



كلية العلوم
والتقنيات - مراكش

FACULTE DES SCIENCES
ET TECHNIQUES - MARRAKECH

Département des Sciences de la Terre

Licence Sciences et Techniques

Eau & Environnement

Mémoire du projet de fin d'étude

Apport de la télédétection dans la cartographie et l'étude de l'évolution des palmeraies. Cas de palmeraie de Skoura (vallée de Draa).

Réalisé par : IRHIRHI Karima

IAZZA Kaoutar

Soutenu le : 29 Juin 2021

Devant la commission d'examen composée de :

Encadrants : Pr. AZIZI Abdelfattah, FST Marrakech

Dr. OMDI Fatima Ezzahra, FST Marrakech

Examineur : Pr. IBOUH Hassan, FST Marrakech

Année universitaire 2020-2021



Remerciements :

On remercie dieu, le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre immense respect à monsieur AZIZI Abdelfattah, Professeur de l'enseignement supérieur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, pour la qualité de son encadrement exceptionnel, sa compréhension, son humanité, ses avis éclairés, ses judicieux conseils, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse également à Dr OMDI Fatima Ezzahra qui nous a suivie tout au long de cette période, pour sa patience, sa disponibilité, sa responsabilité, son aide pratique, son soutien moral et ses encouragements. Ses capacités scientifiques et ses compétences étaient notre grand support.

Nos profondes gratitudes envers les membres du jury, qui se sont libérés de leurs obligations pour juger ce travail, et à tous les enseignants et les administrateurs de la faculté des sciences et techniques de Marrakech.

Nous remercions également tous nos collègues et amis qui se sont toujours montrés courtois, aimables et coopératifs à notre égard.

Nos plus sincères remerciements s'adressent à nos familles, nos parents, frères et sœurs, pour leur sacrifice, leur amour, leur confiance, leur soutien moral et matériel, leurs encouragements et leurs conseils durant notre préparation de ce travail et toutes nos années d'études.

RESUME :

La palmeraie de Skoura, est l'une des rares palmeraies encore cultivée et habitée dans le sud-est du Maroc, elle couvre une superficie de 25 km², située à 40 km au nord-est de la ville d'Ouarzazate.

Cette région reflète l'histoire de toute la région sud-est du Maroc, avec ses merveilleuses kasbahs représentatives de la richesse culturelle de la zone. Ces belles kasbahs avec la beauté des paysages naturels jouent un rôle principal dans la dynamique touristique importante connue dans la région ces dernières années.

L'économie de la région est fondée principalement sur une agriculture caractérisée par une diversité de cultures à savoir les palmiers dattiers, les fruitiers (oliviers, les grenadiers, les amandiers, les abricotiers, les figuiers), et les céréales (blé, orge, luzerne, maïs ...) qui poussent jusqu'à la berge de l'oued. Cette agriculture repose sur l'irrigation artificielle des terres et jardins.

La palmeraie de son long, traversée par quatre affluents (de l'oued Draa) ; oued Dades, oued Elhajjaj, Oued Mddri et oued Boujhila qui alimentent les parcelles cultivées pendant les périodes de crue et à sec le reste du temps. Alors que l'oued Dadès qui s'écoule durablement, ne traverse que de quelques villages de la palmeraie.

Comme les autres oasis marocaines, la palmeraie de Skoura a subi une dégradation intense de la végétation précisément depuis les 40 dernières années. Ceci est dû principalement aux périodes de sécheresses connues dans cette région.

Le but de ce travail est de découvrir l'évolution de l'espace couvert par la végétation entre 1991 et 2021, en s'appuyant sur les processus de la télédétection par l'usage du système d'information géographique qui sert aux traitements numériques des images satellitaires prises par des plateformes aériennes, afin d'obtenir les résultats de l'évolution étudiée sous forme de statistiques plus viables à la comparaison, et de proposer des solutions pour lutter contre la désertification.

Les traitements réalisés montrent que le couvert végétal dominé par les palmiers dattiers a diminué de 37% entre 1991 et 2021.

TABLE DE MATIERE

<i>Remerciements</i> :	2
RESUME :	3
Liste des figures :	6
Liste des tableaux :	7
Liste des abréviations :	7
Introduction :	8
Premier chapitre :	9
Présentation de la zone d'étude :	9
I. Contexte général « Bassin de Draa » :	9
1. Contexte géographique :	9
2. Contexte géologique :	10
3. Contexte climatique :	12
4. Contexte hydrologique :	14
5. Les palmeraies du bassin de Draa :	20
II. Etude de cas « palmeraie de Skoura » :	22
Chapitre II : Matériel et Méthodes :	25
I. La télédétection :	25
1. Définition et principe :	25
2. Domaines d'application :	25
II. Capteurs et satellites :	25
1. Capteurs :	25
2. Les satellites :	26
III. Réflectance :	26
IV. Images satellites :	27
1. Définition d'une image satellitaire :	27
2. La résolution spatiale :	27
3. Capteur utilisé dans ce travail :	28
4. Choix des images satellitaires et dates :	30
V. Classification :	30
1. Classification non supervisée :	30
2. Classification supervisée :	30
VI. L'indice de végétation par différence normalisée ou indice de Tucker (NDVI) :	31
Troisième chapitre :	32
Résultats, discussions et interprétations :	32
Introduction :	32

I.	Evolution spatio-temporelle de la végétation dans Skoura (NDVI) :	32
II.	Comparaison de classification supervisée et cartes d'indice calculé NDVI :	34
1.	Cartes d'occupation du sol :	34
2.	Comparaison de la classification supervisée et indice NDVI :	36
3.	Conclusion :	37
	Conclusion générale	40
	Références bibliographiques :	41

Liste des figures :

Figure 1 : Localisation du bassin du Draa et ses sous-bassins. (PDAIRE, 2008).....	10
Figure 2 : Carte géologique de bassin d'Ouarzazate (BOUJAMAOU, 2018).....	11
Figure 3 : Les différentes structures géologiques dans le bassin d'Ouarzazate (BOUJAMAOU, 2018).....	12
Figure 4 : Températures moyennes mensuelles au barrage Mansour Eddahbi (Agoussine et al, 2004).....	13
Figure 5 : Pluies moyennes interannuelles à Ouarzazate (période 1964-1965 à 1998-1999) (Agoussine et al, 2004).....	14
Figure 6 : Ecart à la moyenne des pluies annuelles à Ouarzazate (période 1964-1965 à 1997- 1998). (Agoussine et al, 2004)	14
Figure 7 : Le réseau hydrographique du bassin Draa (MARTIN-IGUL, 2006)	16
Figure 8 : Situation du barrage El Mansour Eddahbi au Haut Draa (Agoussine et al, 2004). 18	
Figure 9 : Situation des palmeraies du bassin Draa (MARTIN – IGUL, 2006).	21
Figure 10 : La palmeraie de Skoura (Google Earth Pro).....	22
Figure 11 : Diagramme ombro-thermique pour Skoura (climate-data.org, 2015)	23
Figure 12 : Capteur actif (https://www.rncan.gc.ca).....	26
Figure 13 : Capteur passif(https://www.rncan.gc.ca).....	26
Figure 14 : Différents types de résolution spatiale (Migliarese, 2018)	28
Figure 15 : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation (http://e-cours.univ-paris1.fr)	31
Figure 16 : Cartes multi-temporelles d'indice de végétation (NDVI) de Skoura.	33
Figure 17 : évolution en pourcentage des surfaces végétales dans la région de Skoura pendant les années 1991, 2000, 2011 et 2021.....	34
Figure 18 : Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 1991.....	35
Figure 19 : Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 2000.....	35
Figure 20 : Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 2011.....	35
Figure 21: Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 2021.....	35
Figure 22 : Diagramme d'évolution en pourcentage des surfaces végétales dans la région de Skoura pendant les années 1991, 2000, 2011 et 2021.....	36
Figure 23 : Diagramme de comparaison de la surface calculée d'après les deux méthodes. ..	37
Figure 24 : Image d'une zone de la palmeraie de Skoura de 2008 (Google Earth).	38
Figure 25 : Image d'une zone de la palmeraie de Skoura de 2020 (Google Earth).	38

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Paramètres climatiques dans le bassin d'Ouarzazate. HM, pluie de l'année la plus humide ; Hm, pluie de l'année la plus sèche (Agoussine et al, 2004)	13
Tableau 2 : Volume des apports pour le bassin du Draa (1975-2010), (PDAIRE, 2008).....	17
Tableau 3 : Ressources en eau souterraine mobilisable dans le bassin Draa (PDAIRE, 2008)	19
Tableau 4 : Les principales cultures pratiquées par les agriculteurs enquêtés dans Skoura (Larbi et Elquaoumi, 2016)	24
Tableau 5 : Les bandes spectrales enregistrées par le capteur TM (https://www.rncan.gc.ca)	29
Tableau 6 : Principales caractéristiques spectrales et spatiales du OLI (http://landsat.gsfc.nasa.gov/).....	29
Tableau 7 : Principales métadonnées des images Landsat utilisées (https://earthexplorer.usgs.gov/).....	30
Tableau 8 : Evolution spatio-temporelle de NDVI dans la région de Skoura.....	34
Tableau 9 : variation de la surface (en %) des différents éléments de la région de Skoura entre 1991 et 2021.	36
Tableau 10 : Variation de la superficie de la végétation d'après les deux méthodes de Skoura.	37

Liste des abréviations

PDAIRE : Plan Directeur d'Aménagement Intègre des Ressources en Eau.

NOAA-AVHRR: National Océanographique and Atmospheric Administration, Advanced Very High-Resolution Radiometer.

TM: Thematic Mapper.

OLI: Operational Land Imager.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

PIR : Proche Infra Rouge.

Introduction :

La distribution de la végétation dans le monde diffère d'une zone à l'autre, elle dépend de plusieurs facteurs dont le plus important est le climat, ce dernier diffère d'une zone à l'autre dans le globe terrestre, ceci est causé principalement par l'inclinaison des rayons solaires quand ils viennent frapper la terre. Dans ce terme on distingue plusieurs zones climatiques : les climats polaires, chauds et tempérés. Les climats polaires caractérisent les proximités des pôles avec un froid intense toute l'année. Entre les tropiques on trouve les climats chauds y compris le climat équatorial qui est humide toute l'année, le climat tropical avec une saison de pluie et une saison sèche, le climat désertique caractérisé par des pluies très rares et des degrés élevés de températures le cas des Sahara et désert d'Australie. Les climats tempérés sont composés de saisons chaudes et froides, on u trouve le climat océanique, le climat continental et le climat méditerranéen.

Le Maroc se situe dans le tropique nord du globe terrestre, est l'un des pays les plus affectés par la désertification et caractérisé par des variations climatiques dominées par des climats arides et semi arides surtout dans le sud et le sud-est.

Les oasis marocaines forment un rempart écologique contre la désertification, qui est en cours de se propager dans la partie sud est du Maroc, elles couvrent une surface totale de 107 324 km², dont 98% sont des terrains désertiques et 2% cultivés.

Dans notre étude on prend l'exemple de la palmeraie de Skoura, qui se situe dans le sud-est du Maroc précisément la province de la ville d'Ouarzazate.

L'oasis de Skoura est confrontée à la désertification depuis de nombreuses années à cause de la sécheresse, notre but dans ce travail et de quantifier et suivre l'évolution de la surface couverte par la végétation dans un intervalle de temps en se basant sur la télédétection.

Premier chapitre :

Présentation de la zone d'étude

I. Contexte général « Bassin de Draa »

1. Contexte géographique :

Le bassin de Draa s'étend sur une superficie totale de 92 500 km² et une longueur de 1200 km à la partie occidentale de la région de Draa-Tafilalet selon la division administrative, Il inclut entièrement les provinces d'Ouarzazate, Tata, Assa-Zag et Tantan et partiellement celles de Tinghir et Zagora.

Il est délimité à l'Ouest par le bassin hydraulique de Guelmim et du Souss-Massa, à l'Est par les vallées de Toudgha et du Rhris, et au nord par les contres-forts du Haut-Atlas, du Jbel Toubkal au Jbel M'Gnoun, au sud par le bassin hydraulique du Sahara et la frontière avec l'Algérie.

La topographie de ce bassin est hétérogène et compte quatre zones topographiques distinctes ; une zone de montagnes, une zone de plaines semi désertiques, une zone de plateaux désertiques et une zone côtière, qui s'étend sur environ 90 km.

Ce bassin se compose de 3 sections ou sous bassins (figure 1), qui se distinguent tant sur le plan morphologique et hydrographique, que sur le plan des apports d'eaux ;

- ✓ Haut-Draa d'une superficie de 15 000 Km², situé en amont du barrage El Mansour Eddahbi.
- ✓ Le Moyen Draa qui couvre une superficie de 14 000 Km², limité en amont par le barrage El Mansour Eddahbi et en aval, par la palmeraie de M'Hamid.
- ✓ Le Bas Draa qui s'étend sur 63 000 Km², limité en amont, par le barrage de Bounou dans la palmeraie de M'Hamid et s'étendant jusqu'à l'embouchure de l'oued Draa.

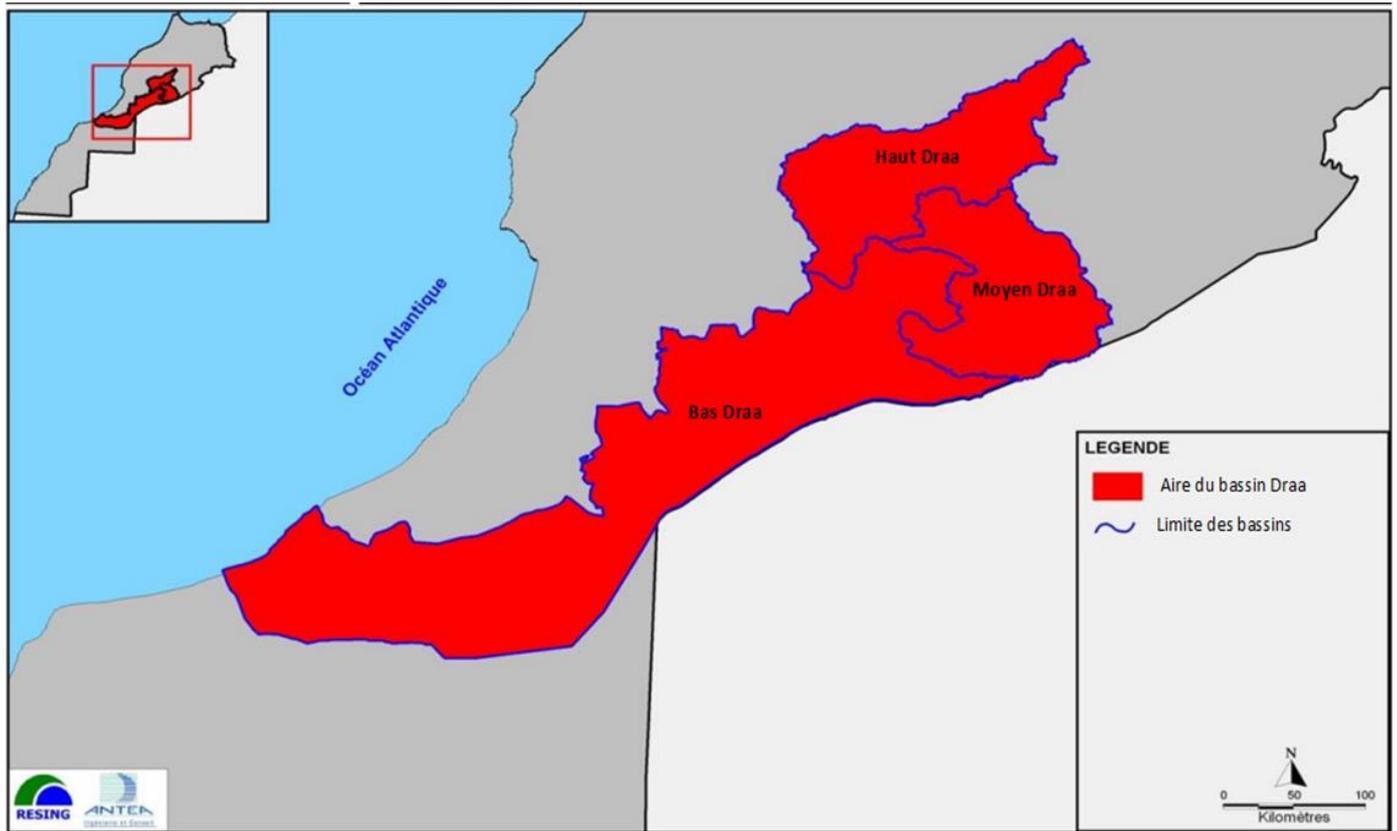


Figure 1 : Localisation du bassin du Draa et ses sous-bassins. (PDAIRE, 2008)

2. Contexte géologique :

Les formations géologiques constituant le bassin de Draa sont réparties selon les trois sections ou les sous bassins ; **Haut Draa** qui se présente sous forme d'un haut plateau, formé par des sédiments épicontinentaux et continentaux d'âges secondaires et tertiaire peu puissantes, **le moyen Draa** qui comporte essentiellement des formations d'âges variés allant du Précambrien jusqu'au Quaternaire, dans le domaine géologique de l'Anti-Atlas et du Bani, et **le bas Draa** qui se présente par des Formations précambriennes principalement constituées de roches ignées et volcaniques, par une structure monoclinale.

Précisément le bassin d'Ouarzazate qui se situe dans le sous bassin Haut Draa, il constitue une partie de la bande qui se situe entre le haut atlas et l'Anti atlas et s'étend en direction ENE-WSW.

Ce bassin se compose de faciès qui s'étendent de la série méso-cénozoïque à la série plio-quaternaire (figure 2), et se disposent en discordance sur les terrains paléozoïques et précambriens de l'Anti-Atlas.

Les séries sédimentaires qui forment ce bassin sont composées de sédiments marins et continentaux, dont la partie inférieure correspond à des formations de remplissage du bassin

qui résultent lors de rifting atlasique, tandis que la tranche supérieure figure soit le remplissage de bassin, soit la couverture du Haut Atlas Central (BOUJAMAOU, 2018).

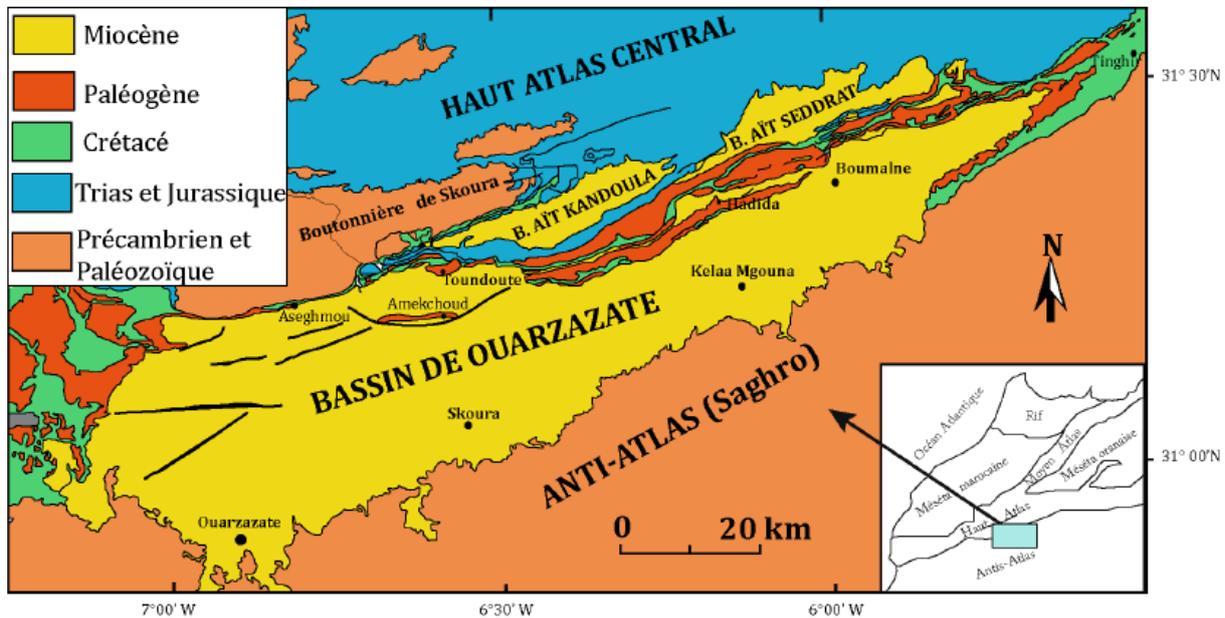


Figure 2 : Carte géologique de bassin d'Ouarzazate (BOUJAMAOU, 2018)

Dans cette fosse, on distingue les zones qui se manifestent dans la coupe du Nord vers le Sud du bassin (figure 3) :

- La zone axiale, ce sont les reliefs haut-atlasiques, d'un socle rigide et une couverture mésozoïque résistante (Agoussine et al, 2004). Les faciès de cette zone sont représentés surtout par des carbonates d'âge jurassique plissés avec quelques boutonnières à socle cristallin précambrien et paléozoïque (Boujamaoui, 2018), tel que la boutonnière de Skoura (figure2).
- Les bassins intra-montagneux, sont comblés par des séries sédimentaires d'âge miocène et plio-quadernaire, ce sont les bassins d'Ait Kandoula et Ait Seddrat (Boujamaoui, 2018).
- La nappe de Toundoute, constituée de formations liasiques tranchées et charriées du versant sud du Haut Atlas Central (Boujamaoui, 2018).
- La zone sub-atlasique méridionale, formée de terrains chevauchés et déformés reposent sur des formations néogènes et quadernaires (Agoussine et al, 2004)
- Le bassin de Ouarzazate, composé des formations d'âge méso-cénozoïque, de faciès détritiques et molassiques d'âge néogène et quadernaire (Boujamaoui, 2018). Les études qui sont faites dans ce bassin montrent qu'il présente des chevauchements de direction E-W à ENE-WSW, à pendage variable et à vergence sud avec des plis E-W à ENE-WSW (d'après les travaux pionniers de Roch (1939), Gauthier (1957 et 1960) et Hindermeier (1977)).

- L'Anti-Atlas correspond à des sédiments récents reposent en discordance sur les roches paléozoïques et précambriennes (Agoussine et al, 2004)

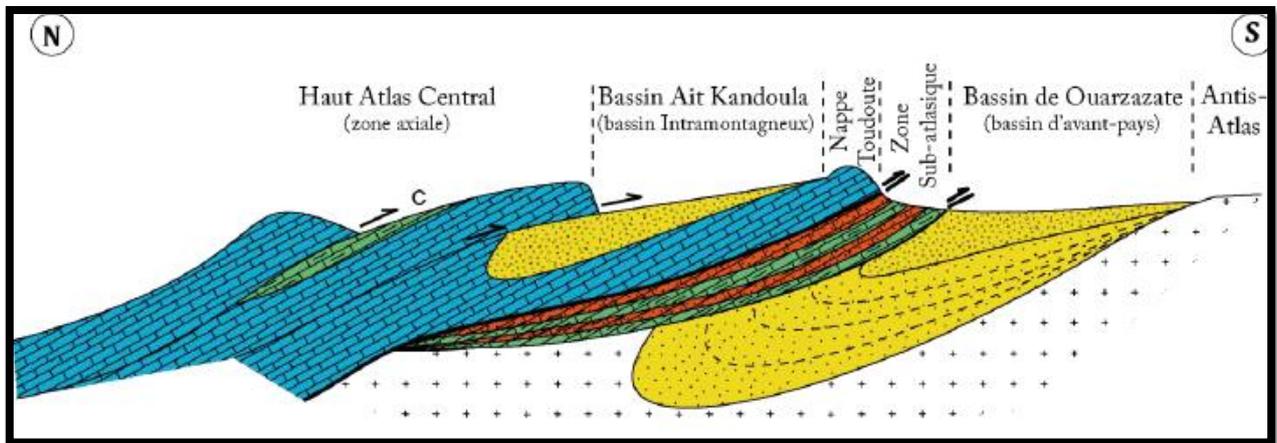


Figure 3 : Les différentes structures géologiques dans le bassin d'Ouarzazate (BOUJAMAOU, 2018)

3. Contexte climatique

Le sud-est du Maroc est caractérisé par son climat aride à semi-aride, la même chose pour le bassin de Draa, qui est généralement caractérisé par des hivers froids (entre -7°C et -1°C) et des étés chauds (40°C). En fait Le climat est influencé par trois facteurs à savoir : le relief, la côte océanique et le Sahara.

Les paramètres climatiques, mesurés ou calculés au niveau de la région d'Ouarzazate qui se trouve dans le bassin de Draa sont récapitulés dans le Tableau 1. Ces résultats caractérisent, dans l'ensemble un climat aride à semi-aride avec :

- Des températures moyennes annuelles variant entre 12°C et 22°C (Agoussine et al, 2004), et qui peuvent atteindre jusqu'au 56°C comme valeur extrême maximale (figure 4).
- Une pluviométrie faible et irrégulière, les années favorables ou défavorables se succèdent sans périodicité définie. Pendant l'année les périodes pluvieuses s'étalent entre Septembre et Mai et le nombre de jours de pluie varie entre 30 et 40 jours par an. Les figures 5 et 6 illustrent la répartition moyenne annuelle des pluies à Ouarzazate.
- Une évaporation forte, elle est de l'ordre de 2000, 3000 mm/an (Agoussine et al, 2004),
- Une humidité relative faible (40% en moyenne) (Agoussine et al, 2004).

Tableau 1 : Paramètres climatiques dans le bassin d'Ouarzazate. HM, pluie de l'année la plus humide ; Hm, pluie de l'année la plus sèche (Agoussine et al, 2004)

Station	Pluies		T. moy. (°C)	Evaporation (mm / an)			Humidité relative (%)	ETR Turc (mm / an)
	P(mm)	HM/Hm		Colorado	Piche	Bac A		
Agouim	281	13,1	14,7	2269,4	3106,3	-	39	248
Agouillal	133	9,2	17,7	-	3577,5	-	34	140
Ouarzazate	117	13,4	-	-	-	-	-	-
Assaka	127	15,5	17,2	-	4217,1	3298,0	40	144
Barrage	107	10,4	19,2	2856,4	3166,3	3253,1	46	117
Amame N'Tini	113	12,4	-	-	-	-	-	-
Tinouar	106	8,8	-	-	-	-	-	-
Ifre	176	14,9	16,4	2403,0	2896,3	-	41	178
Ait Mouted	167	10,0	16,9	3340,6	3279,3	-	38	174
M'Semrir	212	4,5	12,2		2529,0	-	43	217

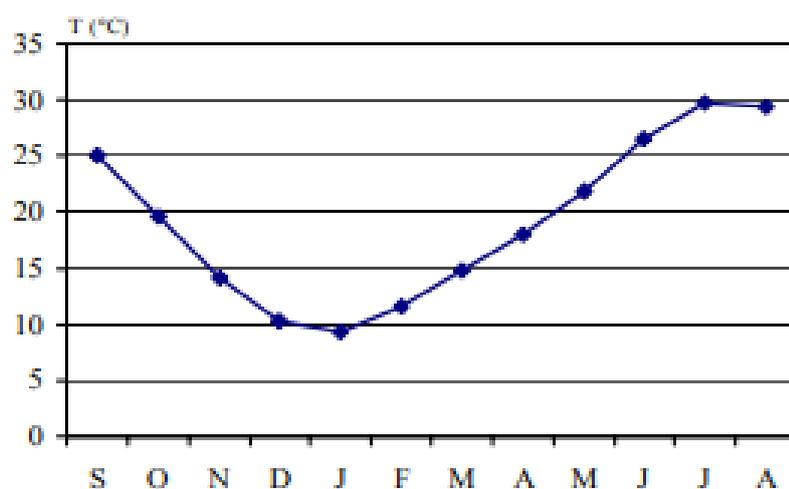


Figure 4 : Températures moyennes mensuelles au barrage Mansour Eddahbi (Agoussine et al, 2004)

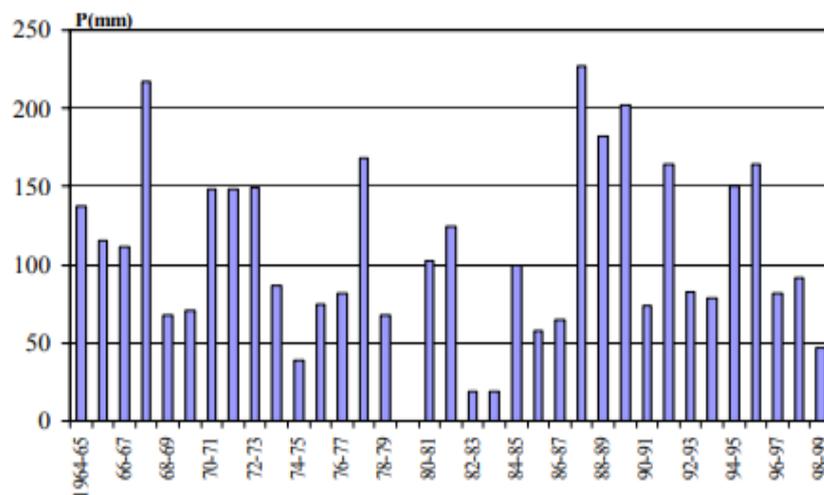


Figure 5 : Pluies moyennes interannuelles à Ouarzazate (période 1964-1965 à 1998-1999) (Agoussine et al, 2004)

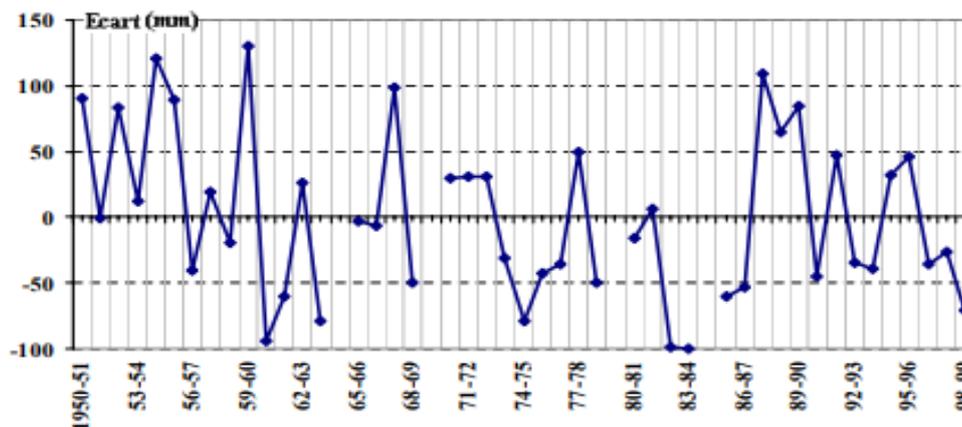


Figure 6 : Ecart à la moyenne des pluies annuelles à Ouarzazate (période 1964-1965 à 1997-1998). (Agoussine et al, 2004)

4. Contexte hydrologique

Les eaux dans le bassin Draa se répartissent en surface comme en profondeur, mais elles sont rares et diminuent en quantité de l'amont vers l'aval. On distingue les ressources superficielles et souterraines.

a) Ressources en eau de surface :

✚ Réseau hydrographique :

Le bassin versant Draa se compose d'un réseau hydraulique dont les principaux affluents sont oued Dadès (7600 km²), et oued Ouarzazate (7400 km²), au niveau du barrage El Mansour

Eddahbi qui se situe à l'est de la ville d'Ouarzazate à quelques Kilomètres. C'est le système hydrographique le plus long du Maroc (Figure 7).

Du nord il vient l'**Oued Dadès** qui descend du Haut-ATLAS oriental, et qui a reçu Oued M'goun comme affluent venant du versant sud du massif du M'goun.

Du nord-Ouest vient **oued Ouarzazate** résultant de la réunion des affluents d'oued Ounila qui descend du Tizi n'Telouet et d'oued Imini qui descend du Tizi n'Tichka et draine aussi le versant nord du Djebel Siroua.

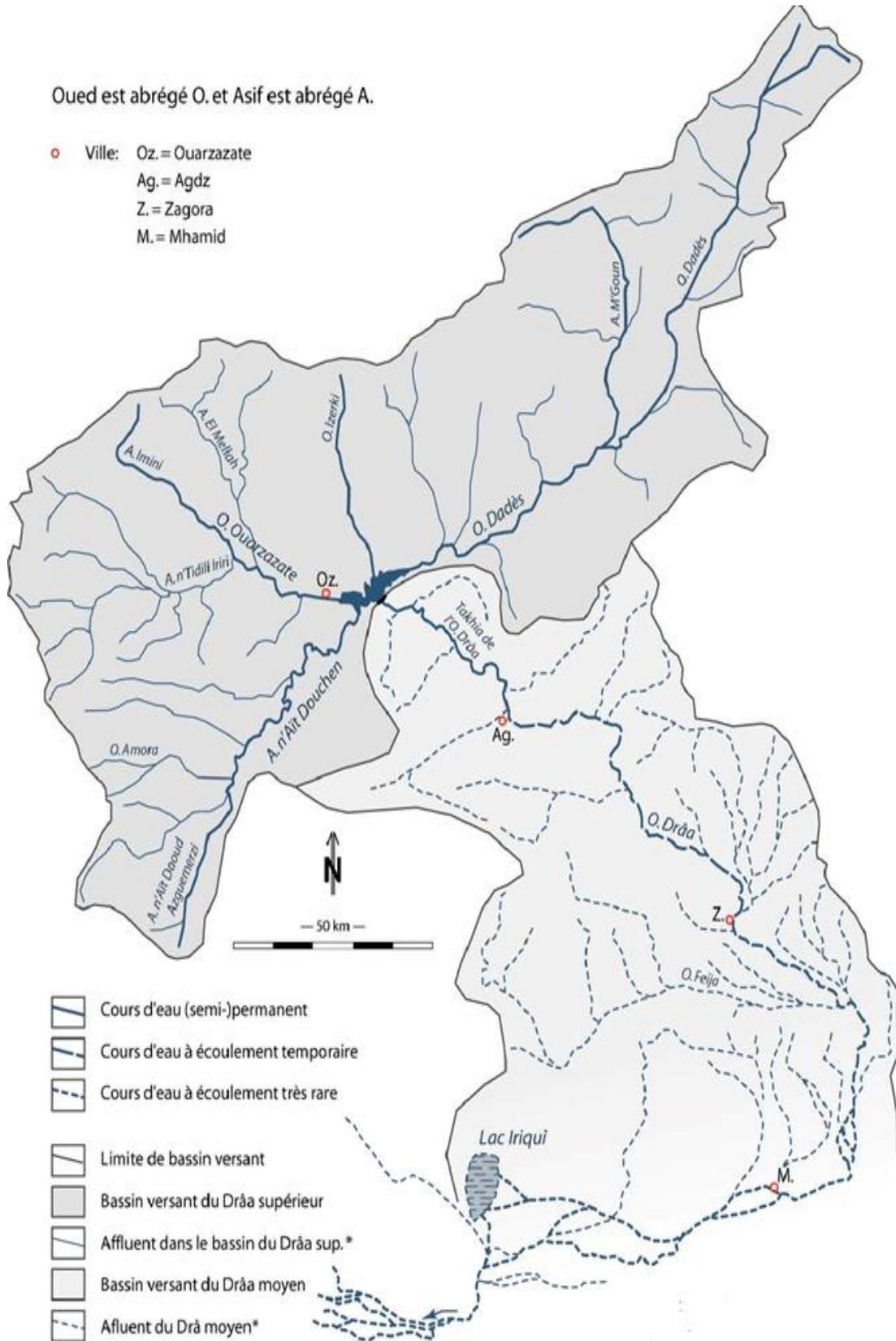
Le lac reçoit aussi l'**Oued n'Ait Douchene** qui draine le versant Est du Siroua.

En aval du barrage, L'Oued Draa situé au Haut Atlas, de coordonnées [28° 40' 56" N, 11° 04' 17" O](#), suit une direction vers le sud-Est avant d'obliquer entre Tagounit et M'hamid-El-Ghizlane vers l'Ouest passant par le nord de la ville de Tan-Tan et au Sud de Guelmim, jusqu'à se jeter dans l'océan Atlantique.

Il est cependant à sec sur la plus grande partie de son cours pendant la plus grande partie de l'année avant de rejoindre la côte, mais il ne redevient véritablement visible que 50 km avant son embouchure.

Oued est abrégé O. et Asif est abrégé A.

- Ville: Oz. = Ouarzazate
- Ag. = Agdz
- Z. = Zagora
- M. = Mhamid



* Le figuré ne donne aucune information sur le débit.

Figure 7 : Le réseau hydrographique du bassin Drâa (MARTIN-IGUL, 2006)

✚ Evaluation des apports :

Selon les trois sous bassins de Draa les apports se répartissent de la manière suivante :

- ❖ Pour le Haut Draa les apports s'élèvent à environ 496 Mm³/an qui se répartissent comme suit :
 - ✓ Bassin de Dadès 252 Mm³/an,
 - ✓ Bassin d'Ouarzazate 133 Mm³/an
 - ✓ Bassin d'Ait Douchene 111 Mm³/an.
- ❖ Apports au niveau du Moyen Draa : s'élèvent à 56 Mm³/an.
- ❖ Apports au niveau du Bas Draa : s'élèvent à 225 Mm³/ans pour les 8 sous bassins qui composent ce Bassin.

A l'échelle de l'ensemble du bassin, le moyen de ces apports est de l'ordre de 777 Mm³/an, avec un maximum de l'ordre de 1 540 Mm³/an et un minimum de l'ordre de 260 Mm³/an.

Tableau 2 : Volume des apports pour le bassin du Draa (1975-2010), (PDAIRE, 2008)

	Sous bassin	Oued	Période	Nombre d'années	Volume moyen (Mm ³)	Max	Min	E. Type	CV
Haut Draa	Dades	Dades	1975-2010	35	228	429,3	85,5	95,9	0,42
	Ouarzazate	Tifoultaute	1975-2010	35	133	251	50	56	0,4
	Douchene	Assaka	1975-2007	32	111	218	25	54	0,5
	Sous total					496			
Moyen Draa	Mawst	Mawst	1979-2003	24	0,82	1,9	0,32	0,42	0,51
	Assif Tagemout	Assif Tagemout	1979-2003	24	0,48	1,12	0,19	0,25	0,51
	Assif Tangarfa	Assif Tangarfa	1979-2003	24	1,23	2,87	0,48	0,63	0,51
	N'bou Ourti	N'bou Ourti	1979-2003	24	6,96	16,18	2,7	3,58	0,51
	El Feija	El Feija	1979-2003	24	11,68	26,89	4,72	5,98	0,51
	Assif Oulgou	Assif Oulgou	1979-2003	24	0,5	1,15	0,2	0,26	0,51
	Ameragane	Ameragane	1979-2003	24	0,84	1,93	0,34	0,43	0,51
	Assif N'ouarguoune	Assif N'ouarguoune	1979-2003	24	0,48	1,09	0,19	0,24	0,51
	N'Tinsa	N'Tinsa	1979-2003	24	1,14	2,66	0,44	0,59	0,51
	Ousri	Ousri	1979-2003	24	1,01	2,36	0,39	0,52	0,51
	El Myiyet	El Myiyet	1979-2003	24	2,04	4,75	0,79	1,05	0,51
	Assif Madrine	Assif Madrine	1979-2003	24	1,54	3,56	0,62	0,79	0,51
	Assif Idoudane	Assif Idoudane	1979-2003	24	0,32	0,74	0,13	0,16	0,51
	Assif Lasstouane	Assif Lasstouane	1979-2003	24	0,59	1,38	0,23	0,3	0,51
	Tamsift	Tamsift	1979-2003	24	3,17	7,31	1,28	1,63	0,51
	Tasminert	Tasminert	1979-2003	24	2,55	5,88	1,03	1,31	0,51
	Mezouaria	Mezouaria	1979-2003	24	4,25	9,78	1,72	2,18	0,51
	Iriki		1979-2003	24	17,46	40,21	7,05	7,05	0,50
Sous total					56				
Bas Draa	F. Zguid	Zguid	1979-2003	24	45,9	100,0	15,0	23,8	0,52
	Akka	Akka	1979-2003	24	18,3	40,0	6,0	9,5	0,52
	A. Ouabelli	Aguemamou	1979-2003	24	6,4	16,0	2,0	3,6	0,56
	Icht		1979-2003	24	3,3	8,0	1,0	1,8	0,56
	F. El Hassan	Tamanarht	1979-2003	24	11,6	29,0	3,0	6,5	0,56
	Asso-Infguen	Asso-Infguen	1979-2003	24	61,9	128,0	15,0	27,8	0,45
	Tata-Adiss-Rahal-Arhguig	Tata-Adiss-Rahal-Arhguig	1979-2003	24	68,0	121,0	19,0	29,5	0,43
	Si-rezzoug	Myit	1979-2003	24	10,0	19,0	3,0	4,9	0,49
	Sous total					225			
Total Bassin Draa					777				

✚ Barrage El Mansour Eddahbi :

Le barrage El Mansour Eddahbi est situé à 25 km de la ville de Ouarzazate sur Oued Draa, qui a deux affluents principaux ; oued Dadès et Oued Ouarzazate (figure 8). Ces derniers unissent les eaux des versants sud du Haut Atlas et nord de l'Anti Atlas. Le barrage El Mansour Eddahbi est un barrage à voûte, constitue le seul grand barrage construit sur le cours d'eau principal (Oued Draa), qui été mis en service en 1972, caractérisé par une hauteur de 70 m.

Ce barrage a une capacité initiale de 560 Mm³ et actuellement de 440 Mm³ (120 Mm³ d'envasement en 30 ans), avec des débits moyens annuels qui varient de 0,5 m³ /s en relief à près de 14 m³ /s, et un volume annuel restitué en année normale de 250 Mm³, ainsi un moyen des apports annuels de 420 Mm³.

Cet ouvrage est destiné à :

- ✓ Limiter les effets dévastateurs des crues, et régulariser le débit de l'oued Draa,
- ✓ Maîtriser l'exploitation des eaux,
- ✓ Il assure également l'alimentation en eau potable de la ville,
- ✓ Assure la mise en valeur des palmeraies du Draa moyen,
- ✓ Produire de l'énergie électrique.



Figure 8 : Situation du barrage El Mansour Eddahbi au Haut Draa (Agoussine et al, 2004).

b) Ressources en eau souterraines :

Vues la rareté des précipitations et l'irrégularité des apports extérieurs, l'usage des ressources souterraines est très important, qui sont contenues dans trois types d'aquifères. On distingue : les réservoirs potentiels de la zone montagneuse septentrionale, les nappes profondes et semi-profondes de la zone des plateaux (bassin d'Ouarzazate), et les nappes phréatiques (Tableau 3).

La plupart des eaux souterraines exploitées dans le bassin du Draa proviennent des nappes alluviales peu profondes liées aux Oueds, avec une faible capacité qui n'atteint pas quelques dizaines de mètres. Ces nappes sont alimentées principalement par l'infiltration des eaux de surface, les crues, et par les eaux de retour d'irrigation.

Les infiltrations qui se produisent dans le Haut Atlas alimentent la zone aquifère du bassin d'Ouarzazate qui est constitué surtout par les sous écoulements des Oueds formants des nappes localisées d'épaisseurs faibles. D'autre part les ressources en eaux souterraines de l'Anti Atlas et le Flanc Nord de Jbel Saghro sont faibles et se trouvent essentiellement dans les zones fracturées, altérées et alluviales.

Tableau 3 : Ressources en eau souterraine mobilisable dans le bassin Draa (PDAIRE, 2008)

	Aquifère superficiel identifié	Ressources mobilisables (Mm³/an)
Haut Draa	Tikert Ouarzazate Douchen	24
	Dades Mgoun	26,6
	Skoura	6,2
	Total	56,8
Moyen Draa	Mezguita	12,7
	Tinzouline	14,9
	Ternata	17,5
	Fezouata	14,6
	Ktaoua	20,2
	M'Hamid	12,4
Total	92,2	
Bas Draa	Foum Zguid	10,9
	Si Zerrouk	1,6
	Tissint	6,8
	TaTa	7,0
	Akka	4,9
	Ait Oubelli	4,2
	Foum El Hassan Icht	4,2
	Foum Assa	3,7
Total	43,3	
TOTAL	192,3	

5. Les palmeraies du bassin de Draa :

Une palmeraie correspond à une parcelle agricole destinée à la culture des palmiers.

La région sud-est du Maroc, dont le bassin de Draa est inclus, est une zone des palmeraies par excellence. Dans ce terme on définit une série de palmeraies : Skoura, Mezguita, Tinzouline, Ternata, Fezouata, Ktaoua et M'Hamid (Figure9).

Ces palmeraies sont devenues des oasis où se concentrent les activités humaines, les lieux d'habitation et les espaces de culture selon les caractéristiques bien connues des modes de vie oasiens.

- ✓ La palmeraie de **Skoura** : couvre une superficie de 2700 hectares qui borde la route nationale N10 entre Ouarzazate (40 km au NE) et Errachidia (270 km à l'ouest).
- ✓ La palmeraie de **Mezguita** : se situe dans le bassin de Draa moyen, à 64 km de Ouarzazate, couvre 2200 ha et s'étend sur 14 kilomètres à partir du massif rocheux qui surplombe la ville d'AGDZ.
- ✓ La palmeraie de **Tinzouline** s'étale sur 48 kilomètres et peut s'observer depuis le douar de Tamezmoute et du haut du défilé de foug Azlag.
- ✓ La palmeraie de **Ternata** située en amont de Zagora, et s'étale sur une surface de 5000 ha.
- ✓ La palmeraie de **Fezouata** : se trouve à l'entrée du Jbel Zagora et couvre 4200ha.
- ✓ La palmeraie de **Ktaoua** : est visible depuis le plateau du Jebel Bani ou depuis foug Takkate, couvre 6000 ha.
- ✓ La dernière palmeraie est la palmeraie de **M'Hamid** qui se perd dans les sables du Sahara, couvre 2200 ha.

A signaler que la région qui nous intéresse dans cette étude s'organise autour de la palmeraie de Skoura (province d'Ouarzazate). Toutefois l'étude du cadre générale, portera sur l'ensemble du bassin Draa.

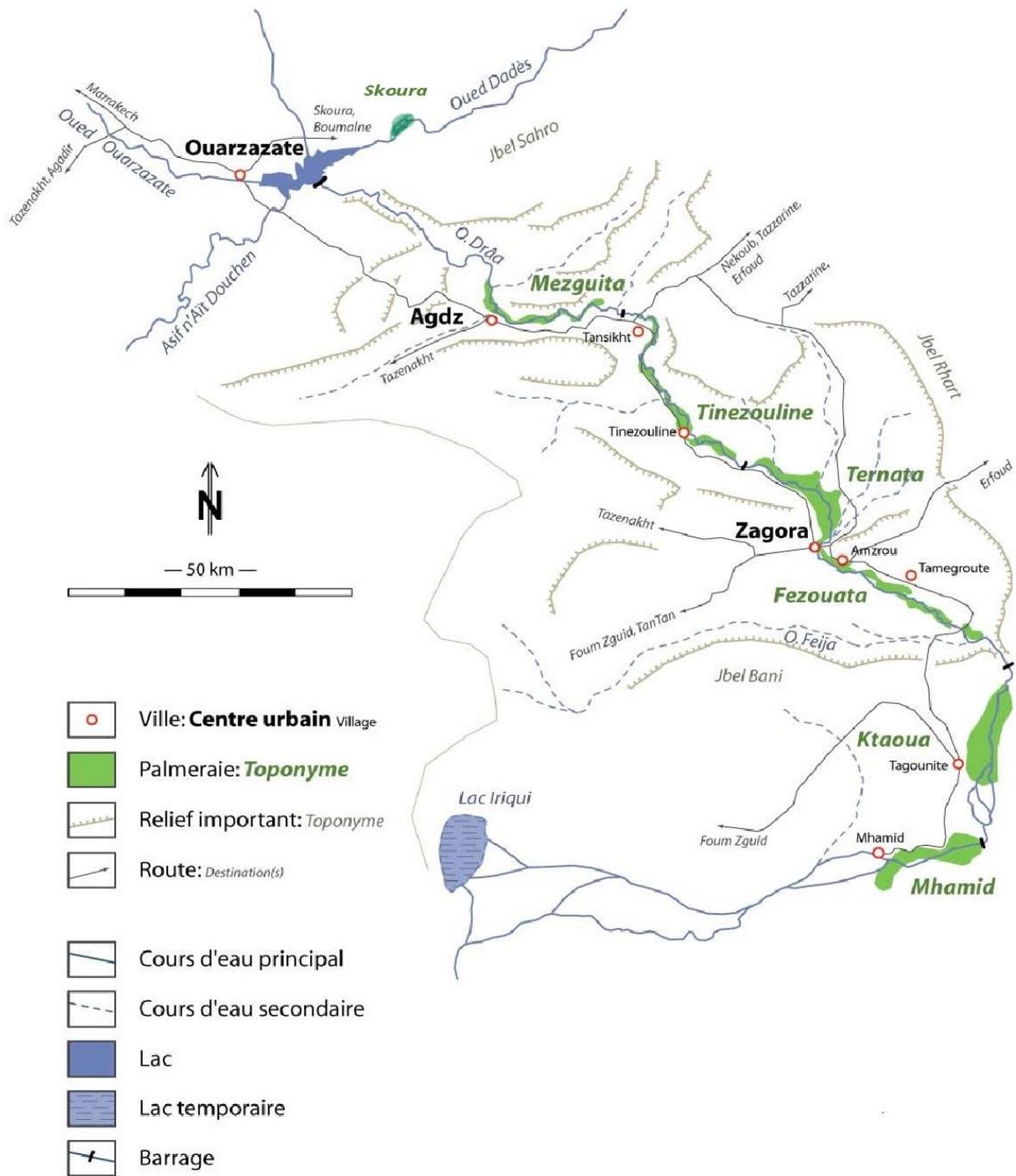


Figure 9 : Situation des palmeraies du bassin Draa (MARTIN – IGUL, 2006).

II. Etude de cas « palmeraie de Skoura » :

Pendant quelques années passées la palmeraie de Skoura a subi des dégradations de la couverture végétale surtout les palmiers à cause des périodes de sécheresse.

Le but de ce travail est de suivre l'évolution de la végétation en se basant sur les informations numériques traitées par les processus de la télédétection.

La palmeraie de Skoura, située dans le bassin de Draa, est une importante palmeraie de 25 km², située à 40 km d'Ouarzazate dans le Sud du Maroc. De coordonnées (31° 03' 37,77" nord, 6° 33' 20,35" ouest) et une altitude de 1220m. C'est l'une des rares palmeraies du pays encore habitée et cultivée.



Figure 10 : La palmeraie de Skoura (Google Earth Pro).

Skoura est caractérisée par :

- Un climat aride continental présaharien.
- Une température moyenne sur l'année est de 18°C et la précipitation moyenne est de 171 mm (Figure 11), les précipitations les plus importantes dans l'année sont enregistrés pendant le mois Novembre avec une moyenne de 28 mm, (Larbi et Elquaoumi, 2016) et une moyenne de 2 mm pendant juillet qui est le mois le plus sec. Elles sont réparties dans l'année de la manière suivante ;
 - ✓ Un minimum en été (Juillet),
 - ✓ Un maximum au printemps (Avril),

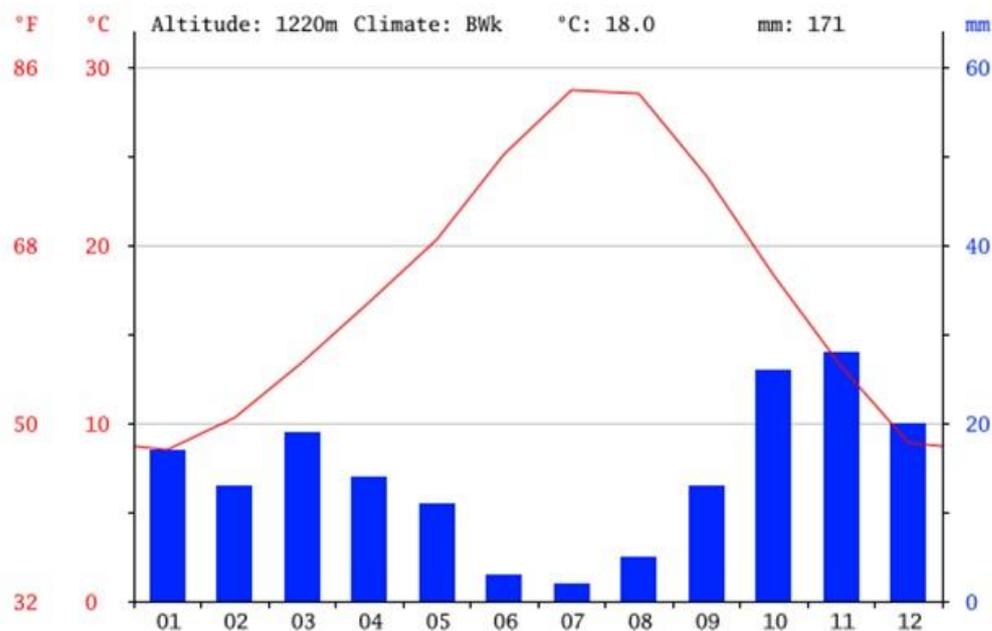


Figure 11 : Diagramme ombro-thermique pour Skoura (climate-data.org, 2015)

Aspect socio-économique de la région de Skoura

La commune de Skoura compte une population totale de 24 055 dont 4 332 citadins et 18 723 en milieu rurale (recensement de 2014), 56 douars et 1924 foyers (Larbi et Elquaoumi, 2016).

• **Agriculture :**

L'activité économique à Skoura est dominée par l'agriculture et l'élevage, il s'agit d'une agriculture essentiellement irriguée. En réponse aux sécheresses des années 1975-1980, la population a conçu le système traditionnel des Khetaras.

La plupart des agriculteurs pratiquent des différentes cultures, mais la plupart de la production est destinée à l'autoconsommation (tableau 4).

Tableau 4 : Les principales cultures pratiquées par les agriculteurs enquêtés dans Skoura (Larbi et Elquaoumi, 2016)

Type de culture	Espèce
Arbres fruitiers	Palmier, olivier, amandier, abricotier, figuier, pommier, cognassier, pécher, prunier, noyer, vigne, poirier, grenadier, pistachier.
Maraichage	Tomate, oignon, courgette, navet, carotte, melon, aubergine, pomme de terre.
Céréales	Blé tendre, blé dur, orge, maïs
Légumineuses	Luzerne, petit pois, fève.

- **Hors agriculture :**

Comme il existe d'autres activités en dehors de l'agriculture, se situent principalement dans le bâtiment et les constructions en tous genre (bois, béton, carrelage, électricité, plomberie...) de maisons privées ou d'infrastructures de génie civil (ouvriers qui construisent des routes, des puits, des ponts...).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

I. La télédétection :

1. Définition et principe

La télédétection est un ensemble de techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance par l'acquisition des images à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes, en utilisant les propriétés du rayonnement électromagnétique émis, réfléchi ou diffusé par les corps ou surfaces que l'on étudie, et concerne essentiellement les techniques mises en œuvre pour l'observation de la surface de la terre et d'autres planètes (Kergomard, 2020).

Ce terme a pris véritablement son essor dans les années 1970 avec l'utilisation des satellites et la multiplication et le perfectionnement des capteurs.

2. Domaines d'application

La télédétection couvre un grand champ d'applications qui satisfait de nombreux besoins, on cite quelques domaines d'application : cartographie, géologie et prospection minière, aussi surveillance des cultures ou du couvert forestier, urbanisme, aménagement, génie civil, etc. le domaine le plus étudié par la télédétection est l'atmosphère (météorologie et climatologie). L'intérêt de la télédétection dans ce domaine est d'assurer une couverture globale et très fréquemment répétée de la planète.

Quel que soit le domaine d'applications considérées, une bonne interprétation des documents de télédétection ou une bonne utilisation des données numériques nécessite la compréhension des principes sur lesquels est fondée la technique de télédétection employée.

II. Capteurs et satellites :

1. Capteurs

Un capteur est un dispositif qui enregistre le rayonnement réfléchi et émis par la terre et permet d'acquérir les données des objets étudiés dans une bande de longueur d'onde donnée et transforme l'état de la grandeur physique (rayonnement) observée en grandeur utilisable. Il existe deux types de capteurs peuvent être distingués ;

a) Capteur actif

Un capteur actif : produit sa propre énergie pour éclairer la cible, il est composé d'un émetteur, qui est la source du rayonnement, et d'un détecteur qui mesure le rayonnement de retour de la surface observée. Il offre donc l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Le radar et le Lidar sont des exemples de capteur actif.

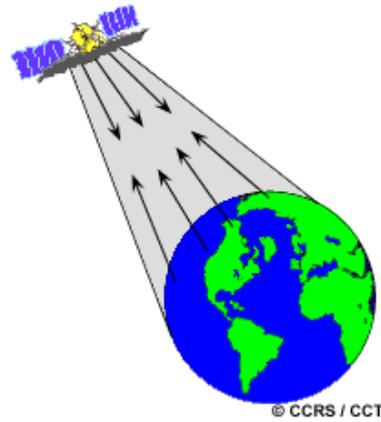


Figure 12 : Capteur actif
(<https://www.rncan.gc.ca>)

b) Capteur passif

Un capteur passif : sont uniquement des récepteurs, reçoivent l'énergie que les objets réfléchissent où la source principale de l'énergie est le plus souvent le soleil, l'énergie réfléchie ne peut donc être perçue que lorsque le Soleil éclaire la Terre.

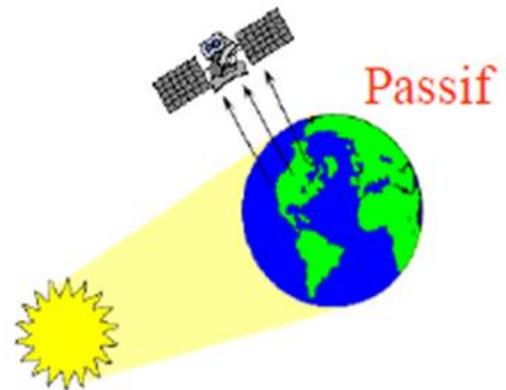


Figure 13 : Capteur passif(<https://www.rncan.gc.ca>)

2. Les satellites

Les satellites sont des plates-formes spatiales placés autour de la terre selon des orbites qui ont généralement une forme quasi-circulaire, et qui conditionnent la capacité d'observation de la Terre, sa répétitivité, et la nature même des données obtenues. Ils sont utilisés en télédétection, en communication et en télémétrie.

III. Réflectance :

La réflectance est une grandeur physique, correspond au rapport entre le flux énergétique incident sur une surface et le flux réfléchi.

$$\rho = \frac{RR}{RI}$$

RR : Rayon réfléchi, RI : Rayon Incident

Il s'exprime généralement en pourcentage, et varie en fonction de plusieurs paramètres citant :

- Des propriétés de la surface (nature, couleur, rugosité...)
- De la lumière incidente
- De l'inclinaison et de la rugosité de la surface

Lorsque La surface (la cible) reçoit les rayons du soleil, elle les traduit par la réflectance.

Après la soumise de la surface à un rayonnement, elle va l'absorber, le transmettre aux surfaces sous-jacentes et le réfléchir vers le ciel. C'est cette part réfléchie qui est enregistrée par les capteurs des satellites.

IV. Images satellites

1. Définition d'une image satellitaire :

Une image satellitaire est une prise de vue transmise d'un satellite artificiel en orbite, constituée d'un tableau des carrés appelés pixels, il est extrêmement important. Réunis, les pixels fournissent toute l'information qui constitue l'image dans son intégralité.

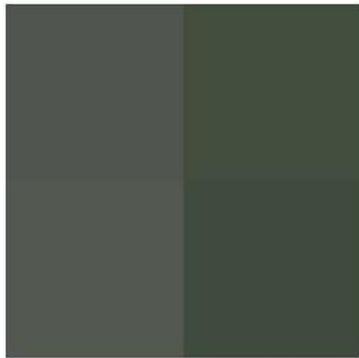
C'est un outil géographique de plus en plus utiliser, elle permet d'obtenir différentes informations comme la surveillance des territoires, des frontières, et prévisions météorologiques.

Chaque pixel d'une image a une valeur, cette valeur correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi par l'objet observé dans la gamme de longueur d'onde auquel le capteur est sensible.

2. La résolution spatiale :

La résolution spatiale est la plus petite surface au sol (unité territoriale) dont le signal radiométrique est détectable par le capteur. Cette surface élémentaire correspond au pixel qui est le plus petit élément d'une image, et qui dépend des caractéristiques du capteur et de l'altitude de la plate-forme.

Cette résolution diffère d'un capteur à l'autre (Figure 15), elle est de l'ordre de $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ pour la bande panchromatique de SPOT, et couvre une zone de $30\text{m} \times 30\text{m}$ pour LANDSAT TM, $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ pour NOAA-AVHRR, $30\text{m} \times 30\text{m}$ pour ERS-1 et $18\text{m} \times 18\text{m}$ pour JERS-1. La résolution des images fournies par les satellites commerciaux peut aller de 70 cm à plusieurs km (satellites météorologiques).



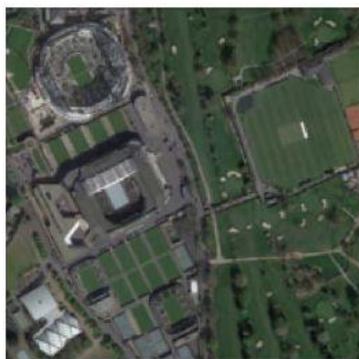
Aqua (MODIS)
250m Resolution



Landsat-8
30m Resolution



Sentinel-2
10m Resolution



PlanetScope (Dove)
3m Resolution



Pleiades
0.5m Resolution



Worldview-4
0.3m Resolution

Figure 14 : Différents types de résolution spatiale (Migliarese, 2018)

3. Capteur utilisé dans ce travail

Dans cette étude nous avons utilisé deux types d'images satellites à haute résolution spatiale sorties des capteurs ; Landsat 4-5 TM et Landsat 8 OLI.

Le capteur landsat Thematic Mapper (TM) a été embarqué à bord des Landsat 4 et 5 de juillet 1982 à mai 2012 avec un cycle de répétition de 16 jours. Il est composé de 7 bandes chacune voit la terre à sa façon et donne une image différente des autres, elles sont observées en lumière visible et infrarouge (tableau 5). Le capteur Landsat TM a une résolution spatiale meilleure, elle est de 30 mètres pour tous les bandes à l'exception de la bande 6 d'une résolution spatiale de 120 mètres, mais a été rééchantillonnée à 30 mètres. La taille approximative de la scène est de 170 km nord-sud par 183 km est-ouest. Il peut ainsi faire ressortir plus de caractéristiques par l'intermédiaire du niveau de brillance des objets.

Tableau 5 : Les bandes spectrales enregistrées par le capteur TM (<https://www.rncan.gc.ca>)

TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	Discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie/cartographie côtière ; identification des traits culturels et urbains
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	Cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance) ; identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	Discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles ; (absorption de chlorophylle) ; identification des traits culturels et urbains
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	Identification des types de végétation et de plantes ; santé et contenu de la masse biologique ; délimitation des étendues d'eau ; humidité dans le sol
TM 5	1,55 - 1,75 (IR de courte longueur d'onde)	Sensible à l'humidité dans le sol et les plantes ; discrimination entre la neige et les nuages
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	Discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique ; cartographie thermique
TM 7	2,08 - 2,35 (IR de courte longueur d'onde)	Discrimination entre les minéraux et les types de roches ; sensible au taux d'humidité dans la végétation

Le capteur OLI (Operational Land Imager) : situé à bord de Landsat 8, lancé le 11 février 2013 par NASA (National Aeronautics and Space Administration). Ce capteur est composé de 9 bandes multi spectrales ; Sept de ces bandes existent déjà sur les capteurs TM et ETM⁺, et deux nouvelles bandes ont été ajoutés, qui permettent aux scientifiques de mesurer la qualité de l'eau et d'améliorer la détection des nuages hauts et minces (Tableau 6). Le capteur OLI observe en lumière visible et moyen infrarouge à ondes courtes avec une résolution spectrale de 30 mètres sur tous les bandes sauf une bande panchromatique à 15 mètres.

Tableau 6 : Principales caractéristiques spectrales et spatiales du OLI (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>).

Bande spectrale	Longueur d'onde (µm)	Taille du pixel (m)
1-Aérosols	0,433-0,453	30m
2-Bleu	0.450-0.515	30m
3-Vert	0.525-0.600	30m
4-Rouge	0.630-0.680	30m
5-Proche infrarouge	0.845-0.885	30m
6-Moyen infrarouge	1.560-1.660	30m
7-Moyen infrarouge	2.100-2.300	30m
8-Panchromatique	0.500-0.680	15m
9-Cirrus	1.360-1.390	30m

4. Choix des images satellitaires et dates

Pendant les années 1980 et 2000, la région de Skoura a été caractérisée par des grandes sécheresses, qui ont asséché la plupart des Khettaras (Larbi et Elquaoumi, 2016). Ce qui a provoqué une augmentation de la perte de la couverture végétale. Nous avons choisi les mois juin et juillet vu que l'atmosphère reste relativement claire, et pour mettre l'accent sur la végétation qui endure toute l'année.

Tableau 7 : Principales métadonnées des images Landsat utilisées (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

Métadonnées	1991	2000	2011	2021
Capteur	Landsat 4-5 TM	Landsat 4-5 TM	Landsat 4-5 TM	Landsat 8 OLI
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_201038_19910705_20180430_01_T1	LT05_L1TP_201038_20000713_20171211_01_T2	LT05_L1TP_201038_20110728_20161007_01_T1	LC08_L1TP_201039_20210605_20210614_01_T1
Date d'acquisition	1991-07-05	2000-07-13	2011-07-28	2021-06-05
Couverture nuageuse	0 %	0 %	0%	0%

V. Classification

La classification est l'une des méthodes les plus souvent utilisées pour l'extraction des informations thématiques. Elle consiste à effectuer la correspondance entre les classes spectrales (groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques spectrales ou presque) et les classes d'information (catégories d'intérêt que l'analyste cherche à identifier dans les images). L'image issue de la classification est composée d'une mosaïque de pixels qui appartiennent chacun à une classe particulière. Il existe deux types de classification :

1. Classification non supervisée :

On utilise ce type de classification lorsque l'on n'a aucune connaissance du terrain. Les données sont classées en fonction de leurs caractéristiques spectrales ; le classificateur regroupe les pixels de l'image par similarité et ensuite les classes sont automatiquement déterminées.

2. Classification supervisée :

Lors de l'utilisation de la méthode de classification supervisée le terrain est la seule référence fiable. L'utilisateur identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui représentent

différentes classes d'information, les connaissances a priori sont utilisées pour la création de ces classes.

VI. L'indice de végétation par différence normalisée ou indice de Tucker (NDVI)

Nommé aussi NDVI, construit à partir des canaux ; rouge (R) et proche infra-rouge (PIR) mesurées dans le spectre visible par des capteurs.

Le NDVI est utilisé en évaluation de la vigueur et la quantité de végétation par l'analyse des mesures de télédétection.

Il est calculé par la formule :

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

La valeur de NDVI est comprise entre -1 et 1, Il existe 3 possibilités pour cette valeur :

- Proche de 1 : végétation très dense d'une activité chlorophyllienne forte.
- Proche de 0 : représente en générale des terrains des sols nus ou il n'y a pas de feuillettes verts.
- Négative : représente les valeurs générées essentiellement par l'eau, les nuages et la neige.

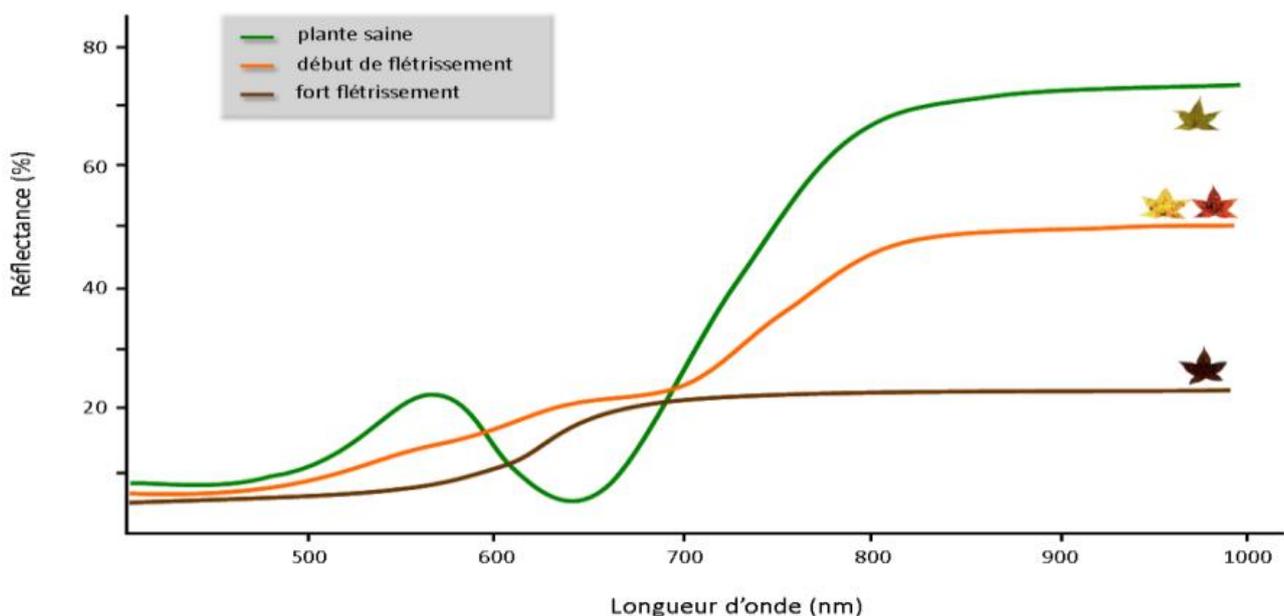


Figure 15 : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation (<http://e-cours.univ-paris1.fr>)

Troisième chapitre :

Résultats, discussions et interprétations

Introduction :

L'image satellitaire c'est un outil géographique constituée par des pixels de différentes signatures spectrales forment l'information qui est représentée dans l'image.

Le traitement des images satellitaires donne des résultats efficaces qu'on peut utiliser pour établir une carte d'occupation du sol, ces résultats sont obtenus grâce au logiciel « L'ArcGIS (10.3) », qui permet de calculer l'indice spectrale NDVI et de faire des classifications supervisées et non supervisées afin de détecter le changement de la végétation dans l'espace et dans le temps dans le cadre de l'observation des satellites Landsat OLI et Landsat TM entre les années 1991 et 2021.

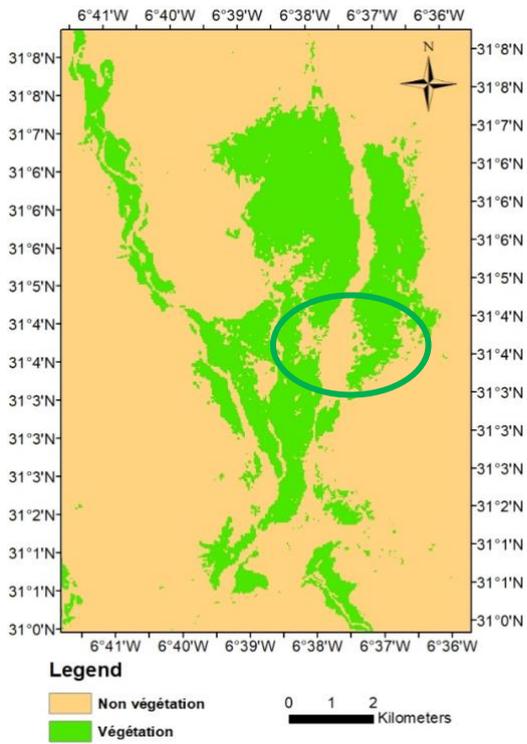
Une classification a pour but d'associer les pixels d'une image qui ont les mêmes caractéristiques spectrales ou presque à des unités de paysage que l'analyste cherche à identifier dans les images. Il existe deux méthodes de classification, la première se fait automatiquement par le logiciel (Classification non supervisée) mais elle donne des résultats avec des corrélations fausses et moins détaillées, et l'autre nécessite la participation d'un opérateur (Classification supervisée) qui est plus précise et plus détaillée.

I. Evolution spatio-temporelle de la végétation dans Skoura (NDVI) :

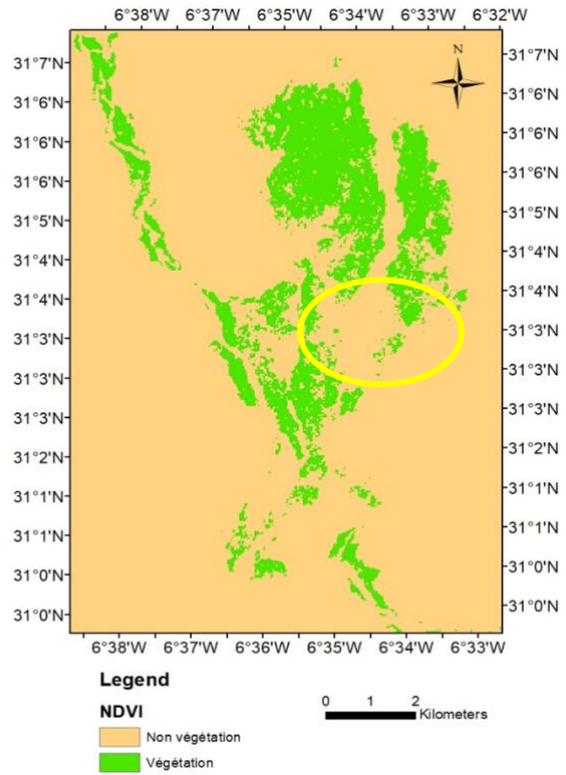
Lorsqu'on s'intéresse à l'étude de la végétation dont le but est de la quantifier, on se base sur ses propriétés optiques (réflectance, absorption, transmittance). La réflectance de la végétation élevée dans le domaine du proche infrarouge et l'absorption élevée dans le domaine du rouge. Ce fort contraste entre ces deux domaines est exploité pour construire NDVI.

Le NDVI fournit des informations quantitatives sur les caractéristiques de la végétation, et permet de suivre la dynamique de la végétation dans le temps et dans l'espace.

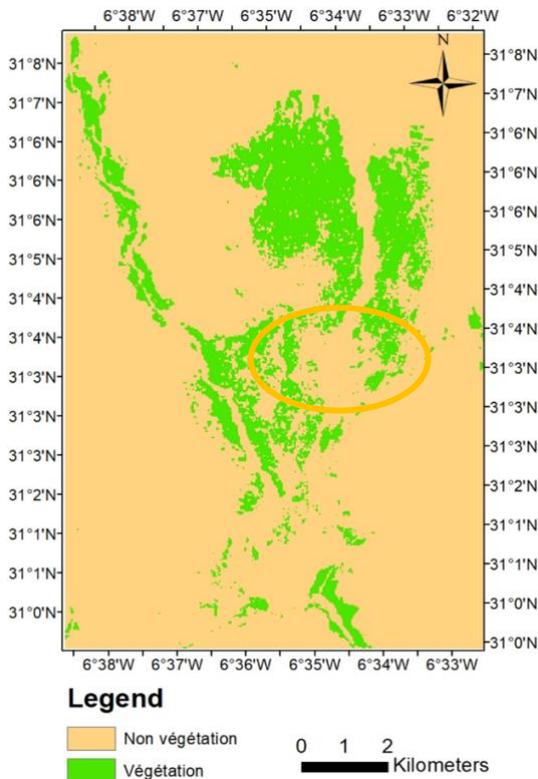
Les capteurs de la télédétection spatiale (Landsat TM et OLI) permettent l'enregistrement des rayonnements réfléchis par les surfaces terrestres. La figure 16 et 17 et le tableau 8 montrent la variation de la superficie recouverte par la végétation entre les années 1991 et 2021 dans la zone d'étude.



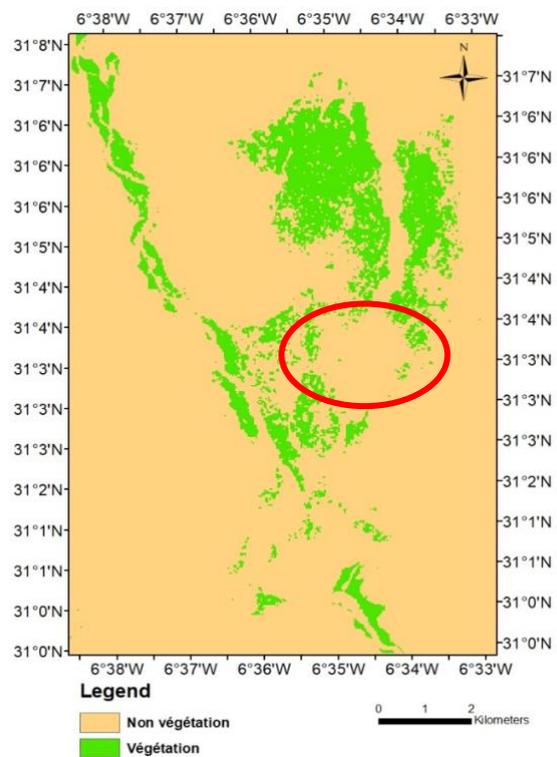
NDVI 1991



NDVI 2000



NDVI 2011



NDVI 2021

Figure 16 : Cartes multi-temporelles d'indice de végétation (NDVI) de Skoura.

Tableau 8 : Evolution spatio-temporelle de NDVI dans la région de Skoura

	Nombre de pixels	Surface en %	Taux de changement
NDVI en 1991	38044	22,547	
NDVI en 2000	35174	21,4678	1,0792 %
NDVI en 2011	34638	21,2049	0,2629 %
NDVI en 2021	24071	14,314731	6,890169 %

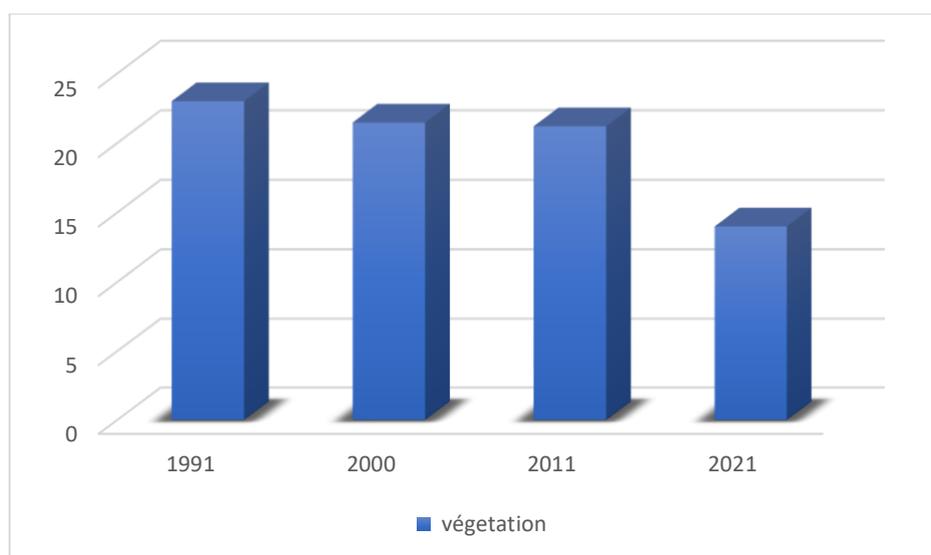


Figure 17 : évolution en pourcentage des surfaces végétales dans la région de Skoura pendant les années 1991, 2000, 2011 et 2021.

Les figures ci-dessus (Figure 20 et 21 et tableau 7) montrent clairement une diminution de la surface occupée par la végétation surtout entre les années 1991 et 2000, et plus importante entre 2011 et 2021. A l'ensemble, on conclut une diminution de 36.5 %.

II. Comparaison des cartes de la classification supervisée et les cartes d'indice calculé NDVI :

1. Cartes d'occupation du sol :

Pour établir une carte d'occupation du sol on applique la classification supervisée des images satellites des capteurs TM et OLI. Cette méthode se fait par le logiciel ArcGis en se basant sur les données bibliographiques et les images de « Google Earth ».

Les capteurs TM et OLI disposent un nombre important de bandes (7 pour TM et 9 pour OLI), et lorsque de la réalisation de la classification on n'affiche que les trois bandes ; bleu, vert et rouge qui sont les bandes numéro 1, 2 et 3 pour TM et 2, 3 et 4 pour OLI. L'image multi spectrale avec laquelle on a travaillé résulte de la superposition de trois bandes de visible.

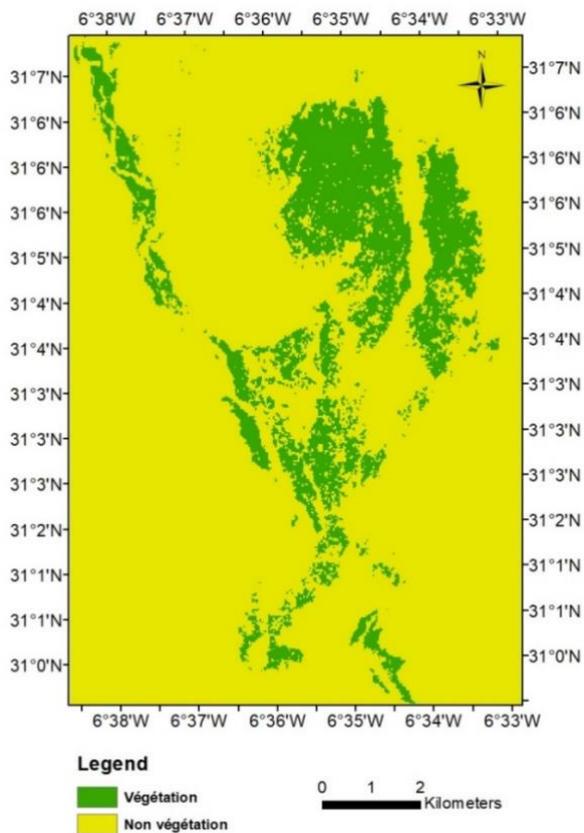


Figure 18 : Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 1991.

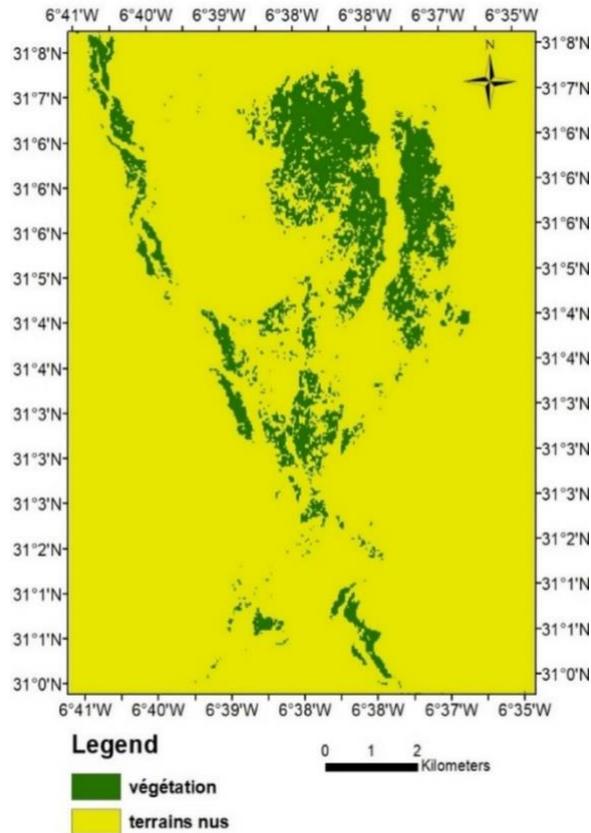


Figure 19 : Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 2000.

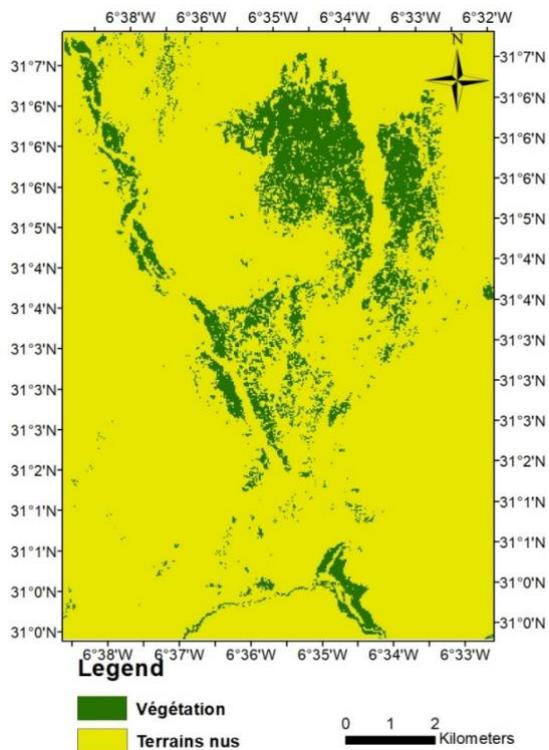


Figure 20 : Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 2011.

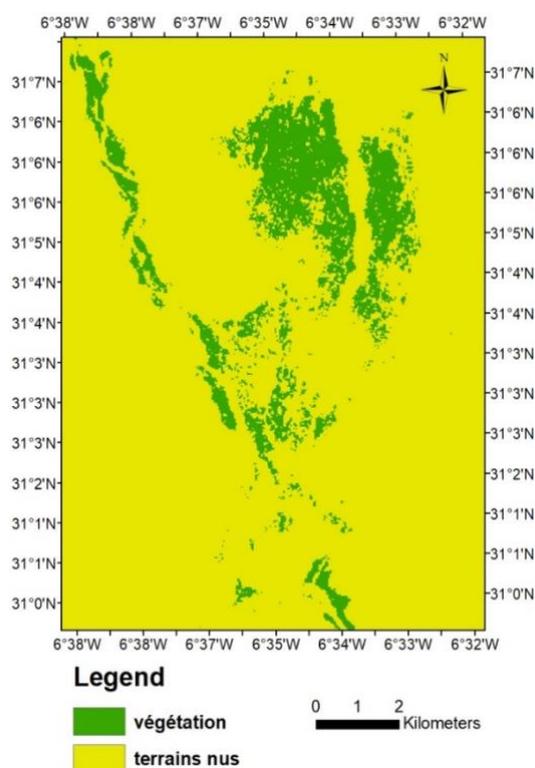


Figure 21 : Carte d'occupation du sol issue de l'image Landsat TM 2021.

Les cartes ci-dessus sont le résultat de la classification supervisée selon deux classes, la classe de la végétation et celle des terrains nus qui regroupe les différentes classes qu'on peut trouver dans une image satellite appart la végétation comme l'habitation.

Ces cartes montrent une relation étroite entre les deux entités qui la compose, la diminution de la surface occupée par la végétation entraine une augmentation de la surface occupée par le sol. La carte d'occupation du sol nous donne des informations sur la répartition de la végétation et terrains nus dans la zone entre 1991 et 2021 (Tableau 9 et Figure 26).

Tableau 9 : variation de la surface (en %) des différents éléments de la région de Skoura entre 1991 et 2021.

	1991	2000	2011	2021
Végétation	21,88 %	21,12 %	20,57 %	12.20 %
Terrains nus	78,12 %	78,88 %	79.41 %	87.80 %

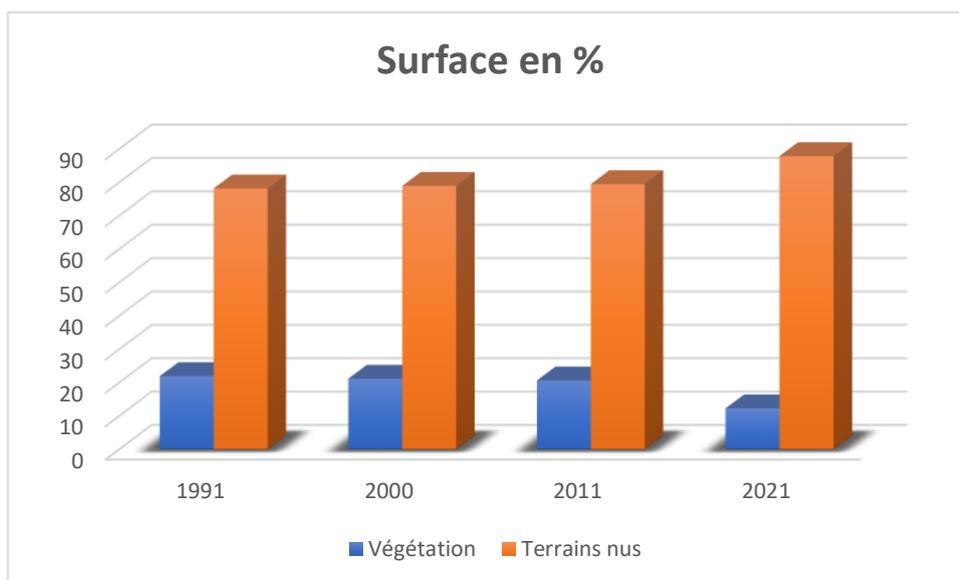


Figure 22 : Diagramme d'évolution en pourcentage des surfaces végétales dans la région de Skoura pendant les années 1991, 2000, 2011 et 2021.

2. Comparaison de la classification supervisée et indice NDVI :

La carte d'occupation du sol est une carte établie à partir de la classification supervisée des images satellitaires pour produire une carte avec plusieurs classes. Contrairement à l'indice de végétation NDVI qui sert toujours à calculer les variations d'une seule classe. Dans cette partie on va réaliser une comparaison entre ces deux méthodes, on va comparer le pourcentage de surface calculée d'après les deux méthodes, en prenant les variations de la végétation comme exemple.

Tableau 10 : Variation de la superficie de la végétation d'après les deux méthodes de Skoura.

Surface calculée en pourcentage %			
	D'après la classification supervisée	D'après l'indice	Différence
1991	21,88	22,55	0,67
2000	21,12	21,47	0,35
2011	20,57	21,20	0,63
2021	12,20	14,31	2,11

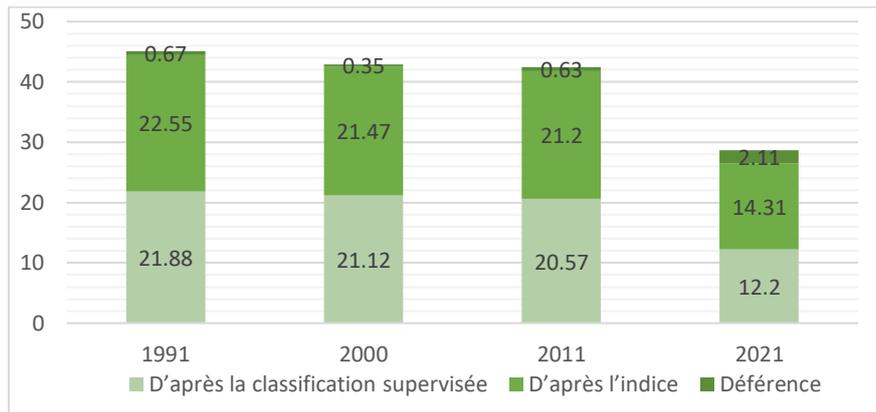


Figure 23 : Diagramme de comparaison de la surface calculée d'après les deux méthodes.

3. Conclusion :

Selon les résultats qu'on a obtenus à partir des traitements des images, la partie la plus dégradée dans notre zone d'étude est représentée par des cercles sur les cartes de NDVI. On a pris deux images (2008 et 2020) d'un même paysage à partir de Google Earth pour illustrer la dégradation des palmiers (Figure 24 et figure 25).

Cette dégradation peut être expliquée par le climat de la région pendant les dernières années, qui est caractérisé par des valeurs de températures élevées et des précipitations moins abondantes avec une réduction de période de pluie connue dans la région. (Larbi et Elquaoui, 2016).

En plus, pour faire face aux aléas climatiques et gérer l'eau, la population a conçu le système traditionnel Khettaras depuis les temps très anciens, mais sa viabilité est menacée par la réduction de la recharge de la nappe phréatique due aux faibles précipitations et aux crues limitées, ceci implique des périodes de sécheresses importantes dans le temps surtout pendant les dernières années. Ces deux facteurs ont provoqué la perte de la couverture végétale en grande pourcentage.



Figure 24 : Image d'une zone de la palmeraie de Skoura de 2008 (Google Earth).



Figure 25 : Image d'une zone de la palmeraie de Skoura de 2020 (Google Earth).

Les images ci-dessous illustrent quelques paysages de dégradation des palmiers à la palmeraie de Skoura (Photos prises par Monsieur AZIZI Abdelfattah).



Conclusion générale

D'après les résultats qu'on a obtenus dans ce travail, on prouve encore que la télédétection est une méthode très importante pour suivre l'évolution des surfaces dans le temps et dans l'espace en utilisant les propriétés du rayonnement électromagnétique émis, réfléchi ou diffusé par les corps ou surfaces.

A l'aide de logiciel ArcGis, l'application des traitements des images choisis de quatre dates séparées entre eux à peu près d'une dizaine d'années (1991, 2000, 2011, 2021) sont faites, on parle de la classification supervisée et l'indice de végétation par différence normalisée. Ceci pour suivre l'évolution de la surface couverte par la végétation depuis 1991 jusqu'à aujourd'hui passant par 2000 et 2011.

Les images Landsat traitées, montrent que la couverture végétale a connu une diminution bien visible (de 36,5 %), soit par l'œil nu, soit par les valeurs de pourcentage obtenues à partir des surfaces calculées sur ArcGis.

Cette dynamique est due à différents facteurs, le plus important d'entre elle est le climat de la région qui est généralement aride, continental, présaharien et caractérisé par des précipitations faibles et des valeurs importantes de température. Ainsi ce climat affecte la quantité de l'eau et donc favorise le développement des périodes de sécheresse.

Ce sont les palmiers dattiers qui sont en train de subir une dégradation intense, à cause de la sécheresse, donc il faut conserver les systèmes traditionnels adoptés dans l'irrigation, et penser à trouver des solutions applicables dans la zone, par exemple construire un petit barrage qui serait alimenté pendant les périodes des crues ou par oued Draa.

Références bibliographiques :

AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SOUSS-MASSA, 2008, Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intègre des ressources en eau (PDAIRE) du bassin hydraulique du Draa.

Larbi A. et Elquaoumi I., 2016, Analyse des stratégies d'adaptations des agriculteurs de skoura (Ouarzazate) aux changements climatiques, Pg 2-8.

Boujamaoui M., 2018, Caractérisation gravimétrique et magnétique des structures géologiques de subsurface -Cas de bassin de Ouarzazate, de Jbel Saghro Orientale et des cavités anthropiques dans la mine d'Imiter. Thèse d'Habilitation Universitaire. Université Moulay Ismail Faculté des sciences et Technique Département du Géosciences, Errachdia, Pg 33-37.

Agoussine M., Saidi M. et Igmoullan B., 2004, Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est marocain). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2004, n°26, 81-92, Pg 84-86.

Ouyse S., Laftouhi N., Kamal T., 2012, Impact des variations climatiques sur les ressources en eau dans le bassin du Draa (Maroc) : corrélation entre la variabilité des précipitations et de l'évapotranspiration dans le bassin du Draa, Pg 283.

Kergomard C., 2020, La télédétection aéro-spatiale : une introduction. Cours Pg 1-6.

Boulaassal H., Annaki S., Yazidi Alaoui O., Maatouk M., Wahbi M., El Kharki O., African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences ISSN:2657-2664, Vol.3, No.2 (May 2020)14Mapping of land cover changes between 2002 and 2016 from Landsat images: Case of the Tanger Tetouan Al-Hoceima region (Morocco), Pg 19.

Cherkaoui H.D., Moussadek R., Sahbi H., Apport des techniques géo-spatiales pour la caractérisation de la qualité des eaux souterraines des oasis de la vallée du Draa : cas de la nappe de Fezouata ; pp 293-295.

Migliarese A., 2018, Observing the earth, fueling global development solutions. [Consulté en Septembre 2018]. <https://medium.com/radiant-earth-insights/observing-the-earth-fueling-global-development-solutions-1c69fd5632bc>.

Didi A., 2019, la palmerie de Skoura, l'oasis par excellence, Pg 2-4.

Martin S., Igul R., 2006, Influence du tourisme sur la gestion de l'eau en zone aride Exemple de la vallée du Drâa (Maroc). Mémoire de licence. Université de Lausanne – Institut de Géographie. Pg 45-56.

www.cartographie.ird.fr

<http://e-cours.univ-paris1.fr>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>