
Téledetection Spatiale et Sécheresse Agricole en Méditerranée

Michel LE PAGE

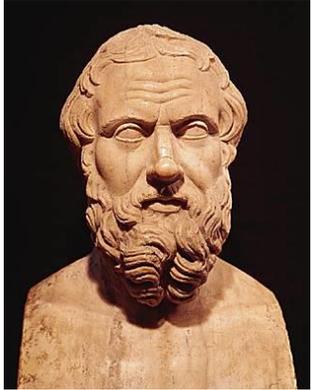
CESBIO



Introduction



La sécheresse, un phénomène qui a toujours existé



Hérodote
~-445 av.
JC

Livre IV - Melpomène

CLI. On fut ensuite sept ans à Théra sans qu'il y plût, et tous les arbres y périrent de sécheresse, excepté un seul.

Livre II - Euterpe

XIII. Ce que les prêtres me racontèrent de ce pays est encore une preuve de ce que j'en ai dit. Sous le roi Moeris, toutes les fois que le fleuve croissait seulement de huit coudées, il arrosait l'Égypte au-dessous de Memphis ; et, dans le temps qu'ils me parlaient ainsi, il n'y avait pas encore neuf cents ans que Moeris était mort : mais maintenant, si le fleuve ne monte pas de seize coudées, ou au moins de quinze, il ne se répand point sur les terres. Si ce pays continue à s'élever dans la même proportion, et à recevoir de nouveaux accroissements, comme il a fait par le passé, le Nil ne le couvrant plus de ses eaux, il me semble que les Égyptiens qui sont au-dessous du lac Moeris, ceux qui habitent les autres contrées, et surtout ce qu'on appelle le Delta, ne cesseront d'éprouver dans la suite le même sort dont ils prétendent que les Grecs sont un jour menacés ; car, ayant appris que toute la Grèce est arrosée par les pluies, et non par les inondations des rivières, comme leur pays, ils dirent que si les Grecs étaient un jour frustrés de leurs espérances, ils courraient risque de périr misérablement de faim. Ils voulaient faire entendre par là que si, au lieu de pleuvoir en Grèce, il survenait une sécheresse, ils mourraient de faim, parce qu'ils n'ont d'autre ressource que l'eau du ciel.

Livre IX – Calliope

La Grèce étant affligée d'une grande sécheresse, la Pythie répondit à ses députés qu'il fallait apaiser Jupiter, et employer à cet effet la médiation d'Éacus. On envoya de toutes les villes des députés à ce prince, qui fit des sacrifices et des prières à Jupiter Panhellénien (commun à toute la Grèce), et l'on eut de la pluie.

Un phénomène qui s'imprime dans la durée

Un phénomène différencié spatialement

Un phénomène qui demande des actes

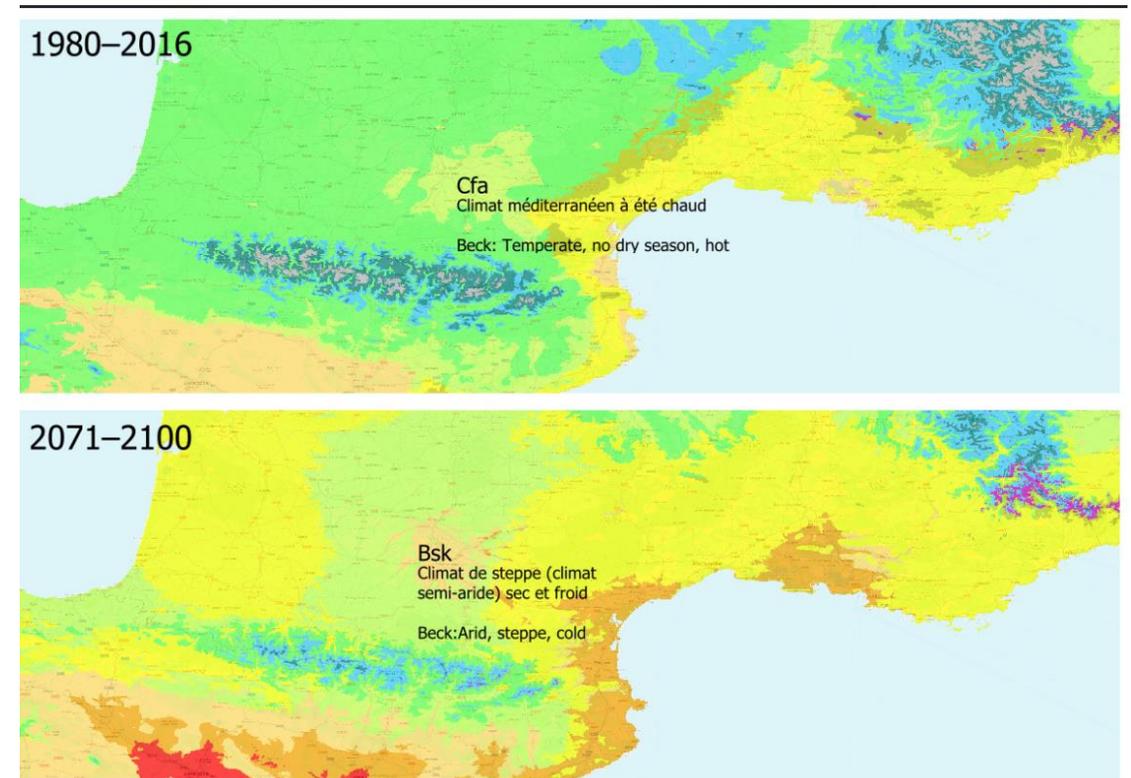
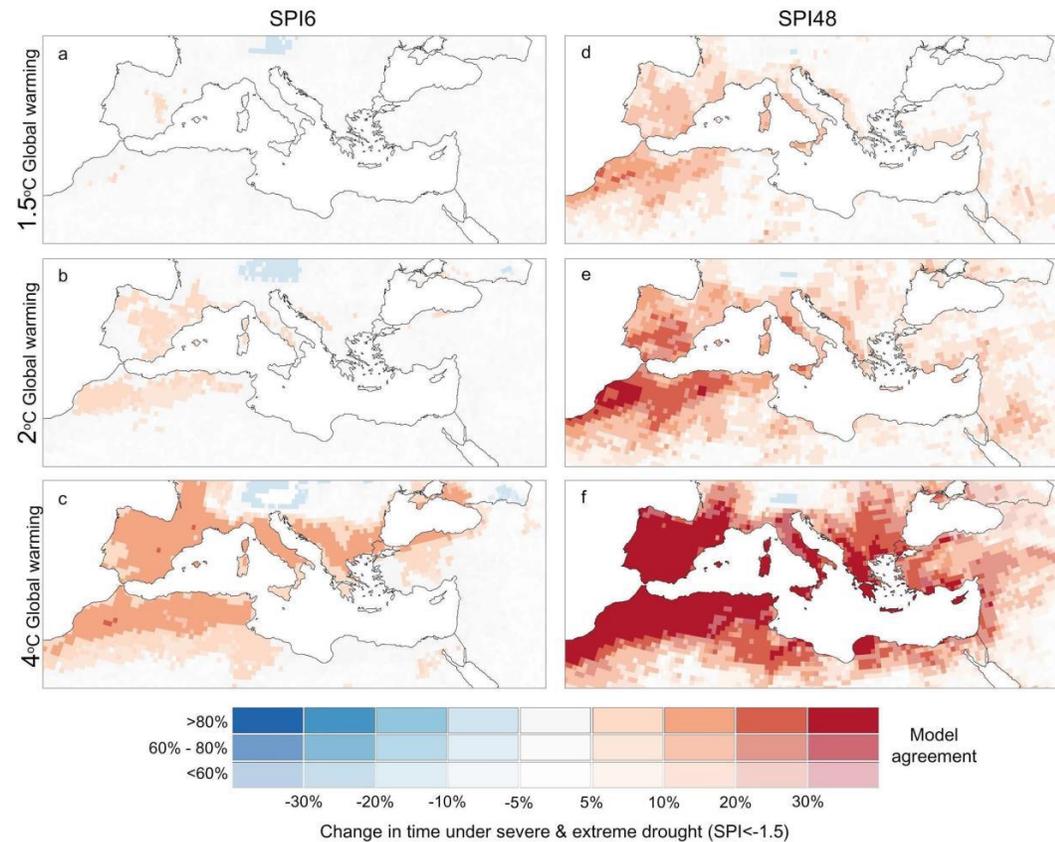
Palmer, 1965: Une définition scientifique de la sécheresse

- **“Une période prolongée et anormale de déficit d’humidité”.**
 - La sécheresse fait partie de la variabilité climatique.
 - La sécheresse est un état anormal, qui dévie de la moyenne.
 - La sécheresse n’est pas un état permanent (aridité)
 - La sécheresse n’est pas un état court (stress hydrique)

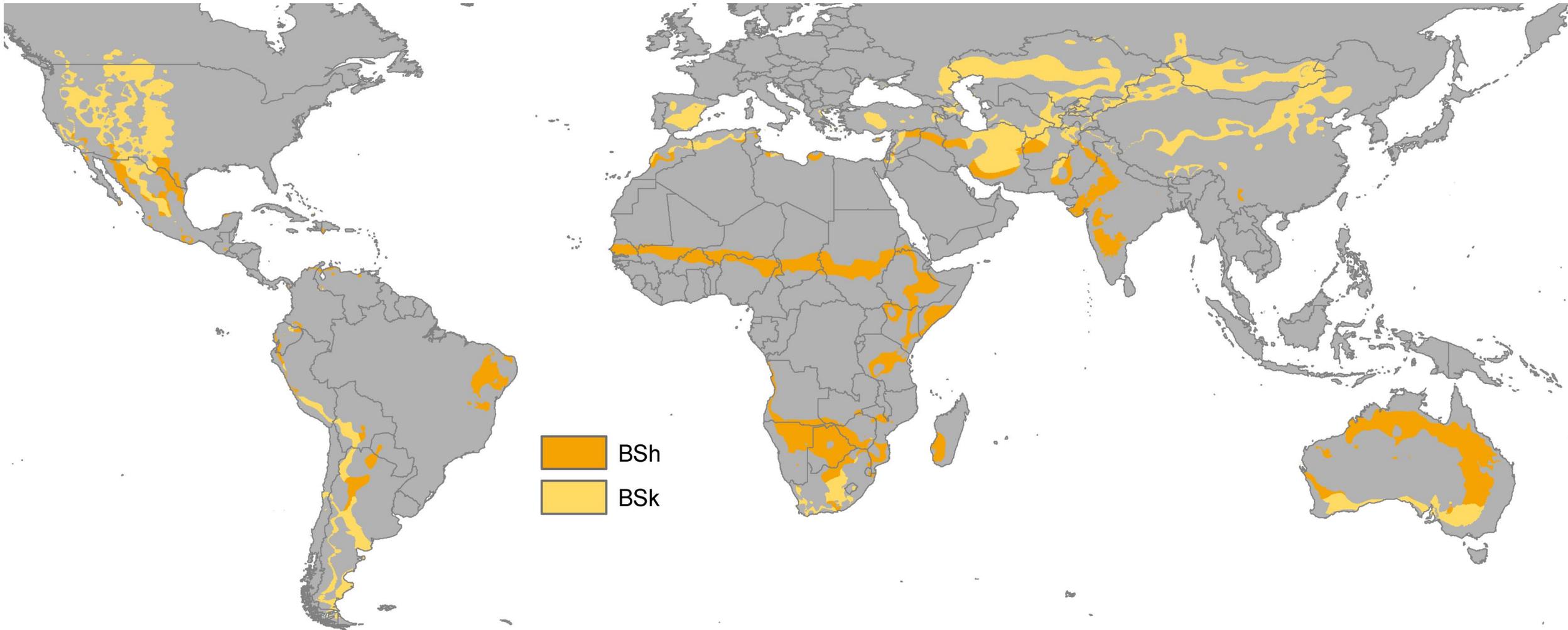
Vers plus de sécheresse... et d'aridité

Avec des précipitations relativement faibles et irrégulières en Méditerranée, et avec une tendance décroissante, on s'attend à des sécheresses plus intenses et plus longues dans le futur

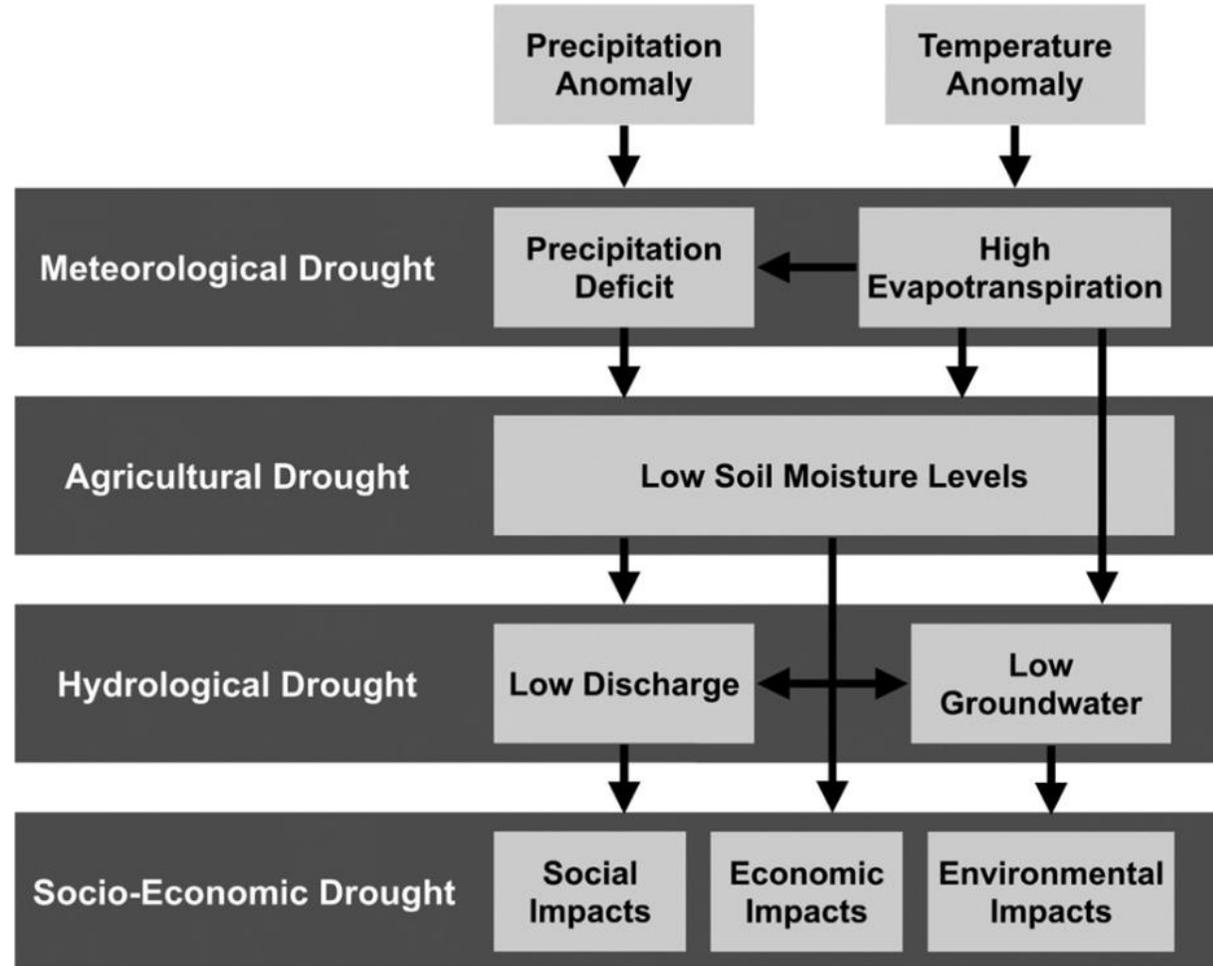
La classification de Köppen du climat de **Toulouse** passera de **Cfa** (Tempéré, pas de saison sèche, été chaud) à **Bsk** (Climat semi-aride) à la fin du siècle.



Vers plus de sécheresse... et d'aridité

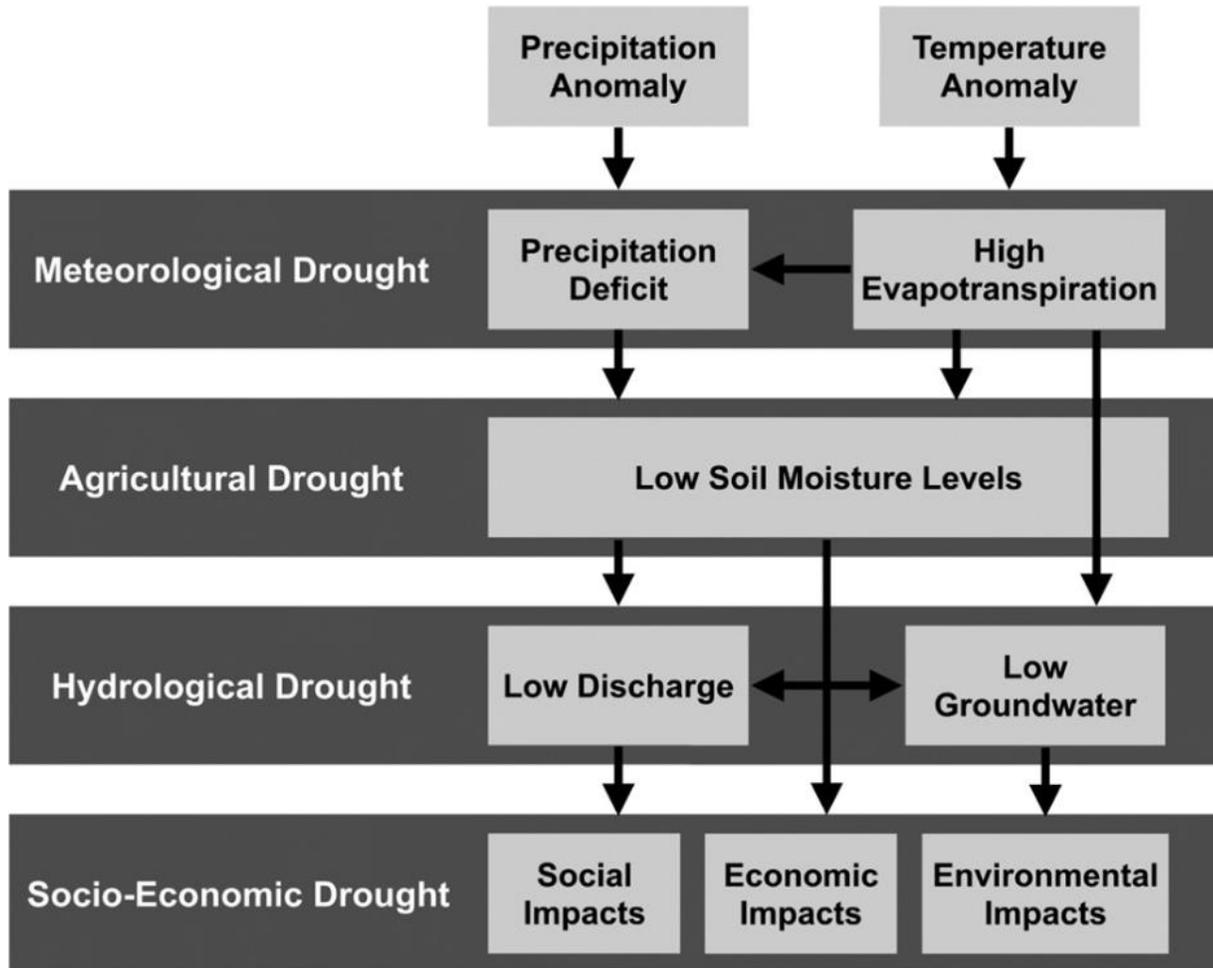


Mécanismes de la sécheresse et propagation



Source: West et al., RSE 2019

Mécanismes de la sécheresse et propagation



Source: West et al., RSE 2019

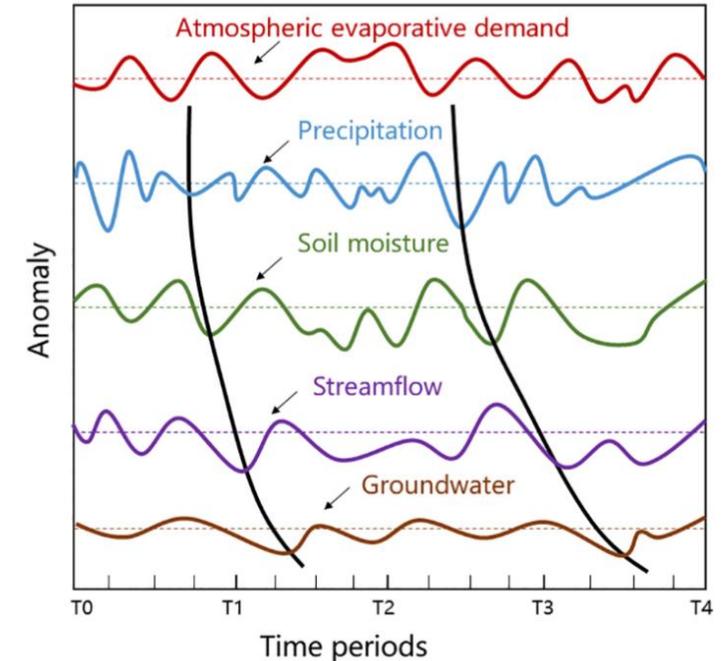
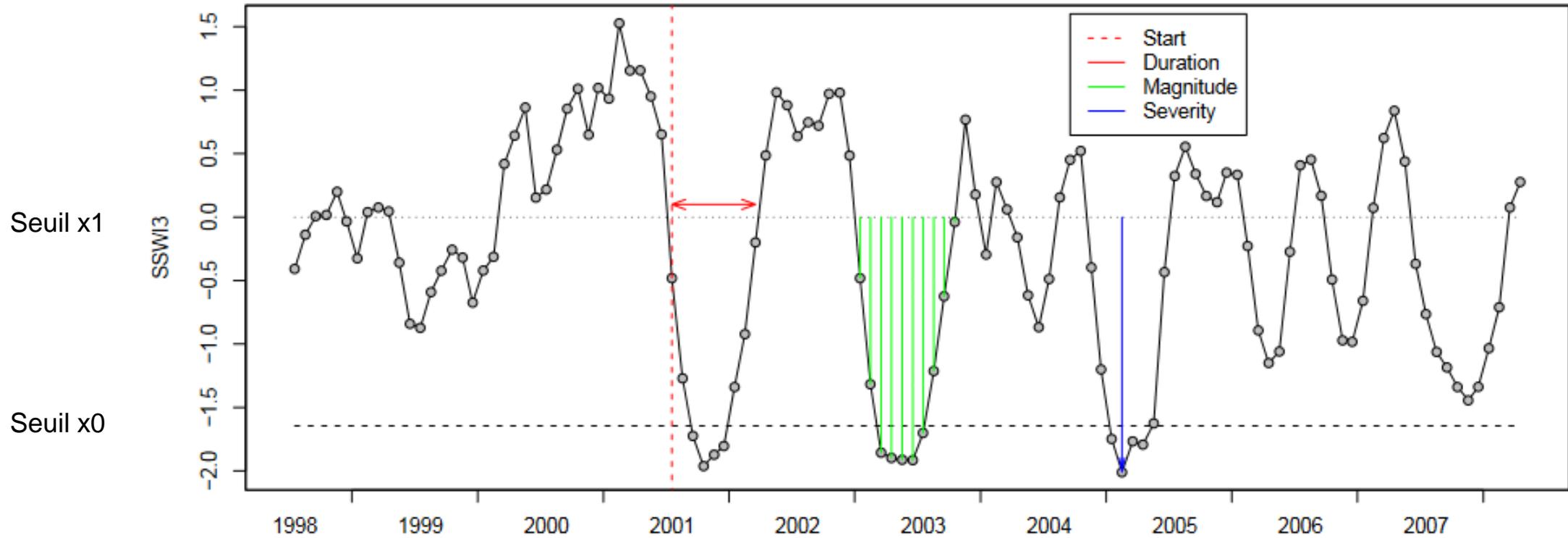


Fig. 1. Illustration of drought propagation from precipitation deficits (meteorological drought), which may be accompanied by increased atmospheric evaporative demand (AED), to soil moisture deficits (agricultural drought), low streamflow, or groundwater level (hydrological drought). Revised based on (Changnon, 1987).

Zhang et al., 2022

Caractérisation de la sécheresse

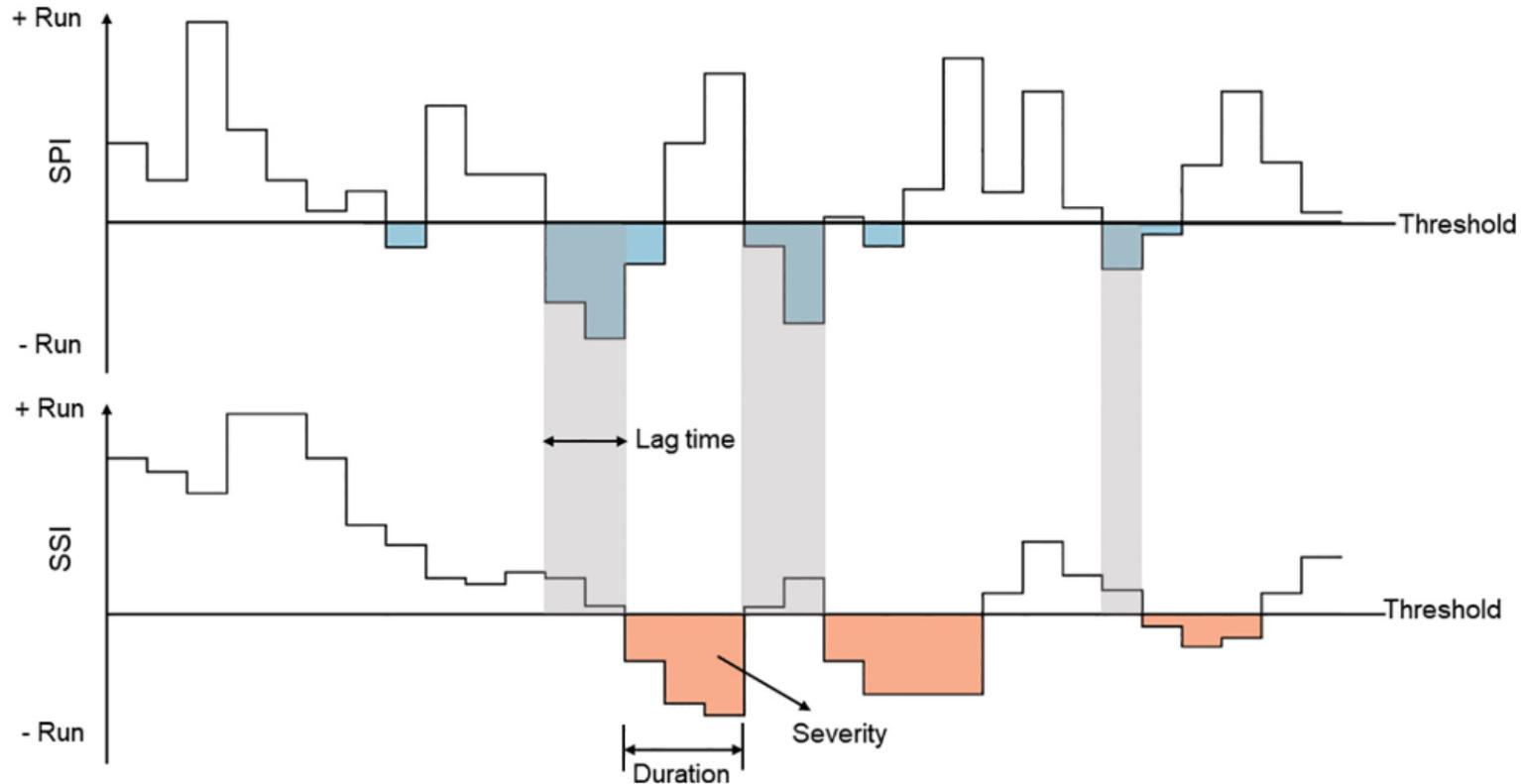
Run-Length theory (Yevchevich, 1967)



Source: Vidal et al., HESS 2010

Caractérisation de la sécheresse

Délai (lag) entre indicateurs

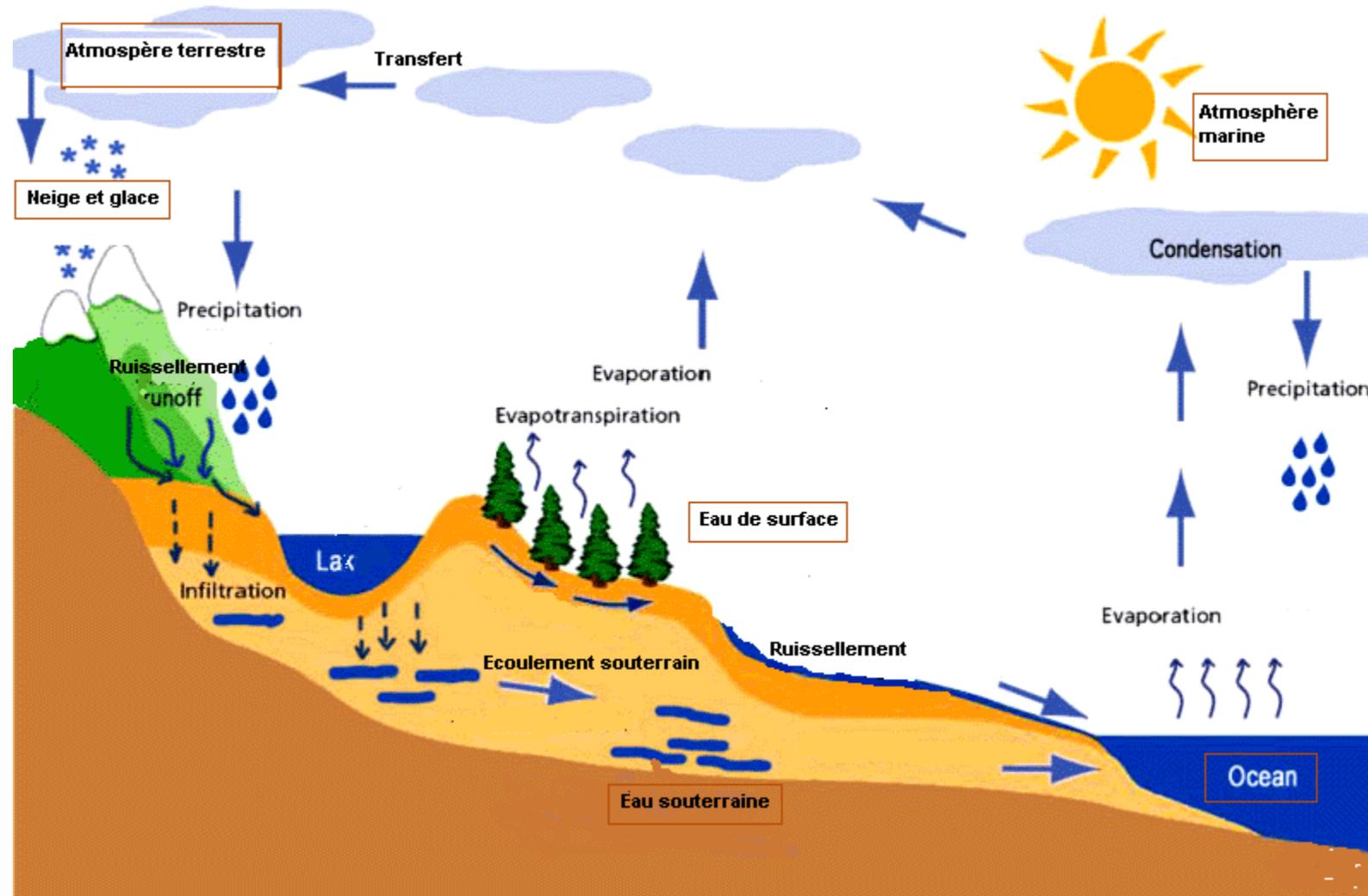


Source: Zhang et al., STE 2022

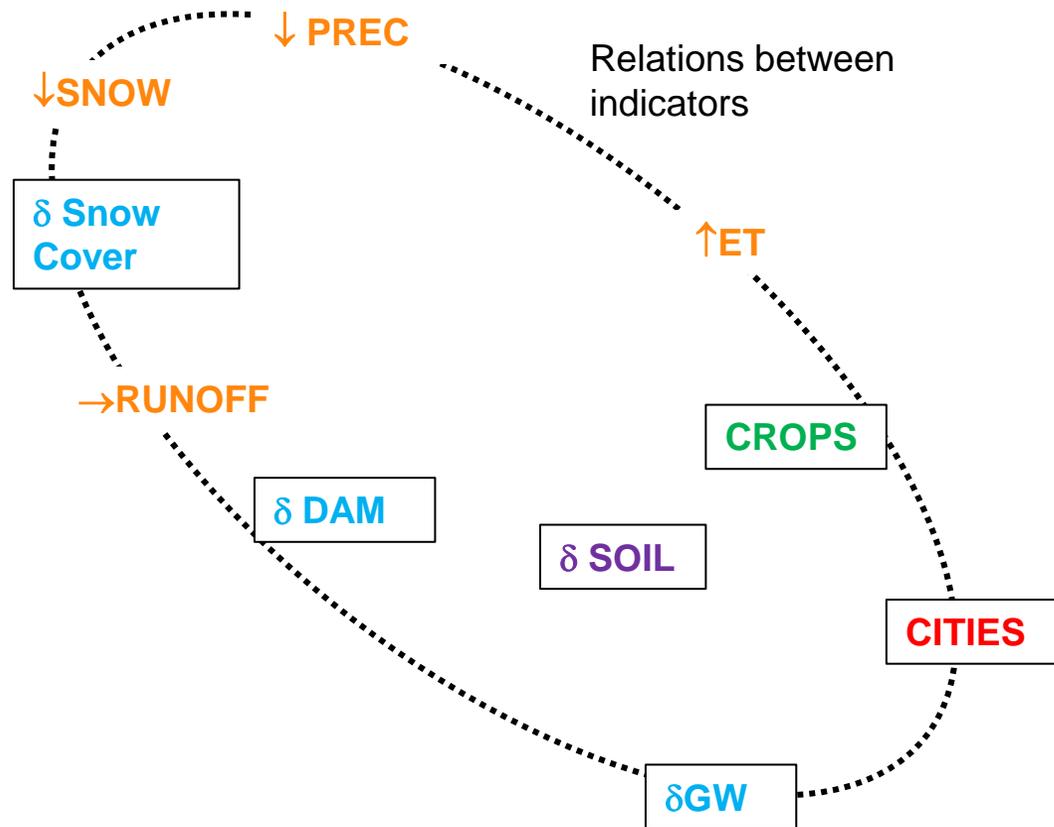
Cycle de l'Eau et Observation Satellite



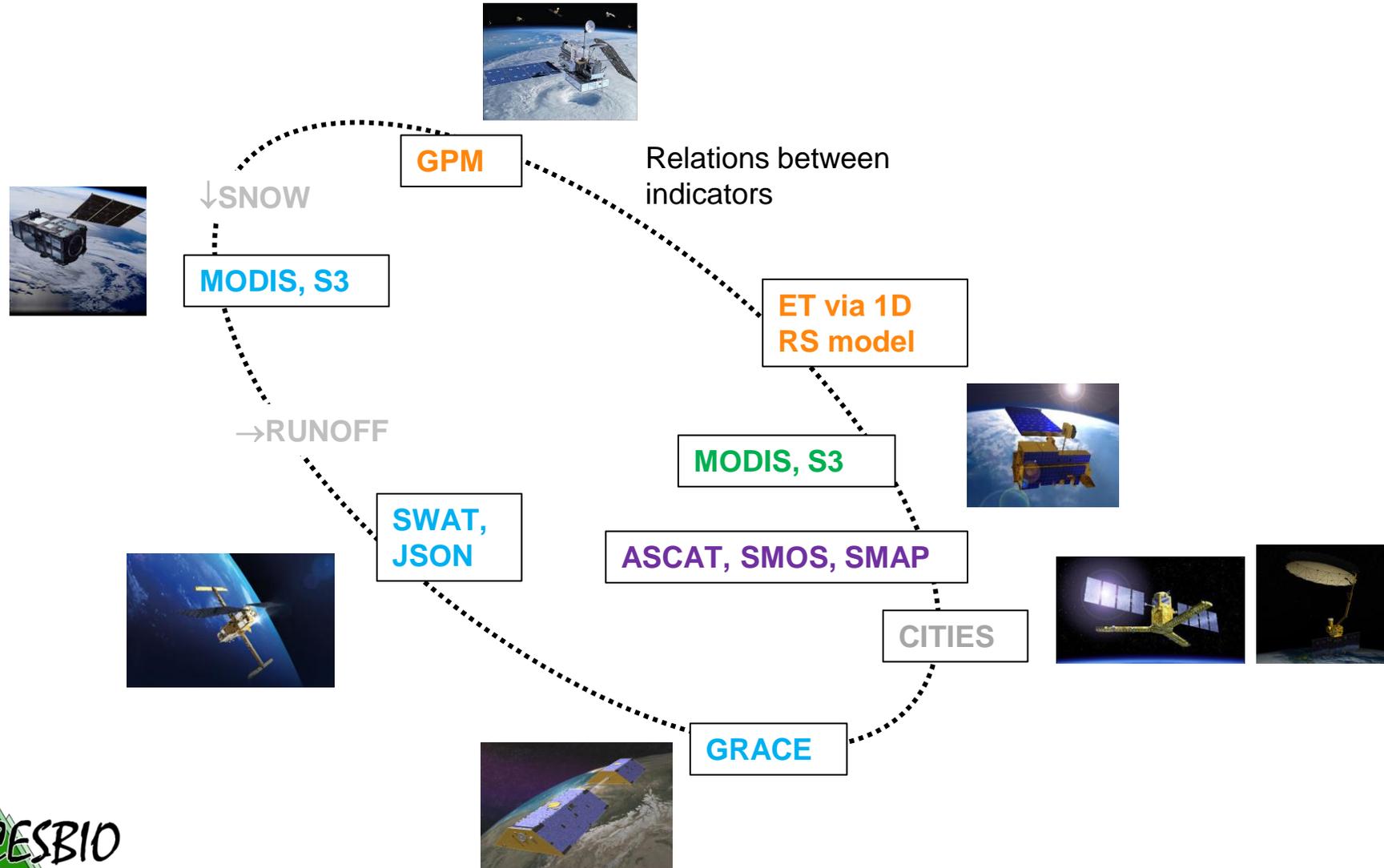
Cycle de l'eau



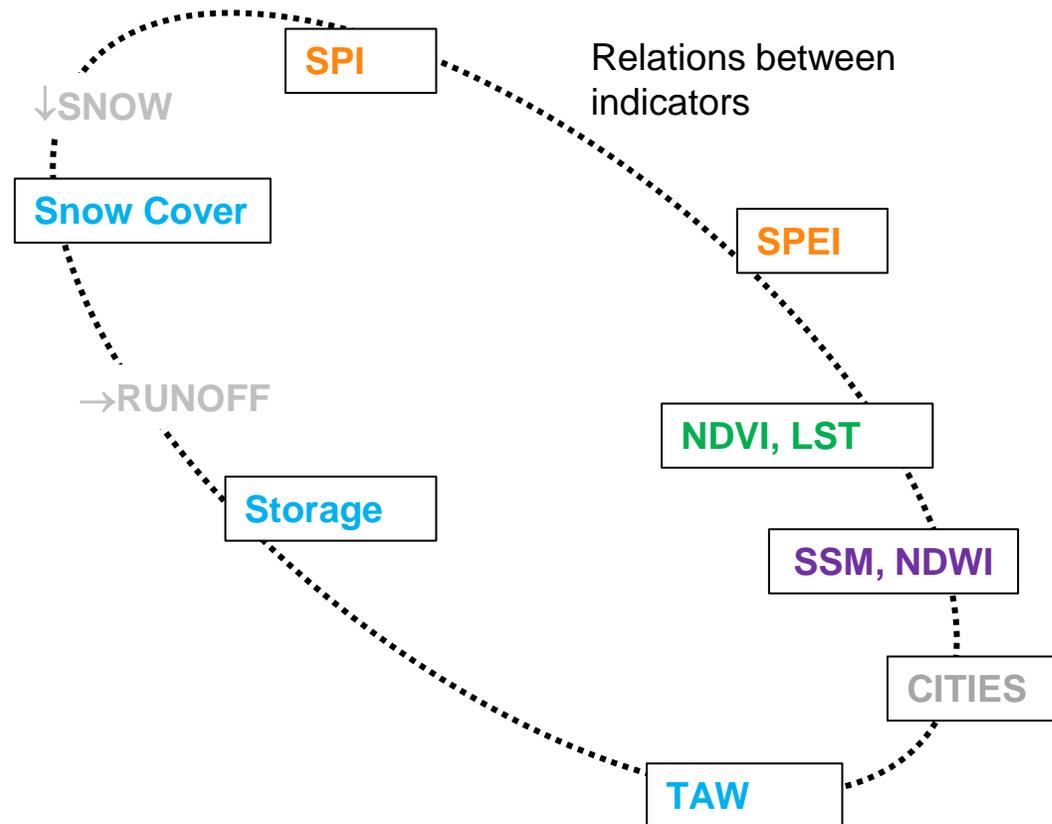
Approche Data



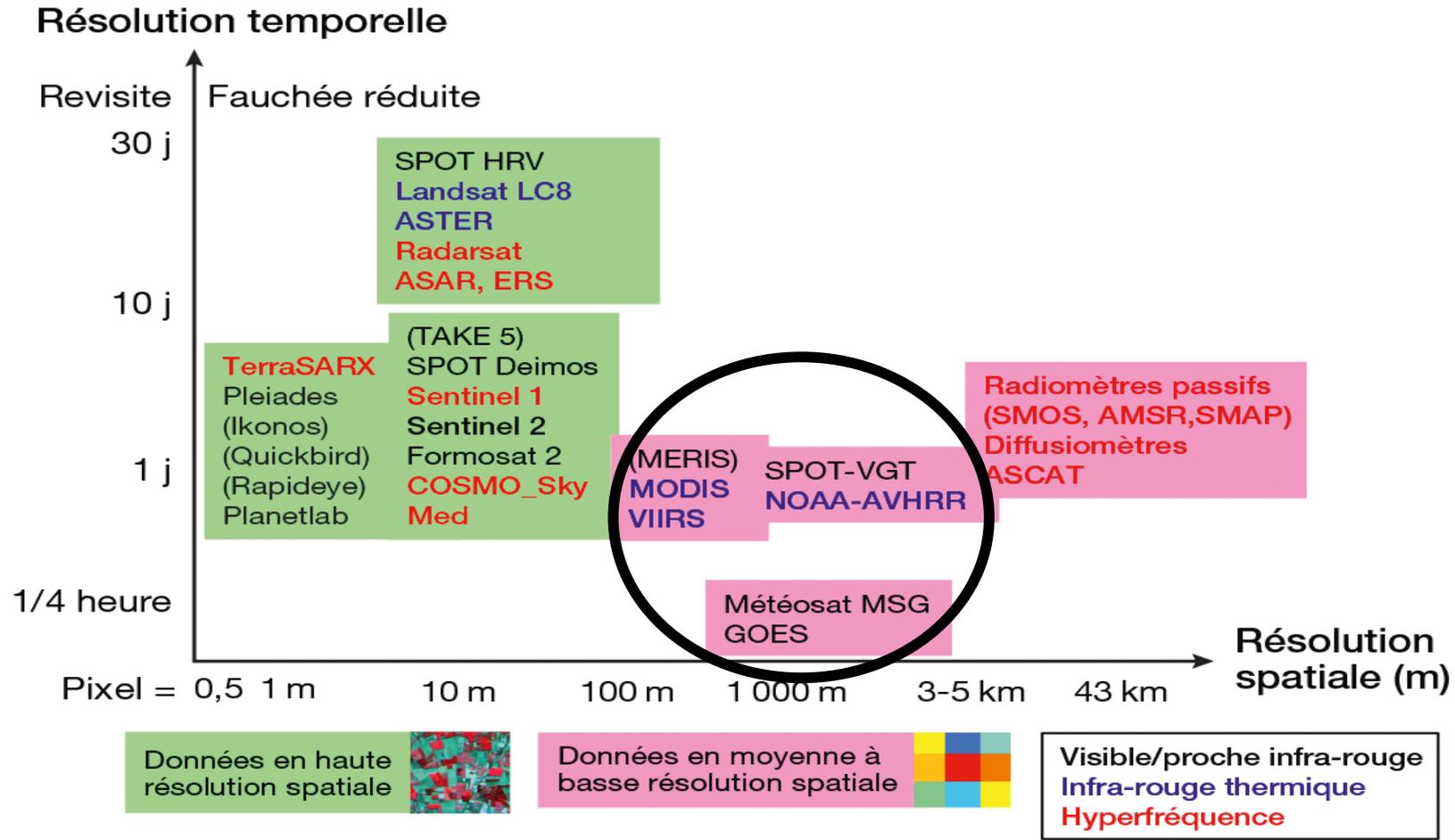
Approche Data et Observations Satellites



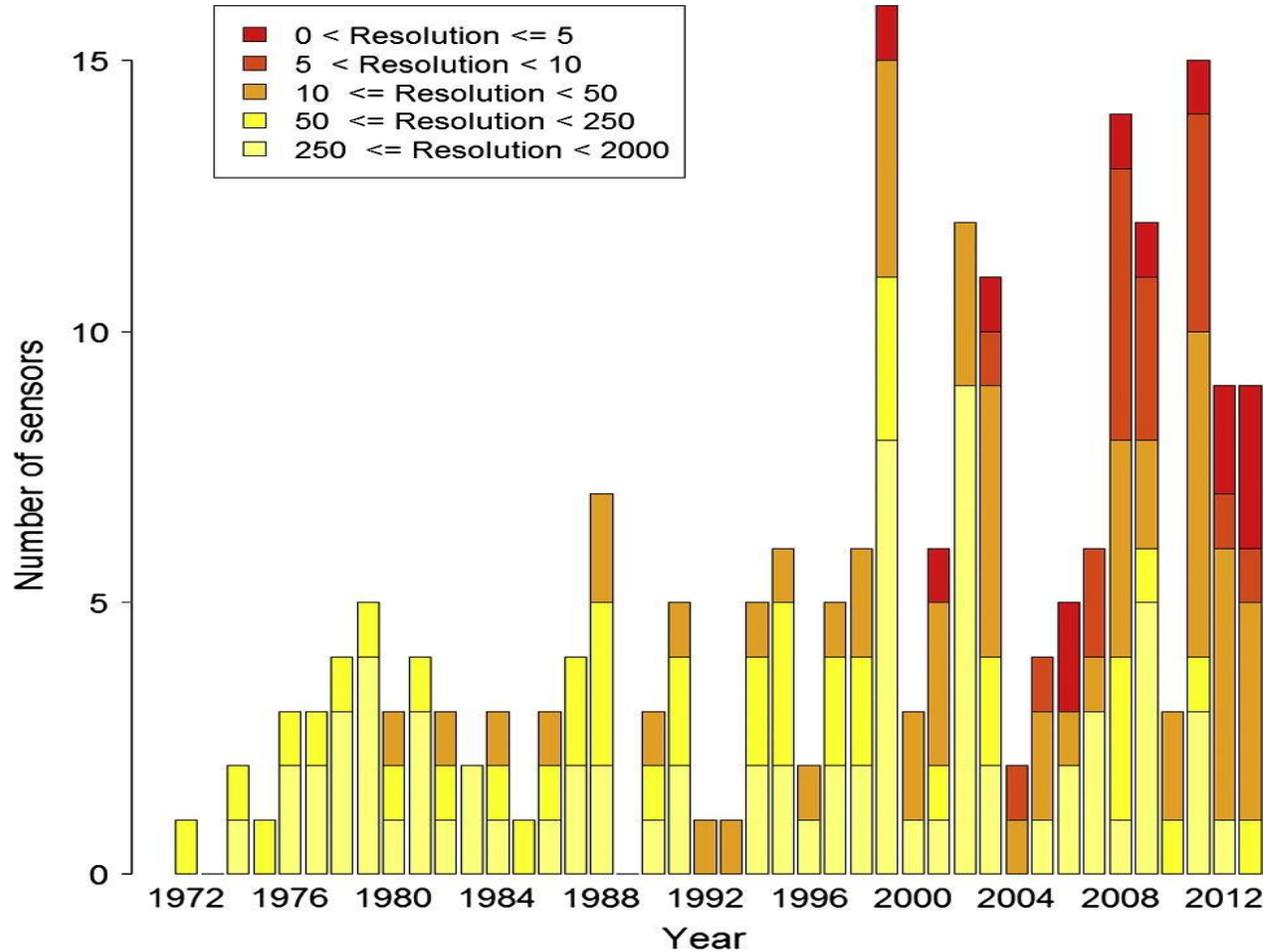
Approche Data et indicateurs dérivé de l'obs. satellite



1^{ère} difficulté: Les résolutions spatiales, temporelles et spectrales



2nd difficulté: La profondeur temporelle



Exemples d'application de la télédétection spatiale pour l'évaluation de la sécheresse autour de la Méditerranée

Indicateurs

Indicateurs d'état

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

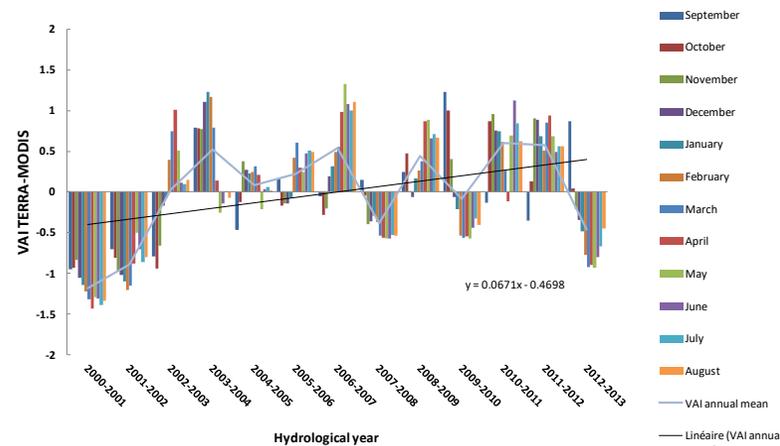
$$SWI(t) = \frac{\sum_i m_s(t_i) e^{-(t-t_i)/T}}{\sum_i e^{-(t-t_i)/T}}$$

Anomalies

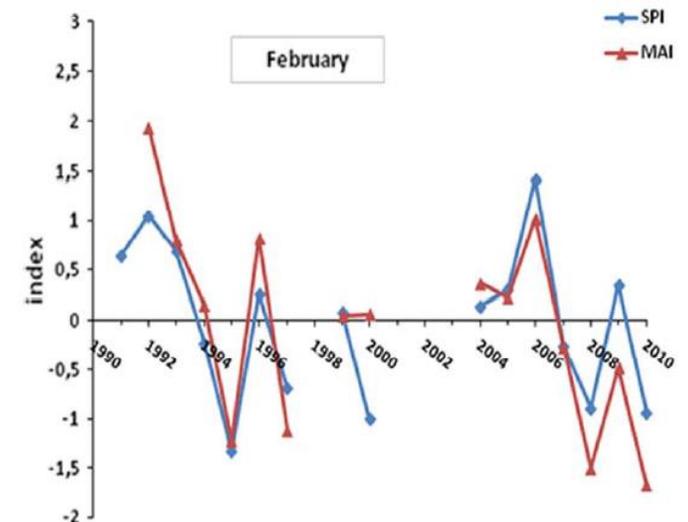
$$VAI = \frac{NDVI - NDVI_{mean}}{\sigma}$$

$$MAI = \frac{SWI - SWI_{mean}}{\sigma}$$

Anomalie VAI en sur la base du capteur MODIS. Tunisie (**Zribi et al, 2016**).



La comparaison de l'indice MAI dérivé des satellites ASCAT et ERS avec l'indice SPI calculé à partir de données météo montre une bonne correspondance dans la région de Kairouan en Tunisie (**Amri et al., 2012**)



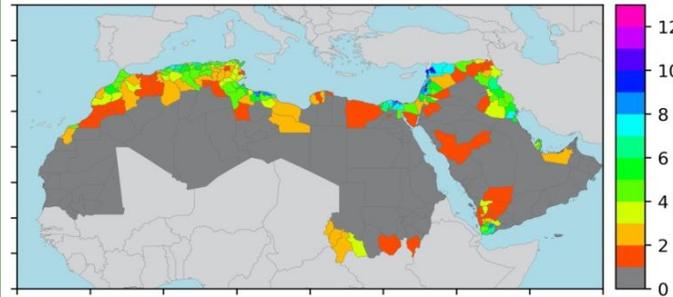
Combinaison d'observations

Najem et al. (2019) ont utilisé les données TRMM pour calculer l'indicateur SPI (Standardized Precipitation Index) et les données ESA CCI SM pour l'indicateur SMI (Standardized Soil Moisture Index). Il ont ainsi montré les complémentarités des informations obtenues par différents indicateurs.

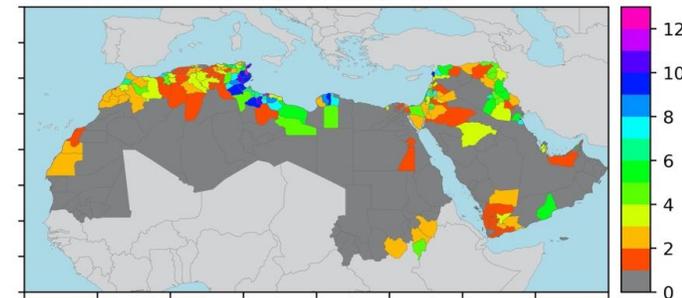
Dans l'Atlas marocain, **Skhiri et al, (2019)** ont montré que le déficit pluviométrique (SPI6) est fortement corrélé avec un déficit de végétation (VAI). Les sécheresses identifiées en 1993-94 et 2000-2001 ont un fort impact sur l'aquifère du Haouz sollicité pour l'irrigation.

SPI vs SMI

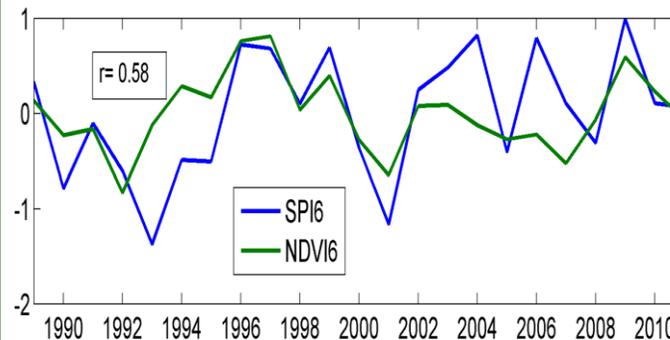
count for SPI < -1.5 from TRMM 2008-2017



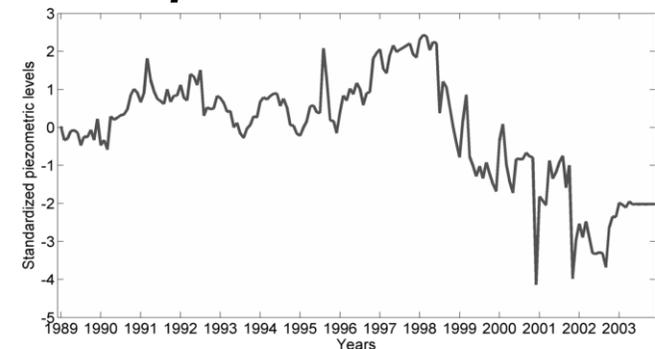
count for SMI < -1.5 from ESA 2008-2017



SPI vs NDVI

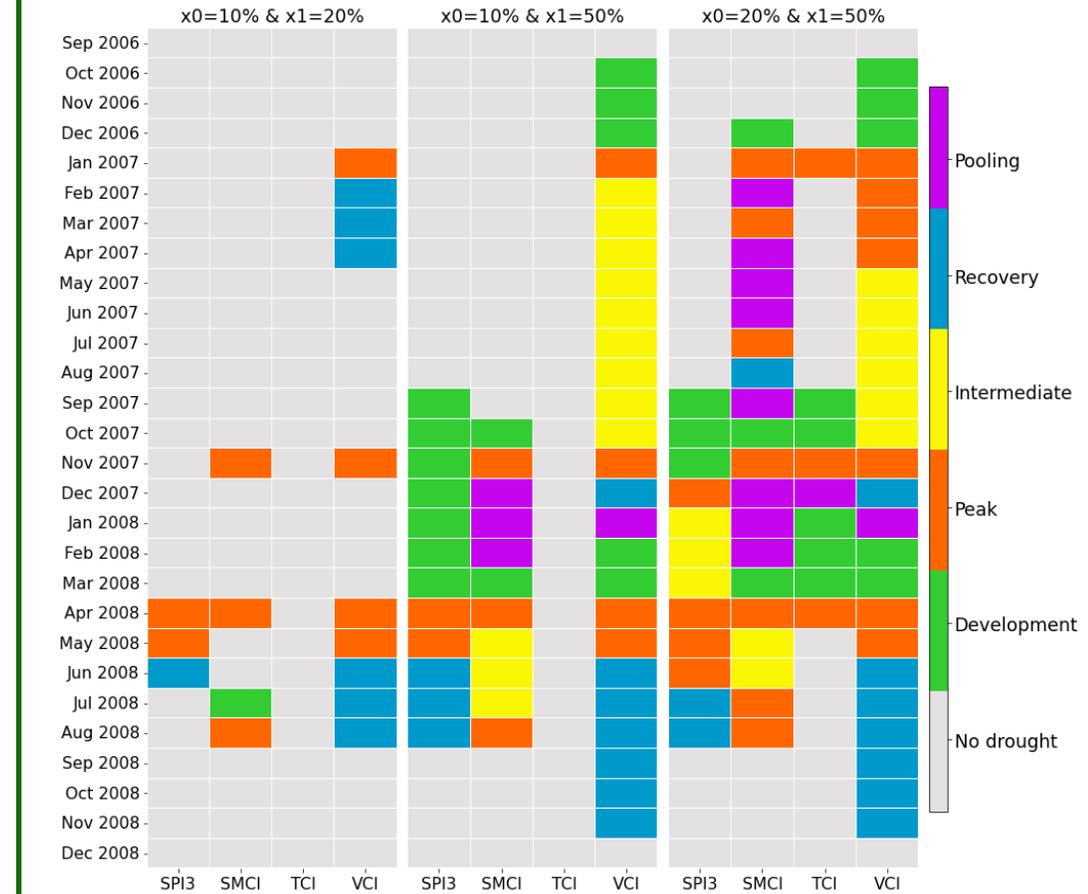
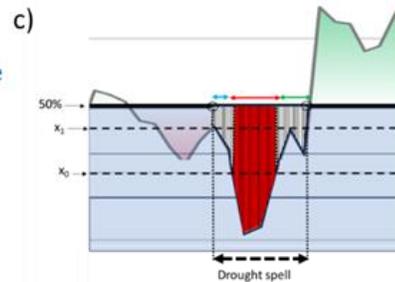
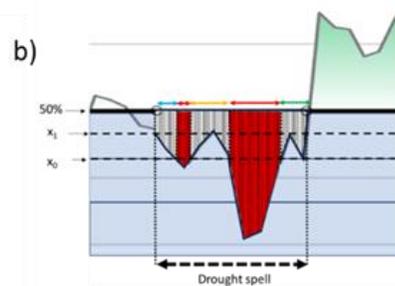
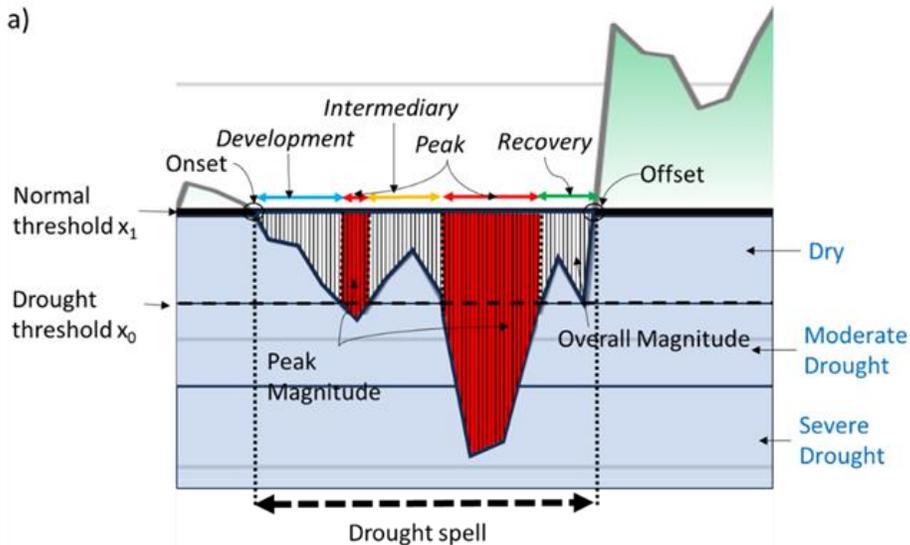
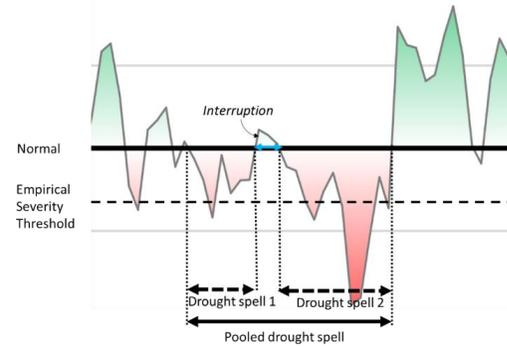


Aquifère



Début et Fin de la période de sécheresse

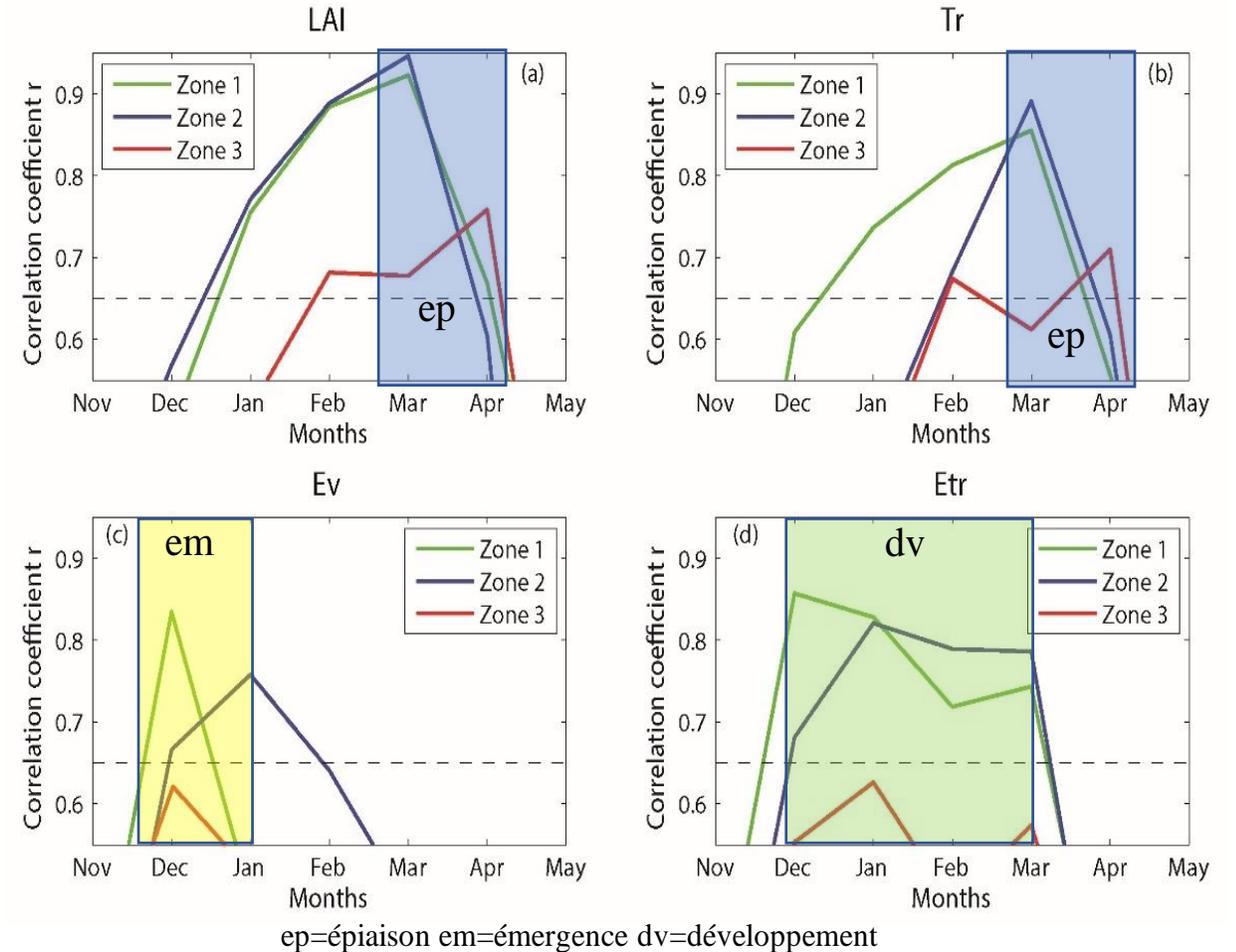
Oukaddour et al. (2023) ont proposé une approche modifiée pour identifier le début et la fin d'une période de sécheresse, en combinant quatre indicateurs de télédétection.



Rendement céréalier et indicateurs de sécheresse

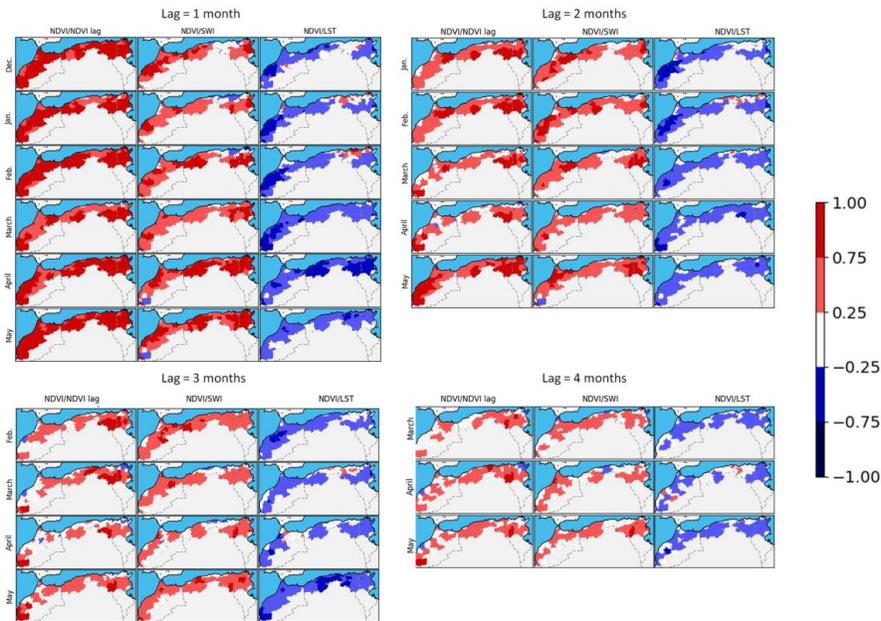
Dans une étude réalisée au Maroc (**Bouras et al. 2020**), la sécheresse est évaluée au moyen d'indices classiques dérivés de données de télédétection et des résultats d'un système d'**assimilation de données dans un modèle de surface**.

La **corrélation entre le rendement céréalier** et les indicateurs varie au cours de la saison agricole. En début de saison, la corrélation avec l'évaporation est importante. Lors du développement, c'est l'évapotranspiration qui l'emporte, alors qu'en fin de saison, c'est la relation avec le LAI et la température de surface qui est la plus forte.

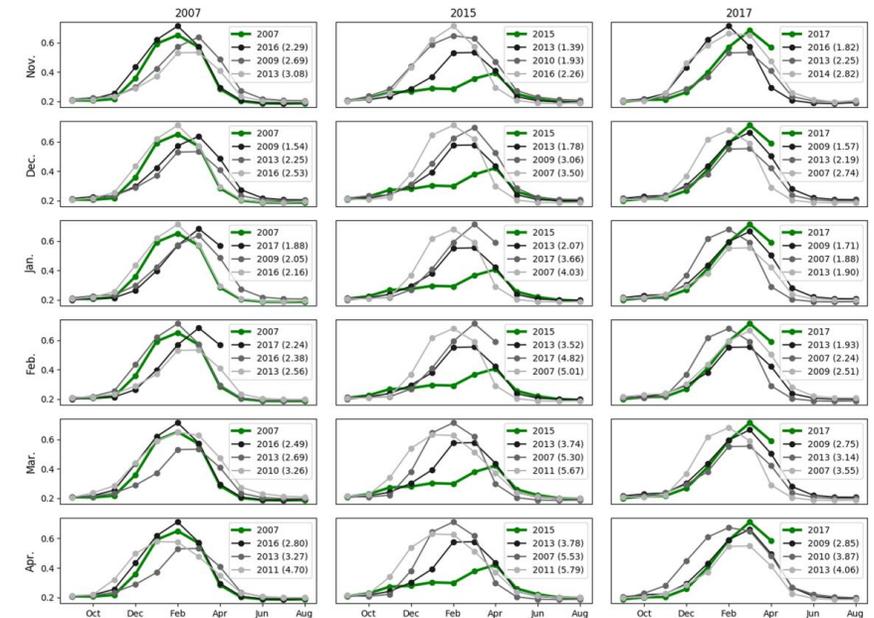


Anticipation par trajectoires analogues des indicateurs

Dans une étude réalisée sur le nord-ouest de l'Afrique, **Le Page et Zribi (2019)** ont montré que la corrélation temporelle entre indicateurs de sécheresse dérivés de la télédétection persiste pour une durée qui peut aller jusqu'à 4 mois.



Une approche par recherches de **trajectoires analogues** dans les séries temporelles existantes d'indicateurs de sécheresse permet d'identifier la future trajectoire la plus probable avec deux à trois mois d'anticipation.



Une application en ligne

Les applications MEDI (Mediterranean Drought Index) et FREDI (France Drought Index) reprennent une parties de ces éléments dans une interface qui permet d'explorer les dimensions spatiales et temporelle de la sécheresse.

Les sources de données qui sont actuellement exploitées sont le NDVI (MODIS 2000-2020) et le SWI (ASCAT 2007-2020).

<https://www.sedoo.fr/medi>

<https://www.sedoo.fr/fredi>



Merci de votre attention

