



République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des sciences de la terre et de l'univers

Département géographie et aménagement du territoire

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

En : hydrologie, climatologie et territoire



Intitulé :

Monitoring de la sécheresse et leur variabilité spatiale  
dans un contexte agricole le cas de la plaine de MEKKERA

SIDI BEL ABES

Présenté par : BOUDJEMAA Lilia

Devant le jury composé de :

Président	Mme. GOURINE. F	Univ-Oran 2
Examineur	Mme. SENHADJI. H	Univ-Oran 2
Encadreur	Mme. AIT MENGUELLET. Z	Univ-Oran 2
Co-encadreur	MR djamel mansour	CTS arzew

Année universitaire 2020-2021

# *Remerciements*

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie Mme AIT MENGUELLET et MR DJAMEL MANSOUR ils m ont guidé dans mon travail et ils m'ont aidé à trouver des solutions pour avancer.

Je souhaite particulièrement remercier Mme GOURINE et MME SANHADJI pour son aide précieuse à la relecture et à la correction de mon mémoire.

# *Dédicaces*

A mes frères, mes grands-parents et Ceux qui  
ont partagé avec moi tous les moments  
d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

Ils m'ont chaleureusement supporté et  
encouragé tout au long de mon parcours. A ma  
famille, mes proches et à ceux qui me donnent  
de l'amour et de la vivacité

<b>Table des matières</b>	Introduction Générale.....	
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude .....		10
I.1 Introduction : .....		10
I.2 Situation géographique (figure 01) .....		10
LA PLAINE DE MEKKERA .....		11
I.3 Topographie de la zone : ( figure 02) .....		11
I.3.1. Les zone de montagnes : .....		11
I.3.2 Les zones de plaine : .....		11
I.3.3 Les zone de steppe : .....		11
I.4 Climat de la zone d'étude : .....		12
I.5 Hydrographie : (figure 3) .....		13
I.6 Occupation du sol.....		14
CHAPITRE 2 : le phénomène de la secheresse .....		12
II.1. Définition:.....		12
II.2. Type de la sécheresse .....		12
II.2.1. Sécheresses météorologiques .....		12
II.2.2. Sécheresses agricoles.....		12
I.2.3. Sécheresses hydrologiques .....		13
I.2.4. Sécheresse socio-économique.....		13
II.3 Les impacts de la sécheresse : .....		15
II.4. Prévision de la sécheresse .....		16
II.5. Analyse des caractéristiques de la sécheresse : .....		18
II.6 DÉFINITIONS INDICATEURS ET INDICES .....		20
II.6.1 CHOIX DES INDICATEURS ET INDICES.....		21
II.7 SOMMAIRE DES INDICATEURS ET INDICES : .....		23

Chapitre III : Méthodes d'investigations.....	28
III.1 Introduction .....	28
III.2 L'indice DE SPI (Standardized Precipitation Index) .....	28
III.2.1 L'interprétation du SPI : .....	29
III.2.2 Méthode de calcul .....	30
III.3 LA METHODE de THORNTHWAITE .....	33
III.4.1 Aquisition des données.....	38
De JPG EN TIFF .....	39
III.4.2 Assemblage des données.....	39
III.4.3 EXTRACTION DE ZONE D'ETUDE : .....	40
III.4.4 Application des indices .....	40
III.4.4.1 L'INDICE NDVI :.....	40
Interprétation de la bande de l'indice de végétation :.....	43
III.4.4.2 L'indice de teneur en eau par différence normalisée (NDWI).....	47
III.4.4.3 L'indice VCI:.....	50
CONCLUSION :.....	

## Introduction Générale

La sécheresse définit l'état d'un environnement confronté à un manque d'eau significativement long et important pour qu'il ait des impacts sur la flore (naturelle ou cultivée), la faune (sauvage ou d'élevage) et les sociétés. Sécheresse ne doit pas être confondue avec aridité. Une région aride peut connaître des épisodes de sécheresse.

La sécheresse est un phénomène naturel. Il fait partie de la dynamique et de l'évolution du climat. Cette notion est relative, mais sa principale caractéristique est la décroissance des disponibilités des ressources en eau, à cause de manque de pluie pendant la période humide.

Le déficit hydrique est une situation naturelle du point de vue de la variabilité climatique mais, selon certains climatologues, certaines situations de déficit hydrique sont amplifiées (durée, extension spatiale, intensité) par l'émission humaine de gaz à effet de serre.

Il fait suite à un déficit pluviométrique, sur de longues périodes durant lesquelles les précipitations sont anormalement faibles ou insuffisantes pour maintenir l'humidité du sol et l'hygrométrie normale de l'air.

Il peut être aggravé ou expliqué par des pompages, une baisse du niveau de la nappe phréatique, l'érosion et la dégradation des sols (l'humus favorise la rétention de l'eau) et cause une désertification accélérée d'origine anthropique et une augmentation de l'évapotranspiration induite par des plantations consommatrices d'eau (peupliers, maïs).

La sécheresse n'est donc pas qu'un phénomène physique ou climatique objectif. C'est aussi une notion relative qui reflète l'écart entre la disponibilité de l'eau et la demande en eau de l'homme (agriculture, abreuvement du bétail – industrielles, domestiques de l'eau – hygiène, alimentation, lavage) et dont certains usages d'une nécessité secondaire (piscine, arrosage des gazons, lavage de voiture – , etc.). Ceci rend toute définition de la sécheresse relative au contexte géopolitique et sociologique.

L'état « normal » de disponibilité de l'eau change selon les zones biogéographiques et les besoins réels ou ressentis des individus et des sociétés.

Elle entraîne de graves déséquilibres hydrologiques du fonctionnement d'un bassin versant.

En fonction de sa durée elle se propage par son intensité dans le temps et dans l'espace (Chloé , 2013).

Les sécheresses, qui sont des périodes prolongées de déficits des précipitations entraînant des dommages importants pour les cultures et une perte de rendement conséquente, font partie des aléas climatiques les plus catastrophiques en termes de pertes économiques et sociales à court et à long terme pour des millions de personnes dans le monde. D'après la FAO (2015), les dégâts et les pertes dus à la sécheresse sur l'ensemble des catastrophes naturelles sont de plus de 15%. A elles seules, les sécheresses représentent 85,8% des pertes de bétail.

Une seule année de sécheresse peut retarder des années de développement social. La pénurie d'eau à elle seule pourrait coûter à certaines régions jusqu'à six pour cent de leur PIB d'ici 2050, déclenchant à leur tour une migration de masse et des conflits liés à la diminution des ressources » ( Banque Mondiale, 2017) .

Les conséquences les plus graves sociales de la sécheresse sont, cependant, constaté dans les régions arides ou semi-arides où la disponibilité de l'eau est déjà très faible dans des conditions normales.

La sécheresse ne doit pas être confondue avec l'aridité, qui est une caractéristique permanente d'un climat sec. Ni la pénurie d'eau qui implique un déséquilibre à long terme des ressources en eau disponibles et des demandes. Elle se traduit pratiquement par une anomalie dans l'approvisionnement des cours d'eau. Ces derniers étant essentiellement alimentés par les systèmes aquifères et subsidiairement par les eaux de ruissellement.

L'impact des changements climatiques sur l'agriculture a fait l'objet de plusieurs études récentes telles que celles de Mendelson et al. (1994) et de Kurukulasurya et al (2006).

En Algérie, l'agriculture est en continuelle extension et intensification. De nouvelles zones sont exploitées dans le cadre de la mise en valeur des terres agricoles, entre autres au niveau des hautes plaines et du grand sud, par la création de nouveaux pôles de production soutenues par le programme du renouveau agricole et rural. (source)

Les cultures stratégiques comme les céréales, la pomme de terre et l'oléiculture occupent de plus en plus de superficies. Cependant toutes ces cultures sont sujettes à des attaques de parasites. De même, les aléas climatiques notamment l'irrégularité de la pluviométrie et les fluctuations des températures font subir aux cultures d'importants dommages dans leur développement et leurs productions.

A cet effet, la prévention des effets des variations climatiques est devenue un thème essentiel.

En effet, la végétation naturelle et l'économie agraire dépendent essentiellement des précipitations mais les moyennes annuelles des précipitations ne sont pas suffisantes pour caractériser une zone naturelle de production agricole.

En effet à la rareté des précipitations dans les régions arides s'ajoutent leur irrégularité. De façon très liée, cette irrégularité s'accroît avec la sécheresse et ses répercussions sur l'agriculture sont directes (Bensaad, 1988). ( In

L'Algérie a connu au cours des 25 dernières années, une sécheresse intense et persistante caractérisée par un déficit pluviométrique important. Cette sécheresse a touché l'ensemble du territoire et a sévit particulièrement dans les régions nord-ouest du pays (Ould Amara, 2000 in ). Devant la gravité de cette situation qui intervient à une période où les besoins en eau se sont considérablement accrus, les planificateurs et les gestionnaires des ressources en eau sont interpellés et s'interrogent sur l'ampleur et l'extension du phénomène, ses causes et ses conséquences et les stratégies à mettre en œuvre pour atténuer ses effets.

Dans cette optique, notre travail consiste à faire le suivi de la sécheresse dans la plaine mekerra ( wilaya de sidi bellabes) pour une année agricole, en passant par le calcul d'indices en occurrence le SPI et l'indice de thonthwaite, pour la période 2015-2020, avec un traitement d'images SENTINEL pour la même année(2019-2020)par l'exploitation de L'NDVI, L'NDWI et ...

Nous présentons notre mémoire en trois chapitres

Dans le premier chapitre, nous traiterons le contexte physique de la zone d'étude

Le second chapitre est consacré aux généralités de la sécheresse et les différents indices

Dans le troisième chapitre, on traitera les méthodes d'investigations utilisées ainsi que les résultats et interprétations

Enfin, on terminera avec une conclusion générale

## Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

### I.1 Introduction :

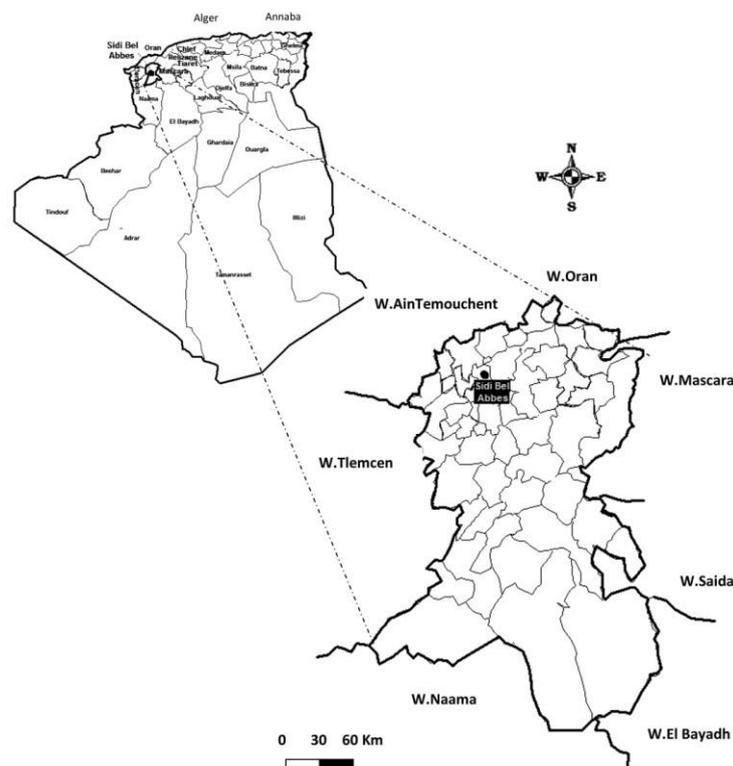
La wilaya de Sidi Bel Abbès est une wilaya importante par sa population et ses diverses potentialités, agricoles et industrielles. Elle comporte 15 daïras et 52 communes.

### I.2 Situation géographique (figure 01)

La wilaya de Sidi Bel Abbes est située au nord-ouest de l'Algérie. Elle est délimitée au nord par la wilaya d'Oran ; au nord-ouest par la wilaya d'Ain Temouchent ; au nord est par la wilaya de Mascara ; -à l'ouest par la wilaya de Tlemcen ; -à l'est par les wilayas de Mascara et Saida ; -au sud par les wilayas de Nâama et El-Bayad et -au sud est par la wilaya de Saida.

La wilaya occupe une position centrale et stratégique et s'étend sur environ 15% du territoire de la région du nord-ouest du pays soit 9150,63 km<sup>2</sup>. Elle est considérée comme relais de par son emplacement privilégié dans la mesure où elle est traversée par les principaux axes routiers de cette partie du pays. (D.P.A.T. 2013).

Figure n°1 LA CARTE DE LA POSITION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA DE SIDI BEL ABES



## LA PLAINE DE MEKKERA

C'est dans la plaine de la Mekerra, bordée au nord par les monts du Tésalah et au sud par ceux du Dahia, qu'en 1930, l'école d'agriculture ouvre ses portes, sur la route de Détrie qui relie Sidi Bel Abbès et Tlemcen. Elle s'étend sur 100 hectares, et comprend, outre les bâtiments et la station expérimentale, des terres d'exploitation auxquelles s'ajoutent les 46 hectares du communal dit de l'oued Sarno sur la route du Tésalah

La plaine de la Mekerra se situe à une altitude moyenne de 500 mètres. Les terres, dont le tuf est à faible profondeur, 30 cm, sont des terres silico-calcaires pauvres, avec une couche arable faible.

### I.3 Topographie de la zone : ( figure 02)

#### I.3.1. Les zone de montagnes :

Elles couvrent une superficie totale de l'ordre de 2.250,37 km<sup>2</sup> soit 24,59% de la wilaya. Elles occupent au nord, les monts de Tessala, de Beni Chougrane sur environ 864,20 km<sup>2</sup> et la partie centrale de la wilaya par les monts de Dhaya environ 1.386,16 km<sup>2</sup>. (D.P.A.T. 2013)

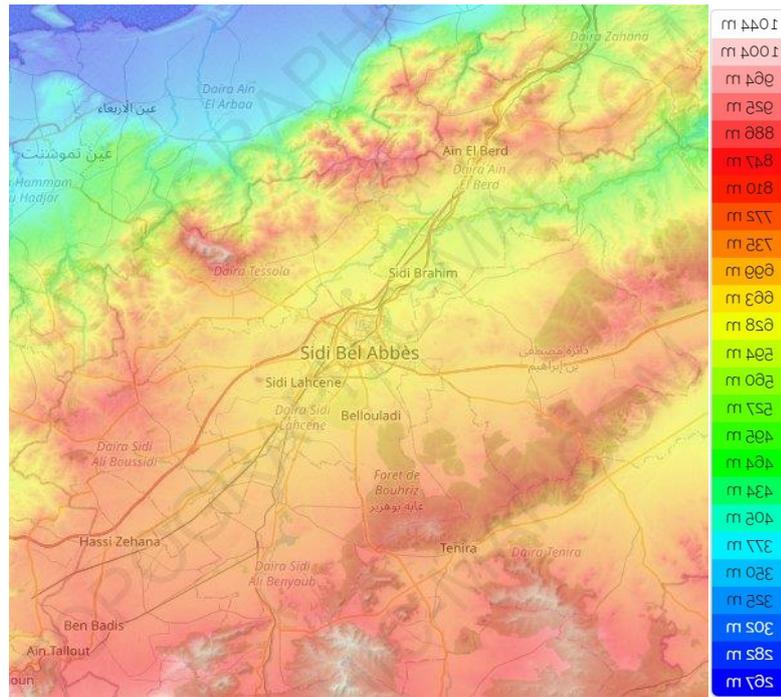
#### I.3.2 Les zones de plaine :

Elles couvrent une superficie totale de 3.239,44 km<sup>2</sup> soit 35,40 km<sup>2</sup> de l'espace de la wilaya. Elles sont représentées par la plaine de Sidi Bel Abbas environ 2.102,85 km<sup>2</sup> dont l'altitude varie entre 400 et 800 m et les hautes plaines de Telagh environ 1 ;136,59 km<sup>2</sup> dont l'altitude varie de 400 à 1000 m. (D.P.A.T. 2013)

#### I.3.3 Les zone de steppe :

Elles constituent le sud de la wilaya et occupent une superficie totale de l'ordre de 3.660,82 km<sup>2</sup> soit 40% de l'espace de la wilaya dont l'altitude varie de 1/000 à 1.400 m. (D.P.A.T. 2013)

Figure n° 2 LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE SIDI BEL ABES



#### 1.4 Climat de la zone d'étude :

La wilaya de Sidi Bel Abbès est caractérisée par un climat semi-aride, qui est défini par une saison sèche et chaude et une autre fraîche. Comme tout le nord algérien la wilaya de Sidi Bel Abbès a subi d'importantes modifications : diminution de la pluviosité, dégradation de l'environnement, détérioration de la fertilité des sols etc. et 400 mm annuellement, selon les conditions oro-géographique des espaces de la wilaya.

Le volume moyen des précipitations annuelles est de l'ordre de 1,6 milliard de mètre cube, souvent mal réparties dans l'espace et dans le temps, imposant une forme d'exploitation généralement tributaire de la pluie.

C'est un climat caractérisé par une insuffisante et mauvaise répartition interannuelle et saisonnière des précipitations, se traduisant souvent par un déficit hydrique dans la région (GUENFOUD A, 2009)

### I.5 Hydrographie : (figure 3)

Selon la direction de l'hydraulique de la wilaya de Sidi Bel Abbès. Le réseau hydrographique correspond à la partie amont de deux bassins hydrographiques régionaux qui sont la Macta et le Chergui. Cet important réseau épouse l'orientation et l'inclinaison Sud-Nord, de ses plaines, et Nord-Sud, de son étendue steppique. Sa partie septentrionale occupe le grand bassin de la Macta.

Alors que les 40% restant correspondant à sa partie steppique et couvre un troisième bassin versant ouvert. Ces trois bassins versants, s'écoulant séparément en dehors de la wilaya dans les trois directions Nord, Est et Sud qui sont :

- Le bassin de l'Oued Mékerra, d'une superficie de 4150 km<sup>2</sup> dont 3629 km<sup>2</sup> sur la wilaya de Sidi Bel Abbès suit le cours de son oued sur une longueur de l'ordre de 136 km. Il prend sa source à plus de 1300m d'altitude, en drainant une partie de la zone steppique de Ras El Ma et Rejem Demouch.
- Le bassin supérieur de l'Oued El Hammam, s'étale sur une superficie de 1240 km<sup>2</sup> en ressemblant des apports de l'oued Melghir, l'oued Tenira et oued Sefioune estimés à 73 hm<sup>3</sup>/an.

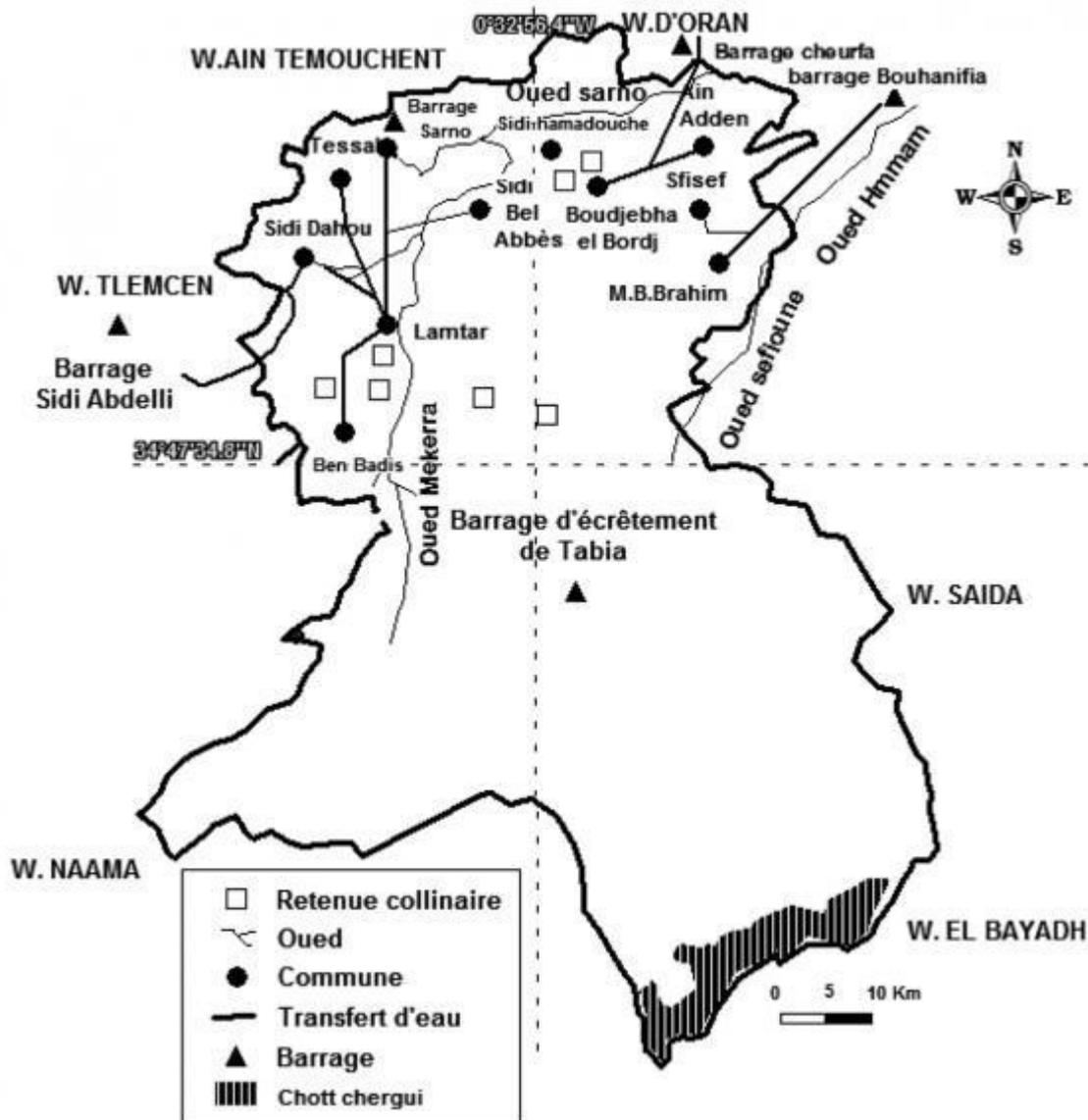
Ces oueds, qui prennent leurs sources sur les versants nord et monts de Dhaya à une altitude dépassant les 1200 m.

- Le bassin versant des hautes plaines steppiques s'étend sur une superficie de 2925 km<sup>2</sup> et dispose d'un ensemble d'oued présentent un écoulement intermittent.

Il s'agit de l'oued Djorf El Ghorab, l'oued El Kouitet et l'oued El Semar. Ces oueds qui prennent leurs sources sur les versants sud des monts de Dhaya à une altitude de 1300 m déversent un volume d'eau estimé entre 4,8 et 11,6 hm<sup>3</sup>/an.

Sans pouvoir être mobilisées superficiellement, ces ressources s'écoulent vers le sud pour alimenter la nappe du bassin endoréique de Chott (D.H.W, SBA,2013)

Figure n° 3 LA CARTE DE L HYDROGRAPHIE DE SIDI BEL ABES



### 1.6 Occupation du sol

La wilaya se caractérise par une double vocation : agricole, au nord, dans la plaine et sur les bas piémonts ; sylvo-pastorale, sur les différents massifs et dans les haute plaines steppiques de la wilaya (ZENAIDI S, 2008)

La wilaya compte une superficie agricole totale de l'ordre de 386 369 hectares (D.S.A, 2013) La répartition spatiale de la superficie agricole utile est considérablement influencée par la diversité du climat, du relief et celle du sol.

Ainsi, la zone montagneuse de Tessala Béni Chougrane et de celle de Dhaya ou est pratiquée une agriculture de montagne se trouve être la partie la plus arrosée de toute la wilaya. Mais

ne renfermant que peu de terres arables (D.S.A 2013). Les terres effectivement irriguées sont de l'ordre de 8330 hectares, parmi un total de 363191 hectares.

Les terres improductives s'élèvent à 19 640 hectares de la superficie agricole totale. Les taux de parcours et de 3723 hectares. La superficie alfatière est dominante en sud de la wilaya en particulier au niveau des daïras de Merine, Ras El Ma et Marhoum (D.S.A, 2013).

Par contre, la dépression centrale ou zone de plaine, où est pratiquée une agriculture extensive avec une nette prédominance de la céréaculture, renferme des sols profonds de bonne valeur agro-pédologique et ne reçoivent que peu de pluies dans le temps (ZENAIID S,2008)

## CHAPITRE 2 : le phénomène de sécheresse

### II.1. Définition:

Si la notion de sécheresse n'est aujourd'hui pas universellement définie (Tate et Gustard, 2000), l'état de la sécheresse peut cependant être caractérisé comme un déficit hydrique marqué dans une ou plusieurs composante(s) du cycle hydrologique. Ce manque d'eau est généralement dû à de trop faibles précipitations (Alley, 1984 ; Chang et Cleopa, 1991) sur une période donnée, par rapport à la moyenne des apports observés sur cette période et a un impact direct sur l'alimentation des différents compartiments du bassin versant (surface, sol et nappes). Si les précipitations sont trop faibles ou inexistantes sur une période prolongée, l'apport d'eau à la surface du sol et dans les couches de sol plus profondes est par conséquent amoindri et l'eau disponible dans les cours d'eau et/ou pour la végétation peut alors elle aussi être déficitaire. Pour cette raison, trois grandes catégories de sécheresses ont été définies dans un premier temps par Dracup et al. (1980) et reprises par Wilhite et Glantz (1985) et sont aujourd'hui couramment utilisées par les climatologues et les hydrologues pour l'étude et le suivi des sécheresses.

### II.2. Type de la sécheresse

#### II.2.1. Sécheresses météorologiques

Les sécheresses météorologiques sont caractérisées par un déficit des précipitations, solides et liquides (Palmer, 1965 ; Boken, 2005 ; Keyantash & Dracup, 2002). Ainsi, il s'agit d'une période, qui peut varier du mois à l'année, voire dans des cas extrêmes, de plusieurs années, durant laquelle les précipitations sont inférieures à la normale. Les sécheresses météorologiques sont souvent déclenchées par des anomalies persistantes de grande échelle des températures de surface de la mer (Bjerknes, 1969 ; Rasmusson et Wallace, 1983 ; Folland et al. 1986 ; Lamb et Pepler, 1992 ; Ting et Wang, 1997 ; Trenberth et Shea, 2005).

#### II.2.2. Sécheresses agricoles

Les sécheresses agricoles (ou édaphiques) sont caractérisées par un déficit lié à la réserve en eau du sol. Il s'agit d'une période durant laquelle l'humidité du sol est inférieure à sa valeur moyenne, ce qui a des conséquences directes sur la végétation, qu'elle soit naturelle ou cultivée (Palmer, 1965 ; Rosenberg, 1978 ; Wilhelmi, 2002).

Ces sécheresses sont généralement provoquées par un cumul des précipitations inférieure à la normale (Narasimhan et Srinivasan, 2005), ou par une distribution temporelle plus irrégulière (c.a.d. des précipitations moins fréquentes mais plus intenses, phénomène souvent observé sur le pourtour méditerranéen), mais peuvent parfois être engendrées par des taux d'évapotranspiration plus élevés (Klocke et Hergert, 1990 ; Rind et al., 1990 ; Hanson, 1991 ; Vicente-Serrano et al., 2010) ou des processus de ruissellement plus intenses, en comparaison à la normale saisonnière. Les sécheresses agronomiques ont souvent de lourdes conséquences sur la production agricole (Panu et Sharma, 2002).

### 1.2.3. Sécheresses hydrologiques

Les sécheresses hydrologiques peuvent à la fois définir le débit d'un cours d'eau comme trop faible mais peuvent aussi représenter le fait qu'un réservoir du sol ou du sous-sol n'est pas suffisamment réalimenté. Ainsi, les sécheresses hydrologiques dépendent du degré d'approvisionnement en eaux de surface et en eaux souterraines des lacs, réservoirs, aquifères et cours d'eau (Yevjevich, 1967 ; Dracup et al., 1980 ; Tallaksen et al., 1997).

L'impact d'une sécheresse hydrologique est important sur les activités humaines, puisqu'elle va avoir de fortes conséquences sur l'irrigation, les activités touristiques, la production d'énergie hydroélectrique, les transports (dans certains pays), l'alimentation en eau domestique et la gestion/protection de l'environnement.

Pour Linslet et al. (1975), la sécheresse hydrologique est d'ailleurs définie comme la période durant laquelle le débit des cours d'eau n'est pas suffisant pour répondre convenablement aux besoins en eau établis par le système de gestion de l'eau local.

### 1.2.4. Sécheresse socio-économique

La sécheresse socio-économique englobe les effets économiques et sociaux des formes précédentes (exode rural, famine, baisses des rendements agricoles, perte de cheptel, augmentation des prix des produits de première nécessité, problème de santé humaine et animale, etc).

Cette forme qui se traite à un niveau élevé (gouvernement) engendre, selon son acuité, le déclenchement de plans ORSEC, la mise en place de fonds de soutien et d'indemnités, le lancement d'opérations de solidarité nationale et internationale ainsi que des campagnes de sensibilisation de la population.

La sécheresse socio-économique est donc une forme de choc interne de l'offre, c'est à dire, une grave perturbation provoquée par des événements hors du contrôle du pays, et qui a des effets importants sur les variables économiques intérieurs”.

Dans la figure n°4 sont montrés les relations entre les différents types de sécheresse et leurs impacts. Une sécheresse météorologique limitée dans le temps (par exemple en automne) peut provoquer une sécheresse agricole de durée plus longue (par exemple saisonnière de début de cycle) puis une sécheresse hydrologique plus persistante dans le temps (annuelle si faibles apports aux barrages).

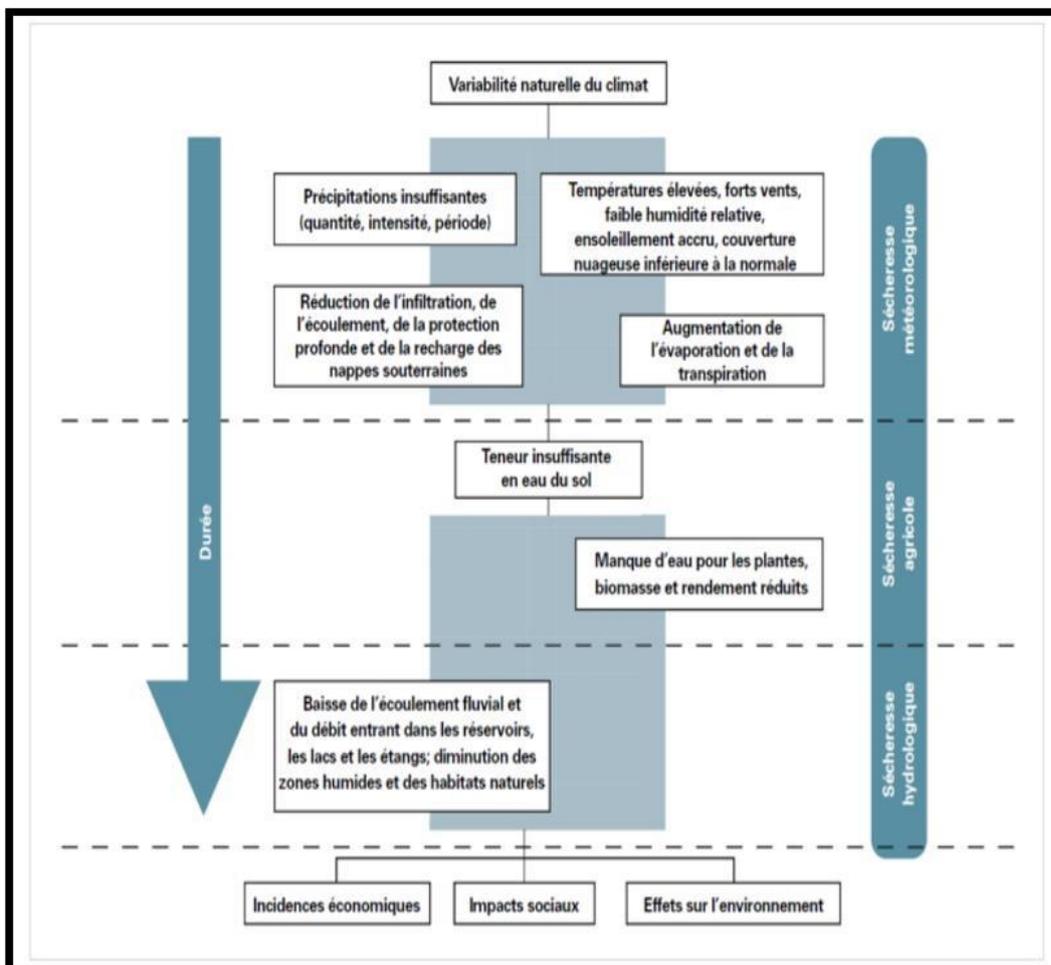


Figure n°4 : Types de sécheresse, manifestations dans le temps et leurs impacts

### II.3 Les impacts de la sécheresse :

Les principales conséquences de la sécheresse sont :

- Sur la population : la santé des enfants et des personnes âgées est très fragile et sensibles aux fortes chaleurs car ils n'ont pas le réflexe, ni l'envie de boire pour lutter contre leur déshydratation qui peut tuer.
- Sur la faune : de même que pour la population, un manque d'eau affecte les poissons vivant dans l'eau, mais aussi les animaux qui s'abreuvent aux points d'eau.
- Sur les forêts : la sécheresse va rendre les arbres plus secs et déshydratés ce qui peut causer leur mort. De plus, une végétation très sèche sera propice aux départs de feux.
- Sur l'agriculture : l'irrigation des cultures (tel que le blé en France) est affectée par la sécheresse car les réserves d'eau sont faibles.
- Sur les sols : en automne, les sols asséchés, qui ont pourtant besoin de se recharger en eau, ne vont plus pouvoir absorber les précipitations, créant des inondations et glissement de terrain.
- Sur les réserves d'eau potable : l'alimentation et l'évacuation des eaux ménagères ne se font pas correctement, car le niveau des rivières, des fleuves et des nappes est très bas. Dans certaines zones rurales, l'eau est rationnée ou coupée
- Sur la production d'électricité : l'eau est utilisée pour refroidir certaines centrales nucléaires, elles sont donc coupées pendant les sécheresses et périodes de canicule alors que la demande en électricité augmente : climatisation, ventilateur, réfrigérateur qui nécessitent beaucoup d'électricité.
- Sur l'économie : Chômage causé par la baisse de production, Une moindre production en agriculture, foresterie, pêche, énergie hydroélectrique, tourisme, industrie, et activités financières qui dépendent de ces secteurs.
- Sur l'environnement : Augmentation des incendies, Dommages aux écosystèmes et zones humides, biodiversité et maladies (érosion du sol, poussière, couvert végétal réduit).

#### II.4. Préviation de la sécheresse

Contrairement à toutes les autres catastrophes, la sécheresse est le phénomène naturel le plus lent à se développer. Cela permet généralement d'avoir plus du temps d'atténuer ses effets et mettre en œuvre des plans de suivi appropriés (Cancelliere et al.2007).

La préviation de la sécheresse permettra ainsi de prévoir les conditions de sécheresse à l'avance par soit quelques mois, saisons ou quelques années. Par ailleurs, divers outils et méthodes pour la préviation des sécheresses ont été proposés et testés dans différentes régions au cours des dernières décennies (Dastorani & Afkhami, 2011) en se basant sur deux approches fondamentales, à savoir : La première est la prédiction des conditions hydrologiques et la seconde est la prédiction des indices de sécheresse.

La révision des conditions hydrologiques comporte habituellement la préviation du climat et la préviation d'écoulement dans les rivières. Généralement la préviation du climat est basée sur l'analyse statistique des données observées et les méthodes dynamiques qui résolvent numériquement les équations physiques qui régissent le système climatique.

La préviation des écoulements est basée sur la connaissance ou la modélisation numérique du bilan d'eau à l'échelle des bassins versant en utilisant les données observées. Actuellement la détection et la surveillance des conditions de sécheresse sont essentiellement basées sur certains indices.

Ces indices permettent de déterminer d'une façon scientifique le seuil indiquant la sécheresse à différentes échelles de temps et de définir des classes d'appartenance à cet événement en fonction de sa sévérité et de sa position.

La communauté scientifique a développé et étudié un certain nombre d'indicateurs de sécheresse au cours des cinquante dernières années afin d'anticiper, de suivre et de caractériser les différents épisodes extrêmes qui touchent diverses régions du globe.

La plupart des indices de sécheresse ont été élaborés aux Etats-Unis, mais sont régulièrement employés sur les autres continents. Heim (2002) a répertorié tous les indices développés au cours du XXIème siècle aux États-Unis.

Pour une région donnée n'a donc pas forcément de sens en d'autres régions du globe. Un indicateur pertinent pour certaines zones géographiques peut ainsi manquer de

cohérences ailleurs. Pour pallier l'arbitraire de cet étalonnage, un scPDSI (self calibrated PDSI) a alors été considéré (Briffa et al., 2009).

Ces indicateurs ne proposent cependant pas d'échelle de temps explicite permettant de détecter à la fois les sécheresses courtes et les sécheresses longues (Alley, 1984 ; Gutmann et al., 1992 ; Lloyd-Hughes et Saunders, 2002 ).

Un autre type d'indicateur, recommandé par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) en 2009 pour surveiller les sécheresses et gérer les risques liés au climat, est le Standardisé Index (Gibbs, 1975). Très largement utilisé par la communauté scientifique (McKee et al., 1993 ; Lloyd-Hughes et Saunders, 2002 ; Labedzki, 2007 ; Bordi et al., 2009 ; Vidal et al., 2010, etc.). Cet indicateur peut être calculé à partir de différentes variables, telles que les précipitations, l'humidité du sol, les débits ou encore l'évapotranspiration potentielle.

Le plus connu et le plus utilisé est le Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993). Il est basé, comme son nom l'indique sur les données de précipitation et permet de qualifier les sécheresses météorologiques.

Il a été développé en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée et correspond à la transformation de la série temporelle des précipitations en une distribution normale standardisée de moyenne nulle et d'écart-type unitaire (distribution gaussienne). Cela revient donc à ajuster une fonction de densité de probabilité à la distribution de la fréquence des précipitations sommées ou moyennes, sur une échelle temporelle définie (généralement, 3, 6, 9, 12 et 24 mois).

L'ajustement se fait séparément pour chacun des mois de l'année afin de conserver la saisonnalité. Chaque densité de probabilité cumulée est ensuite transformée en une distribution normale standardisée (Gaussienne), de moyenne nulle et d'écart type unitaire. Chaque valeur du SPI est alors reliée à un degré de sévérité et une probabilité d'occurrence de la sécheresse.

Foley (1957) fut le premier à suggérer le calcul d'un indice donnant des informations sur la sévérité d'une sécheresse. Ce n'est que plus tard que des indicateurs de sécheresse plus pertinents furent définis.

Très utilisé aux Etats-Unis (Heim, 2002), le Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), par exemple, est un indicateur calculé à partir d'un bilan d'eau simplifié. Ainsi, en fonction de la valeur du PDSI on peut connaître l'intensité d'une sécheresse en un lieu donné au fil du temps.

Le PDSI a été calibré en fixant arbitrairement les sécheresses extrêmes à une valeur correspondant aux sécheresses extrêmes historiques. Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, la sécheresse en un point donné est un état relatif par rapport à la moyenne habituellement observée en ce point et un étalonnage réalisé

D'autres indicateurs basés sur l'étude des déficits (Gibbs et Maher, 1967 ; Meko, 1985) sont utilisés par la communauté scientifique et permettent notamment, par exemple, de mettre en évidence les sécheresses hydrologiques.

L'inconvénient de tous ces indices est qu'ils sont pertinents seulement lorsqu'ils sont calculés sur des séries longues de données (au moins 30 ans). Ainsi, il paraît difficile d'anticiper les sécheresses en tout point du globe, à partir de données observées.

Si plusieurs types de jeux de données observées, notamment les données satellitaires et les données in situ, permettent aujourd'hui d'étudier et de suivre précisément, voire d'anticiper les épisodes de sécheresses sur certaines régions du globe, il s'avère intéressant d'exploiter au maximum aussi les données simulées grâce à des modèles numériques, qui permettent généralement de produire des données sur de plus longues périodes à l'échelle globale.

Enfin, l'impact des sécheresses sur l'agriculture doit être évalué à une échelle temporelle plus détaillée que le mois (par exemple par périodes de 10 jours) et des observations plus directement liées au fonctionnement de la végétation peuvent avoir une valeur ajoutée importante.

## II.5. Analyse des caractéristiques de la sécheresse :

L'identification du début et la fin d'un épisode de sécheresse reste toujours difficile. Cependant, l'utilisation des indices comme celle de SPI (Standardized Precipitation Index) permet non seulement le contrôle et la prédiction de la sécheresse mais aussi le suivi de ses caractéristiques.

Les caractéristiques de sécheresse font principalement référence à la durée, la sévérité et l'intensité. La durée est la longueur de la période dans laquelle les valeurs de l'indice de la sécheresse sont inférieures à certain seuil. Ce seuil est généralement déterminé par la communauté scientifique suivant l'indice utilisé.

La sévérité est la cumulation des valeurs de l'indice sur la période du temps de la sécheresse et l'intensité, parfois appelé magnitude, est définie comme le rapport entre la sévérité et la durée de sécheresse (Dingman 1994 ; Shiao 2006).

Une autre caractéristique importante de la sécheresse est le temps interarrival, qui est définie comme le temps entre le début d'une sécheresse et le début de la suivante (Shiao 2006).

L'Analyse des caractéristiques de la sécheresse a été étudiée de manière extensive. Les temps d'interarrival de périodes sèches ont été étudiés par la modélisation statistique de PDSI (le Palmer Drought Severity Index) à l'échelle mensuelle (Dupuis 2010), dans lequel le modèle des périodes sèches et des périodes humides considère comme des distributions indépendantes de la loi gamma.

Dans l'évaluation de la sécheresse météorologique, Pashiards et Michaelides (2008) ont utilisé l'indice standardisé de précipitations (SPI) et la reconnaissance d'indice de sécheresse (RDI) utilisant les données climatiques mensuels historiques pour identifier l'intensité et les superficies touchées par la sécheresse à Chypre. Une étude similaire a été suivi par Borg (2009) à Malta.

## II.6 DÉFINITIONS INDICATEURS ET INDICES

Il est important de préciser ce que l'on entend par indicateurs et par indices de sécheresse.

Les indicateurs sont des variables ou des paramètres qui servent à décrire les conditions de sécheresse. Citons, par exemple, les précipitations, la température, l'écoulement fluvial, le niveau des nappes et des réservoirs, l'humidité du sol et le manteau neigeux.

Les indices sont le plus souvent des représentations numériques de l'intensité des sécheresses, que l'on calcule à partir de valeurs climatiques ou hydrométéorologiques, dont les indicateurs précités. Ils mesurent l'état qualitatif d'une sécheresse à un emplacement donné pour une période donnée. Techniquement, ce sont eux aussi des indicateurs.

La surveillance du climat à diverses échelles temporelles permet de détecter de brefs épisodes humides au sein de longues périodes de sécheresse ou de brefs épisodes secs au sein de longues périodes d'humidité.

Les indices simplifient parfois certaines relations complexes et facilitent la communication d'informations à divers utilisateurs et parties prenantes, dont le public.

Ils servent à établir l'intensité, l'emplacement, l'époque d'apparition et la durée d'un épisode de sécheresse. L'intensité désigne l'écart que présente un indice par rapport à la valeur normale. Un seuil d'intensité peut être fixé pour déterminer quand une sécheresse a commencé, quand elle s'est achevée et quelle zone a été touchée.

L'emplacement désigne la zone géographique qui subit les conditions de sécheresse. L'époque d'apparition et la durée renvoient aux dates approximatives auxquelles ces conditions se sont installées et ont cessé.

Les impacts dépendent de la conjonction du phénomène dangereux lui-même, des éléments qui y sont exposés (personnes, terres agricoles, réservoirs, sources d'approvisionnement en eau) et de la vulnérabilité de ces derniers.

Les sécheresses antérieures peuvent avoir accentué la vulnérabilité, par exemple en provoquant la vente de biens de production pour parer à des besoins immédiats.

L'époque d'apparition d'une sécheresse peut, autant que son intensité, déterminer les impacts subis. Une sécheresse de courte durée et d'intensité modérée qui survient alors qu'une

culture bien établie est sensible à l'humidité a parfois un effet plus dévastateur sur le rendement qu'une sécheresse longue et intense qui survient à un moment moins crucial du cycle de culture. Les indices de sécheresse – complétés par des informations sur les éléments exposés et sur leur vulnérabilité propre – sont donc essentiels pour suivre et anticiper les impacts.

Certains présentent en outre l'immense avantage de fournir aux planificateurs et aux décideurs une valeur de référence historique qui donne une idée de la probabilité que survienne ou que se répète une sécheresse d'intensité particulière. Il faut savoir néanmoins que l'évolution du climat commencera à modifier les configurations passées.

Les informations tirées des indicateurs et des indices sont utiles pour planifier et concevoir des applications (évaluations des risques, systèmes d'alerte précoce, outils d'aide à la décision en vue d'atténuer la menace dans les zones touchées) à condition de connaître le régime climatique et la climatologie des sécheresses dans la région. De plus, divers indicateurs et indices peuvent servir à valider les résultats obtenus par modélisation, par assimilation ou par télédétection.

### II.6.1 CHOIX DES INDICATEURS ET INDICES<sup>1</sup>

Tout comme il n'existe pas de définition unique de la sécheresse, il n'existe pas d'indicateur ou d'indice qui correspondrait et conviendrait à tous les types de sécheresse, tous les climats et tous les secteurs touchés.

Une multitude de facteurs doivent être pris en considération pour déterminer quel indicateur, indice ou seuil (séparément ou en combinaison avec d'autres) convient le mieux pour un besoin ou une application spécifique.

La réponse aux questions suivantes pourra aider à faire apparaître les indicateurs et les indices les plus adaptés à la situation :

---

<sup>1</sup> Manuel des indicateurs et indices de la sécheresse  
Programme des gestionnaires intégrés des sécheresses par OMM et GWP

- Les indicateurs ou indices permettent-ils de déceler les conditions de sécheresse assez tôt pour qu'il soit possible de communiquer l'information et de coordonner les mesures de lutte ou d'atténuation ?
- Les indicateurs ou indices sont-ils assez sensibles aux conditions climatiques, spatiales et temporelles pour établir le moment où débute et où cesse une sécheresse ?
- Les indicateurs ou indices et les échelles d'intensité font-ils convenablement état des impacts observés sur place, dans la zone ou la région touchée ?
- Utilise-t-on les mêmes indicateurs, indices et seuils pour le début et pour la fin d'une période de sécheresse ? Il est crucial de rendre compte des deux situations.
- Emploie-t-on des indicateurs composites (hybrides) afin d'analyser un grand nombre de facteurs et de paramètres ?
- Les données et les indices ou indicateurs qui en résultent sont-ils disponibles et stables ? Autrement dit, détient-on une longue série de relevés qui donne aux planificateurs et aux décideurs de solides références historiques et statistiques ?
- Les indicateurs ou indices sont-ils faciles à calculer ? Les utilisateurs ont-ils assez de temps et de ressources humaines à affecter à l'exercice et ces moyens sont-ils maintenus en l'absence de sécheresse ? Il est plus facile de justifier un tel dispositif s'il sert à surveiller tous les aspects du cycle hydrologique ou climatique, pas seulement les épisodes de sécheresse.

L'indicateur ou l'indice le plus simple à utiliser est sans doute celui qui est déjà produit en exploitation et qui est librement accessible, mais ce n'est pas forcément le meilleur ou le plus adapté.

En dernier ressort, le choix revient aux utilisateurs à l'échelon régional, national ou local. Il est recommandé d'intégrer plusieurs indicateurs ou indices, ou un indicateur ou indice composite ou hybride, dans un système d'alerte précoce qui relève d'un plan global d'atténuation de la sécheresse.

Cela suppose, en principe, de réaliser des analyses approfondies et d'adopter une approche expérimentale pour établir quels indicateurs sont le plus efficaces dans un régime climatique, une région, un bassin ou un lieu donné. Des recherches doivent également préciser pendant

quelles saisons les indicateurs sont le plus adaptés et représentent le mieux les impacts observés sur le terrain. Les indicateurs ou indices choisis peuvent ensuite être recommandés ou intégrés dans un système d'alerte précoce, comme valeurs seuils reliées aux mesures d'atténuation ou d'intervention d'urgence prévues dans le plan de lutte contre la sécheresse.

### **II.7 SOMMAIRE DES INDICATEURS ET INDICES :**

Dans ce sous chapitre sont consignés les différents indicateurs et indices largement utilisés (tableau n°1)

<sup>2</sup>Tableau n°1 SOMMAIRE DES INDICES

---

<sup>2</sup> Manuel des indicateur et indices de la sécheresse  
Programme des gestions intégrés des sécheresses par OMM et GWP

Météorologie	Page	Facilité d'emploi	Paramètres d'entrée	Informations complémentaires
AAI – Indice d'aridité anormale	11	Vert	P, T, EPT, ET	Disponible en exploitation pour l'Inde
Déciles	11	Vert	P	Facile à calculer; les exemples provenant de l'Australie sont utiles
KBDI – Indice de sécheresse de Keetch-Byram	12	Vert	P, T	Calculs fondés sur le climat de la zone visée
Rapport à la normale des précipitations	12	Vert	P	Calculs simples
SPI – Indice de précipitations normalisé	13	Vert	P	Recommandé par l'OMM comme point de départ pour le suivi de la sécheresse météorologique
WASP – Anomalie pondérée des précipitations normalisées	15	Vert	P, T	Suivi de la sécheresse dans les régions tropicales à partir de données aux points de grille
AI – Indice d'aridité	15	jaune	P, T	Peut aussi servir à la classification des climats
CMI – Indice d'humidité des cultures	16	jaune	P, T	Valeurs hebdomadaires nécessaires
CZI – Indice Z chinois	16	jaune	P	Destiné à améliorer le SPI
DAI – Indice de zone de sécheresse	17	jaune	P	Donne une idée de la pluviosité pendant la mousson
DRI – Indice de détection de la sécheresse	17	jaune	P, T	Requiert les valeurs mensuelles des températures et des précipitations
EDI – Indice de sécheresse efficace	18	jaune	P	Programme disponible en contactant directement les concepteurs
HTC – Coefficient hydrothermique de Selyaninov	19	jaune	P, T	Calculs simples, plusieurs exemples en Fédération de Russie
Indice Z de Palmer	19	jaune	P, T, TED	Une des nombreuses valeurs produites par les calculs du PDSI
NDI – Indice de sécheresse de la NOAA	20	jaune	P	Destiné surtout aux applications agricoles
PDSI – Indice de sécheresse de Palmer	20	jaune	P, T, TED	Codé jaune en raison de la complexité des calculs et de la nécessité d'avoir des séries de données complètes
RAI – Indice d'anomalie de pluviosité	21	jaune	P	Séries de données complètes requises
SAI – Indice d'anomalie normalisé	22	jaune	P	Description des conditions régionales à l'aide de données ponctuelles
sc-PDSI – Indice de sécheresse de Palmer auto-étalonné	22	jaune	P, T, TED	Codé jaune en raison de la complexité des calculs et de la nécessité d'avoir des séries de données complètes
SPEI – Indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé	23	jaune	P, T	Séries de données complètes requises; valeurs de sortie similaires au SPI mais intégrant la température
ARID – Indice de référence pour la sécheresse agricole	23	Rouge	P, T, Mod.	Mis au point dans le sud-est des États-Unis d'Amérique, peu testé ailleurs
CSDI – Indice de sécheresse par type de culture	24	Rouge	P, T, Tr, V, Ray., TED, Mod., DC	Données de qualité requises pour de nombreuses variables, d'où une utilisation difficile
RDI – Indice de sécheresse du Bureau of Reclamation des États-Unis	25	Rouge	P, T, MN, RS, EF	Similaire au SWSI, mais intégrant la température

Humidité du sol	Page	Facilité d'emploi	Paramètres d'entrée	Informations complémentaires
SMA – Anomalie d'humidité du sol	25	Jaune	P, T, TED	Destiné à améliorer le bilan hydrique du PDSI
ETDI – Indice de déficit d'évapotranspiration	26	Rouge	Mod.	Calculs complexes et multiples valeurs d'entrée requises
SMDI – Indice de déficit d'humidité du sol	26	Rouge	Mod.	Valeurs hebdomadaires à différentes profondeurs; calculs compliqués
SWS – Stockage d'eau dans le sol	27	Rouge	TED, RS, TS, DHS	Interpolation difficile sur de vastes étendues en raison des variations du type de sol et de culture

Hydrologie	Page	Facilité d'emploi	Paramètres d'entrée	Informations complémentaires
PHDI – Indice de sécheresse hydrologique de Palmer	28	Jaune	P, T, TED	Séries de données complètes requises
SDI – Indice de sécheresse fondé sur l'écoulement fluvial	28	Jaune	EF	Calculs similaires à ceux du SPI, en remplaçant les précipitations par des données sur l'écoulement
SRSI – Indice d'alimentation des réservoirs normalisé	29	Jaune	RS	Calculs similaires à ceux du SPI avec des données sur les réservoirs
SSFI – Indice d'écoulement fluvial normalisé	29	Jaune	EF	Utilise le programme du SPI avec des données sur l'écoulement fluvial
SWI – Indice de niveau d'eau normalisé	30	Jaune	ES	Calculs similaires à ceux du SPI, en remplaçant les précipitations par des données sur les eaux souterraines ou les niveaux dans les puits
SWSI – Indice d'apport d'eau de surface	30	Jaune	P, RS, EF, MN	Nombreuses méthodes et valeurs dérivées disponibles, mais la comparaison entre bassins est subordonnée à la méthode choisie
ADI – Indice de sécheresse agrégé	31	Rouge	P, ET, EF, RS, TED, MN	Pas de programme, calculs expliqués dans les articles scientifiques
SMRI – Indice de pluie et d'eau de fonte normalisé	32	Rouge	P, T, EF, Mod.	Peut être calculé avec ou sans données sur le manteau neigeux

Téledétection	Page	Facilité d'emploi	Paramètres d'entrée	Informations complémentaires
ESI – Indice de stress fondé sur l'évaporation	32	Vert	Sat., PET	N'est utilisé en exploitation que depuis peu
EVI – Indice de végétation amélioré	33	Vert	Sat.	Ne distingue pas le stress dû à la sécheresse des autres stress
NDVI – Indice de végétation par différence normalisé	33	Vert	Sat.	Calculé pour la plupart des emplacements
NDWI et LSWI – Indice de quantité d'eau par différence normalisé et indice de quantité d'eau en surface	34	Vert	Sat.	Produit en exploitation à partir des données de spectroradiomètres imageurs à moyenne résolution
TCI – Indice des conditions de température	35	Vert	Sat.	Généralement présenté avec les calculs du NDVI
VCI – Indice des conditions de végétation	35	Vert	Sat.	Généralement présenté avec les calculs du NDVI
VegDRI – Indice de réaction de la végétation à la sécheresse	36	Vert	Sat., P, T, TED, CT, ER	Prend en compte de nombreuses variables pour distinguer le stress dû à la sécheresse des autres stress subis par la végétation
VHI – Indice de santé de la végétation	36	Vert	Sat.	L'une des premières tentatives de suivre la sécheresse par téledétection

Téledétection	Page	Facilité d'emploi	Paramètres d'entrée	Informations complémentaires
WRSI et WRSI géospatial – Indice de satisfaction des besoins en eau	37	Vert	Sat., Mod., CC	Produit en exploitation pour de nombreux emplacements
SAVI – Indice de végétation ajusté pour le sol	38	Rouge	Sat.	N'est pas produit en exploitation

Valeurs composites ou modélisées	Page	Facilité d'emploi	Paramètres d'entrée	Informations complémentaires
CDI – Indicateur de sécheresse composé	38	Vert	Mod., P, Sat.	Utilise à la fois des données de surface et de téledétection
GIDMaPS – Système mondial intégré de suivi et de prévision de la sécheresse	39	Vert	Plus., Mod.	Produit opérationnel qui donne les valeurs mondiales de l'indice d'humidité du sol normalisé, du SPI et du MSDI
GLDAS – Système mondial d'assimilation des données sur les terres émergées	39	Vert	Plus., Mod., Sat.	Utile pour les régions où les données sont rares étant donné sa couverture mondiale
MSDI – Indice de sécheresse normalisé multivarié	40	Vert	Plus., Mod.	Disponible, mais une interprétation est nécessaire
USDM – Système américain de suivi de la sécheresse	41	Vert	Plus.	Disponible, mais une interprétation est nécessaire

## SOURCE

## Légende:

- CC = coefficient de culture
- CT = couverture terrestre
- DC = données de culture
- DHS = déficit hydrique du sol
- EF = écoulement fluvial
- ER = écorégion
- ES = eaux souterraines
- ET = évapotranspiration
- ETP = évapotranspiration potentielle
- MN = manteau neigeux
- Mod. = valeur modélisée
- P = précipitations
- Plus. = plusieurs indicateurs
- Ray. = rayonnement solaire
- RS = réservoir
- Sat. = satellite
- T = température
- TED = teneur en eau disponible
- Tr = température de rosée ou point de rosée
- TS = type de sol

- V = vent

Un code de couleur indique la «facilité d'emploi» de chaque indicateur ou indice, comme suit:

**Vert** Un indice est codé vert si l'une au moins des conditions suivantes est remplie :

- Un logiciel ou programme d'exécution de l'indice est facilement et librement accessible ;
- Il n'est pas nécessaire de détenir des données quotidiennes ;
- Les données peuvent comporter des lacunes ;
- La valeur de sortie est produite en exploitation et accessible en ligne.

Note : Bien que le codage vert de la «facilité d'emploi» puisse suggérer que l'indicateur ou l'indice est le plus simple à obtenir ou à utiliser, ce n'est pas nécessairement le meilleur pour une région ou une localité Donnée. Il appartient à l'utilisateur de choisir les indicateurs ou les indices en fonction de l'application.

**Jaune** Un indice est codé jaune si l'une au moins des conditions suivantes est remplie :

- De multiples variables ou données d'entrée sont requises pour les calculs ;
- Il n'existe pas de logiciel ou de programme d'exécution de l'indice dans le domaine public ;
- Une seule variable ou donnée d'entrée est requise, mais il n'existe pas de logiciel ;
- La production de l'indice exige des calculs de complexité minimale.

**Rouge** Un indice est codé rouge si l'une au moins des conditions suivantes est remplie :

- Un logiciel doit être élaboré pour calculer l'indice selon une méthode publiée ;
- L'indice ou les éléments dérivés ne sont pas faciles à obtenir ;
- L'indice est peu connu et peu employé, mais il pourrait convenir ;
- L'indice renferme des données modélisées ou fait partie des calculs.

## Chapitre III : Méthodes d'investigations

### III.1 Introduction

Pour la prévision des sécheresses, divers outils et méthodes ont été proposés et testés dans différentes régions au cours des dernières décennies (Dastorani & Afkhami, 2011) en se basant sur la prédiction des indices de sécheresse entre autre le SPI (Standardized Precipitation Index) qui a fait un des objets de notre travail.

Il a été montré à plusieurs reprises que le SPI était plus adapté que le PDSI (le Palmer Drought Severity Index) pour suivre les sécheresses (Guttman, 1998 ; Hayes, 1999 ; Keyantash et Dracup, 2002). Par ailleurs le manque de données ne nous a pas permis d'utiliser le PDSI.

Actuellement, les variables autres que les précipitations sont aussi étudiées, notamment l'évapotranspiration (Vicente-Serrano et al. 2010), afin de définir l'indicateur le plus pertinent à utiliser en fonction de la région que l'on considère.

En effet, si les précipitations semblent être aujourd'hui l'outil le plus performant pour le suivi des sécheresses, car elles conditionnent rapidement la quantité d'eau dans tous les réservoirs du cycle hydrologique, il a par ailleurs été montré que dans le cadre du réchauffement global la demande évaporatoire va augmenter (Wang et al. 2011 ; Stefanon et al., 2012), ce qui aura probablement un poids dans la genèse des sécheresses.

A cet effet, le calcul de l'indice de Thornthwaite a été indispensable, avec le SPI, pour le choix des images satellitaires de l'année agricole qui a fait l'objet de notre étude.

Le calcul de ces indices a été fait pour la période (2015-2020), date de mise en service du satellite SENTINEL-2.

### III.2 L'indice DE SPI (Standardized Precipitation Index)

L'indice SPI (McKee et al., 1993, 1995) est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis.

En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. Pour calculer l'indice SPI, il faut disposer idéalement de relevés mensuels de précipitation.

Cet indice présente aussi bien des avantages entre autre une souplesse dans l'utilisation puisqu'il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps.

Par ailleurs, l'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents. En plus, cet indice permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité, quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple.

Néanmoins, cet indice SPI ne repose que sur les relevés de pluviométrie sans prendre en considération

les autres paramètres en autre la température.

### III.2.1 L'interprétation du SPI :

McKee et al. (1993) ont utilisé le système de classification présenté dans le tableau des valeurs l'indice SPI figurant ci-après, pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice.

Ils ont aussi défini les critères d'un épisode de sécheresse pour une échelle de temps quelle qu'elle soit. Les valeurs 1,00 et au-dessus, représentent les classes humide, à -1,00 et moins, représentent les classes sèches avec près de la normale des conditions allant de -0,99 à +0,99.

Tableau n°2 INTERPRÉTATION DU SPI :

SPI	INTERPRÉTATION
$\geq 2$	Extrêmement humide
1,5 à 1,99	Très humide
1 à 1,49	Modérément humide
0,99 à -0,99	Normal
-1 à -1,49	Modérément sec
-1,5 à -1,99	Très sec
$\leq -6$	Extrêmement sec

Classe SPI Interprétation 2 et plus Très Humide (TH) de 1.5 à 1.99 Humide (H) de 1 à 1.49 Modérément

Humide (MH) de -0.9 à 0.9 Normale (N) de -1 à -1.49 Modérément sec (MS) de -1.5 à -1.99 Sec (S) -2 et mois

Très Sec (TS)

### III.2.2 Méthode de calcul.

La détermination du SPI, se fait à l'aide d'un programme SPI (SPI\_SL\_6.exe), utilisé pour calculer le SPI. À partir des données de précipitation mensuelle, pour différentes échelles 1,2, 3, 6, 12 et 24 mois. Pour cela, on a suivi les étapes suivantes : ( figure n°5,6,7)

✓ Création d'un fichier des données semblable dans l'Excel suivant qui contiennent les données de précipitations mensuelles de chaque station pluviométrique.

✓ Ouvrir R STUDIO

✓ télécharger SPEI PACKAGES

✓ sélectionner le package

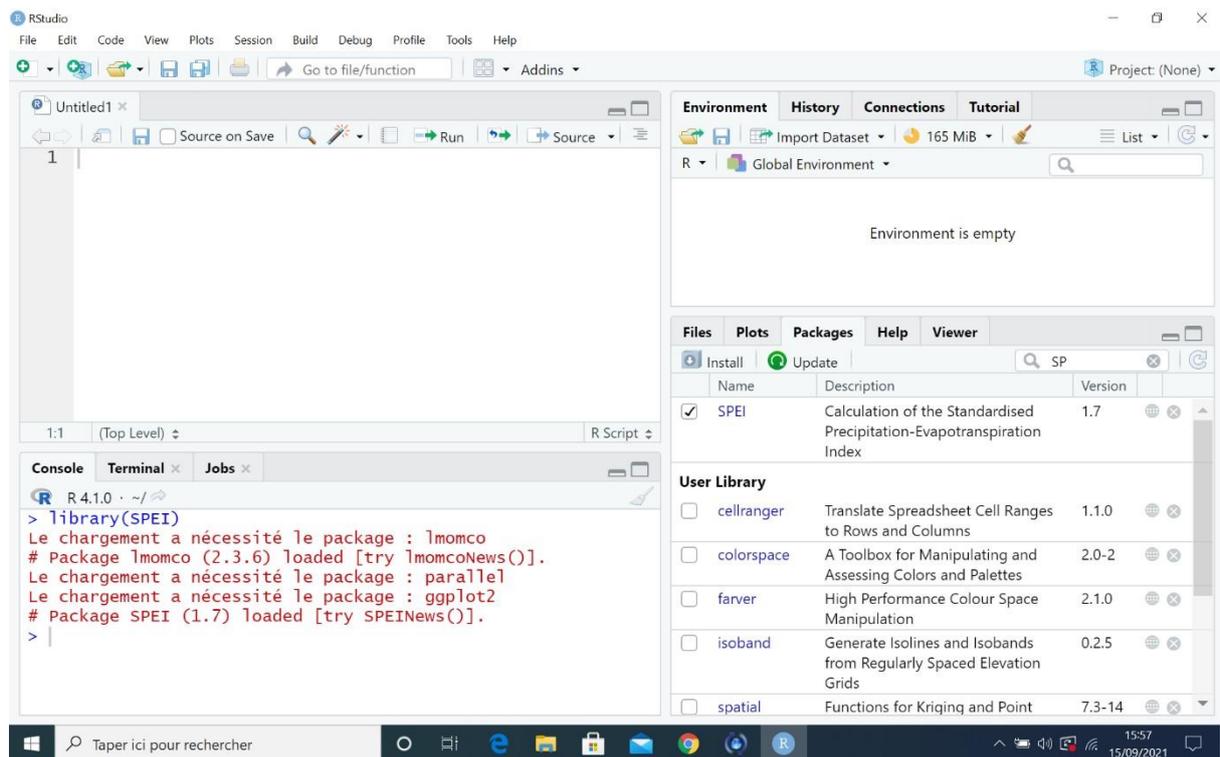


Figure n°5 (capture d'écran)

✓ entrer le fichier Excel

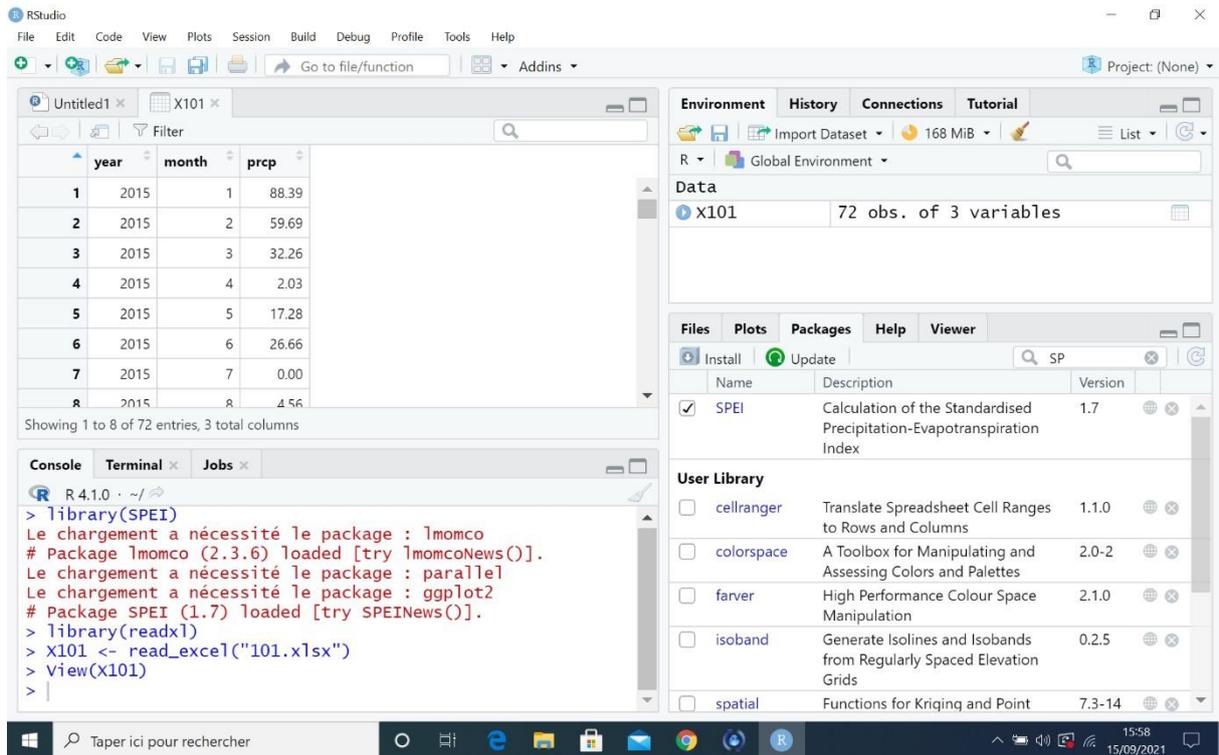


Figure n°6 ( capture d'écran )

✓ Le fichier sera placé dans le dossier où se trouve le fichier exécutable, Il vous est ensuite possible de traiter les résultats à l'aide de la formule de spi .

```

> library(SPEI)
# Package SPEI (1.7) loaded [try SPEINews()].
> View(x101)
> spi12<-spi(x101$prcp,12)
> spi12
  
```

✓ Dans ce cas, le programme a été lancé pour une analyse destinée à fournir à partir du fichier entrée les indices SPI 3 mois.

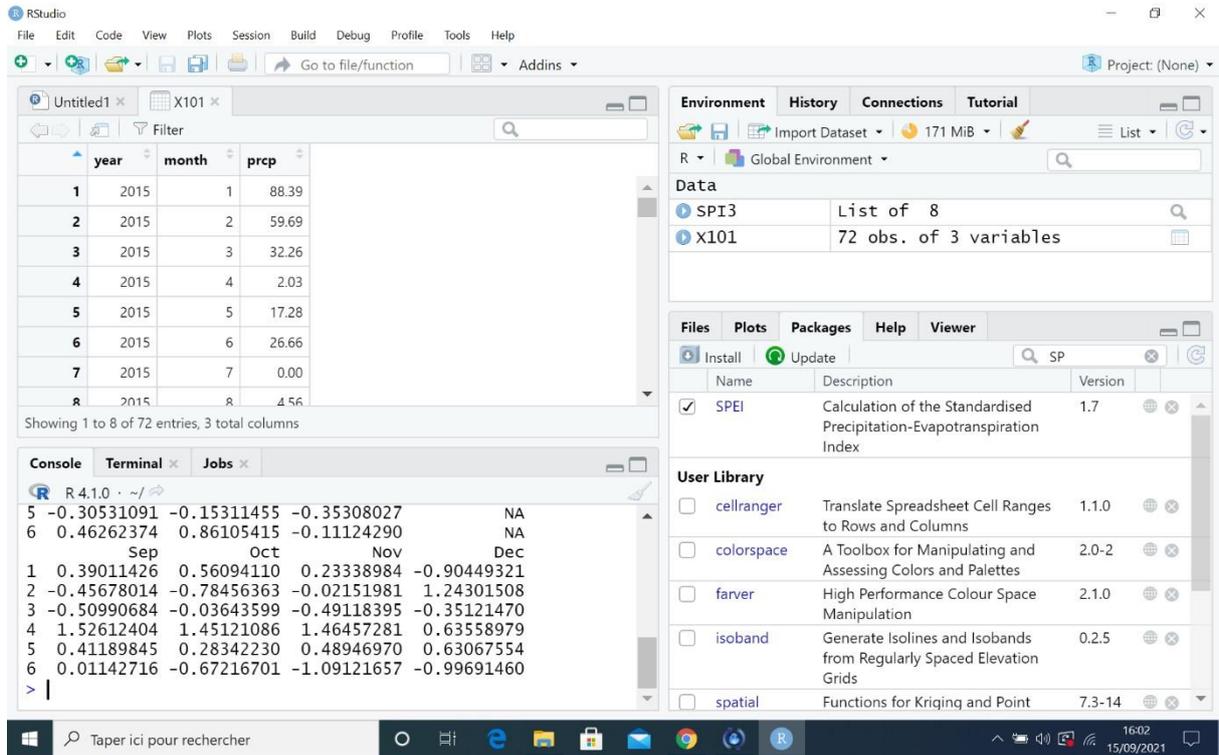


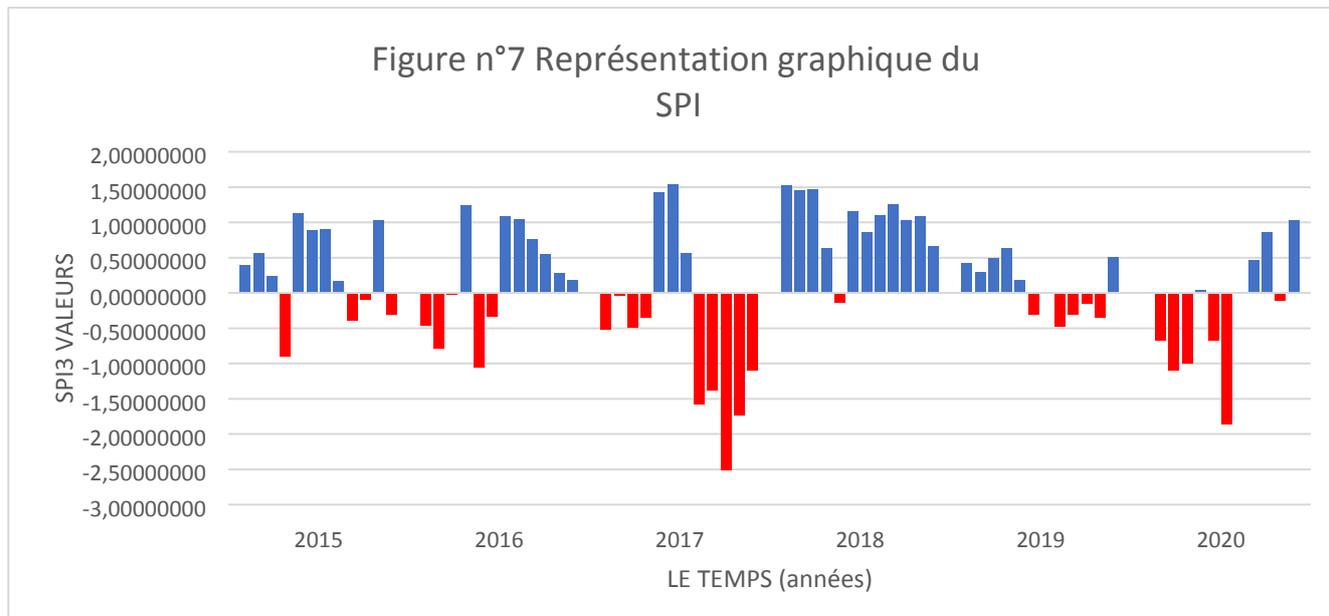
Figure n°7 (capture d'écran)

Les résultats de SPI sont consignés dans le tableau n° 3 et figure n°7. D'après les résultats obtenus on observe que le climat est modérément humide en hiver et très sec en été.

On peut aussi distinguer les années avec les plus faibles précipitations 2019 et 2020. Les années 2017 et 2020 sont les années où on enregistre les températures les plus élevés.

Tableau N°3 : résultats du SPI pour la période 2015-2020 pour la station de sidi bel abes :

AANNEE	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER
2015	0,39011426	0,5609411	0,23338984	-0,90449321	1,1264892	0,876038
2016	-0,45678014	-0,78456363	-0,02151981	1,24301508	-1,05460150	-0,32848884
2017	-0,50990684	-0,03643599	-0,49118395	-0,3512147	1,42211100	1,53966999
2018	1,52612404	1,45121086	1,46457281	0,63558979	-0,13113981	1,14894266
2019	0,41189845	0,2834223	0,4894697	0,63067554	0,18039385	-0,30640700
2020	0,01142716	-0,67216701	-1,09121657	-0,9969146	0,03788273	-0,67676304
	MARS	AVRIL	MAI	JUI	JUILLET	AOÛT
	0,89597547	0,15736086	-0,38722637	-0,09375799	1,0260627	-0,310236
	1,08152800	1,03560519	0,75873929	0,53731698	0,27019638	0,180964
	0,55868865	-1,57514809	-1,37309256	-2,5100179	-1,7278054	-1,089126
	0,85016695	1,10063635	1,2557776	1,02811473	1,0832052	0,6598258
	-0,87553219	-0,46994253	-0,30531091	-0,15311455	-0,35308027	0,5017645
	-1,86493913	0,01145658	0,46262374	0,86105415	-0,1112429	1,023418



### III.3 LA METHODE de THORNTHWAITE

La méthode de Thornthwaite permet de calculer ponctuellement (en une station) le bilan d'eau mensuel et annuel à partir des valeurs mensuelles des précipitations et des valeurs moyennes mensuelles des températures.

$$ETP = 1.6 \times \left(10 \times \frac{t}{I}\right)^a \quad \text{et} \quad a = \frac{1.6}{100} \times I + 0.5 \quad I = \sum i \quad \text{et} \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Dans laquelle :

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle,

corrigée (en mm). t : température moyenne

mensuelle (en ° C).

I : indice thermique annuel : somme des indices mensuels calculés à partir des températures moyennes

mensuelles selon la formule  $i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$

K : coefficient de correction dépendant de la latitude et donné par une table. La valeur de l'évapotranspiration potentielle annuelle est la somme des 12 valeurs d'évapotranspiration potentielle mensuelles.

$$a = \frac{1,6}{100} * I + 0,5$$

Tableau n°4 température et indice thermique mensuel  
2015 / 2020 :

	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
MOIS	t	l	t	i	t	i	t	l	t	i	t	i
Janvier	9	2,43	12,6	4,05	8	2,03	10,8	3,2	8,4	2,19	9,1	2,47
Février	9,3	2,56	12,7	4,1	13,2	4,35	9,5	2,64	10,6	3,11	13,8	4,65
Mars	13	4,25	12,2	3,86	14,8	5,17	13,4	4,45	13,9	4,7	15,1	5,33
Avril	18,5	7,25	16,5	6,09	17,9	6,89	16,1	5,87	16,2	5,93	17,1	6,43
Mai	23	10,08	20,6	8,53	23,1	10,14	18,9	7,49	22,3	9,62	22,8	9,94
Juin	25,3	11,64	26,5	12,49	28,4	13,87	24,6	11,16	24,9	11,36	26	12,13
Juillet	31,8	16,46	29,9	14,99	30,6	15,53	28,9	14,24	29,4	14,62	31,5	16,22
Aout	29,8	14,92	28,9	14,24	30,1	15,15	29,1	14,39	29,6	14,77	30,9	15,76
Septembre	24,5	11,09	25,7	11,92	25,1	11,5	25,1	11,5	25,3	11,64	25,5	11,78
Octobre	20,8	8,65	22,1	4,49	21,1	8,84	19,3	7,73	20,2	8,28	19,5	7,85
Novembre	14,5	5,01	14,5	5,01	14,2	4,85	14	4,75	13,8	4,68	16,5	6,09
Décembre	12,1	3,81	11,5	3,53	10,1	3,07	11,2	3,39	12,4	3,95	11,8	3,67

2015 :  $I = \sum i = 98,15$

2016 :  $I = 93,3$

2017 :  $I = 101,39$

2018 :  $I = 90,81$

2019 :  $I = 94,85$

2020 :  $I = 102,3$

$a$

$$= \frac{1,6}{100} * I + 0,5$$

la valeur de a :

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
l	98,15	93,3	101,39	90,81	94,85	102,32
a	2,14	1,49	2,12	1,95	2,01	2,13

$$ETP = 1,6 \left( 10 \frac{t_a}{I} \right)$$

L'ETP calculée pour chaque mois est représentée dans le tableau suivant :

Tableau n°6 évapotranspiration potentielle mensuelles 2015 / 2020

	ETP 2015	ETP 2016	ETP 2017	ETP 2018	ETP 2019	ETP 2020
JANVIER	1,33	2,91	0,97	2,24	1,25	1,25
FEVRIER	1,43	2,96	2,80	1,75	2,00	3,03
MARS	2,92	2,73	3,57	3,42	3,45	3,67
AVRIL	6,21	4,98	5,34	4,89	4,69	4,78
MAI	1,43	7,738	9,17	6,68	8,92	8,82
JUIN	12,14	12,77	14,21	11,17	11,13	11,66
JUILLET	19,80	16,24	16,64	15,29	15,55	17,55
AOUT	17,23	15,18	16,07	15,50	15,76	16,85
SEPTEMBRE	11,33	12,02	10,93	11,62	11,50	11,19
OCTOBRE	7,98	8,90	7,57	6,96	7,31	6,32
NOVEMBRE	3,69	3,85	3,27	3,72	3,40	4,43
DECEMBRE	2,50	2,43	1,59	2,41	2,74	2,17

Pour obtenir ETP corrigée, on fait une multiplication entre le facteur de correction et ETP, selon le mois et la latitude. K : coefficient de correction

Tableau n° 7 évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée :

MOIS	K	ETP 2015	ETP 2016	ETP 2017	ETP 2018	ETP 2019	ETP 2020
1	0,87	1,16	2,53	0,84	1,95	1,09	1,08
2	0,85	1,21	2,51	2,38	1,49	1,70	2,57
3	1,03	3,01	2,81	3,67	3,52	3,55	3,78
4	1,09	6,77	5,42	5,82	5,33	5,11	5,21
5	1,21	1,73	9,363	11,09	8,08	10,79	10,67
6	1,21	14,69	15,46	17,19	13,52	13,47	14,11
7	1,23	24,35	19,98	20,47	18,81	19,12	21,59
8	1,16	19,99	17,61	18,64	17,98	18,28	19,54
9	1,03	11,67	12,38	11,26	11,97	11,84	11,53
10	0,97	7,74	8,63	7,34	6,75	7,09	6,13
11	0,86	3,17	3,309	2,81	3,20	2,92	3,81
12	0,85	2,13	2,06	1,35	2,05	2,33	1,84

La valeur de

L'évapotranspiration potentielle annuelle et la somme des 12 valeurs d'évapotranspiration potentielle mensuelle.

Le calcul de l'évapotranspiration réelle annuelle La comparaison des valeurs de l'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) et des hauteurs des précipitations annuelle (P) permet de calculer l'évapotranspiration réelle annuelle (ETR). Plusieurs cas peuvent se présenter :

$$ETP < P$$

$$ETR = ETP$$

La quantité d'eau correspondant à  $P - ETP$  est emmagasinée dans le sol jusqu'à saturation de celui-ci, la partie de l'"excédent" dépassant éventuellement la réserve cumulée maximale en eau du sol, constitue le "watersurplus" et est disponible pour le ruissellement et l'infiltration.

$$ETP = P$$

$$ETP = P = ETR$$

$$ETP > P$$

Lorsque les réserves en eau du sol sont épuisées et que  $ETP > ETR$ ,  $ETP - ETR =$  "water-deficiency".

Tableau n°8 Bilan hydrique pour la station de Sidi bel abes ( 2015-2020)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ETP annuelle	102,32	87,99	92,69	92,11	85,65	87,71
P (mm)	176	175	153	209	146	139
La quantité d'eau emmagasinée	73,68	87,01	60,31	116,89	60,30	50,29

D'après ce tableau , les résultats du bilan hydrique montre que l'année 2020 est caractérisée par les plus faibles précipitations et une moyenne évapotranspiration ainsi une quantité d'eau, emmagasinée, la plus faible

Suite aux résultats des différents indices, en occurrence le SPI et l'indice de Thornthwaite, l'année agricole qui est prise, où il sera appliqué des traitements d'images satellite, est l'année 2019-2020.

### III.4 Traitement d'images

La vision globale des notions de base sur l'outil de la télédétection présente une importante étape dans notre étude. A cet effet nous avons établi une recherche bibliographique sur les principes de base de la télédétection et les méthodes des traitements utilisés.

L'utilisation de ces outils permet une exploitation fiable des données spatiales et géographique facilitant de d'atteindre notre objectif.

Dans ce chapitre, il sera appliqué des traitements satellite par des indices de télédétection pour une caractérisation descriptive de la sécheresse pendant l'année agricole 2019-2020 dans la zone de la plaine de Mekerra.

Les indices utilisés sont/

- le NDVI : est un indice normalisé permettant de générer une image affichant la couverture végétale
- le NDWI : un indice permettant de délimiter et surveiller les changements du contenu de l'eau en surface
- le VCI ( vegetation condition index) : est un indice qui évalue l'état de santé de la végétation par rapport aux tendances historiques.

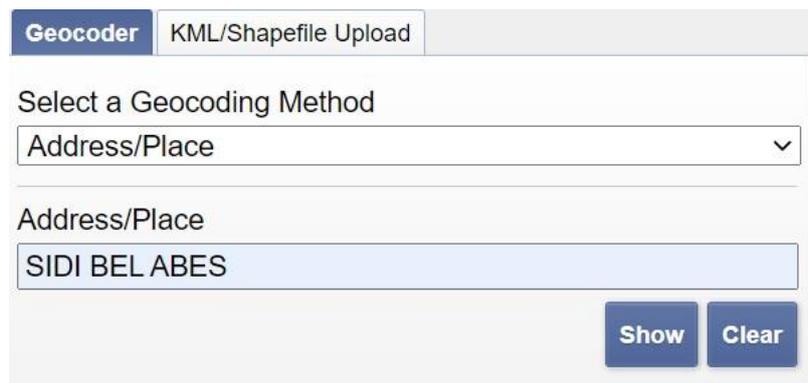
Nous allons télécharger des images de la sentinel satellite de septembre 2019 au mars 2020 qui couvre toute la wilaya de sidi bel abbés, ensuite on va les redimensionner en utilisant le programme ENVI pour appliquer les indices que sur la plaine de Mekerra.

En dernier lieu une comparaison entre les différentes cartes et indices sera appliqué

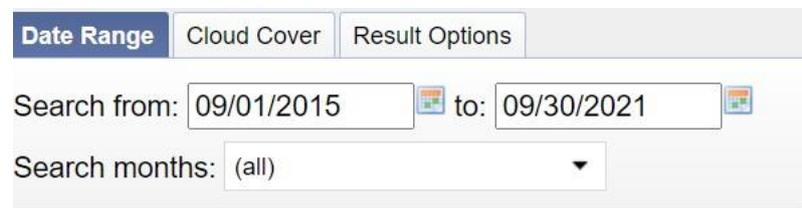
### III.4.1 Aquisition des données

1 – ouvrir USG EARTH EXPLORER

2- entrer l'adresse dans notre cas la wilaya de sidi bel abes

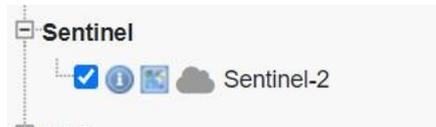


3 – sélectionner une date



4- choisir une résolution de 10 et une plage de couverture

nuageuse de 10 % 5- sélectionner satellite voulu :



Les satellites Sentinel-2 doivent fournir des images multi-spectrales à grande résolution qui doivent permettre de poursuivre la collecte des données réalisées par les missions [Landsat](#) et [Spot](#) tout en améliorant leur qualité. Il s'agit d'alimenter les services opérationnels Copernicus concernant l'observation des terres émergées et les services de sécurité :

- observation de la couverture des sols et de leurs utilisations, réalisation de cartes mettant en évidence les évolutions de celle-ci ;

- réalisation de cartes agrégeant les variables géophysiques (chlorophylle, humidité, ...carte des risques ;)

- prises d'images rapides pour les secours sur les lieux de catastrophes.

NOUS APPLIQUONS LA MÊME PROJECTION ET LA MÊME RÉOLUTION À TOUS LES MOIS

#### De JPG EN TIFF

Convertir les fichiers finals de JPG en TIFF afin de conserver une haute qualité

Ce format est utilisé pour l'impression et a l'avantage de ne pas être compressé et d'accepter les zones de transparence. Cela permet de n'avoir aucune perte de qualité, ce qui lui donne un avantage pour la réalisation d'un imprimé professionnel.

#### III.4.2 Assemblage des données

1 – ouvrir ENVI

2- file – open image file

3- sélectionner les images du premier mois 6-layer stacking

L'empilement de couches est un processus permettant de combiner plusieurs images en une seule image. Pour ce faire, les images doivent avoir la même étendue (nombre de lignes et nombre de colonnes), ce qui signifie que vous devrez rééchantillonner d'autres bandes qui ont une résolution spatiale différente de la résolution cible

8- mosaicking

Le mosaïquage consiste à combiner plusieurs images en une seule image composite

### III.4.3 EXTRACTION DE ZONE D'ETUDE :

1-basic tools – resize data

2-sélectionner sur l'image la plaine de mekkera

3-on applique les mêmes dimensions sur le reste des mois

### III.4.4 Application des indices

Nous avons choisi les indices en fonction de :

- Caractéristiques techniques des  
soudes spectrales - La disponibilité  
des données

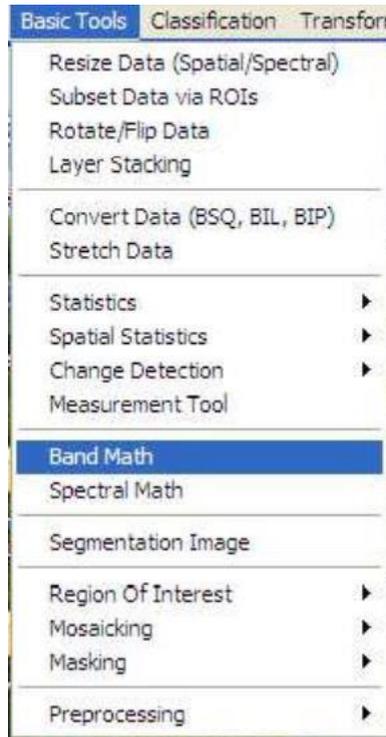
#### III.4.4.1 L'INDICE NDVI :

L'indice de végétation par différence normalisé, appelé aussi NDVI est construit à partir des canaux rouges (R) et proches infrarouge (PIR).

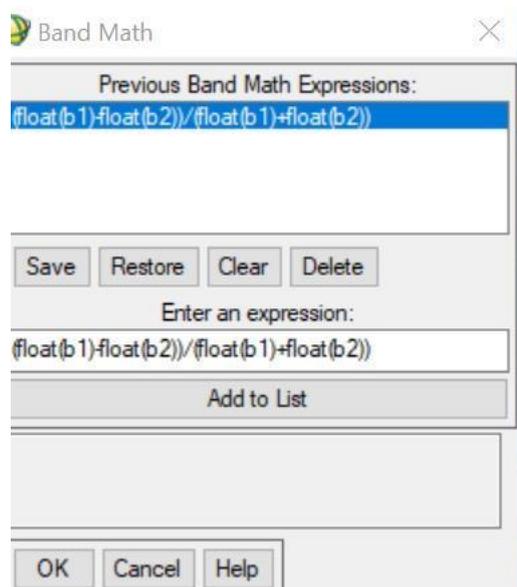
L'indice de végétation normalisé met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge.  $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$  Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses

#### Calcul du NDVI avec ENVI :

1. Dans le menu principal d'ENVI, cliquez sur « Basic Tools », ensuite sur « Band Math »

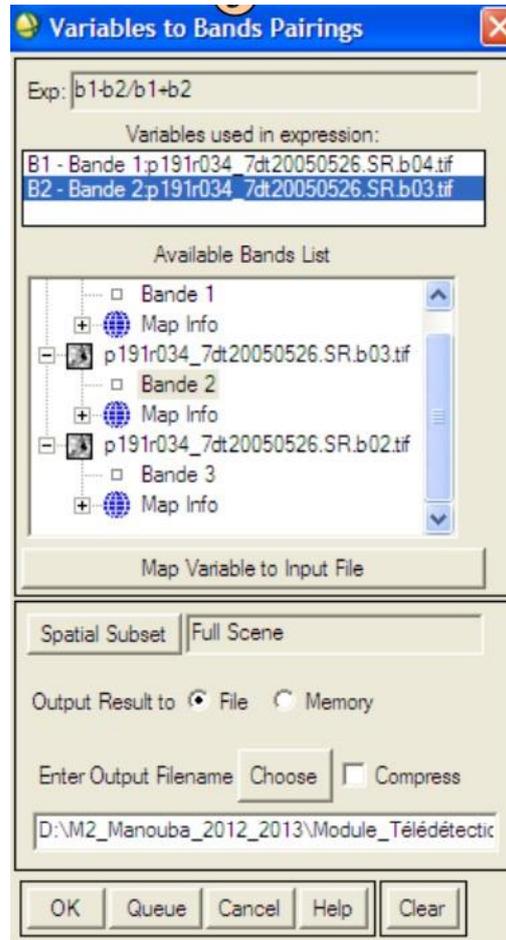


2. Entrer la formule de l'indice de végétation et cliquez sur OK



3. Dans la fenêtre qui apparaît indiquez au logiciel quelle est la bande 1 et la bande 2, ensuite cliquez sur «

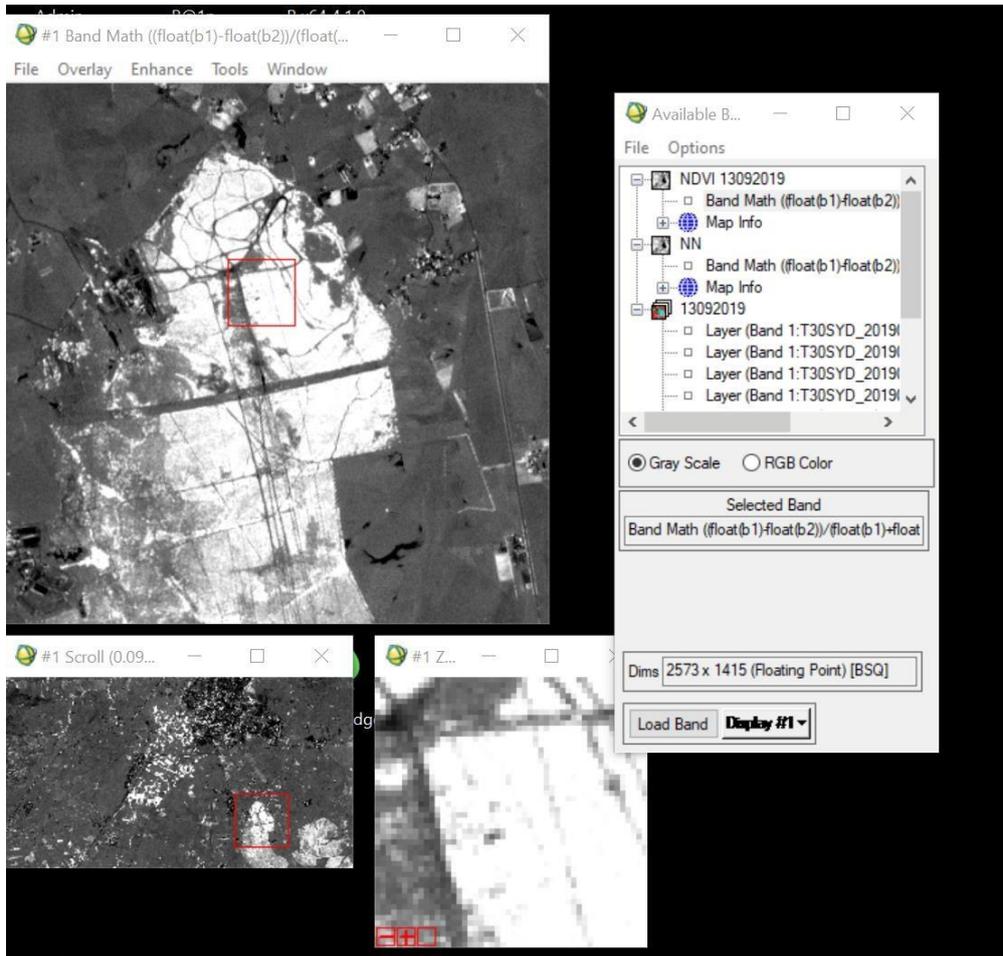
Choose » et choisissez le nom et l'emplacement du fichier de sortie, puis cliquez sur Ok pour valider



Le logiciel commence à calculer l'indice de végétation.

La bande de l'indice de végétation apparaît dans la liste des bandes

4. Cliquez sur « Display », ensuite sur « New display », puis sur « Load Band » pour afficher la bande. La bande de l'indice de végétation est maintenant affiché



Interprétation de la bande de l'indice de végétation :

Nous voyons apparaître sur l'image deux types de végétation bien distincts : 1. Une végétation un peu noirâtre (couleur sombre) : c'est une végétation pauvre en chlorophylle ; 2. Une végétation blanche (couleur blanche) : c'est une végétation riche en chlorophylle.

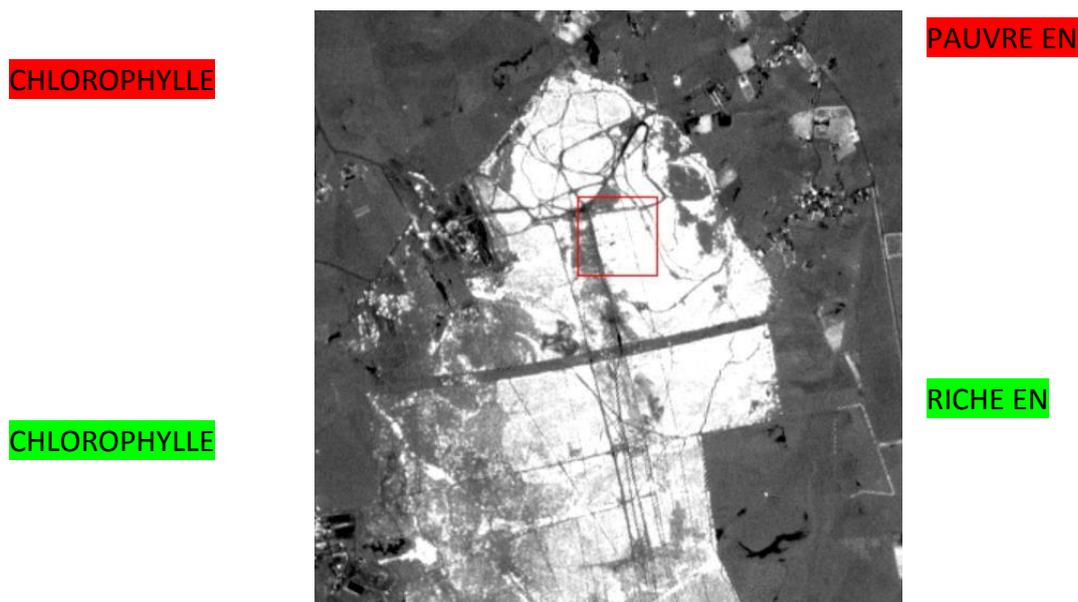


Figure n°8

Plus les pixels sont blancs, plus la végétation est riche en chlorophylle et vice-versa résultats des calculs de l'NDVI multi date : ( figure n° 9,10,11 ,12,13,14,15 )

septembre 2019 :

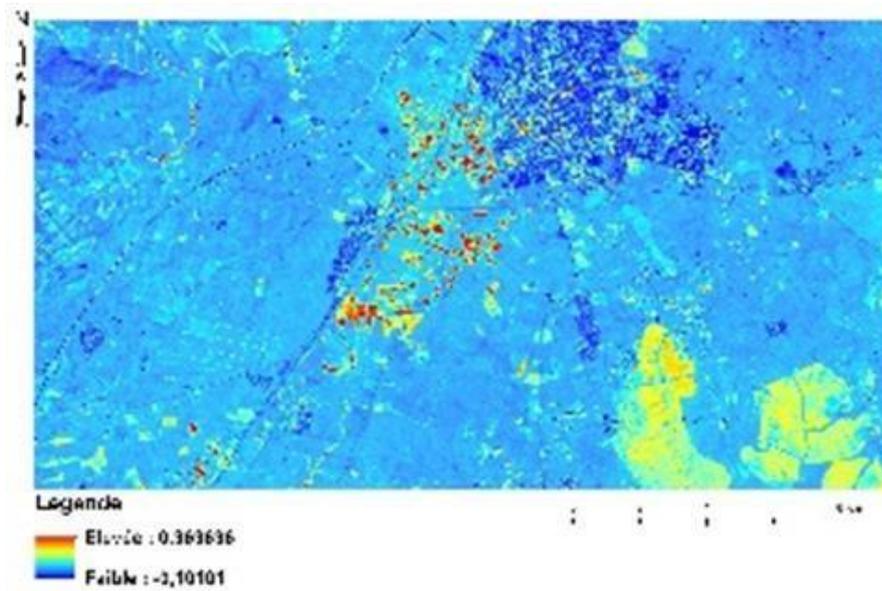


Figure n° 9

Octobre 2019 :

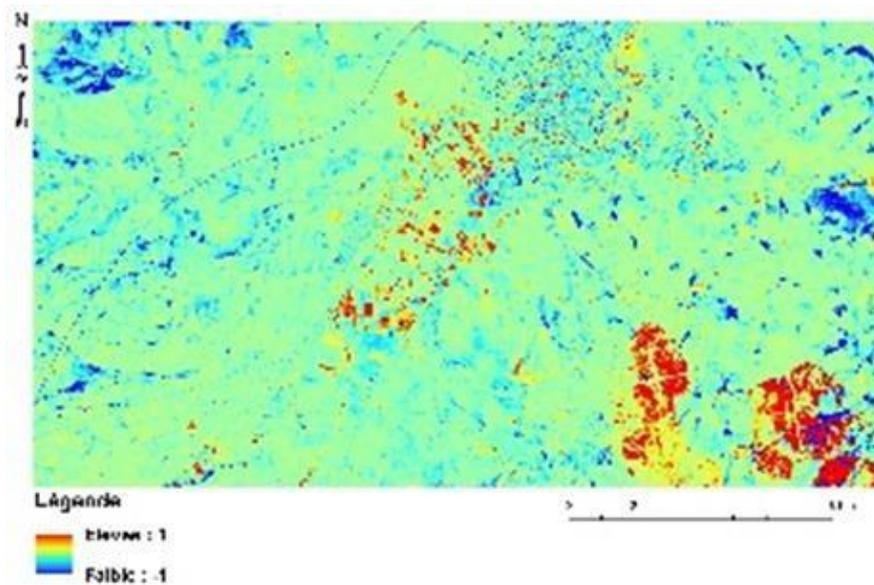


Figure n°10

Novembre 2019 :

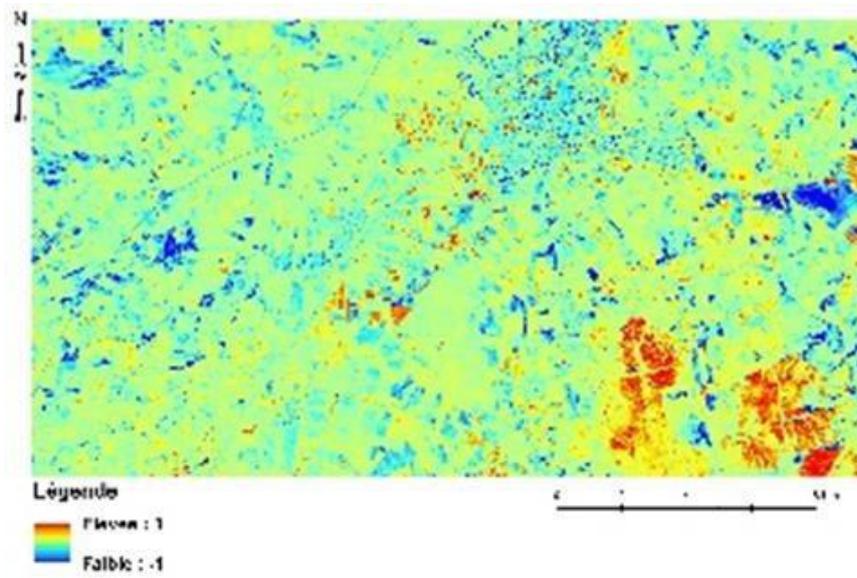


Figure n°11

Décembre 2019 :

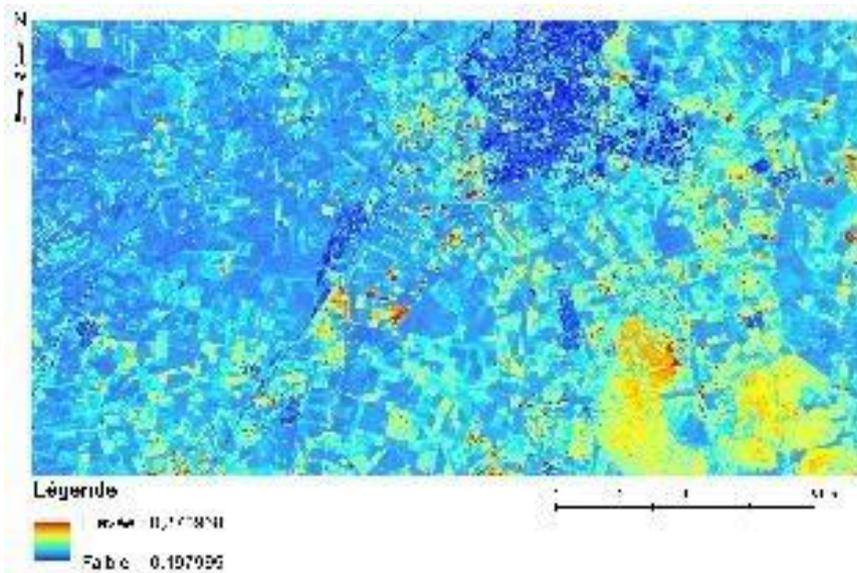


Figure n° 12

Janvier 2020 :

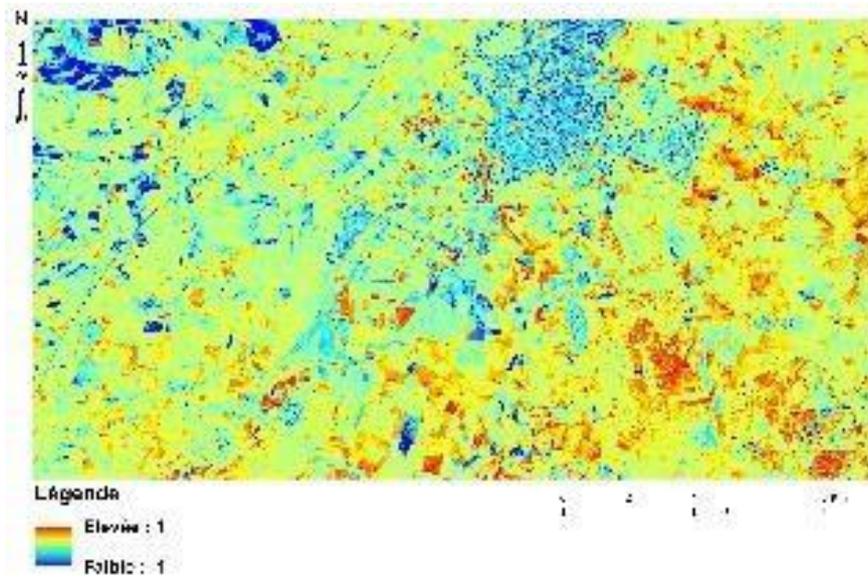


Figure n° 13

Février 2020 :

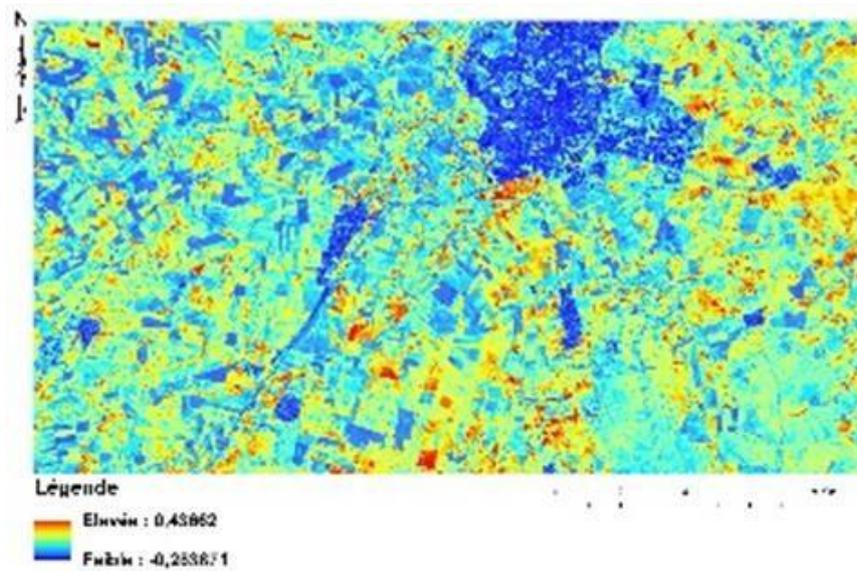


Figure n°14

Mars 2020 :

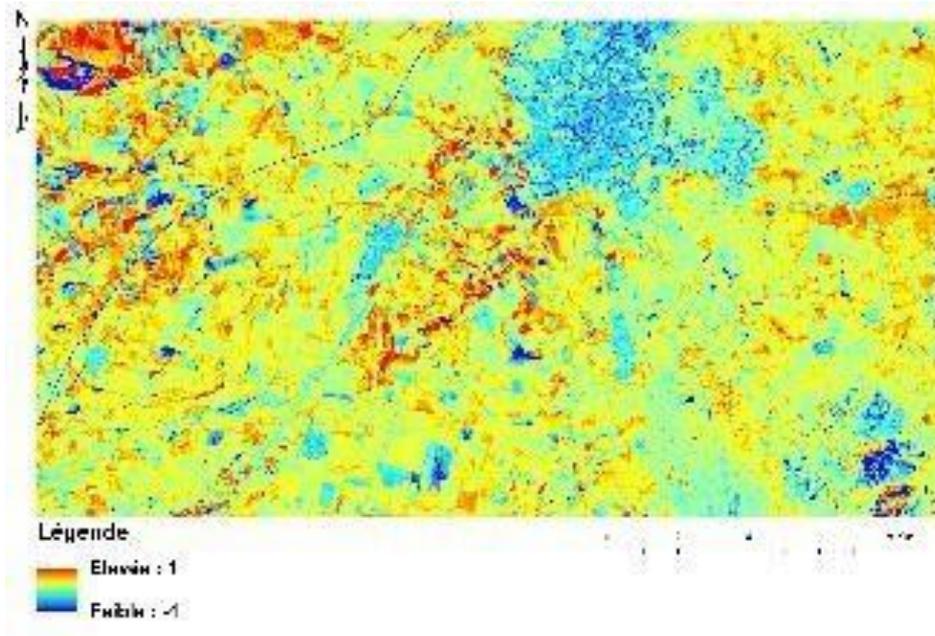


Figure n° 15

En septembre nous remarquons qu'une légère quantité de chlorophylle cela signifie que c'est des terres irriguées.

Avec la succession des mois nous observons une extension de chlorophylle c'est à cause de l'augmentation de la quantité de précipitation qui entraîne à une augmentation de la couverture végétale. Cette extension est représentée dans les cartes par du **jaune** et du **vert clair** cela signifie que la quantité de chlorophylle est moyenne cela est du au type de végétation et sa densité

#### III.4.4.2 L'indice de teneur en eau par différence normalisée (NDWI)

Suivant le même principe que le NDVI, l'indice de teneur en eau par différence normalisée ('Normalised Difference Water Index', NDWI) utilise la bande proche infrarouge et une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde ('short-wave infrared', SWIR)(Gao, 1996). Au lieu de la bande rouge, où la réflectance est affectée par la chlorophylle, le NDWI utilise une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (entre 1500 et 1750 nm), où l'eau possède un pic d'absorption. La bande du proche infrarouge ('near-infrared', NIR) est la même que celle du NDVI car l'eau n'absorbe pas dans cette région du spectre électromagnétique.

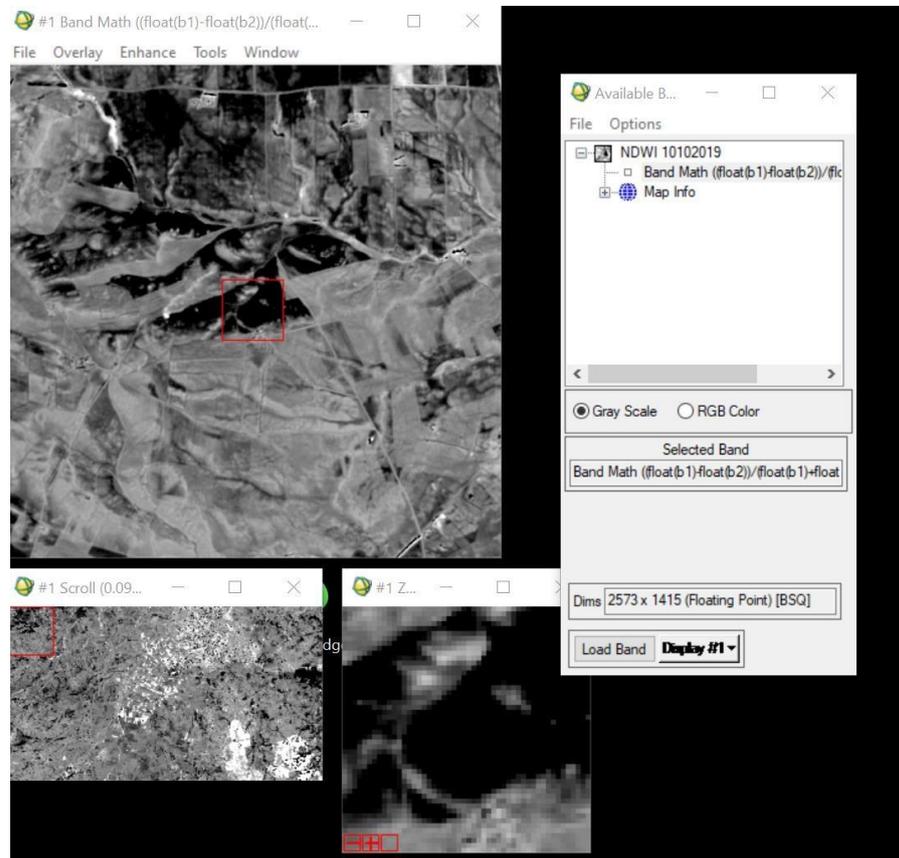
L'indice NDWI se calcule selon l'équation suivante:

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

En suivant les mêmes étapes que le NDVI mais on change la formule de calcul et les bandes

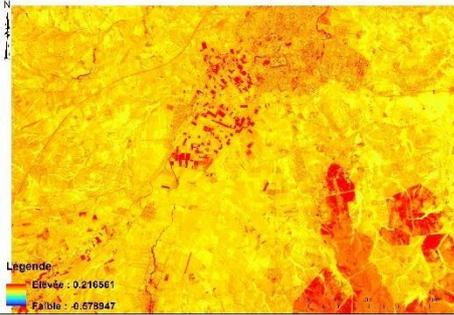
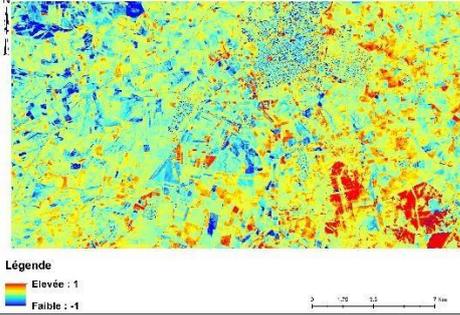
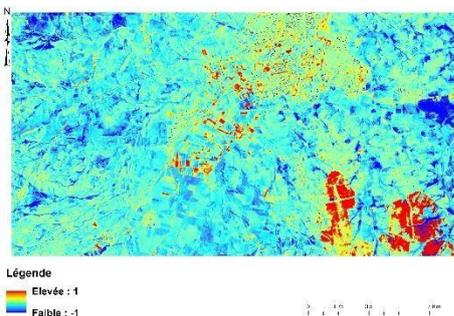
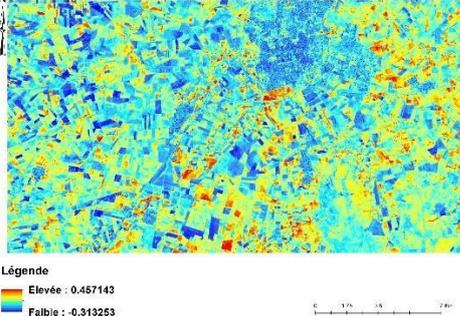
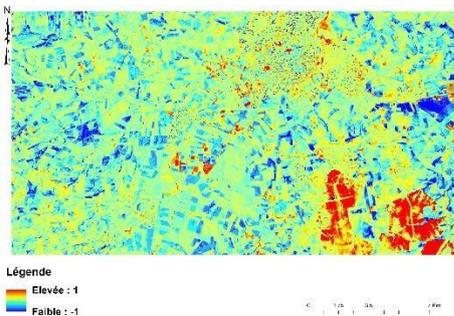
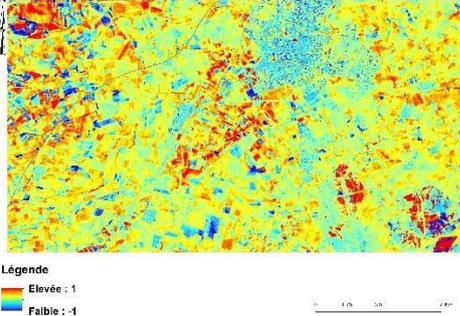
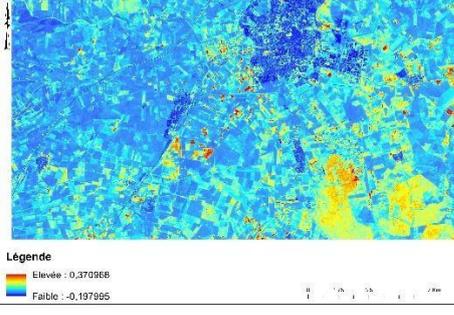
Sentinel-2 NDWI pour la détection des plans d'eau peut être construit en utilisant :

Bande "Verte" 3 (559nm) et Bande "NIR" 8A (864nm)



L'image en noir et blanc, correspond au calcul du NDWI pour chaque pixel de l'image. Comme avec l'image du NDVI, les pixels sombres correspondent aux valeurs les plus faibles et les pixels clairs aux valeurs les plus élevées.

Tableau n°9 résultat des calcul de l'INDWI :

Sept	jan
 <p>Légende Elevée : 0.216581 Faible : -0.678947</p>	 <p>Légende Elevée : 1 Faible : -1</p>
oct	fev
 <p>Légende Elevée : 1 Faible : -1</p>	 <p>Légende Elevée : 0.457143 Faible : -0.313253</p>
Nov	mars
 <p>Légende Elevée : 1 Faible : -1</p>	 <p>Légende Elevée : 1 Faible : -1</p>
dec	
 <p>Légende Elevée : 0.370968 Faible : -0.197895</p>	

En septembre on observe une quantité d'eau très élevée cela signifie seulement que le jour où l'image a été prise, il pleuvait et l'eau ne s'est pas encore infiltrée

En octobre novembre et décembre on observe une quantité d'eau élevée représenté par le rouge et le jaune présente dans les trois mois et dans la même zone cela confirme que c'est des terres irriguées .

En janvier février mars on observe une diminution en valeur faible sur toute la plaine de mekkera cela est du à une augmentation en quantité d'eau

#### III.4.4.3 L'indice VCI:

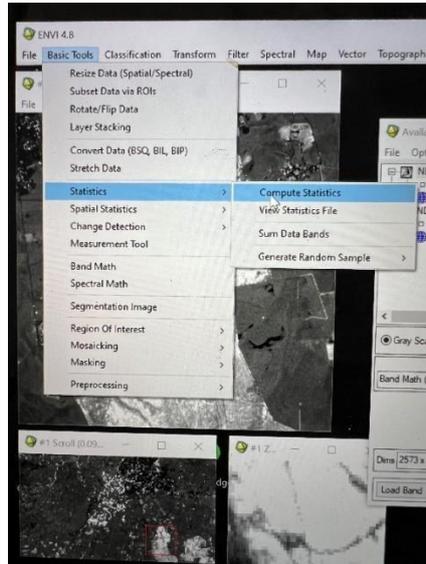
L'indice de l'état de la végétation (VCI) compare le NDVI actuel à la plage de valeurs observées au cours de la même période les années précédentes. Le VCI est exprimé en % et donne une idée où la valeur observée se situe entre les valeurs extrêmes (minimum et maximum) des années précédentes. Les valeurs inférieures et supérieures indiquent respectivement un mauvais et un bon état de la végétation. Le VCI varie de 0 pour des conditions extrêmement défavorables, à 100 pour des conditions optimales.

$$VCI = 100 * (NDVI - NDVI \text{ min}) / (NDVI \text{ max} - NDVI \text{ min})$$

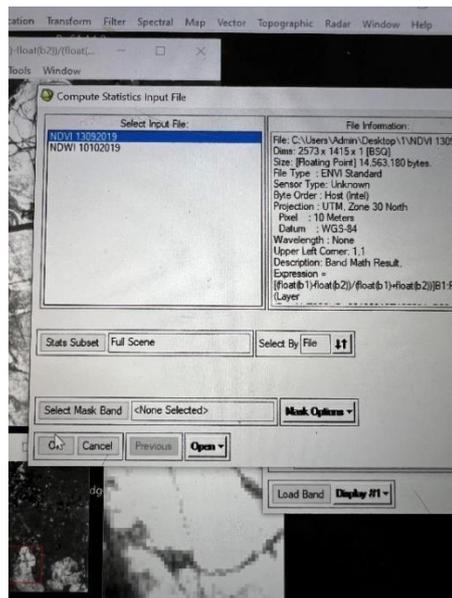
Sélectionner le NDVI min et max de chaque mois en suivant ses étapes :

1-Ouvrir le fichier NDVI du premier mois

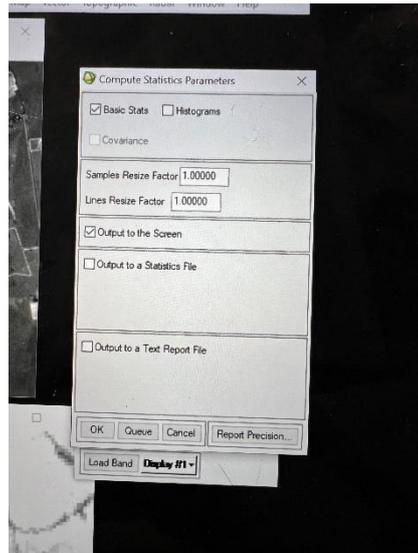
2 – basic tools – statistics – compute statistics



3- sélectionner le fichier – cliquez sur ok



4- cliquez sur ok



5- NDVI min et max s'affichent :

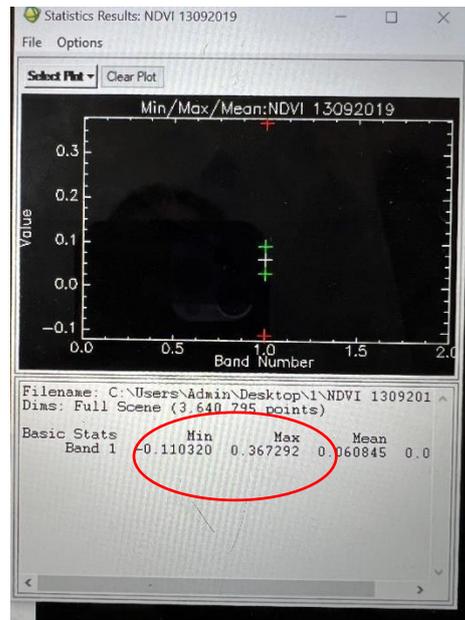
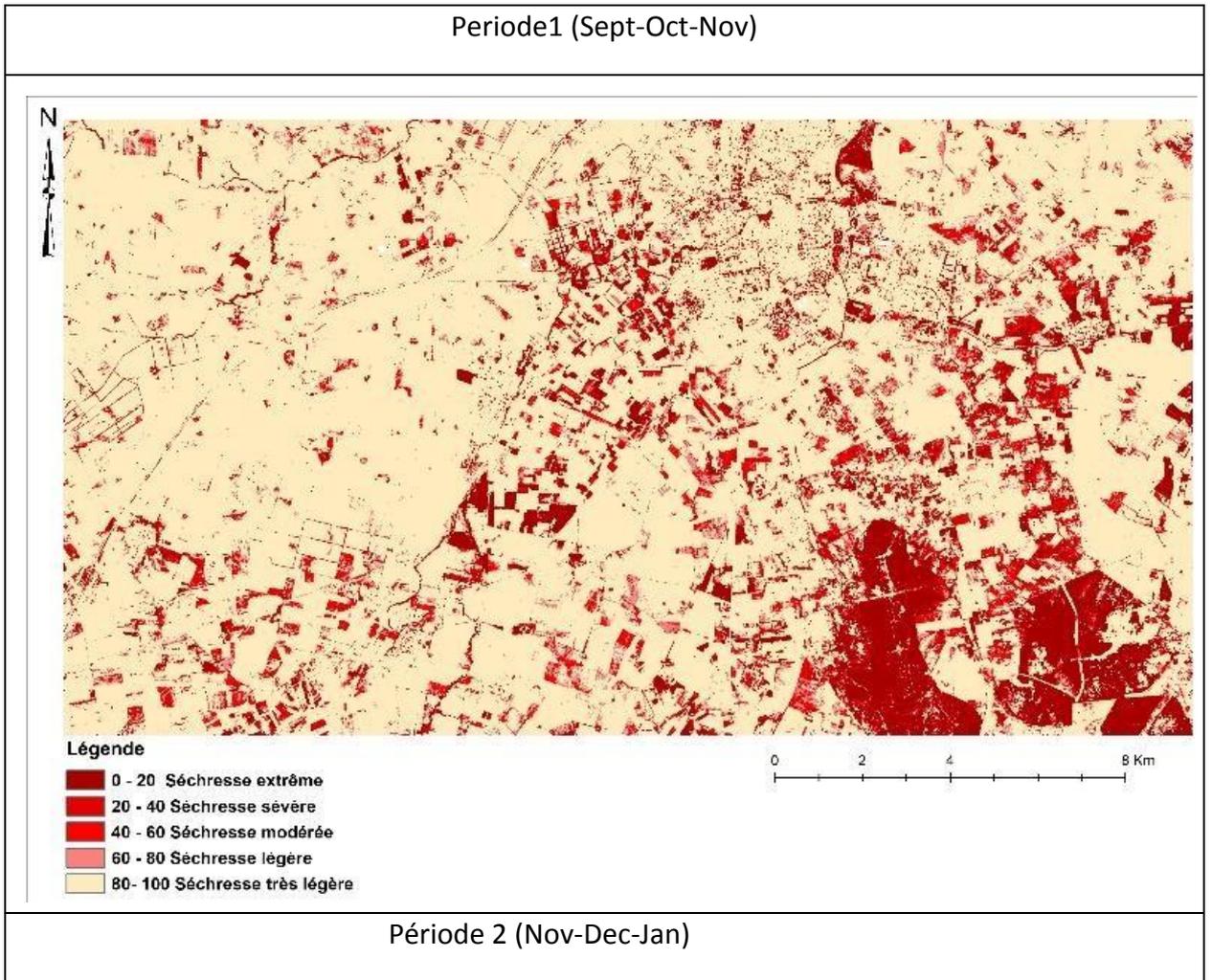
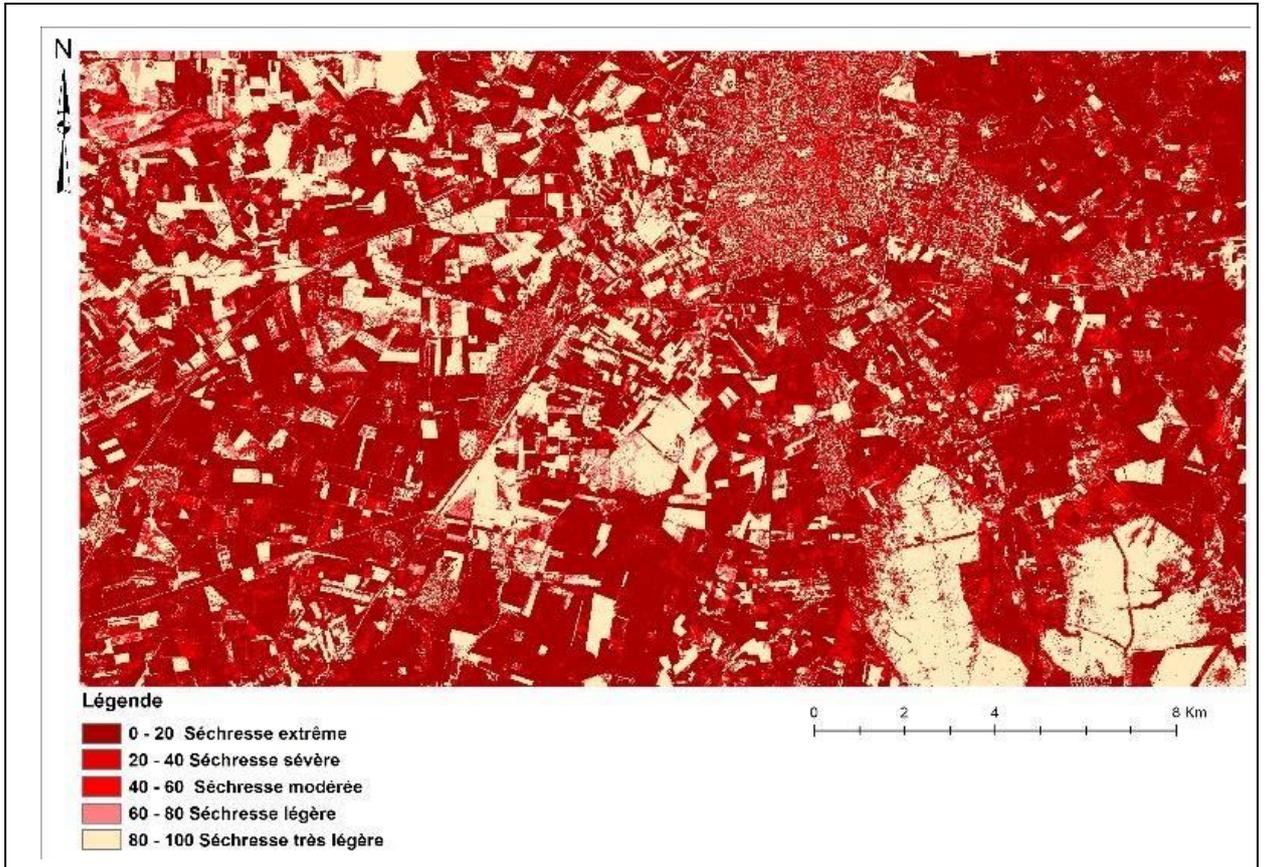
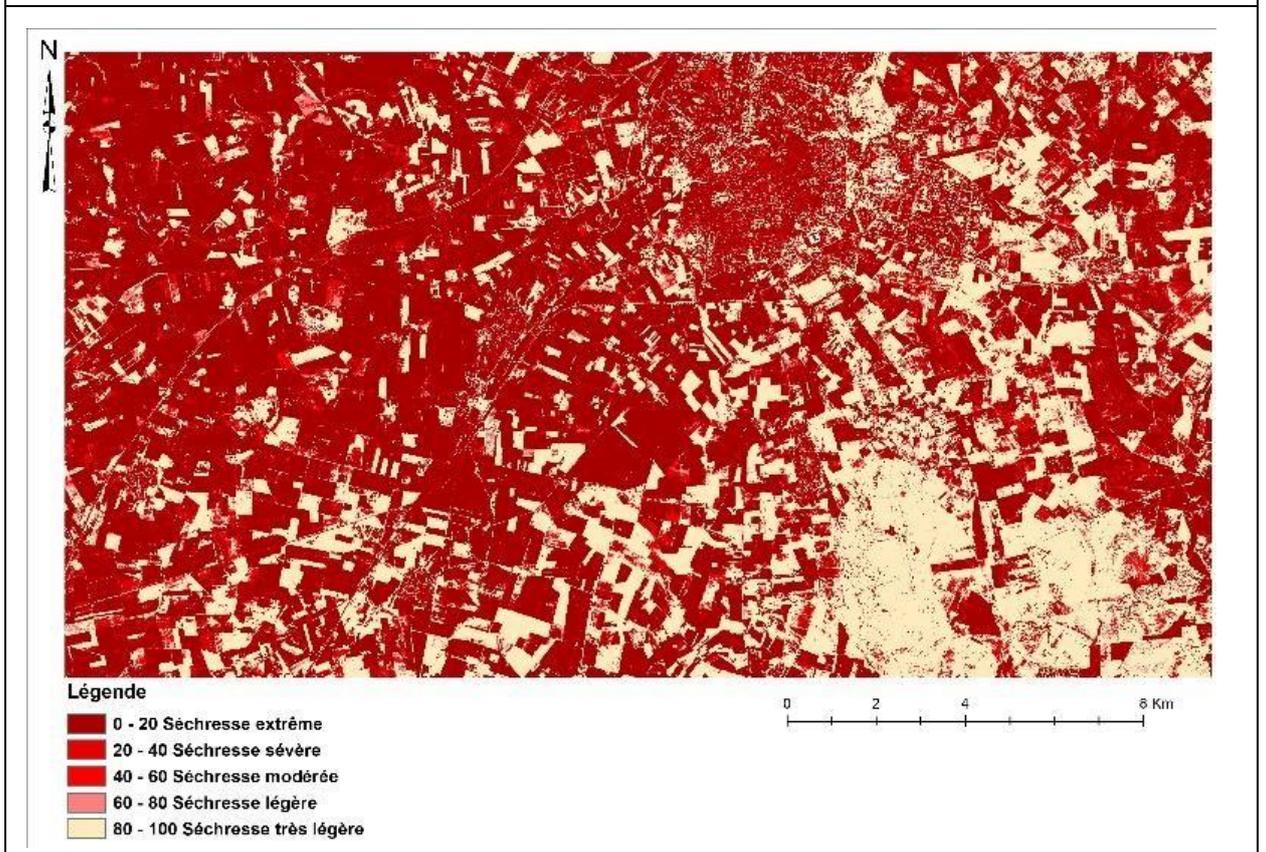


Tableau n°9 : Résultats de VCI :





Période 3 (Jan-Fev-Mars)



selon les résultats obtenus à travers les périodes étudiées via le VCI, il révèle qu'y a une sécheresse qui persiste durant l'année agricole.

durant l'année agricole, avec la croissance de la végétation le VCI mis en valeur qu'y a des besoins en matière d'eau

(période Jan-Fev et mars) c'est le moment ou les besoins de la céréaliculture s'accroitre pour son développement végétatif.

## CONCLUSION :

Le prolongement des périodes sèches dans le pourtour méditerranéen est devenu une réalité climatique durant cette dernière décennie ; En Algérie, les ressources hydriques tributaires pour une large part d'une pluviométrie très irrégulière et inégalement répartie dans l'espace, demeurent modestes, eu égard également au déficit en moyens de rétention (barrages, retenues collinaires etc.). Les changements climatiques et en particulier la sécheresse qui sévit ces dernières années, essentiellement à l'Ouest du pays, exacerbe davantage le problème.

La sécheresse est considérée lorsqu'elle se produit pendant une période assez longue et sur une surface étendue. Elle est consentie dans les zones habituellement en permanence humides, au contraire dans les zones sèches, l'aridité désigne les circonstances normales. Leur sévérité varient d'un endroit à un autre, dépend de l'hétérogénéité spatiale de la pluie. C'est-à-dire elle peut être différente en fonction des conditions géographiques et climatiques.

Ce mémoire consistait, en premier lieu, à mettre la caractérisation de la sécheresse de la zone d'étude, par sa fréquence, durée et son intensité, afin de déduire l'année remarquable, des conditions normales, sèches et humides. Ensuite nous avons illustré, pour la même année un suivi par télédétection pour étudier les variabilités agricoles dans un contexte agricole.

Le résultat obtenu pour l'évaluation des variations des températures et des Précipitations en utilisant les indices spi et thornthwaite montre aucun déficit hydrique au cours des cinq dernières années à Sidi Bel Abes cela a juste aidé à choisir l'année la moins humide.

Cette année a aidé pour étudier l'année agricole à la plaine de Mekkeza par traitement satellitaire ;

Les traitement des images sentinel-2 de l'année agricole 2019 / 2020 et l'utilisation des indices de télédétection nous a permis d'étudier la disponibilité en eau , l'humidité , la couverture végétale et la qualité de la végétation

Le NDVI indique une présence de couverture végétale dans la plaine de mekkera ,

Le NDWI montre une disponibilité moyenne en eau pendant l'année agricole ,

Le VCI relève une sécheresse sévère pendant l'année agricole de novembre jusqu' au mars ,

De là nous concluons que la quantité de précipitation est insuffisante pour répondre aux besoins de l'agriculture dans la région

Maintenant on peut dire que la plaine de mekkera est en proie à la sécheresse dans l'année agricole cela affecte le montant et la qualité de l'accès agricole .

L'agriculture, est sans doute, l'activité humaine la plus influencée par le climat, car, la production y dépend directement. Le développement technologique a permis une augmentation de la productivité. Néanmoins, L'agriculture est extrêmement sensible aux variations climatiques. Des températures plus élevées diminuent les rendements des cultures tout en entraînant une prolifération des mauvaises herbes et des parasites. La modification des régimes de précipitations augmente la probabilité de mauvaises récoltes à court terme et d'une baisse de la production à long terme. le changement climatique aura généralement des impacts négatifs sur l'agriculture et menacera la sécurité alimentaire

## La liste des figures :

Figure n°1 LA CARTE DE LA POSITION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA DE SIDI BEL ABES

Figure n° 2 LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE SIDI BEL ABES

Figure n° 3 LA CARTE DE L HYDROGRAPHIE DE SIDI BEL ABES

Figure n°4 : Types de sécheresse, manifestations dans le temps et leurs impacts

Figure n°5 (capture d'écran)

Figure n°6 (capture d'écran)

Figure n7 PRESENTATION GRAPHIQUE DU SPI

Figure n°8 Interprétation de la bande de l'indice de végétation

Figure n° 9,10,11 ,12,13,14,15 résultats des calculs de l'NDVI multi date

## LA LISTE DES TABLEAUX :

Tableau n°1 SOMMAIRE DES INDICES

Tableau n°2 INTERPR2TATION DU SPI

Tableau N°3 : résultats du SPI pour la période 2015-2020 pour la station de sidi bel abes :

Tableau n°4 température et indice thermique mensuel 2015 / 2020

Tableau n°5 indice thermique annuel et la valeur de a :

Tableau n°6 évapotranspiration potentielle mensuelles 2015 / 2020

Tableau n° 7 évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée :

Tableau n°8 Bilan hydrique pour la station de Sidi bel abes ( 2015-2020)

Tableau n°9 : Résultats de VCI :

## REFERENCES

1. A.A. Viau, J.V. Vogt et I. Beaudin, Comparison of a Satellite-Based and a Precipitation
2. Actes de l'Atelier international sur le Risque Sécheresse, CRSTRA, Biskra 21-22 novembre 2010
3. Analyse de Risque et de Vulnérabilité au Changement Climatique en Algérie, Rapport de synthèse, GIZ, avril 201
4. PLAN NATIONAL SECHERESSE ALGERIE LIGNES DIRECTRICES EN VUE DE SON OPERATIONNALISATION Mohamed SAFAR-ZITOUN Consultant CNULCD Alger, 30 Juin 2019
- 5 . WIKIMEMOIRES Les sciences / novembre 29, 2019
6. MEMOIRE I Etude de la variabilité spatiale de la sécheresse Au Nord-Ouest de l'Algérie  
Présenté par : - HACHEMI Aida - BACHIR CHERIF Djamila 03/07/2018
7. ARTICLE Incidence de la fluctuation des précipitations sur l'occupation des sols dans les hautes plaines de Sidi-Bel-Abbès (Algérie) Baroudi Meterfi, Noredine Letreuch-Belarouci et Khéloufi Benabdeli Volume 5 | 2011 : Varia 2011 OPEN EDITION JOURNAL
- 8 . Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie O. Bessaoud, J.-P. Pellissier, J.-P. Rolland, W. Khechimi HAL Id: hal-02137632 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02137632> Submitted on 28 Mai 2019

9 . MEMOIRE DE MASTER CONTRIBUTION A L'ANALYSE DE LA SECHERESSE DANS LE BASSIN D'ALIMENTATION DU BARRAGE BNI BAHDEL (NORD-OUEST DE L'ALGERIE) EN UTILISANT LES COPULES

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah  
DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE PRESENTE PAR : BENYAHIA Assia session 2016

10 . Manuel des indicateur et indices de la sécheresse Programme des gestions intégrés des sécheresses par OMM et GWP

11. Utiliser la télédétection pour mieux surveiller la sécheresse article dans le site de CORDIS.europa

12. Télédétection : mise en œuvre en agriculture Infoterra France – 2008

13. Comment la sécheresse impacte l'agriculture ARTICLE SUR LE SITE DE LA MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET L'ALIMENTATION EN France