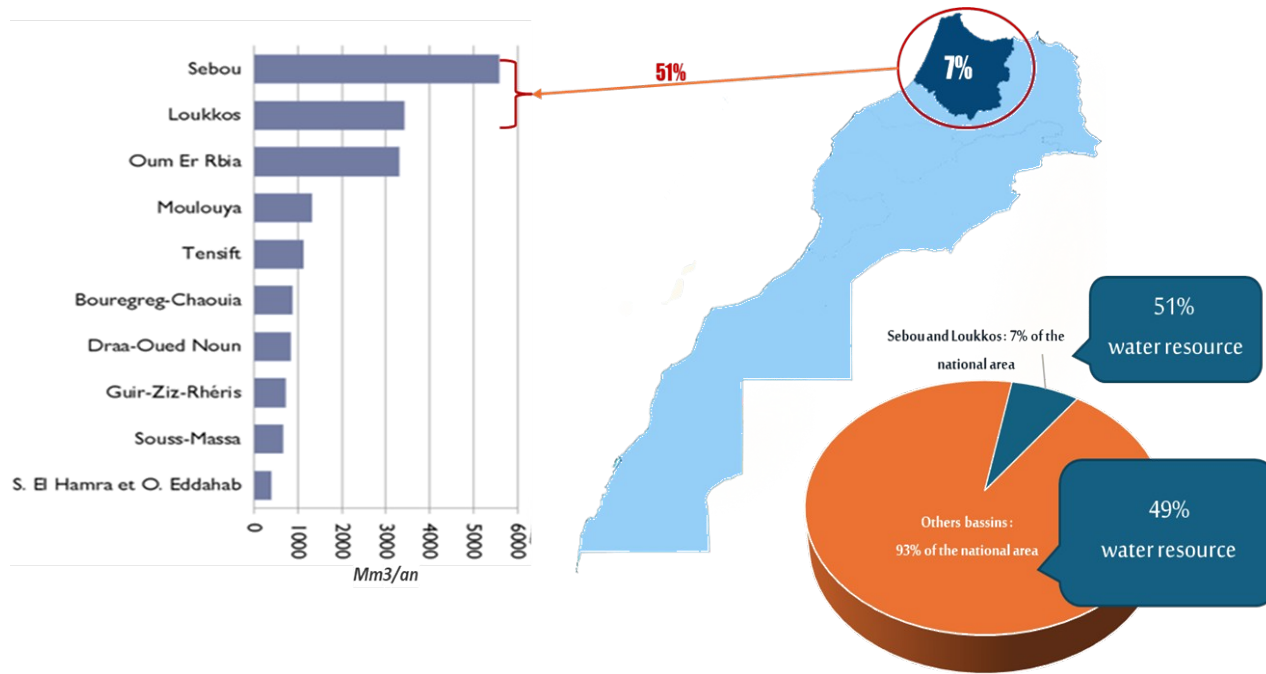
# Sécheresse au Maroc : Les Défis d'un Climat Aride à Semi-Aride



Carte de classification de Köppen-Geiger appliqué au Maroc (1981-2010)

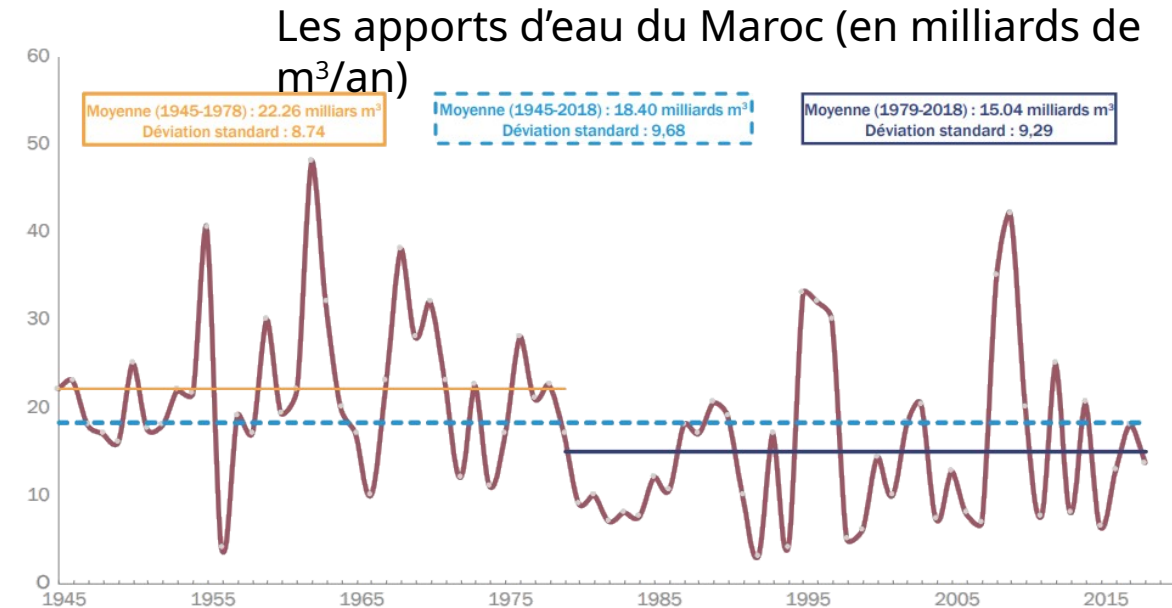
- Un climat méditerranéen sur la côte qui devient semi-aride à aride (avec des étés très chauds et des hivers plus froids) dans l'intérieur des terres.
- Le Maroc fait face à un risque accru de sécheresse, notamment dans les régions semi-arides et arides

# Ressources en eau au Maroc : Enjeux et Défis



- ❑ Répartition spatio-temporelle inégale des ressources en eau
- ❑ Un climat méditerranéen sur la côte qui devient semi-aride à aride (avec des étés très chauds et des hivers plus froids) dans l'intérieur des terres.

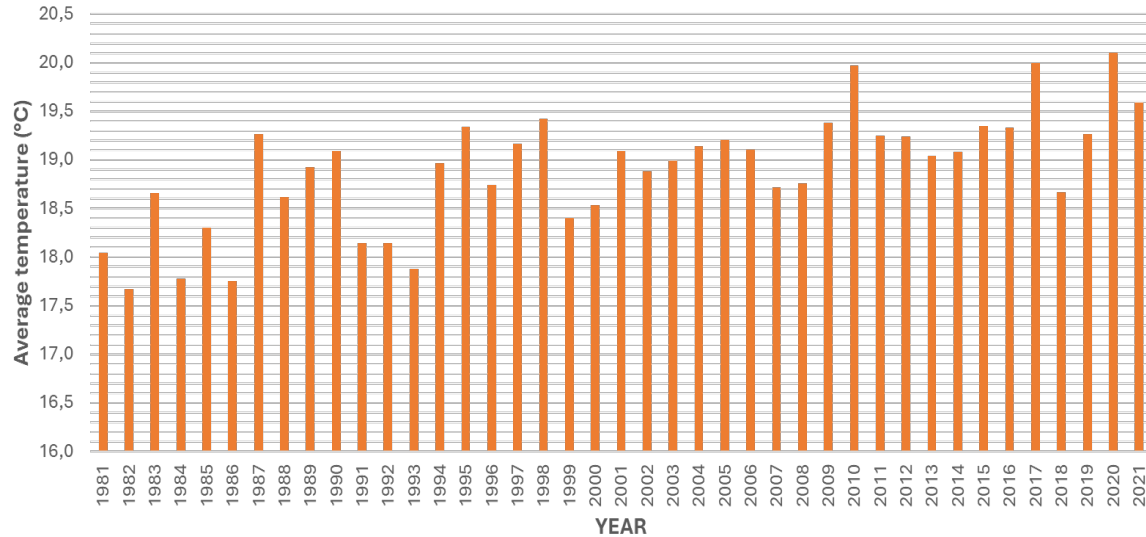
- ❑ Diminution des apports d'eau : déficit pluviométrique et des températures extrêmes plus fréquentes
- ❑ Une succession de longues périodes de sécheresses sévères depuis les années 1980 (avec la période de 2019 à 2022 étant la plus sèche depuis les années 1960).
- ❑ L'année 2024: Sixième année consécutive de sécheresse



Groupe de la Banque Mondiale: Rapport sur le climat et le développement, Octobre 2022

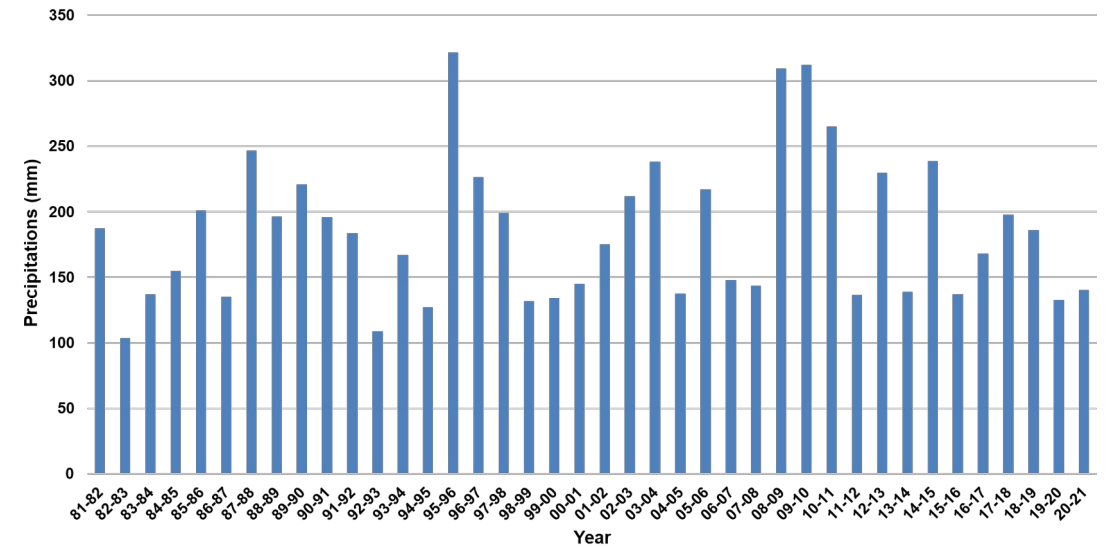
# Maroc : Une série de sécheresses persistantes depuis les années 1980

- Evolution de la température moyenne annuelle au Maroc Morocco de 1981 à 2021



- Une augmentation significative de la température annuelle depuis 2001.
- Une augmentation de la température moyenne de +0,42 °C par décennie depuis 1990

- Évolution des précipitations annuelles moyennes au Maroc de 1981 à 2021.



- Diminution significative des précipitations annuelles de -10 à -25 mm par an entre 1951 et 2010
- 1980-1990 : Une décennie marquée par de sévères sécheresses au Maroc impactant les ressources en eau, l'agriculture et l'économie.»
- 2019-2023 : La période la plus sèche depuis les années 1960.



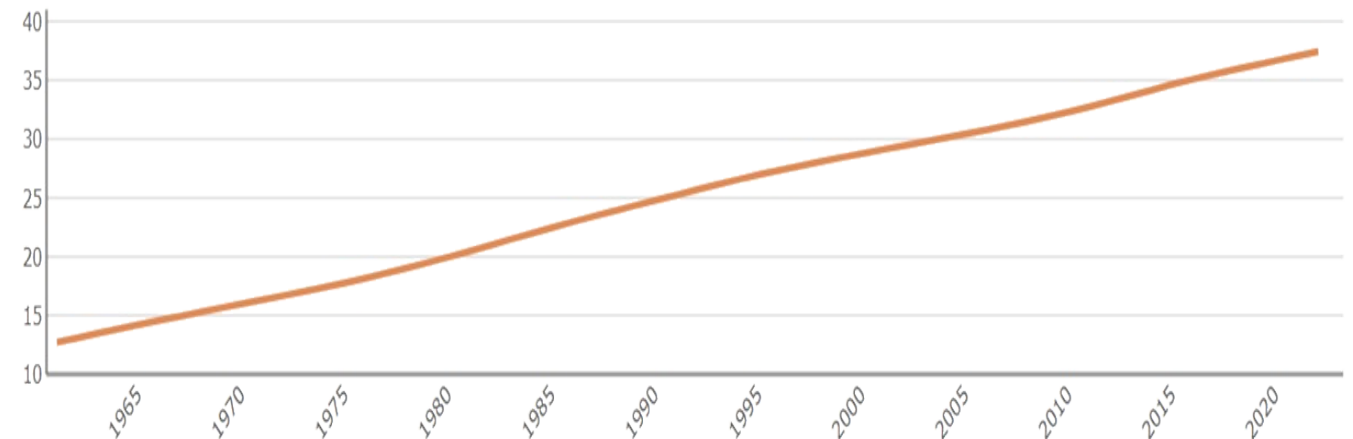
# Ressources en eau au Maroc : enjeux et défis

Demande accrue due à la **croissance démographique** et au **développement économique** (notamment l'expansion des périmètres irrigués)

- Une **évolution démographique principalement urbaine, croissante, due à l'exode rural et à l'urbanisation des zones rurales.**

Evolution de la population au Maroc depuis 1960

(Données en millions d'habitants)



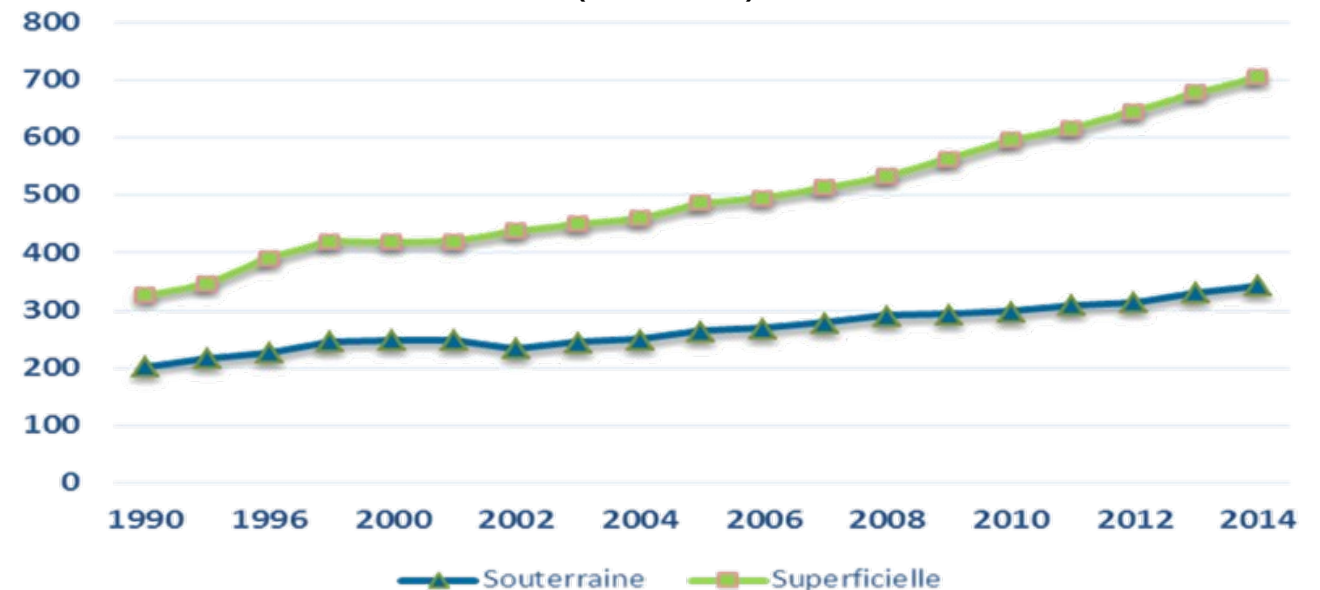
Source : <https://www.hcp.ma/>

# Ressources en eau au Maroc : enjeux et déficit

Demande accrue due à la **croissance démographique** et au **développement économique** (notamment l'expansion des périmètres irrigués)

- **Augmentation de la production en eau potable entre 1990 et 2014 (pression croissante sur les eaux de surface et souterraines)**

Evolution de production d'eau potable (Mm<sup>3</sup>/an)

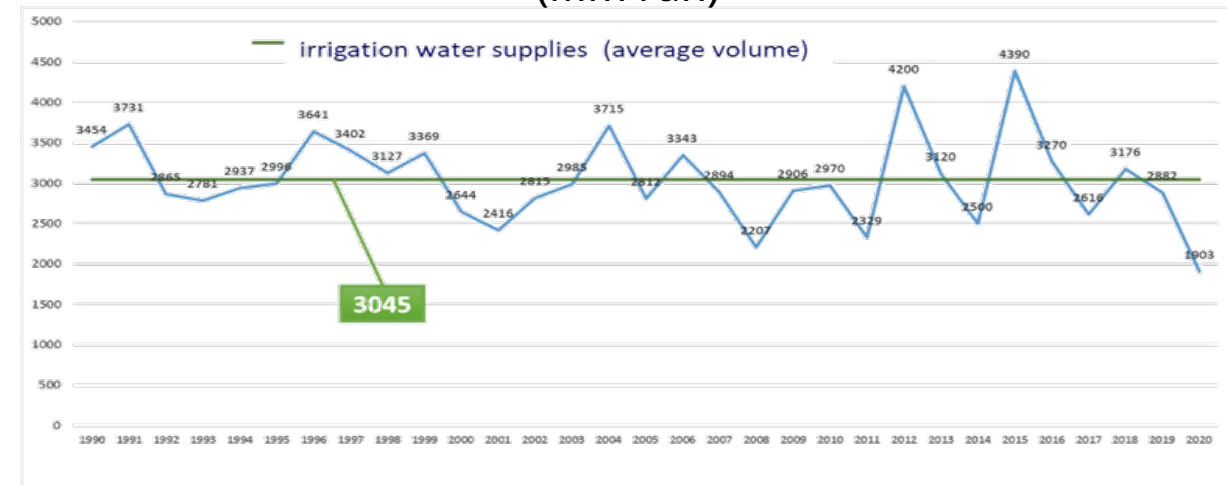


# Ressources en eau au Maroc : enjeux et défis

Demande accrue due à la **croissance démographique** et au **développement économique** (notamment l'expansion des périmètres irrigués)

- De véritables défis se posent pour répondre aux autres demandes d'eau sectorielles notamment l'irrigation (une diminution des volumes d'eau destinés à l'irrigation notamment pour les grands périmètres irrigués de Tadla, Moulouya et Souss-Massa)
- Le secteur agricole contribue à environ 14 % du produit intérieur brut.

Evolution des fournitures en eau d'irrigation (Mm<sup>3</sup>/an)

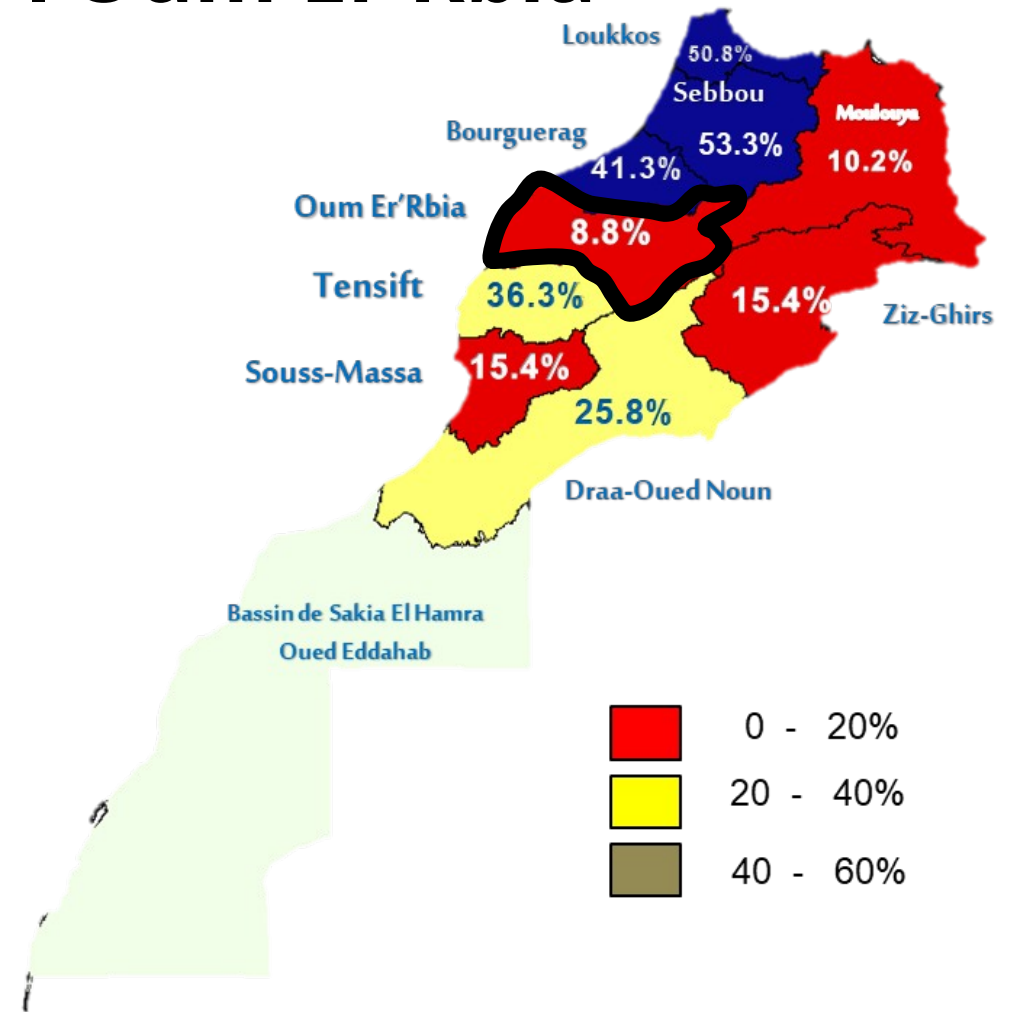


Source : [equipement.gov.ma](http://equipement.gov.ma)

# Etude de cas : Bassin de l'Oum Er'Rbia

## Pourquoi étudier ce bassin ?

- Le bassin de l'Oum Er'Rbia est l'un des plus importants bassins fluviaux du Maroc : d'une très grande superficie ( 33 520 km<sup>2</sup> à l'embouchure),
- Drainé par le fleuve de l'Oum Er'Rbia : le deuxième fleuve marocain long de 550 Km avec un débit de 117 m<sup>3</sup>/s.
- Siège d'une sécheresse persistante depuis les années 80.
- Le bassin de l'Oum Er'rbia a enregistré le plus bas taux de remplissage des barrages :
  - 8.8 % en 2022
  - 4.39% en 2024



Taux de remplissage des barrages par bassin à échelle nationale en 2022 (Source : [water.gov.ma](http://water.gov.ma))

# Etude de cas : Bassin de l'Oum Er'Rbia

## Pourquoi étudier ce bassin ?



26/01/2022

A. COLLAS

4

Le barrage Al-Massira, deuxième plus grand réservoir du Maroc, est à sec.



16/12/2023

I. BOUTIRAME

Barrage Ahmed El Hansali : Un pilier de l'irrigation à Tadla avec un taux de remplissage de 2,8 % (décembre 2023)

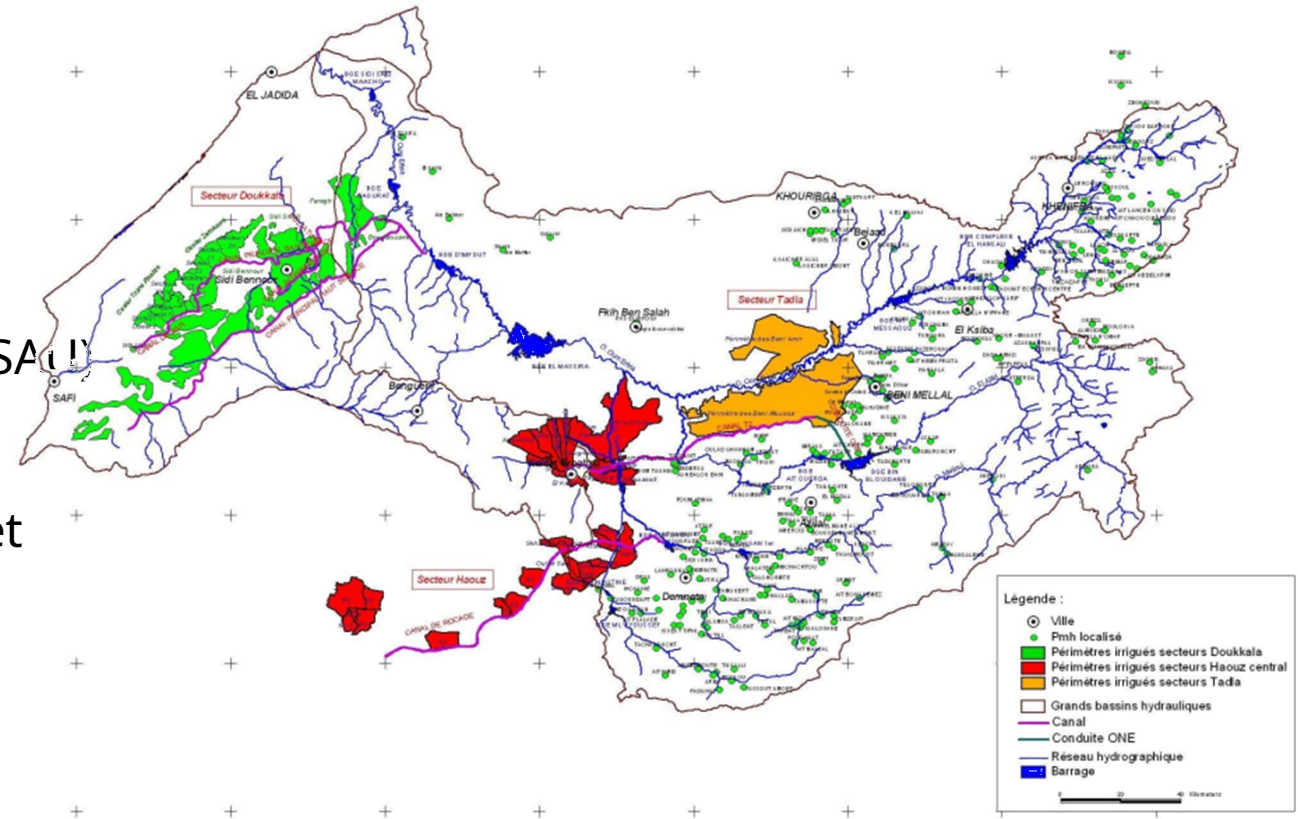
# Etude de cas : Bassin de l'Oum Er'Rbia

## Pourquoi étudier ce bassin ?

### ■ Un bassin à activité agricole intense :

- Les périmètres de la Grande Hydraulique qui représentent 20% de la surface agricole utile (SAU) nationale.
- Trois grand perimeter irrigué : Tadla, Tassout et Doukkala

Périmètre irrigué		Superficie irriguée (ha)
Périmètre de Tadla	Béni Amir	28 250
	Béni Moussa	69 624
Périmètre des Doukkala		98 710
Périmètre de la Tessaout amont		27 300



Source :  
ABHOER

# Etude de cas : Bassin de l'Oum Er'Rbia

## Pourquoi étudier ce bassin ?

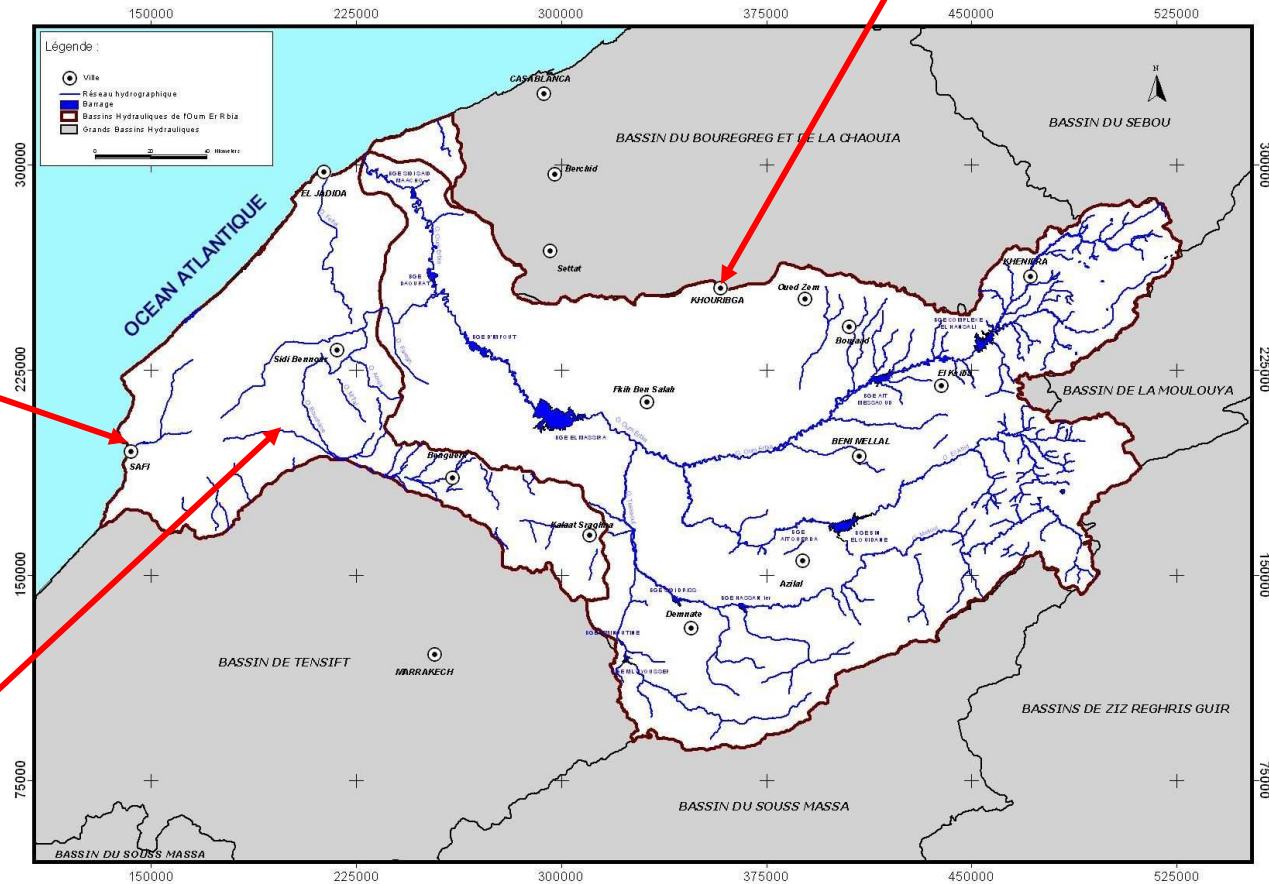
- Un bassin à activité minière de grande envergure : mines des phosphates

Le site minier de Khouribga

Site du Safi :

- Le complexe chimique de Maroc-chimie1
- Le complexe de Maroc-phosphore (I et II)

L'ensemble chimique Maroc-Phosphore (III et IV) à Jorf Lasfar,



Source :  
ABHOER

# Etude de cas : Bassin de l'Oum Er'Rbia

## Pourquoi étudier ce bassin ?

- Un bassin anthropisé :
  - Le bassin de l'Oum Rbia a fait l'objet d'un effort d'aménagement depuis les années 1920;
  - Il compte plus de 15 grands barrages 600 km de canaux pour l'irrigation, l'eau potable et industrielle;
  - Des transferts intra et extra-bassin d'eau comme de l'oued El Abid vers la Tessaout Aval, ainsi qu'à l'extérieur vers Casablanca, Marrakech et le Haouz.

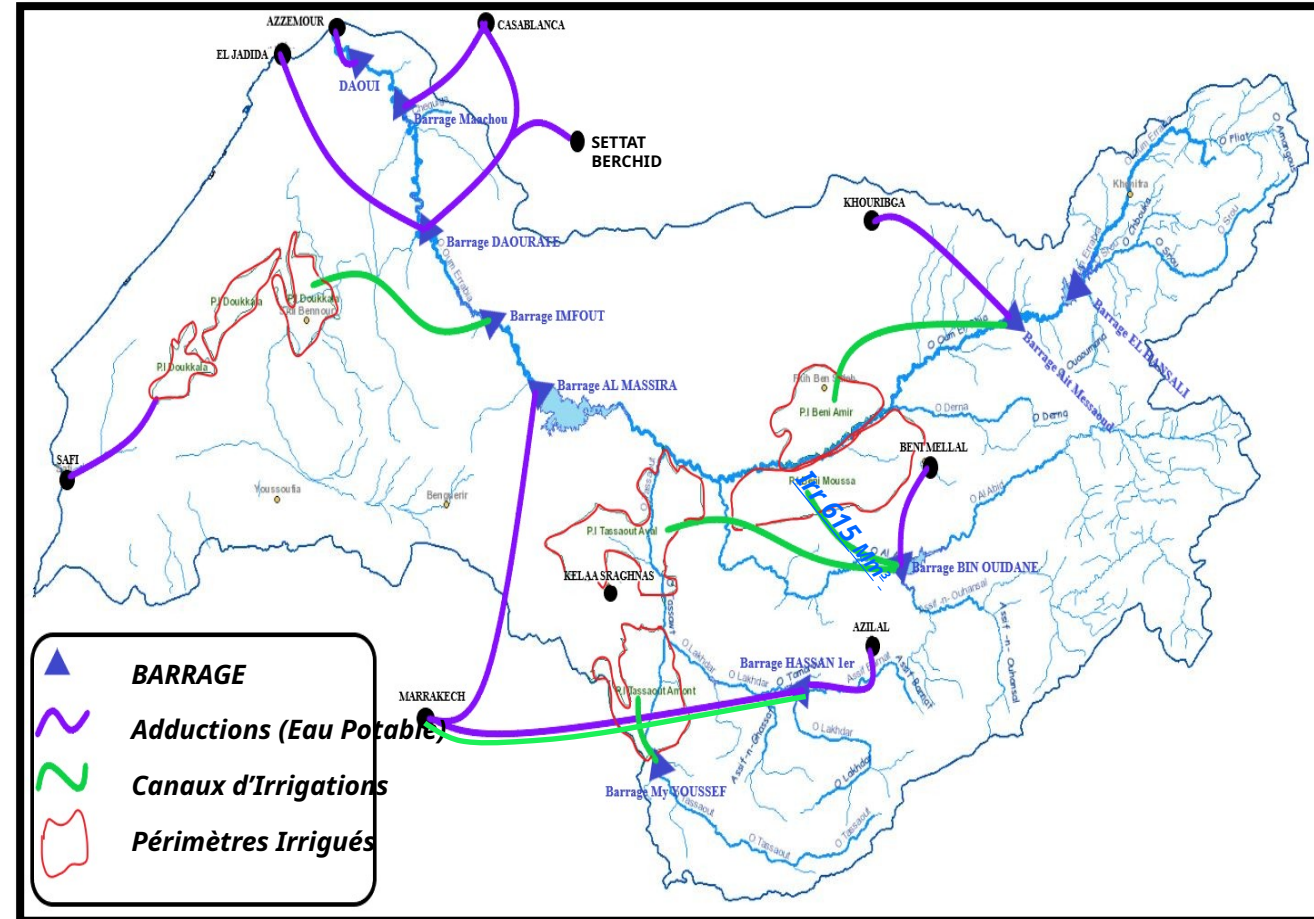
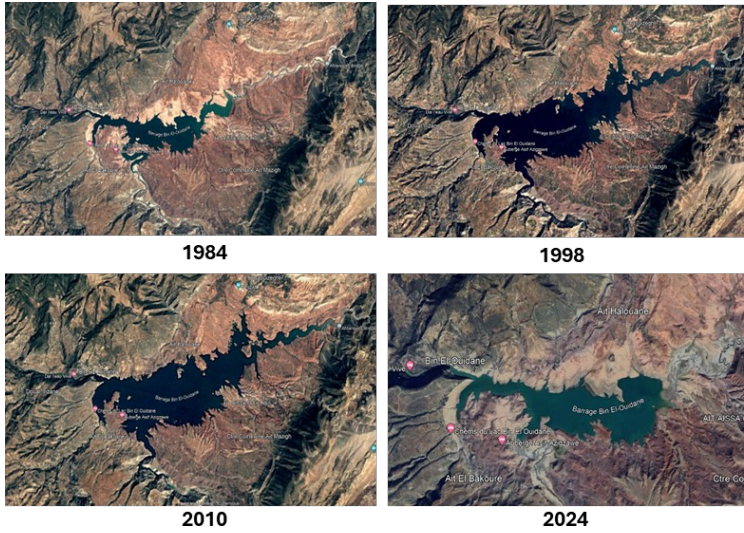


Schéma d'utilisation des ressources en eau - Transferts intra et extra-bassin de l'OER (ABHOER, 2020)



# Conditions climatiques extrêmes : Dans la zone de Tadla, la sécheresse a un impact significatif sur l'agriculture.

- Impacts sur les ressources en eau.



Réduction de surface d'eau (images satellites de Google Earth)

- Disponibilité de l'eau : défis d'approvisionnement en eau



Une maturité précoce du blé.



Assèchement des rivières et des sources



La sécheresse pousse les agriculteurs à déraciner les arbres

# Une sécheresse prolongée et des températures exceptionnelles ont des conséquences graves.



Périmètre de Tadla en janvier (à gauche) et en janvier 2024 (à droite)  
imagerie Copernicus Sentinel 2.

- Au cours des six dernières années, des épisodes de sécheresse sévères ont frappé le pays, provoquant des pénuries d'eau et entravant la croissance de la végétation.

# Bassin de l'Oum Er'Rbia : un hydrosystème à enjeux complexes

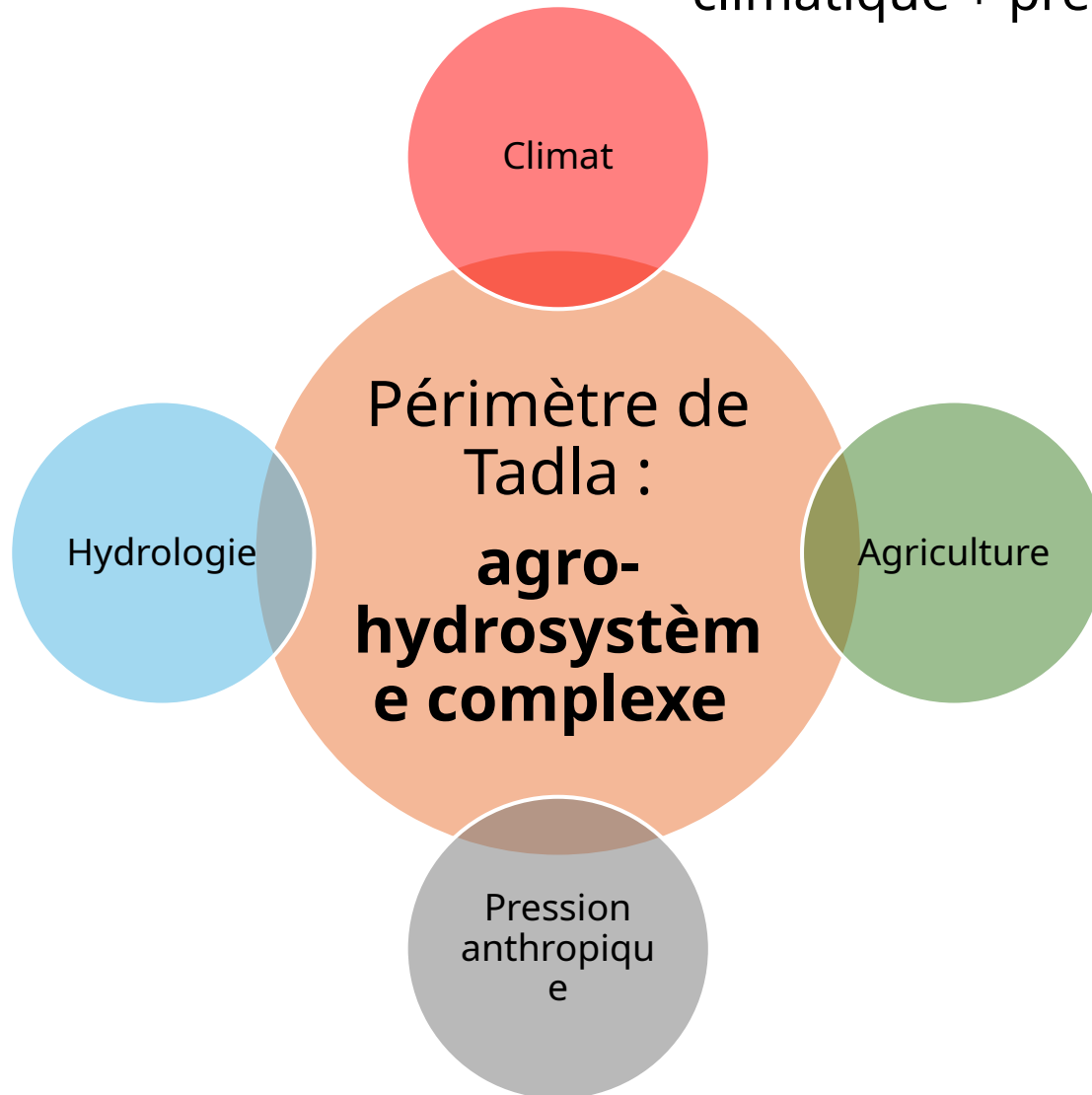
- Un bassin à enjeux complexes : De nombreux enjeux sont impliqués dans la gestion de la ressource en eau dans le bassin
  - la demande en eau potable et industrielle
  - La demande en eau agricole ( agriculture consomme 80% des ressources en eau)
  - Les contraintes environnementales (contrainte débit minimum)

## Sécheresse persistante et risque de pénurie d'Eau : Un défi crucial pour l'avenir

→ Cette situation soulève la question de la durabilité des ressources en eau dans ce bassin et met en évidence la nécessité de la mise en place d'une gestion intégrée de ces ressources en tenant en compte à la fois de la variabilité climatique (climat en réchauffement )et des usages de l'eau (extension des périmètres irrigués, la croissance démographique et le développement économique).

## Bassin de l'Oum Er' Rbia :

Interaction de multiples facteurs dans un contexte de changement global (changement climatique + pression anthropique).



**Comment améliorer notre compréhension des interactions entre agriculture et ressources en eau dans un contexte de changement climatique et pression anthropique ?**

**Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)**

Comment **transformer** une GIRE (théorie) en chaîne des modèles opérationnels permettant d'analyser et évaluer les incidences du changement global (changement climatique et évolution sociétale) sur la disponibilité des ressources en eau afin **d'anticiper** la prise de décision et mieux s'adapter à ces changements?



**Anticiper pour mieux gérer.**

# Anticipation de l'évolution de la ressource en eau pour permettre l'adaptation des territoires à leurs singularités.

Comment ?

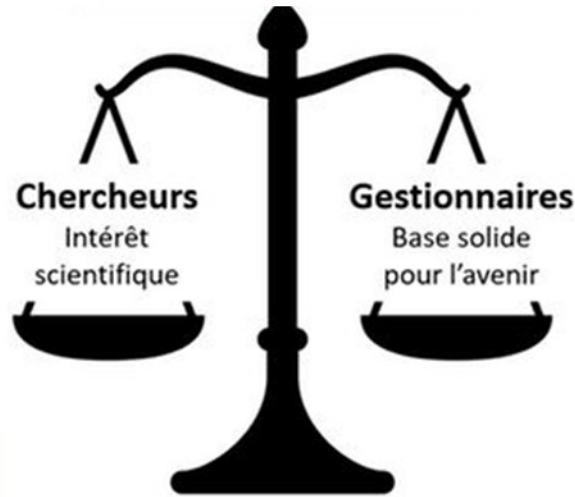
Une démarche atypique à la croisée entre chercheurs/gestionnaire

## APPROCHE SCIENTIFIQUE



- + Améliorer les connaissances sur le **long terme**
- + Basée sur des **modélisations** comportant un panel d'incertitudes

Choix des simulations, des scénarios, ...



## APPROCHE GESTIONNAIRE



- + Répondre à un **besoin immédiat**
- + **Dires d'expert** par nature imparfaits et critiquables

Identification des impacts locaux

Regard critique / assoir les résultats scientifiques

# Mise en place d'une GIRE dans les pays en développement : Défis et contraintes

- **Accès limité aux Données Scientifiques** : Les données nécessaires pour évaluer et modéliser les ressources en eau sont souvent incomplètes ou absentes, rendant difficile l'analyse précise et la planification
- **Coordination de la recherche Interdisciplinaire** : Une gestion intégrée nécessite des approches interdisciplinaires, mais la coordination entre les différentes disciplines scientifiques (hydrologie, climatologie, géographie, agronomie, sociologie) peut être complexe et insuffisante;
- **Coordination Interinstitutionnelle/mobilisation des acteurs** : Une gestion intégrée exige une bonne coordination entre les diverses agences et parties prenantes. Les difficultés de collaboration peuvent freiner l'efficacité de la gestion de l'eau

## **Comment améliorer notre compréhension des interactions entre l'agriculture et les ressources en eau dans un contexte de changement climatique et de pression anthropique ?**

- Comment compenser le manque de données ?
- Utilisation des outils géomatiques : télédétection et systèmes d'information géographique (SIG).
- De quelle manière les SIG, associés à la télédétection, contribuent-ils à comprendre les interactions entre l'agriculture et les ressources en eau face au changement climatique ?





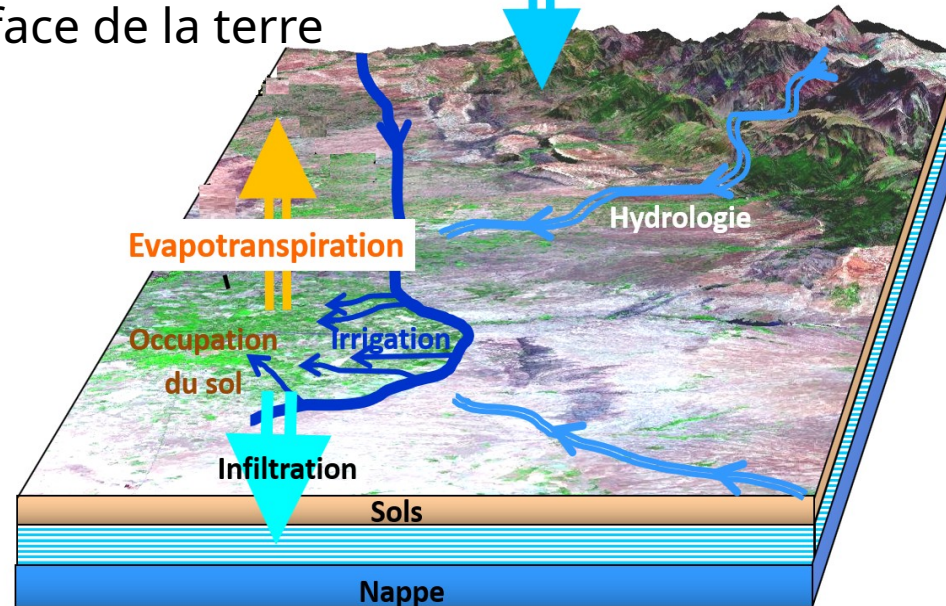
## Téledétection spatiale

Observation spatialisée et répétitive de la surface de la terre

Météorologie



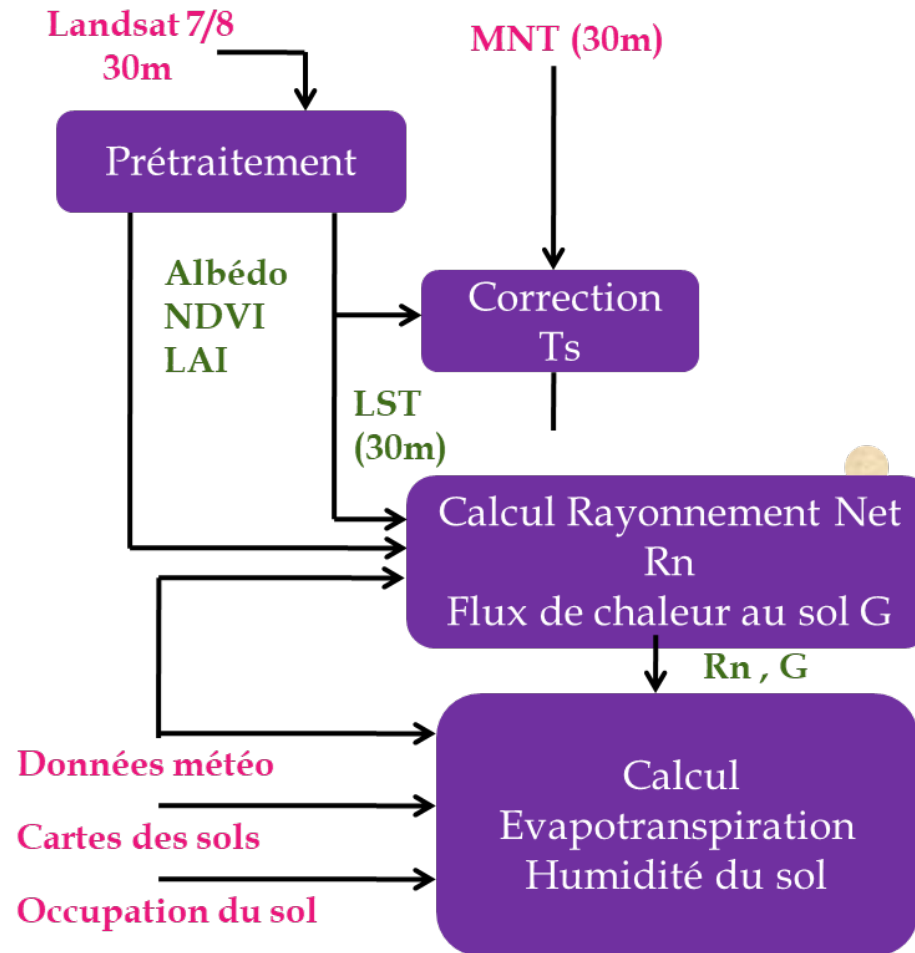
Pluie et Neige



Mesures et observation de terrain

Modélisation agro-hydrologique  
Échange Sol-plante-atmosphère

# Apport de la télédétection dans la cartographie de la sécheresse agricole et l'extraction d'informations sur l'irrigation.



## Stations Météo : Suivi des données climatiques



Les paramètres climatiques suivis sont :

- ❖ La pluviométrie ;
- ❖ La température (minimale, maximale et moyenne) ;
- ❖ l'humidité relative de l'air (minimale, maximale et moyenne) ;
- ❖ le rayonnement solaire ;
- ❖ la vitesse et la direction du vent.

Les mesures sont enregistrées au pas de temps horaire et la valeur de l'évapotranspiration de référence est calculée à l'échelle journalière.

# Suivi des paramètres hydriques du sol

L'humidité du sol est mesurée par la sonde capacitive PR2/6 de marque Delta-T. Six mesures sont simultanément réalisées sur un profil à 6 profondeurs (10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 60cm et 1m)



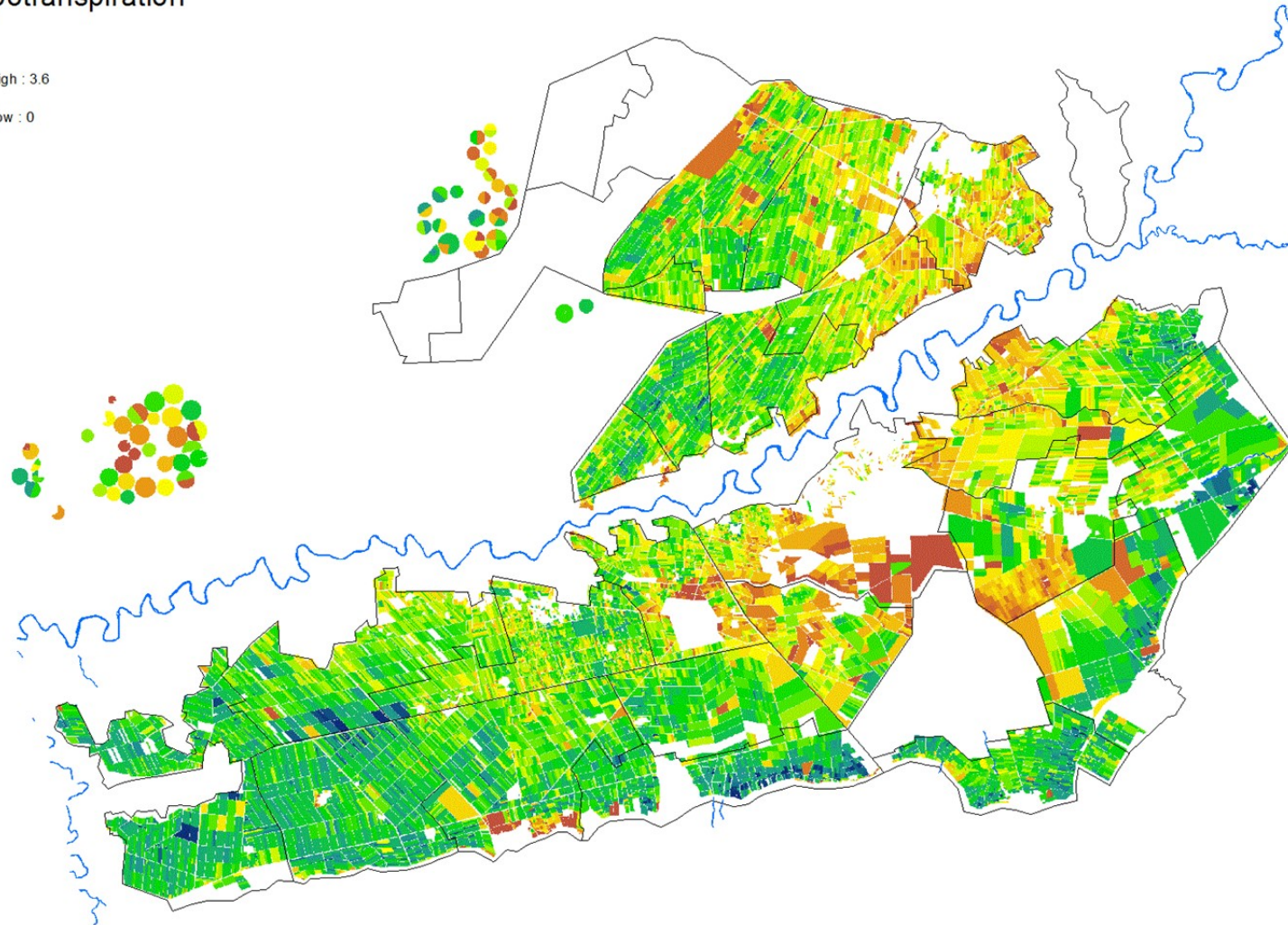
Installation des sondes  
capacitive

# Résultats préliminaires

# La quantité d'eau journalière consommée par les cultures dans chaque parcelle (Février 2022)

Evapotranspiration

mm/j  
High : 3.6  
Low : 0



# Le niveau du « stress hydrique » dans chaque parcelle (Février 2022)

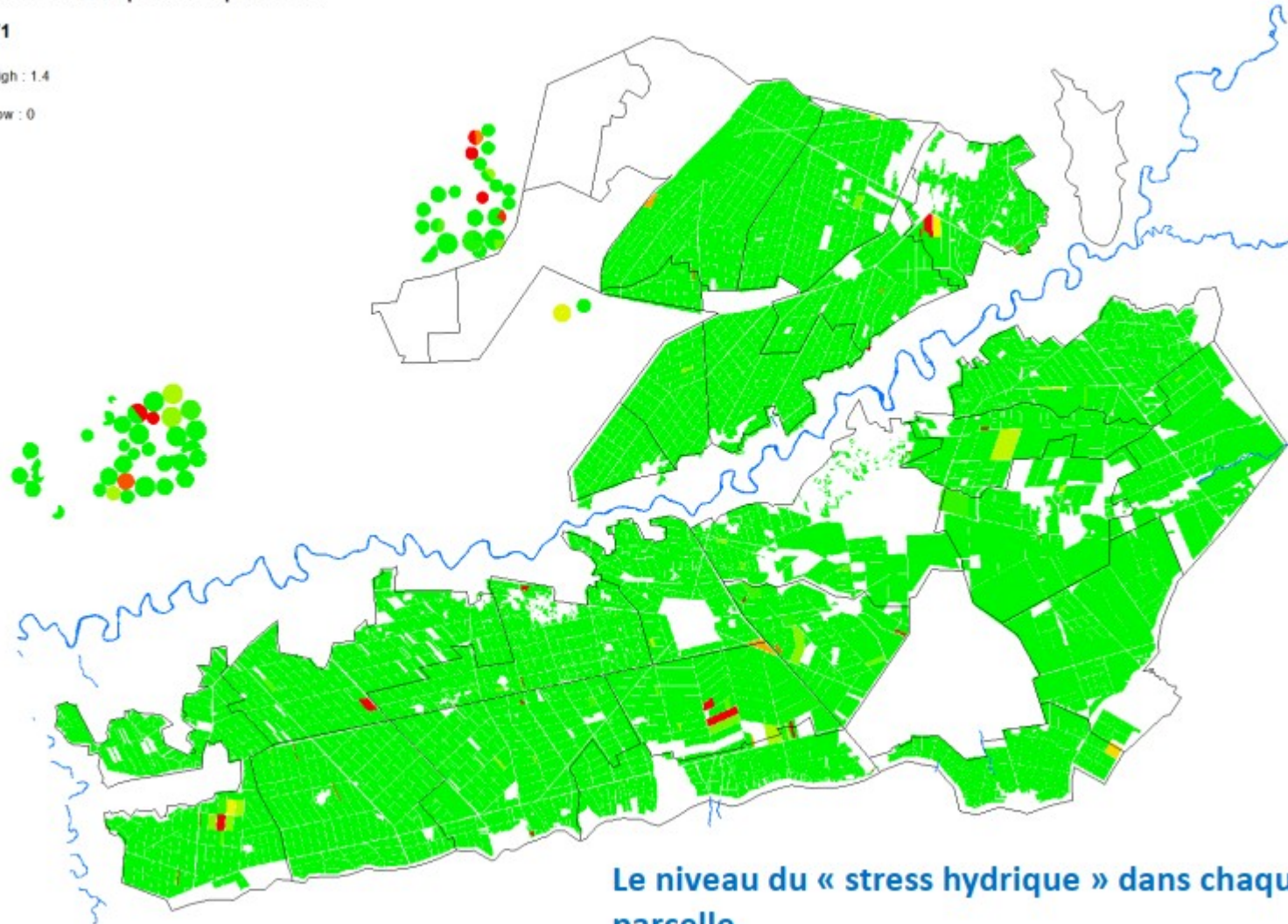
Déficit en Evapotranspiration

DOY171

mm/j

High : 1.4

Low : 0



Le niveau du « stress hydrique » dans chaque parcelle

# Conclusion et perspectives.

- Les résultats présentés sont préliminaires et seront complétés et validés par des mesures et des observations sur le terrain.
- Les résultats issus de traitement des images satellitaires seront utilisés pour alimenter le modèle hydrologique et faire des projections futures afin de prédire l'impact des changements climatiques actuels et futurs sur la disponibilité des ressources en eau et évaluer la vulnérabilité de l'agriculture au changement climatique au égard des ressources en eau disponible

A suivre.....



Merci de votre  
attention