



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche
Scientifique**

Université Dr Tahar Moulay de Saïda

Faculté Sciences de la nature et de la vie

Département : Agronomie et sciences de nutrition

Spécialité: Protection et Gestion des écosystèmes

Mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master

Thème :

**Analyse spatiotemporelle des dynamiques forestières dans la
région de Saïda à l'aide des outils géomatiques**

Présentée par:

M^{elle} : SMAIL LEILA NADA

Soutenue le : 24/06/2025

Devant le jury, composé de :

Président : NASRELAH Yahia

Université UMTS

Examineur : BELHADI Abdelkader

Université UMTS

Encadreur: SITAYEB Tayeb

Université UMTS

Année universitaire : 2024/2025



REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail

Le travail a été réalisé sous la direction de Mr. SITAYEB Tayeb,

Nous sommes reconnaissantes pour le temps qu'elle nous a consacré et toutes les opportunités qu'elle nous offertes au cours de ce travail

Nous remercions également les membres du jury, Mr. NASRELAH Yahia et Mr.KEFIFA Abdelkrim

D'avoir consacré leur temps à la lecture de ce manuscrit, et d'accepter de juger et d'évaluer ce travail

Enfin nous tenons à exprimer mes profonds remerciements à tous ceux qui nous en soutenu de près ou de loin pour la réalisation de ce travail



DEDICACE

À mes chers parents,

Vous avez été pour moi une source d'amour inépuisable, un soutien indéfectible dans les moments de doute, et une lumière dans les instants d'ombre.

À mon père, exemple de patience, de travail et de sagesse, dont les conseils ont tracé la voie de ma persévérance.

À ma mère, cœur débordant de tendresse, dont les prières silencieuses ont été ma protection dans chaque pas.

Ce mémoire n'est qu'un modeste fruit des immenses sacrifices que vous avez consentis pour moi. Je vous le dédie avec tout mon amour et mon profond respect.

À ma sœur Imili et à mes deux frères,

Merci pour votre affection constante, vos encouragements sincères et votre présence rassurante.

Vous avez été pour moi une force tranquille, des voix d'encouragement quand tout semblait difficile, et des sourires sincères dans les jours de fatigue.

Que ces pages soient un humble témoignage de reconnaissance envers ceux qui m'ont accompagné avec leur cœur, leur foi en moi, et leur amour inconditionnel.

Ce travail est à vous... tout autant qu'à moi.

leila

Résumé ;

Ce mémoire analyse la dynamique spatiotemporelle de la végétation forestière dans la région de Saïda en Algérie, en utilisant les outils de la géomatique, notamment le Système d'Information Géographique (SIG) et la télédétection. L'étude repose sur des images satellites multi-temporelles (2015-2025), traitées et analysées dans QGIS. Les résultats montrent une dégradation notable du couvert végétal, due à l'impact croissant des facteurs anthropiques et climatiques. Les cartes générées révèlent des zones de régression, notamment dans les massifs forestiers denses. Une classification supervisée a permis de détecter les changements d'occupation du sol. Ce travail met en évidence l'utilité des SIG pour la surveillance écologique. Il propose aussi des recommandations pour une meilleure gestion durable. L'approche méthodologique adoptée est reproductible pour d'autres régions similaires. Ce mémoire constitue une base scientifique pour des prises de décisions locales. Il met en lumière la nécessité d'une gestion forestière proactive.

Summary :

This thesis investigates the spatiotemporal dynamics of forest vegetation in the Saïda region of Algeria using geomatic tools, particularly Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing. The study is based on multi-temporal satellite imagery (2015–2025), processed and analyzed in QGIS. The findings reveal a significant decline in vegetation cover, driven by increasing human and climatic pressures. The generated maps highlight areas of forest regression, especially in dense forest zones. A supervised classification technique was used to detect land cover changes. This work demonstrates the effectiveness of GIS tools in ecological monitoring. It also provides recommendations for sustainable forest management. The adopted methodological approach is transferable to other similar regions. This research offers a scientific basis for local decision-making. It underscores the need for proactive forest governance.

الملخص :

يهدف هذا البحث إلى دراسة الديناميكية الزمانية والمكانية للغطاء الغابي في منطقة سعيدة بالجزائر، باستخدام أدوات والاستشعار عن بعد. تم الاعتماد على صور فضائية متعددة (SIG) الجيوماتيك، وخاصة نظم المعلومات الجغرافية أظهرت النتائج تدهورًا واضحًا في QGIS الفترات الزمنية (2015–2025)، تمت معالجتها وتحليلها باستخدام برنامج الغطاء النباتي، نتيجة العوامل البشرية والمناخية المتزايدة. وكشفت الخرائط المستخرجة عن مناطق تراجع، خاصة في الكتل الغابية الكثيفة. وتم تطبيق تصنيف موجه لتحديد تغيّرات استعمال الأراضي. يبرز هذا العمل أهمية أدوات الجيوماتيك في المراقبة البيئية. كما يقدم توصيات من أجل تسيير مستدام للموارد الغابية. المنهجية المعتمدة قابلة للتطبيق في مناطق أخرى مماثلة. يشكل هذا البحث أساسًا علميًا لاتخاذ قرارات محلية فعالة، ويبرز الحاجة لإدارة استباقية للغابات

Liste des abréviations :

SIG : Système d'Information Géographique.

NDVI : Normalise Difference Vegetation Index (Indice de Végétation par Différence Normalisée).

GPS : Global Positioning System (Système de Positionnement Global).

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).

B.N.E.D.E.R : Bureau National des Etudes de Développement Rural.

B.N.E.F : Bureau National d'Etude Forestière.

C.C.T : Centre canadienne de la télédétection.

DGF: Direction Générale de Forêts.

D.P.A.T : La direction de la Planification et l'Aménagement du Territoire.

D.S.A : Direction des services agricole.

INCT: Institut National de Cartographie et de la Télédétection.

MNT : modèle numérique de terrain.

P : précipitation.

H : humidité.

T : Temperature network.

TIN : triangulaire interpolation.

°C : degré Celsius.

% : pourcentage.

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.

ARCGIS : Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System

QGIS : Quantum Geographic Information System MNT : Modèle Numérique de Terrain

TIFF: Tagged Image File Format

BMP: bitmap GIF: Graphics Interchange Format

JPEG: Joint Photographic Experts Group

JCN forestier : Conservateur de Parcs et Jardins de Paris

Co2 : dioxyde de carbone

O2 : dioxygène

JO de radp : Conservateur de Parcs et Jardins de Paris

CNES : Centre national d'études spatiales

PUD : Plan d'urbanisme et directeur

Liste des tableaux

Tableau N° 01 : Répartition saisonnière des précipitations (1980-2005) (Station météorologique, 2009).....	P 47
Tableau N° 02 : Classification des mois (période 1980-2005) (Station météorologique, 2009).....	P 49
Tableau N° 03 : Représente les différentes directions des vents saisonnières.....	P 50
Tableau N° 04 : Répartition des terres utilisées par l'agriculture (D.P.A.T, 2009).....	P 58
Tableau N° 05 : Analyse comparative visuelle entre les cartes.....	P 77
Tableau N° 06 : Comparaison visuelle entre les indices de végétation (NDVI).....	P 82
Tableau N° 07 : Synthèse des zones dégradées par secteur (2015 – 2022)	P83

Liste des figures

Figure 01 : Répartition des types de forêts.....	P14
Figure 02 : Carte.....	P20
Figure 03 : Schéma des composantes d'un SIG.....	P22
Figure 04 : fonctionnalités d'un SIG.....	P24
Figure 05 : Processus de la télédétection (Kluser, 2000).....	P26
Figure 06 : Principe de classification des images.....	P33
Figure 07 : Les étapes de classification supervisée.....	P34
Figure 08 : carte de localisation de la wilaya de saïda.....	P35
Figure 09 : Découpage administratif de la wilaya de Saida (D.P.A.T, 2009).....	P36
Figure 10 : Carte de la wilaya de Saida géologique.....	P37
Figure 11 : Carte pédologique de la wilaya de Saida (extrait B.N.E.D.E.R, 1992).....	P38
Figure 12 : Répartition des classes des pentes dans la wilaya de Saïda (D.G.F, 2007).....	P40
Figure 13 : Carte des pentes de la wilaya de Saida.....	P40
Figure 14 : Répartition des classes d'altitude de la wilaya de Saida (D.G.F, 2007).....	P42
Figure 15 : Carte des altitudes de la wilaya de Saida (extrait MNT).....	P42
Figure 16 : Carte des expositions de la wilaya de Saida (extrait MNT).....	P43
Figure 17 : Carte de réseau hydrographique et bassins versants de la wilaya de Saida (D.H.W, 2009).....	P45
Figure 18 : Précipitations mensuelles moyennes (1980 à 2005) (Station météorologique, 2009).....	P46
Figure 19 : Régime saisonnier de la zone d'étude (1980-2005).....	P47
Figure 20 : Carte de l'isohyète moyenne annuelle la wilaya de Saida (1980-2005) (B.N.E.D.E.R, 1992).....	P48
Figure 21 : Température moyenne mensuel (1980-2005).....	P49
Figure 22 : Variation de L'évaporation en fonction des mois (l'évaporation moyenne mensuelle de la station) (1980-2005) (Station météorologique, 2009).....	P50
Figure 23 : Rose du vent de la wilaya de Saïda (1980-2005) (Station météorologique, 2009).....	P51

Figure 24 : L'humidité relative de l'air (Station météorologique, 2009).....	P52
Figure 25 : Détermination du climat à partir de l'abaque DE MARTONNE (1980-2005).....	P54
Figure 26 : Position de la zone d'étude sur le climagramme d'emberger.....	P55
Figure 27 : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (1980,2005).....	P56
Figure 28 : Arboriculture de Sidi Amar (Saida).....	P57
Figure 29 : Occupation de la surface agricole utile de la wilaya du Saïda (D.P.A.T, 2009).....	P59
Figure 30 : Carte des ensembles naturels de la wilaya de Saida (B.N.E.D.E.R, 1992).....	P60
Figure 31 : Forêt dense de Bendjelloud (Saida).....	P61
Figure 32 : Maquis claire d'AïnSoltane.....	P61
Figure 33 : Importance des formations forestières (D.P.A.T, 2009).....	P62
Figure 34 : Répartition de l'espace forestier par commune (D.P.A.T, 2009).....	P62
Figure 35 : Carte d'occupation du sol de la Wilaya de Saida (extrait B.N.E.D.E.R, 1992).....	P64
Figure 36 : Démarche méthodologique.....	P68
Figure 37 : Image satellite en vraies couleurs – 11/09/2015.....	P69
Figure 38 : Image satellite en vraies couleurs – 12/ 04 / 2021.....	P70
Figure 39 : Image satellite en vraies couleurs – 22/04/2022.....	P71
Figure 40 : Composition vrai couleur sentinel 2 R V B 06/04/ 2025.....	P72
Figure 41 : Image en fausses couleurs – 11/09/2015.....	P73
Figure 42 : Image en fausses couleurs – 12 / 04 / 2021.....	P74
Figure 43 : Image en fausses couleurs – 22/04/2022.....	P75
Figure 44 : Composition fausse couleur sentinel 2 piR R V 06/04/ 2025.....	P76
Figure 45 : Carte NDVI – 2021.....	P78
Figure 46 : Carte NDVI – 2022.....	P80
Figure 47 : NDVI 06/04/025.....	P81
Figure 48 : Évolution temporelle du NDVI moyen dans la région de Saïda.....	P83
Figure 49 : Surface dégradée par secteur dans la région de Saïda en 2025.....	P84

Sommaire

Chapitre I : Etude bibliographique	14
1. Introduction	14
2. Les écosystèmes forestiers	14
2.1 Différents aspects de la forêt.....	14
3. Rôles et dynamiques	15
3.1 Importance des forêts	15
3.2 Fonctionnement de l'écosystème forestier	15
3.2.1. L'influence du sol	15
3.2.2. L'influence du climat	16
Chapitre II: généralité sur la cartographie et la télédétection et SIG	20
1. Introduction	20
2. Cartographie	20
2.1 Fondements théoriques et apports pratiques	20
2.1.1 Définition et rôle des cartes	20
2.1.2 Type de cartes utilisées en géomatique	20
2.1.3 Cartographie participative et web-mapping.....	21
3. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)	21
3.1 Définition et composantes d'un SIG	21
3.2 Les composantes d'un SIG	22
3.3 Fonctionnalités des SIG	23
3.4 SIG libres et commerciaux	24
4. La télédétection	24
4.1 Définition	24
4.2 Historique	24
4.3 Principe	25
4.4 Objectif de la télédétection	26
4.5 Les principaux satellites d'observation de la terre	27
4.6 La signature spectrale	28
4.7 Les principaux indices de végétation	30
5 Le traitement des données satellitaires	31
5.1 Les corrections géométriques	32
5.2 La classification des données	32
5.3 La classification non supervisée	33
5.4 La classification supervisée	33

6. Conclusion	34
CHAPITRE III : Présentation de la région de Saida	35
1. Introduction	35
2. La zone d'étude	35
3. Caractérisation physique et climatique	36
3.1 Situation géographique	36
3.2 Cadre physique	37
3.2.1 Géologie	37
3.2.2 Pédologie	37
3.2.3 Orographie	39
3.2.4 Exposition	43
3.2.5 Hydrologie	44
3.2.5.1 Eaux superficielles	44
3.2.6 Cadre climatique	45
3.3 Synthèse climatique	52
3.4 Quotient pluvio-thermique d'emberger	54
3.4.1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen et bagnoule	55
4. L'arboriculture	57
4.1 La vigne	58
5. Espace forestier	59
5.1 L'état de l'espace forestier	62
5.2 Superficies de l'espèce forestière	63
5.2.1 Espace steppique	63
6. Elevage	64
7. Potentiel humain	65
8. Conclusion	65
CHAPITRE IV : APPROCHE METHODOLOGIQUE	66
1. Objectif du travail	66
2. Matériels	66
2.1. Données utilisées	66
2.2. Outils de prospection : G.P.S (Global Positioning System)	66
3. Méthodologie de traitement des données cartographiques	66
3.1. Délimitation de la zone d'étude	66
3.2 La composition colorée	67
3.3 Calcule de l'indice de végétation normalisé NDVI	67
3.4 Détection des changements	67

Chapitre VI : Résultats et interprétation.....	69
1. Analyse visuelle des images satellitaires	69
1.1. Images en vraies couleurs (RGB).....	69
1.2. Images en fausses couleurs (Infrarouge proche)	73
1.3 Évolution de l'indice de végétation NDVI	78
CONCLUSION.....	84
Référence bibliographiques	85

Introduction générale :

La forêt, en tant que composante fondamentale de l'écosystème terrestre, joue un rôle central dans la régulation des équilibres environnementaux. Elle contribue au maintien de la biodiversité, à la stabilisation du climat, à la préservation des sols, ainsi qu'à la satisfaction des besoins socio-économiques des populations locales. Dans les régions méditerranéennes, notamment en Algérie, les forêts sont particulièrement vulnérables en raison de la combinaison entre conditions climatiques défavorables (séc...

La région de Saïda, située dans le nord-ouest de l'Algérie, se distingue par la richesse et la diversité de son couvert végétal forestier. Ce patrimoine naturel, bien que précieux, fait l'objet de profondes mutations dues à des dynamiques spatiales et temporelles complexes. Ces changements, qui se manifestent par la régression ou la régénération de certaines formations végétales, sont le résultat d'interactions multiples entre les facteurs physiques (climat, relief, type de sol) et les activités humaines...

Dans ce contexte, les avancées technologiques dans le domaine de la géomatique, notamment la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG), ont ouvert de nouvelles perspectives pour l'étude de l'évolution des milieux naturels. Ces outils permettent d'acquérir, de traiter et d'analyser des données spatiales à différentes échelles temporelles et géographiques, offrant ainsi une vision globale, précise et actualisée des transformations du paysage. À travers des cartes thématiques et l'indice de végétation NDVI, il s'agira de détecter les zones de dégradation ou de régénération forestière, d'identifier les causes potentielles de ces changements.

Ce travail s'inscrit dans cette approche innovante et interdisciplinaire. Il vise à analyser la dynamique spatio-temporelle des forêts dans la région de Saïda sur une période récente (2015-2025), à travers l'exploitation d'images satellites et l'application d'outils SIG. L'objectif principal est de cartographier les changements du couvert forestier, d'identifier les tendances dominantes, et de comprendre les causes et les impacts. Ce diagnostic permettra également de proposer des recommandations pour une gestion raisonnée et durable de ces ressources naturelles.

Ce travail mettra en lumière l'apport essentiel des technologies géospatiales dans la compréhension des changements environnementaux et dans la prise de décision territoriale, tout en contribuant à une meilleure connaissance des forêts algériennes et des enjeux locaux spécifiques à la région de Saïda, souvent méconnues ou sous-exploitées dans les études scientifiques.

Chapitre I : Etude bibliographique

1. Introduction

Les forêts changeantes, dans des contextes de pressions environnementales et humaines croissantes, nécessitent la mise en place d'outils efficaces pour assurer leur suivi spatio-temporel. Les technologies géomatiques, comme le SIG, la télédétection et le GPS, se sont avérées particulièrement bien adaptées à la cartographie, à la quantification et au suivi de la dynamique des forêts (Longley et coll., 2015; Lillesand et coll., 2015). Cette revue met en évidence les concepts, méthodes et applications des outils géomatiques dans les études forestières.

2. Les écosystèmes forestiers

L'origine du mot « forêt » vient du latin *forestis*, lui-même dérivé de *foris* qui signifie « hors de ». La forêt désigne donc ces vastes territoires situés hors de l'influence humaine, de l'habitat ou des cultures.

2.1 Différents aspects de la forêt

Les forêts recouvrent 30% des terres émergées. A l'échelle du globe, les diverses formes de forêts s'ordonnent de façon régulière. La large zone de conifères des hautes latitudes cède la place au feuillus dans les régions tempérées, qui s'effacent à leur tour devant la luxuriante forêt tropicale humide. Localement de petites variations des températures, des précipitations et des sols donnent aux massifs forestiers des aspects aussi différents qu'inattendus. A quelques kilomètres de beaux peuplements de conifères de la zone *subarctique*, un climat à peine plus rude suffit à réduire les mêmes essences à l'état d'arbustes rabougris et clairsemés.

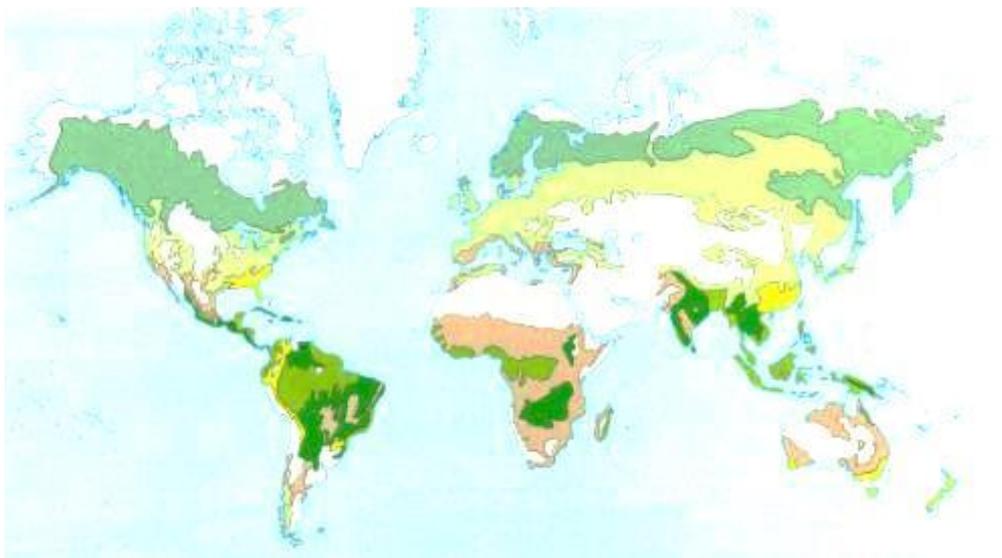


Figure 01 : Répartition des types de forêts

Sous les latitudes moyennes les milieux naturels sont si nombreux que les forêts prennent des aspects très divers, du maquis aux feuilles coriaces des régions les plus sèches à des îlots de forêts humides, là où la zone tempérée prend un caractère tropical. La forêt tropicale se caractérise par sa luxuriance dans les plaines humides, où les grands arbres font une ombre si épaisse qu'il n'y plus aucun sous-bois ; en altitude elle est constituée d'arbres chétifs et de s o u s - b o i s e n c h e v ê t r é s . Quelques forêts sont même dépourvues d'arbres véritables. Dans les déserts des zones tempérée et tropicale, les cactus, habituellement petits, prennent des allures arborescentes et forment des forêts sèches, là où les feuillus et les conifères ne pourraient pas survivre. Malgré leur diversité, les forêts ont toutes un point commun : Chacune crée un paysage particulier et conditionne la faune et la flore qui vivent dans son ombre.

3. Rôles et dynamiques

3.1 Importance des forêts

Les forêts sont des communautés végétales dominées par les arbres, ce qui leur confère une grande biodiversité et une importance fondamentale dans la régulation du climat, la protection des sols, la gestion de l'eau et la séquestration du carbone (FAO, 2020). Elles sont également une source des ressources économiques et socioculturelles, notamment dans les régions méditerranéennes (Benabdeli, 2000).

3.2 Fonctionnement de l'écosystème forestier

3.2.1. L'influence du sol

Il faut en général quelques millénaires pour passer du stade « roche » au stade « sol agricole profond et fertile » !

En effet la roche est bien « la mère » du sol. Au temps des grandes glaciations, les glaciers et les rivières charrièrent des Alpes au Moyen-Pays d'énormes quantités de sable et de cailloux qu'ils déposèrent sous forme de moraines et de graviers. C'est sur ces dépôts glaciaires que se sont formés, au cours des millénaires, les meilleurs sols de nos champs et de nos jardins. Au début, seules quelques espèces végétales très spécialisées peuvent pousser. En mourant, ces premiers végétaux apportent un peu de matière organique au tout jeune sol. Après quelques années déjà, on peut observer un matériau fin et foncé dans la zone des racines : l'humus. Celui-ci peut emmagasiner de l'eau et des substances nutritives pour les plantes. L'eau de pluie pénètre dans le sol, dissout lentement les cailloux calcaires et entraîne celui-ci en profondeur. Il se forme alors sous la couche humifère, une couche brun-rouille dite d'altération. Dans cette

couche, les matières minérales et organiques sont décomposées. Cette couche d'altération peut conserver de l'eau et des matières nutritives.

Le sol constitue un élément indispensable à toute vie terrestre :

- Les êtres vivants puisent dans le sol une bonne part de leurs besoins (eau et sels minéraux pour les végétaux, source de nourriture pour de nombreux animaux).
- Les êtres vivants rejettent dans le sol la majeure partie de leurs déchets
- Le sol est la plus extraordinaire usine de recyclage : les déchets organiques (cadavres, déchets animaux et végétaux) sont fractionnés et transformés en éléments minéraux qui seront utilisés par les végétaux.

Le sol est composé de particules plus ou moins grandes. Si celui-ci est constitué avant tout de graviers, cailloux et sable grossier, il retiendra moins facilement l'eau qu'un sol composé de sable fin, d'argiles et de limons.

L'eau et l'air d'un sol ont une importance décisive pour la croissance des plantes. Les espaces vides entre les particules du sol, appelés « pores », sont remplis d'air ou d'eau. Le volume global des pores d'un bon sol forestier est de 50%, répartis en parts égales entre les différents types de pores (gros, moyens ou fins). Un bon sol est toujours dans un équilibre fragile. Toute modification minimale aura des répercussions sur sa fertilité.

3.2.2. L'influence du climat

La lumière ou l'ensoleillement

La forêt reçoit une quantité d'énergie liée à la position du soleil et aux conditions climatiques générales, définie par le rayonnement global (énergie reçue par cm^2 sur une surface horizontale, soit directement, soit par diffusion). On l'exprime en $\text{calories}/\text{cm}^2/\text{minute}$, l'unité de temps pouvant varier.

Une partie du rayonnement global incident est réfléchi vers le ciel. Le rapport du rayonnement réfléchi au rayonnement global définit l'albédo du couvert forestier considéré. La quantité d'énergie réfléchi est variable selon l'essence et la nature du feuillage. Pour les formations végétales forestières, l'albédo oscille entre 10 et 20% (pour comparaison, prairie verte, 25% environ).

L'orientation des feuilles et la hauteur du soleil sur l'horizon entraînent des variations du rayonnement relatif. Par exemple, l'albédo est élevé quand le soleil est bas et quand les feuilles des couronnes d'arbres sont disposées horizontalement.

Le type de temps, qui modifie la composition spectrale du rayonnement incident, a également une influence sur le coefficient d'albédo, car les surfaces végétales ne réfléchissent pas de la même façon les différentes parties du spectre.

Le rayonnement solaire qui n'est pas réfléchi pénètre dans le couvert forestier puis, soit est arrêté par les couronnes, soit arrivé au sol.

Il peut arriver au sol de deux manières :

- Directement, à travers les espaces du feuillage, sans donc être modifié dans sa composition.
- Après avoir traversé les limbes foliaires, où intervient une absorption partielle et sélective. Celle-ci est très importante pour les radiations « longues » et visibles, et faible pour l'infrarouge.

La lumière en forêt est donc relativement : (concerne les peuplements feuillus)

- Riche en infrarouge
- Pauvre en ultraviolet

A mesure que le rayonnement pénètre dans le peuplement, il s'affaiblit et décroît rapidement.

La germination des graines est influencée par la nature et l'intensité des radiations naturelles qui règnent au voisinage du sol : il y a des graines dont le développement est favorisé par la lumière, d'autres dont au contraire la lumière freine la germination, et des graines indifférentes. Même s'il y a un pourcentage faible de radiations, les graines forestières arrivent à germer, car elles contiennent des réserves, des vitamines qui leur donnent une certaine indépendance vis-à-vis du milieu extérieur.

Les températures :

a) L'air

La température de l'air varie sous couvert forestier de la même façon que le rayonnement solaire. Principale source de chaleur pour l'air, la végétation et la couche superficielle du sol. La nuit, la température dépend de l'importance du rayonnement nocturne, de la végétation et du sol.

b) Le sol

D'une façon générale, le sol forestier est plus chaud en hiver (+0,5°C par exemple) et plus frais en été (-3°C par exemple) que le sol découvert. L'action combinée de l'isolation thermique de la litière et de l'ombrage peut être considérable (cela peut aller jusqu'à plusieurs degrés d'écart).

c) Les gelées tardives

Leur importance en forêt est évidente pour l'avenir des régénérations naturelles et des plantations. La nuit les températures les plus basses s'observent alors à la surface supérieure de la strate herbacée. Un plant enfoui dans une strate herbacée sera protégé au départ, mais dès qu'il dépassera cette strate, il se trouvera dans de mauvaises conditions, et le risque de gel des bourgeons terminaux devient considérable. Les sylviculteurs observent certaines règles précises pour atténuer la nocivité des gelées nocturnes tardives.

Le vent :

Dans la forêt, la vitesse du vent est freinée par la friction des masses d'air sur les houppiers, troncs, sous-étage. C'est au niveau des couronnes que la réduction est la plus forte. La vitesse du vent tombe vite au 1/4 ou 1/5 de ce qu'elle est au-dessus du peuplement, restant assez constante entre 1 m du sol et la zone des cimes.

Pour qu'une forêt résiste bien au vent, il faut augmenter la résistance individuelle des arbres qui la composent. Une forêt trop serrée résistera moins bien qu'une forêt bien enracinée et bien espacée. Le mélange d'essences favorise également la résistance aux vents.

Les précipitations :

a) Pluies

Les pluies qui tombent sur le peuplement forestier se divisent en trois catégories : une première où elle traverse le couvert et atteint directement le sol, une deuxième où elle ruisselle le long des troncs et atteint ensuite le sol et une troisième où elle est retenue définitivement au niveau des houppiers.

b) Brouillards

Dans les régions à brouillard, des études ont montré que la forêt condense beaucoup plus d'eau qu'un terrain découvert. Il est certain que l'incidence de ces condensations peut être importante dans les régions à brouillards fréquents et intenses.

c) Neige

Le couvert de la forêt joue un rôle important dans l'accumulation et la répartition de la neige. La vitesse du vent ainsi que la température favorisent ou non son l'interception. La grande majorité de la neige interceptée revient au sol soit par fusion, soit par décharge mécanique des arbres.

.3.3. Dynamique spatio-temporelle des forêts

La dynamique des forêts est utilisée pour décrire les changements dans la superficie, la structure ou la composition des forêts. Elle se produit à l'échelle du temps et de l'espace. Les changements peuvent être dus à des processus naturels (incendies de forêt, sécheresse,

tempêtes) ou aux activités humaines (culture, urbanisation, exploitation forestière) (Chazdon, 2008).

.4 Méthodes de détection des changements spatiotemporels :

L'analyse diachronique ou « change détection » se résume à comparer des images satellites acquises à différentes dates pour détecter et quantifier les changements. Les méthodes utilisées sont la classification postérieure (Post Classification Comparaison), le recours à des indices de végétation comme le NDVI, et des algorithmes de classification supervisée (Singh, 1989; Lu et al., 2004; Coppin et al., 2004).

Chapitre II: généralité sur la cartographie et la télédétection et SIG

1. Introduction

Dans un contexte de fortes pressions environnementales et de changements accélérés des paysages, la géomatique est devenue une méthode indispensable pour l'analyse, la gestion et la planification des territoires. Parmi ces méthodes, de la cartographie à la télédétection en passant par les systèmes d'information géographique (SIG), il s'agit d'un trio fondateur. L'intégration de ces différents outils permet de représenter, de modéliser et d'interpréter avec précision les données spatiales à différentes échelles. Dans le secteur forestier, ces technologies sont particulièrement utiles pour étudier la dynamique spatio-temporelle, surveiller la santé des écosystèmes et détecter les changements d'utilisation des sols.

2. Cartographie

2.1 Fondements théoriques et apports pratiques

2.1.1 Définition et rôle des cartes

La cartographie est la science, l'art et la technique de représentation spatiale des phénomènes ou objets de la surface terrestre sous forme graphique. Il vise à traduire des informations complexes en représentations visuelles accessibles et interprétables



Figure 02 : présentation panchromatique d'une image de télédétection.

2.1.2 Type de cartes utilisées en géomatique

Les cartes géographiques sont déclinées en différents types suivant leur objectif :

Les cartes topographiques, qui rendent compte du relief, de l'hydrographie et des infrastructures.

Les cartes thématiques, qui mettent en évidence un phénomène spécifique comme la couverture forestière, la déforestation ou la densité de population.

Les cartes d'analyse, résultant du traitement spatial réalisé dans un SIG, qui permettant de croiser plusieurs types de données spatiales de natures différentes afin de produire des indicateurs spatiaux appropriés (Longley et al., 2015)

2.1.3 Cartographie participative et web-mapping

Avec l'émergence d'Internet et des technologies collaboratives, la cartographie est devenue un outil participatif. Des outils tels que Google Earth, OpenStreetMap ou ArcGIS Online permettent aux citoyens, chercheurs et gestionnaires de créer, partager et visualiser de cartes interactives en temps réel, facilitant ainsi la prise de décisions à différentes échelles (Goodchild, 2007).

3. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG)

3.1 Définition et composantes d'un SIG

Un système d'information géographique est un ensemble de matériaux, de logiciels, de données géographiques et de procédures qui permettent la collecte, le stockage, la manipulation, le traitement et l'affichage d'informations spatiales (Burrough & McDonnell, 1998).

SIG utilise deux fichiers de catégories principales de données :

Fichiers vectoriels (points, lignes, polygones) pour la représentation d'entités discrètes (routes, parcelles énergétiques ou rivières).

Les données raster (réseaux de pixels) sont le plus souvent fournies par la télédétection, pour décrire des phénomènes continus comme l'altitude ou la température



Figure 03 : schéma des composantes d'un SIG

3.2 Les composantes d'un SIG

Un Système d'Information Géographique est constitué de cinq composants majeurs (Collet, 1994).

1. Matériel :

Le traitement des données à l'aide des logiciels ne peut se faire sans un ordinateur. Pour cela, les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs.

2. Logiciels :

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour l'exécution des 05 fonctionnalités des SIG : (Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage, Accès). Les principaux composants d'un logiciel SIG sont : - Outils de saisie et de manipulation des

informations géographiques ; - Système de Gestion de Base de Données ; - Outils géographiques de requête, d'analyse et de visualisation ; - Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

3. Données :

Les données sont la composante la plus importante des SIG (données graphiques spatiales, données alphanumériques...). Les données géographiques peuvent être, soit importées à partir de fichier, soit saisies manuellement par l'opérateur.

4. Le savoir-faire :

Tous les éléments décrits précédemment ne peuvent prendre vie sans une connaissance technique de ces derniers. Un SIG fait appel à de divers savoir-faire, donc à des divers métiers qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes. On retiendra notamment la nécessité d'avoir des compétences en analyse des données et des processus, en traitement statistique, en sémiologie cartographique et en traitement graphique.

5. Les utilisateurs :

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui l'ont créés et le maintiennent jusqu'aux utilisateurs ordinaires.

3.3 Fonctionnalités des SIG

Le SIG peut être utilisé pour :

Analyses spatiales (intersections, tampons, réseaux, vues 3D);

Recherche multicritères (croisement de couches);

Modélisation de scénarios pour la planification urbaine, la gestion des risques ou la conservation des ressources naturelles (Longley et al., 2015).

Saisie et stockage numérique de plans et des cartes

Schématisation, organisation et archivage de l'information géographique

Calculs métriques (distances, surfaces, périmètres, volumes), positionnement et projections géographiques

Calculs techniques et d'ingénierie (parcours optimaux, etc.) Analyse spatiale, statistique et classifications, géostatistique

Téledétection

Géo référencement, gestion et traitement d'images

Modèles numériques de terrain, géomorphologie, hydrologie, écoulements.

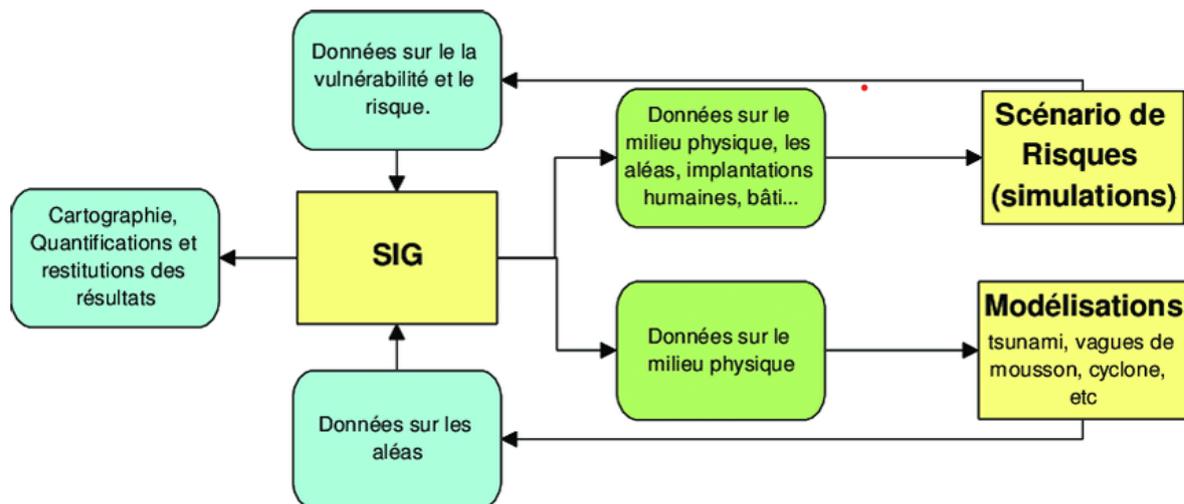


Figure 04 : fonctionnalités d'un SIG.

3.4 SIG libres et commerciaux

Il existe une grande variété de logiciels SIG :

- Commerciaux : ArcGIS, MapInfo, ERDAS Imagine ;
- Libres/Open Source : QGIS, GRASS GIS, SAGA GIS, qui offrent une flexibilité d'utilisation sans coûts de licence (Steiniger & Bocher, 2009).

4. La télédétection

4.1 Définition

La télédétection est la collecte de données sur les objets de surface de la Terre à distance, sans contact physique direct, généralement au moyen de satellites ou de drones. Il est basé sur l'analyse des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchi par les surfaces terrestres (Lillesand et al., 2015).

4.2 Historique

La technique de la télédétection peut remonter au XIX^{ème} siècle. L'invention de la photographie en 1839 par un inventeur français, DAGUERRE (1787-1851) a donné naissance à la photogrammétrie.

En 1858, un autre français, FELIX TOURNACHON (sous le pseudonyme de Félix Nadar) (1820-1910), a pris la première photographie à partir d'un ballon et a déposé un brevet pour le nouveau système de la photographie aérostatique donnant un aperçu de la topographie, de l'hydrographie et des données cadastrales vues du ciel (MEBARKI SOUAD). **Le succès du vol des frères Wright en 1903 a donné le coup d'envoi à l'application de la photographie aéroportée.**

4.3 Principe

La télédétection se définit comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contacts matériels avec ceux-ci ».

La télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes que nous élaborons ci-après. Notons cependant que la télédétection peut également impliquer l'énergie émise et utiliser des capteurs non-imageurs.

- Source d'énergie ou d'illumination (A) - À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.
- Rayonnement et atmosphère (B) – Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.
- Interaction avec la cible (C) - Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du Rayonnement et des propriétés de la surface.
- Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) - Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.
- Transmission, réception et traitement (E) - L'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).
- Interprétation et analyse (F) - Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
- Application (G) - La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible (Centre canadien de télédétection)

- Source d'énergie ou d'illumination (A)
- Radiation et l'atmosphère (B)
- Interaction avec la cible ou la surface (C)
- Enregistrement de l'énergie par le capteur (D)
- Transmission, réception, et traitement (E)
- Interprétation et analyse (F)
- Application (G)

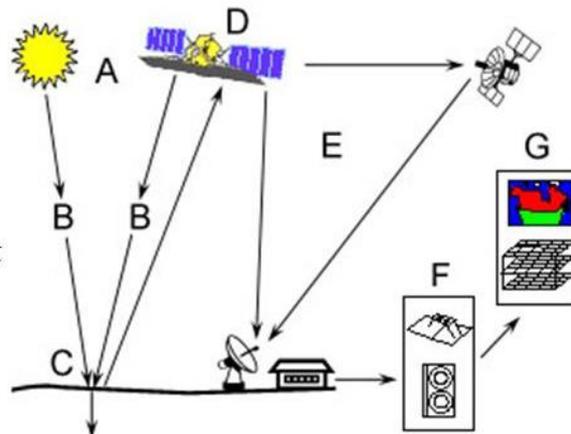


Figure 05 : Processus de la télédétection (Kluser, 2000)

4.4 Objectif de la télédétection

La télédétection permet la production d'image ou de photographie qui, par l'interprétation des informations acquises, aboutit à des applications multiples et une meilleure gestion des ressources naturelles de notre planète :

- Surveillance de l'environnement
- Agriculture
- Cartographie
- Aménagement

Les satellites, grâce à la vision nouvelle des paysages ruraux, ont acquis la conscience des possibilités immenses offertes par la télédétection dans la connaissance de l'agriculture et l'étude des paysages. On dispose là d'un nouvel outil de prospection qui peut être envisagé en terme de complémentaire ou de substitution à une enquête classique au même titre que photographies aériennes. Actuellement l'imagerie satellite est devenue accessible par une grande souplesse dans son utilisation et son coût acceptable comparé aux techniques cartographiques traditionnelles.

Les éléments essentiels en télédétection :

La télédétection est une technologie qui a pour objectif principal de découvrir et d'observer le système « Terre », l'environnement et sa dynamique à différentes échelles.

Les éléments essentiels en télédétection sont :

1-une plate-forme pour tenir l'instrument

2-un objet cible à observer

3-un instrument ou capture pour observer la cible

4-l'information obtenue à partir des données de l'image et la manière dont cette information est exploitée et stockée.

4.5 Les principaux satellites d'observation de la terre

Les satellites de télédétection à défilement ont une orbite quasi-circulaire polaire à une altitude située entre 700 et 900 km. Ces satellites ont une orbite héliosynchrone, c'est-à-dire que le satellite survole une latitude donnée à une heure locale sensiblement constante d'une révolution à autre. Ceci permet de bénéficier d'un éclairage solaire assez peu variable. Le satellite américain LANDSAT, le satellite multinational ASTER, le satellite français SPOT et le satellite algérien ALSATI appartient à cette catégorie.

- La série LANDSAT

Le programme Earth Resources Technological Satellite (ERTS) utilisant les satellites ERTS-1 dont le nom a été transformé en LANDSAT (Land Satellite) est dû à la NASA (M.C.GIRARD, 2000). Le premier satellite, LANDSAT-1 fut lancé en 1972 et suivit de 5 autres (LANDSAT 2 à 6). Les trois premiers constituent la première génération, équipée de deux systèmes d'acquisition : le RBV (Return Beam Vidicom) et le MSS (Multi SPECTRAL Scanner). En 1982, le satellite LANDSAT-4 est le premier de la seconde génération, en apportant quelques modifications majeures sur le scanneur et en remplaçant les caméras RBV par un nouveau capteur de résolution spatiale plus élevée 30m contre 80m, le Thematic Mapper « TM », possédant sept bandes spectrales plus fines, du bleu à l'infrarouge thermique.

En 1999, le satellite LANDSAT-7 a été lancé avec un nouveau capteur (ETM+) Enhanced Thematic Mapper Plus, L'instrument d'ETM+ comporte huit bandes spectrales capables de fournir des informations à haute résolution. Il détecte le rayonnement spectral filtré dans le visible, proche infrarouge, et infrarouge thermique. Les tailles des "Pixel" sont de 15 mètres dans la bande panchromatique ; 30 mètres dans les bandes de visible et l'infrarouge moyen et proche, et 60 mètres dans la bande infrarouge thermique.

Les satellites 1 à 5 n'ayant pas d'enregistreur embarqué les données sont envoyées en temps réel aux stations de réception, quand il ne peut y avoir de liaison directe, les informations sont envoyées par des relais en utilisant des satellites de communication TDRS (Tracking and Data Relay Systems). Pour Landsat 7, il y a une possibilité d'enregistrement à bord.

4.6 La signature spectrale

Les capteurs utilisés en télédétection sont des radiomètres imageurs. En effet, ils mesurent des rayonnements et organisent ces mesures sous forme d'images. Ces images sont utilisées pour obtenir des informations sur les objets qu'elles représentent (c'est-à-dire sur les éléments du paysage). Or, le seul lien qui relie l'image à l'objet est le rayonnement émis ou réfléchi par cet objet et reçu par le radiomètre. La télédétection s'appuie donc avant tout sur une bonne connaissance des rayonnements électromagnétique et de leur comportement au contact de la Terre et à travers l'atmosphère (Sitayeb ; 2019).

La réflectance :

Le facteur de réflectance spectral est égal au rapport du flux énergétique réfléchi par un élément de surface dans un cône dont le sommet se trouve sur l'élément de surface, au flux énergétique qui serait réfléchi dans un même angle solide par réflecteur diffusant parfait (surface blanche lambertienne) recevant le même éclairage .

La signature spectrale de la végétation :

La réflectance d'un couvert végétal ne dépend pas seulement des propriétés d'absorption et de diffusion des feuilles mais aussi de son architecture. Celle-ci varie selon la forme, la dimension, la distribution dans l'espace et la quantité des surfaces végétales du couvert. La distribution spatiale de la végétation sur le sol dépend du type de végétation, de la disposition des plantes (écartement et orientation des rangs), et de leur stade de croissance. Au fur et à mesure que la végétation se développe, les effets des sols s'estompent,(MEBARKI SOUAD).

D'après GIRARD(2000) Les végétaux chlorophylliens se caractérisent par des comportements particuliers dans les grands domaines spectraux.

Dans le visible (0.4 -0.7 μ m), le rayonnement est en majeure partie absorbé par les pigments foliaires (chlorophylle, carotène, xanthophylle, anthocyanes) pour la photosynthèse (utilisation de l'énergie radiative pour la synthèse de matière organique). Aussi la réflectance est d'autant plus faible que la photosynthèse est importante. Les principaux pigments sont les chlorophylles a et b avec deux bandes d'absorption dans le bleu et le rouge,(MEBARKI SOUAD).

Dans le proche infrarouge, en fonction de la structure des tissus ainsi que de la structure générale de la canopée et de l'importance de la biomasse chlorophyllienne, la réflectance est plus ou moins forte. Dans ce domaine spectral, la végétation chlorophyllienne a toujours des valeurs de réflectance plus fortes que les autres objets (sols, eau, minéraux).

Dans l'infrarouge moyen réflectif, en fonction de la teneur en eau des tissus végétaux, la réflectance sera plus ou moins forte. Plus la teneur en eau est grande, plus la réflectance est faible.

Certain facteurs influençant sur le changement de la réflectance spectrale de la végétation, tel que :

- Structure de la feuille (structure interne, surface de la feuille, contenu en eau, chlorophylle) la disparition des pigments chlorophylliens conduit à des réflectance plus fortes dans le visible.
- L'abondance de certains pigments dans les inflorescences modifie le comportement spectral dans le visible
- Au niveau de la plante et du couvert végétal, on a une réponse spectrale « composite », car la signature du sol est mixée avec celle de la plante et vient donc compliquer l'interprétation de la signature de l'ensemble.

La signature spectrale de sol :

Le sol un milieu complexe constitué d'éléments minéraux et organiques (humus, végétaux, etc.), d'éléments liquides (l'eau) et de gaz (air, vapeur d'eau) qui tous ont une influence sur la réflectance du sol.

Les bande d'absorption dues à l'eau (1,4 et 1,9) sont présentes. Lorsque l'humidité du sol croit, on observe une diminution de la réflectance sur l'ensemble des longueurs d'onde. Ce phénomène provient du fait que dans un sol sec, l'espace entre les particules est occupé par de l'air. La réflectance est alors liée à l'indice de réfraction des interfaces air-particules. Lorsque le sol est humide, une partie des microcavités est occupée par l'eau : l'indice de réfraction eau-particule étant plus faible que l'indice air-particule, la réflectance est alors plus faible.
(MEBARKI SOUAD)

Les trois facteurs les plus importants pour la réflectance de sols sont :

- -La structure (teneur en sable, argile, limon) ;
- -La texture (sol lisse, rugueux,...) ;
- -L'humidité (teneur en eau).

7.6. La signature spectrale de l'eau :

En revanche, l'eau a des propriétés optiques très différentes, l'énergie reçue est alors soit transmise, soit absorbé. Moins de 5% du rayonnement reçue est dans ce cas réfléchi dans le visible, et encore moins dans le P.I.R. l'eau a un coefficient d'absorption différent selon les

longueurs d'onde : il est plus faible pour la radiation bleus et vertes qui pénètrent donc plus profond (MEBARKI SOUAD).

4.7 Les principaux indices de végétation

C'est une approche empirique pour identifier et suivre l'évolution temporelle des couverts végétaux, ainsi que pour évaluer certains paramètres du couvert comme la biomasse aérienne chlorophyllienne. Les indices de végétation sont calculés soit à partir de mesures de réflectance sur le terrain, soit de comporte numériques fournis par des données satellitaires.

L'utilisation de l'indice de végétation permet de représenter la densité du couvert végétal. La gamme de longueur d'onde utilisée dans le calcul de l'indice de végétation est le rouge (R) et le proche infrarouge (PIR) parce que la réponse spectrale de couvert végétal dans ce domaine spectral est plus forte. Plusieurs indices de végétation ont été développé afin de caractériser la réponse spectrale de la végétation et diminuer l'effet des facteurs perturbateur tel que le sol, la structure de la végétation et l'angle solaire.

L'indice de végétation « NormalizedDifferenceVegetation Index » (NDVI), est déterminé à partir des réflectances planétaires dans les canaux rouges (autour de 0,45 μm) et proche infrarouge (autour de 0,65 μm) (ROUSE et al, 1974 TUCKER, 1986) :

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IR}} - R) / (\rho_{\text{IR}} + R)$$

Le NDVI présente la particularité d'augmenter en présence de végétation. Cette particularité trouve son origine dans la forme des spectres de réflectance du sol et de la végétation .Ce paramétré permet, d'une part, de mieux différencier les types de végétation et apporte, d'autre part, une information supplémentaire sur l'état du couvert. Cet indice n'a pas de sens physique (il ne s'agit pas d'une grandeur mesurée) mais il constitue un indicateur relativement fiable de l'activité chlorophyllienne de la végétation.

Huete (1988) a introduit un facteur d'ajustement empirique SAVI (SoilAdjustedVegetation Index).

$$\text{SAVI} = [(1 + L) (\rho_{\text{IR}} - R)] / (\rho_{\text{IR}} + R + L)$$

Utilisent le (NDVI) pour déterminer l'état de la végétation naturel et la physionomie des groupements végétaux.

Le tableau suivant représente les indices de végétation les plus couramment Avec:

L= 0,5 pour diminuer l'effet du sol

Dans ce travail, nous utilisés :

5 Le traitement des données satellitaires

Les réflectances enregistrées par les capteurs sont transmises à des stations de réception terrestres, soit en temps réel (directement ou via un autre satellite) soit en temps diffère (lorsque le satellite arrive « en vue » d'une station de réception), dans tous les cas, les données transmises se présentent sous la forme brute d'un flux de données qui doit être délivré à des utilisateurs.

Prétraitement des images satellitaire :

Les prétraitements sont des opérations réalisées sur les images de télédétection avant l'analyse et l'interprétation des images. Les corrections visent à compenser les perturbations de la radiométrie et la géométrie de l'image intervenant lors de la prise de vue.

La mise au point d'une méthode concertée de surveillance par télédétection suppose un certain nombre d'étapes techniques incontournables. Parmi celles-ci, les corrections géométriques et radiométriques sont fondamentales pour la détermination de changements.

1) Les corrections radiométriques :

Les données radiométriques acquises par un capteur satellitaire sont affectées par un certain nombre de facteurs tels que les caractéristiques du capteur et l'état de l'atmosphère. Le passage des données brutes enregistrées par le capteur aux images corrigées de ces facteurs se fait en quatre étapes (MEBARKI SOUAD):

a. Tout d'abord, il faut éliminer les perturbations dues à l'instrumentation pour rétablir les contrastes existant entre les objets.

b. Ensuite, les données brutes sont transformées en grandeurs physiques par l'introduction de coefficients d'étalonnage (étalonnage absolu) et par la prise en compte des conditions d'acquisition (orientation et inclinaison de la visée, position de soleil, résolution spectrale et spatiale). Les données obtenues sont alors exprimées en réflectance apparente au niveau du satellite.

c. La troisième étape consiste à éliminer les perturbations induites par l'atmosphère (correction atmosphérique) afin d'obtenir la réflectance des objets au niveau du sol. Les données ainsi obtenues sont relatives à une surface fictive, plane et horizontale en supposant un éclairage uniforme et constant.

d. Enfin, des corrections au niveau de la topographie (correction topographiques) sur l'éclairage sont effectuées pour acquérir des caractéristiques optiques réelles de la surface. Les effets dus aux instruments étant corrigés avant la distribution des images par les fournisseurs, seules les trois dernières étapes ont dû être réalisées.

5.1 Les corrections géométriques

Il reste de corriger les déformations géométriques de l'image dues à plusieurs sources d'erreurs. Ces corrections sont nécessaires pour plusieurs raisons. Tout D'abord, les données enregistrées par le capteur du satellite ne sont pas présentées dans une projection cartographique courante, rendant difficile la comparaison avec des données géo référencées comme les carte thématiques, de plus, ces corrections sont essentielles pour comparer et superposer une série d'image. Les méthodes de correction géométrique appliquées aux images numériques de télédétection peuvent être classées en deux grandes catégories : les méthodes de corrections à partir des paramètres du satellite et les méthodes de corrections par référence à des points de coordonnées connues dans un autre système.

5.2 La classification des données

Un analyste qui tente de classer les caractéristiques d'une image, utilise les éléments de l'interprétation visuelle (taille, forme, texture. etc) pour identifier des groupes homogènes de pixels qui représentent des classes intéressantes de surfaces. La classification numérique des images utilise l'information spectrale contenue dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement. Ce type de classification est appelé reconnaissance de regroupements spectraux. Les deux façons de procéder (manuelle ou automatique) ont pour but d'assigner une classe particulière ou thème (par exemple : eau, forêt de conifères, maïs, blé, etc.) à chacun des pixels d'une image. La "nouvelle" image qui représente la classification est composée d'une mosaïque de pixels qui appartiennent chacun à un thème particulier. Cette image est essentiellement une représentation thématique de l'image originale.

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre des classes d'information et des classes spectrales. Les classes d'information sont des catégories d'intérêt que l'analyste tente d'identifier dans les images, comme différents types de cultures, de forêts ou d'espèce d'arbres, différents types de caractéristiques géologiques ou de roches, etc. Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur d'intensité dans les différentes bandes spectrales des données. L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Il est rare qu'une correspondance directe soit possible entre ces deux types de classes. Des classes spectrales bien définies peuvent apparaître parfois sans qu'elles correspondent nécessairement à des classes d'information intéressantes pour l'analyse. D'un

autre côté, une classe d'information très large (par exemple la forêt) peut contenir plusieurs sous-classes spectrales avec des variations spectrales définies. En utilisant l'exemple de la forêt, les sous-classes spectrales peuvent être causées par des variations dans l'âge, l'espèce, la densité des arbres ou simplement par les effets d'ombrage ou des variations dans l'illumination. L'analyste a le rôle de déterminer de l'utilité des différentes classes spectrales et de valider leur correspondance à des classes d'informations utiles. (Centre de télédétection canadien). Les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en deux grandes catégories : les méthodes de classification supervisée et les méthodes de classification non supervisée.

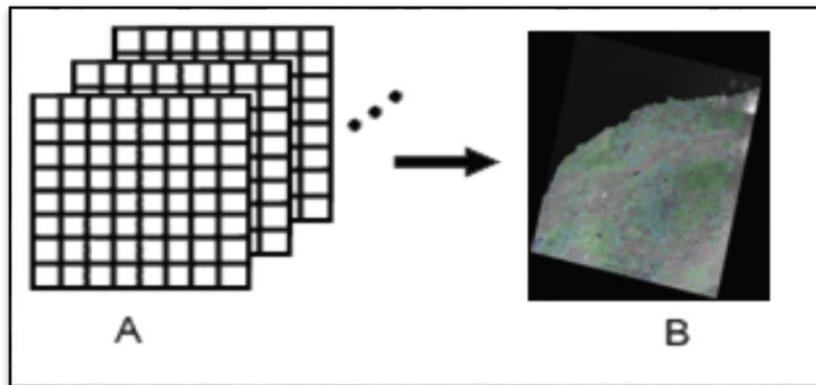


Figure 06 : Principe de classification des images.

5.3 La classification non supervisée

Elles sont effectuées sans prise en compte de données de terrain. Il s'agit d'un découpage entièrement mathématique des données radiométrique en un nombre de classes définies. Il existe des algorithmes de classification, composés de plusieurs itérations, permettant de créer des regroupements de pixels ayant des signatures spectrales similaires. L'utilisateur procède ensuite à la reconnaissance des classes créées par l'algorithme en affectant un nom et une couleur à chaque classe. Un des algorithmes de classification non supervisée est appelé « agrégation autour des centres mobiles ou méthode ISODATA ».

5.4 La classification supervisée

Le principe de la classification supervisée est de regrouper les pixels à des classes thématiques, basées sur une connaissance préalable de la zone à étudier. Les classes sont définies sur la base de zones d'apprentissage, qui sont des échantillons représentatifs des classes. Cette méthode de classification comporte les étapes suivantes :

L'interprétation des données multispectrales s'effectue le plus souvent par une méthode statistique de classement par maximum de vraisemblance, méthode généralement considérée comme la plus heureuse. Il est cependant difficile en pratique de dépasser une proportion de 65 % de pixels bien classés.

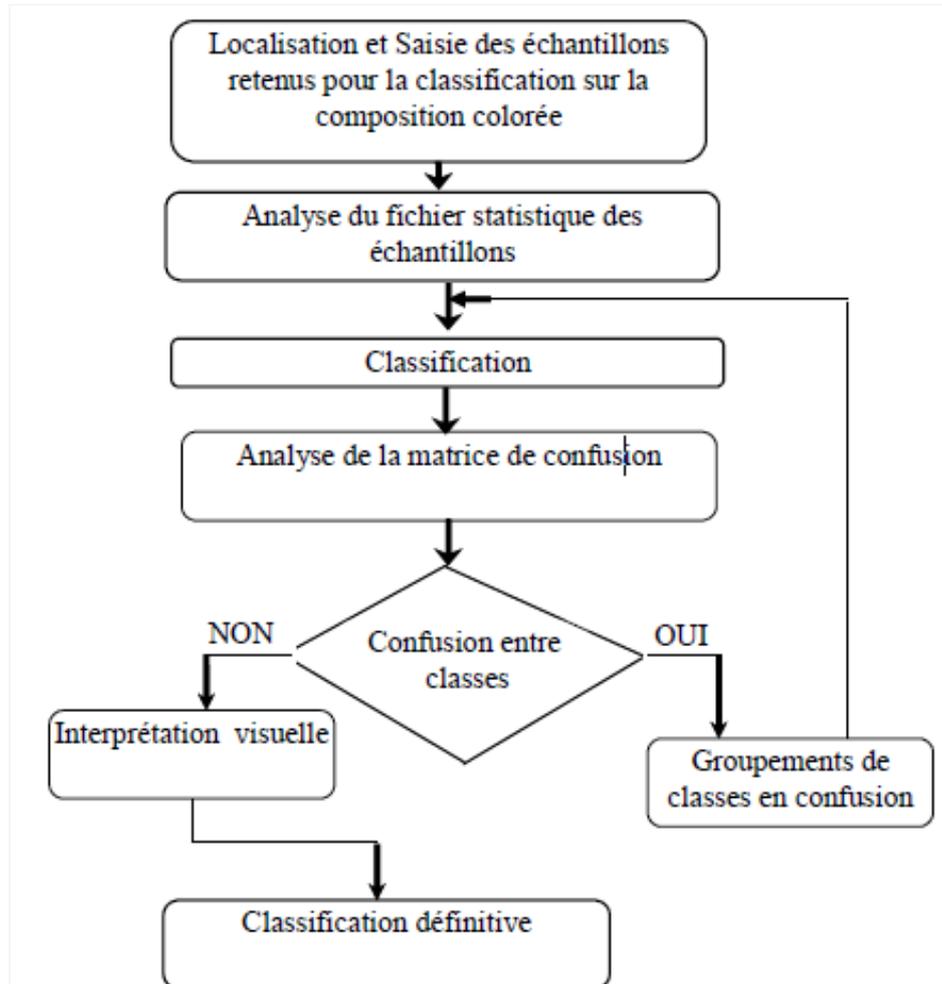


Figure 07 : Les étapes de classification supervisée.

6. Conclusion

Ce chapitre est la base informatique de tout traitement d'image satellitaire. Pour notre objectif la connaissance profonde de la télédétection et le seul moyen pour avoir bien connaître les étapes à suivre et l'interprétation des résultats finals et la combinaison de la cartographie, des SIG et de la télédétection représente un changement dans l'approche des problèmes environnementaux. Les technologies fournissent des moyens crédibles pour analyser l'évolution des paysages, planifier le réaménagement des terres et surveiller l'état des écosystèmes forestiers. Dans un cas comme celui de la région de Saïda, elles sont des outils d'aide à la décision pour les acteurs locaux chargés de gérer des ressources naturelles à longue durée de vie.

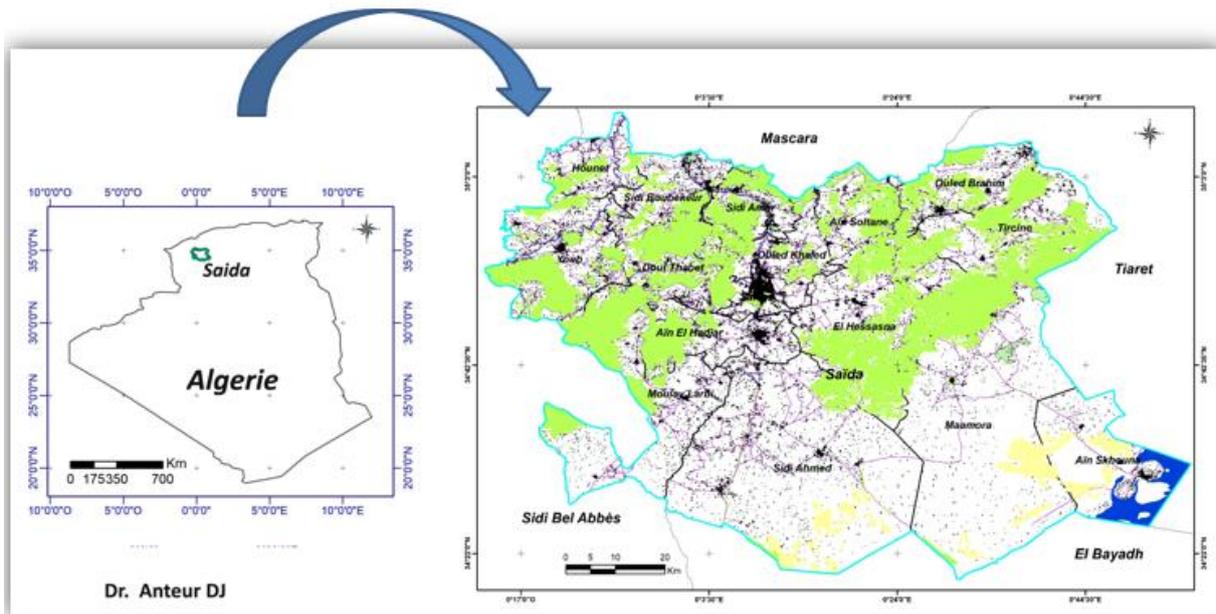
CHAPITRE III : Présentation de la région de Saïda

1. Introduction

Dans le cadre de notre étude portant sur le diagnostic spatiotemporel des forêts dans la région de Saïda, nous avons adopté une approche méthodologique reposant sur l'intégration des outils géomatiques, en particulier les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection. Ces outils offrent une capacité d'analyse fine et multidimensionnelle des dynamiques du couvert forestier, en croisant les données spatiales, temporelles et socio-environnementales.

2. La zone d'étude

La région de Saïda, située au nord-ouest de l'Algérie, est marquée par une remarquable variété d'écologie qui apparaît sous forme de grands massifs forestiers. Ces écosystèmes forestiers sont essentiels pour la régulation du climat dans cette région, la conservation de la biodiversité, la protection des sols contre l'érosion et l'apport de ressources naturelles à la population. Toutefois, cette ressource naturelle est aujourd'hui confrontée à de nombreuses menaces telles que la déforestation, les incendies, le surpâturage et le changement climatique. Une bonne compréhension de la dynamique et de l'état de ces forêts est donc essentielle pour mettre en œuvre des stratégies de gestion durable.



Situation géographique:

longitude: $x1 = -0,347442002^\circ$, $x2 = 0,934390998^\circ$

latitude: $y1 = 34,31937000^\circ$, $y2 = 35,16803700^\circ$

-Surface totale: 6761 km²

-Périmètre total: 521.6 Km

Figure 08 : carte de localisation de la wilaya de Saïda

3. Caractérisation physique et climatique

3.1 Situation géographique

La wilaya de Saïda se trouve dans le sud-ouest de la région des Téliens. Elle est délimitée par les wilayas de Mascara, Sidi Bel Abbès, El Bayadh et Tiaret. Il couvre une superficie d'environ 6 764 km² et est marqué par un relief diversifié avec des montagnes, des plateaux et des plaines. Le massif de Dhaya est un réservoir forestier particulièrement important.

Cette position qui lui donne un rôle de relais entre les wilayat steppiques au sud et les wilayat telliennes au nord, correspond en fait à l'extension du territoire de la wilaya de Saida sur deux domaines naturels bien distincts, l'un est atlasique Tellien au nord et l'autre est celui des hautes plaines steppiques.

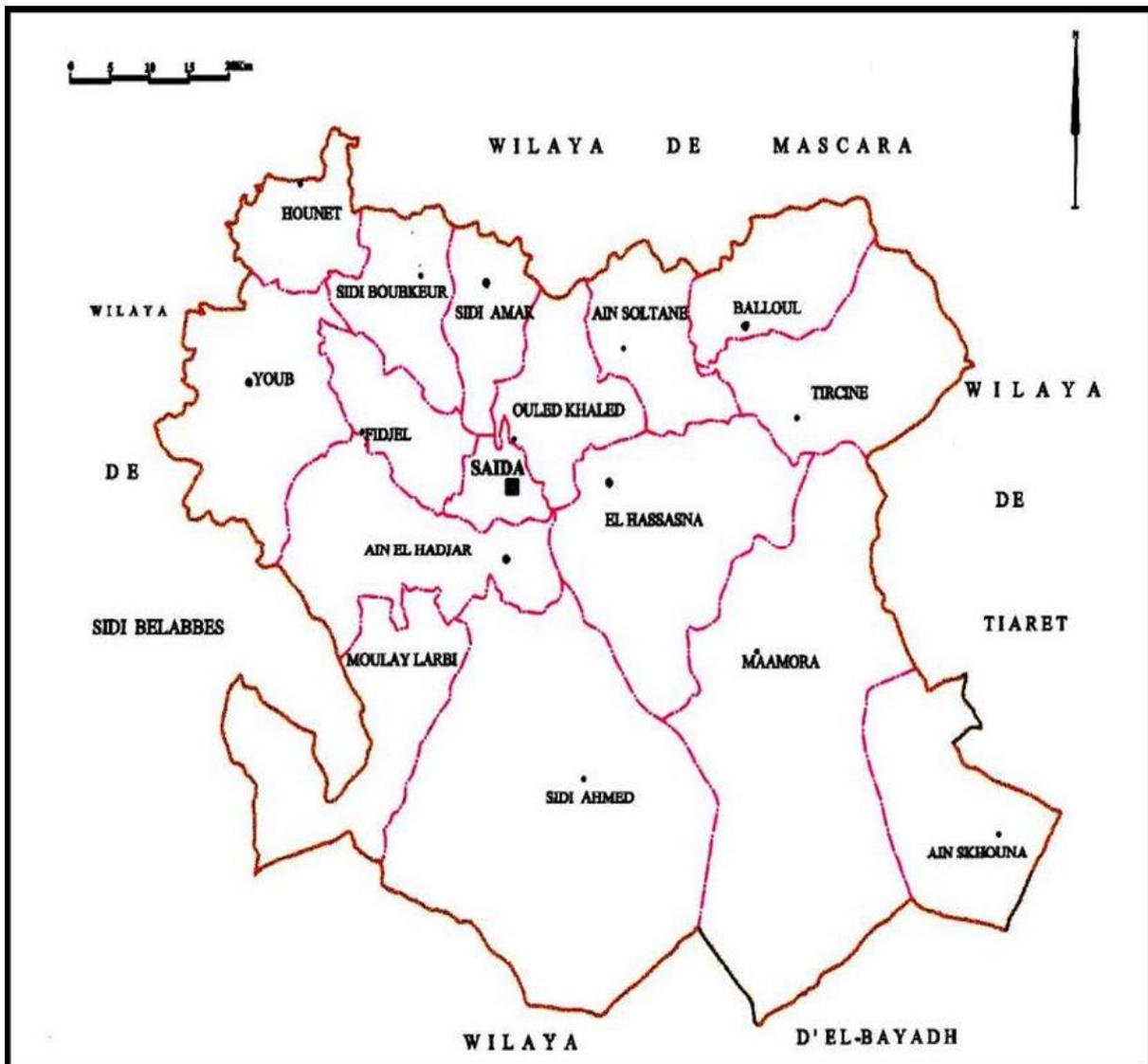


Figure 09 : Découpage administratif de la wilaya de Saida (D.P.A.T, 2009).

3.2 Cadre physique

3.2.1 Géologie

Selon LUCAS (1952) : « Le territoire de la wilaya de Saida est constitué essentiellement de terrains secondaires ; généralement de grès jurassiques et crétaqués à dureté variable suivant le degré de consolidation de même que des couches calcaires, marneuses ou dolomitiques. Les dépressions et les vallées sont recouvertes de terrains d'origine continentale (fluviales et éoliens) d'âge Tertiaire souvent indifférencié (Mio-Pliocène) et Quaternaire de manière étendue. Une formation plus ou moins épaisse de strate rougeâtre, sablo- argileuse d'âge Tertiaire où un recouvrement de croûte calcaire y est rencontré, de façon variable. Cet encroûtement représente une fossilisation de la surface topographique constituée par des alluvions tertiaires continentales » (D.G.F, 2007).

La région est aussi caractérisée par la présence de tufs et travertins calcaires correspondants à d'anciens griffons de source. La succession stratigraphique et lithologiques représentée par des formations allant du Primaire au Quaternaire avec toutefois des lacunes stratigraphiques de même que des variations latérales de faciès et d'épaisseurs (D.G.F, 2007).

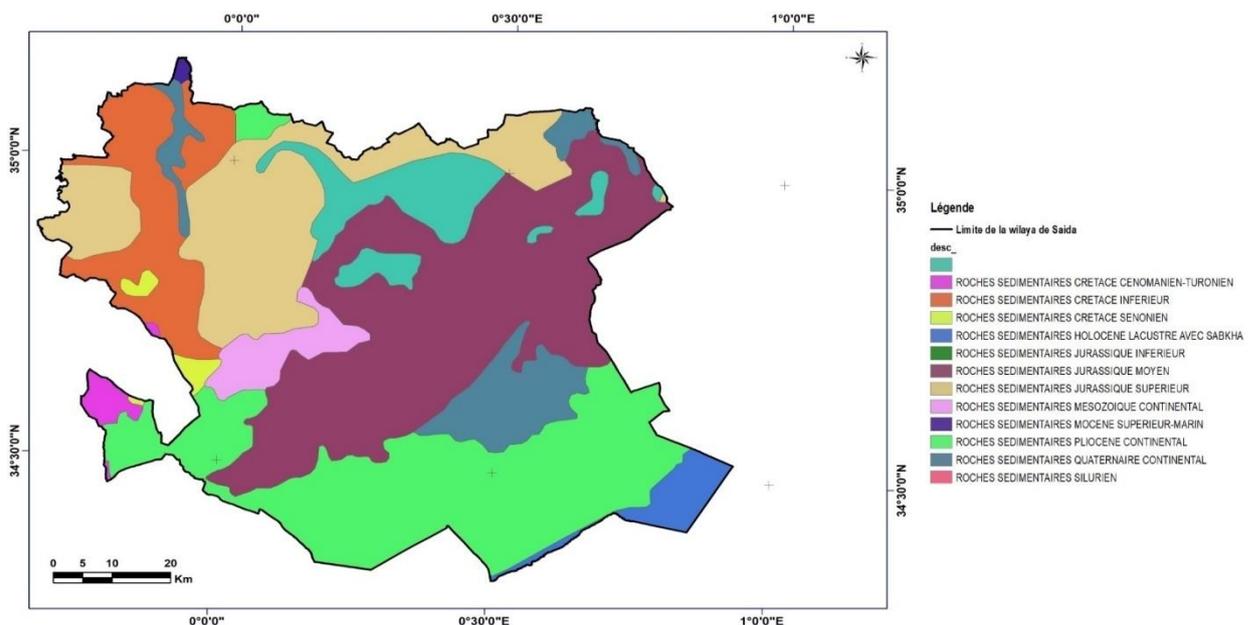


Figure 10 : Carte de la wilaya de Saida géologique

3.2.2 Pédologie

A ce sujet, Robert (1996) note : « La fertilité d'un sol se rapporte à l'aptitude de sol à produire des récoltes plus ou moins abondantes grâce à l'action de l'agriculteur. Toutefois cette aptitude ne dépend pas uniquement du sol, mais représente en réalité la potentialité de production du milieu considéré dans son ensemble pédo-climatique ». Les sols de la wilaya de Saida présentent des faits très contrastés de deux grands ensembles naturels l'un steppique et l'autre atlantique au nord.

D'une manière générale la steppe est caractérisée par une monotonie de terre, des sols arides, quant au tell, il existe plusieurs paysages (montagnes boisées, plaines et vallées aérées).

Sur les reliefs élevés, les sols à l'exception de ceux qui sont sous forêts, sont peu profonds et peu morcelés, tandis que dans les plaines et les vallées, les sols alluviaux dominent et leurs profondeurs varient selon la nuance topographique.

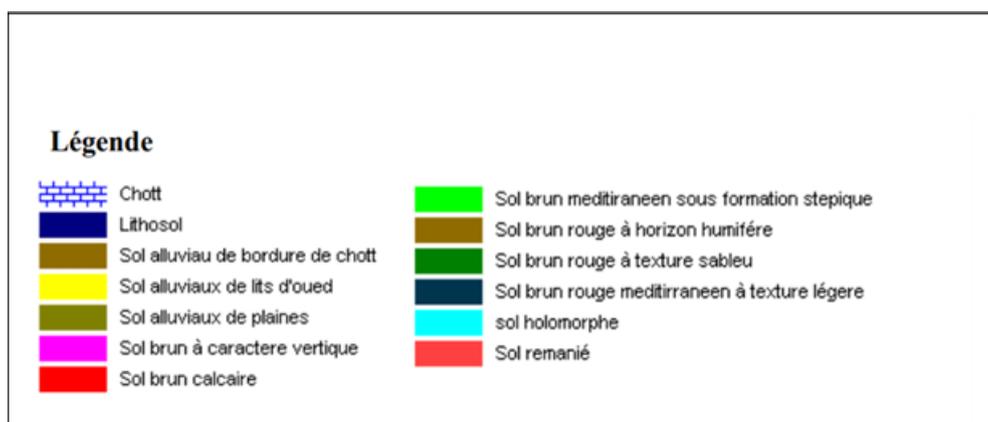
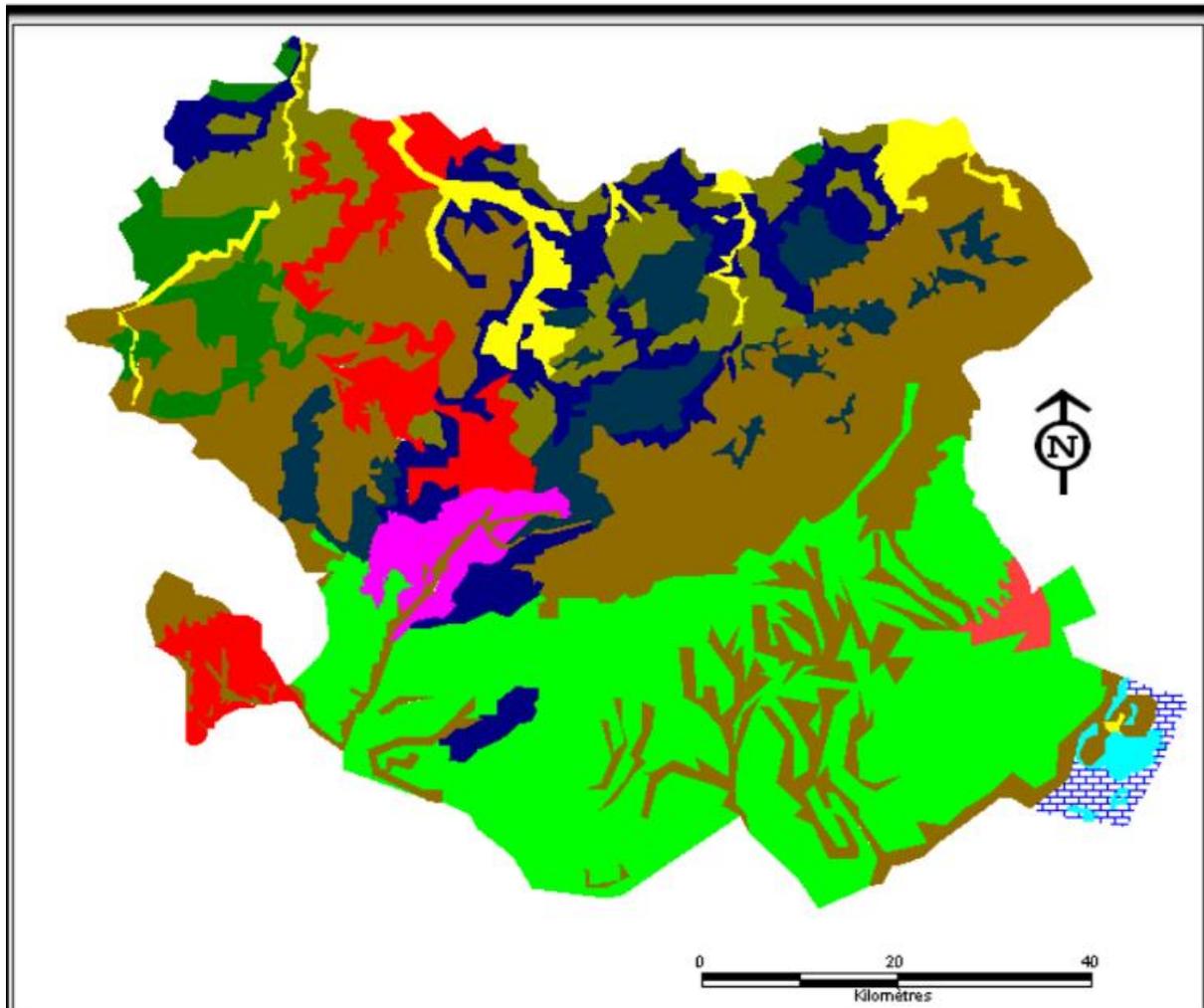


Figure 11 : Carte pédologique de la wilaya de Saida (extrait B.N.E.D.E.R, 1992).

3.2.3 Orographie

3.2.3.1 Pentec

Cinq classes de pentec ont été prises en considération comme référence pour caractériser le relief (figure 3 et 4) (D.G.F, 2007) :

La classe de pente 0-5 % caractérise l'ensemble des fonds de vallées, les plaines et les plateaux. Cette classe témoigne la stabilité des terrains avec aucun risque d'érosion très faible. Elle couvre une superficie de 460900 ha soit 67 % de la superficie totale de la wilaya.

Elle est présente essentiellement dans les communes steppiques (Sidi Ahmed, Maamora et AinSkhouana) et dans les zones céréalières telles que Moulay Larbi, Hassasna, Ouled Brahim, Tircine et Ain El Hadjar.

La classe de pente 5-10 % caractérise les terrains de plateau ou de bas piedmonts de collines, elle occupe une superficie de 129100 ha soit 17 % de la superficie totale. Elle caractérise principalement la topographie des communes de Youb, Sidi Boubkeur, DouiThabet, Hounet, Ouled Khaled, Saida et Ain El Hadjar.

La classe de pentec 10-15 % caractérise le plus souvent les zones de piedmonts qui sont le prolongement des massifs montagneux de la wilaya. Ce sont généralement des terrains de parcours et des terrains forestiers (maquis clairs). Ces terrains qui ont une déclivité de 10 à 15% s'étendent sur presque 41920 ha soit 10 % de la superficie totale de la wilaya et occupent surtout les communes de Saida, DouiThabet, Houent, Sidi Amar, Ouled Khaled et Ain El Hadjar.

La classe de pentec 15-25 % caractérise les hauts piémonts des massifs montagneux de la wilaya. La classe plus de 25% est également présente. Ces deux classes de pentec occupent respectivement 30590 ha et 12560 (4% et 2%) soit au total 39 570 ha ce qui représentent 6% de la superficie totale de la wilaya. Ces terrains sont généralement boisés et s'étendent sur l'ensemble des massifs de la wilaya.

D'une manière générale, la topographie générale de la wilaya est presque plaine car les classes de pentec inférieures à 10 % occupent environ 84 % de la superficie totale de la wilaya. Le reste soit 16 % du territoire de la wilaya 104 520 ha ont une déclivité bien marquée

avec cependant une classe intermédiaire 10-25 % relativement importante (D.G.F, 2007 & D.S.A, 2008).

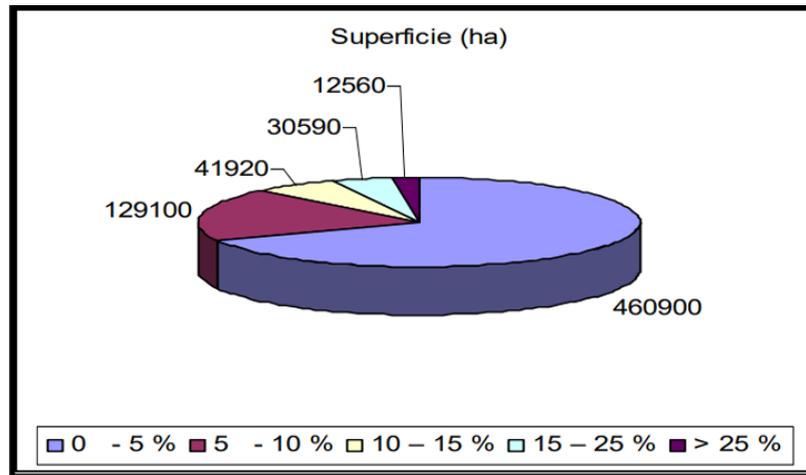


Figure 12 : Répartition des classes des pentes dans la wilaya de Saïda (D.G.F, 2007).

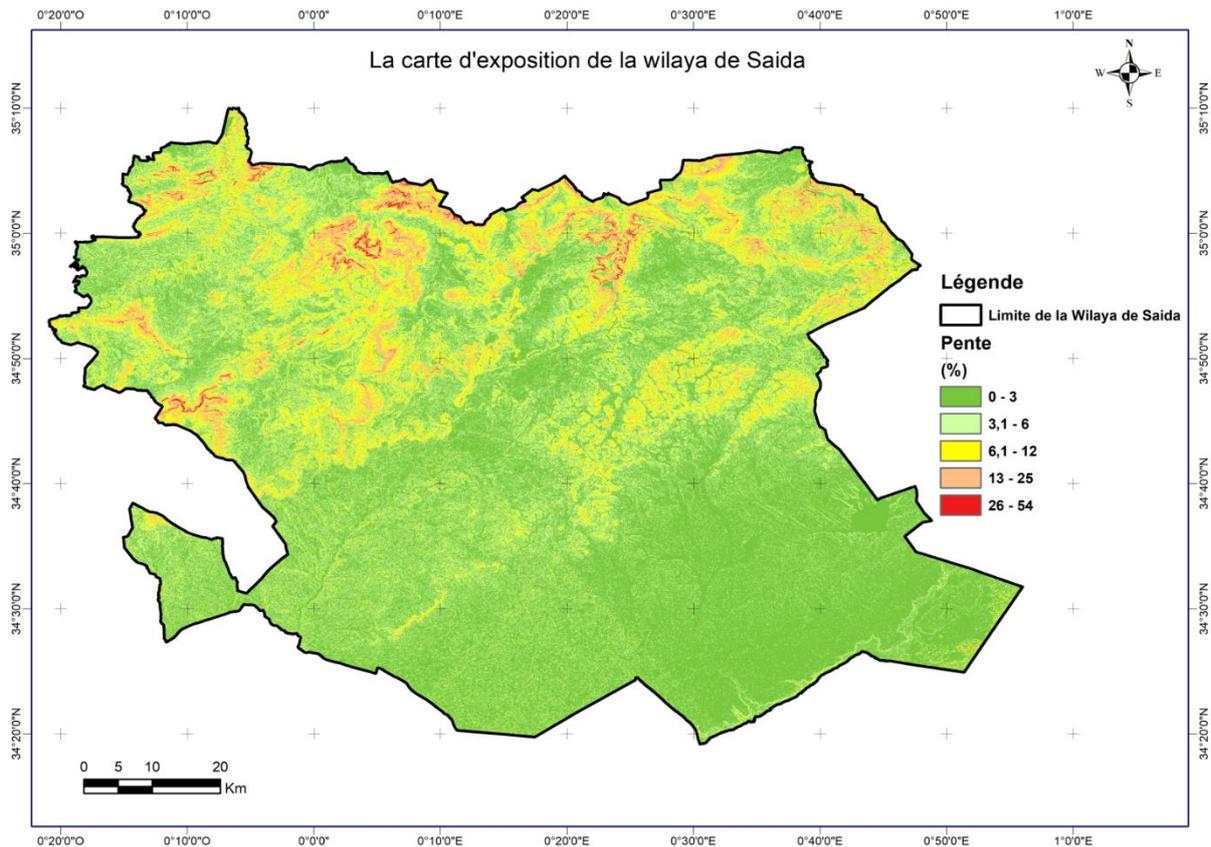


Figure 13 : Carte des pentes de la wilaya de Saïda

3.2.3.2 Altitude

L'Altitude joue un rôle très important dans l'érosion; lorsque l'altitude augmente la pluies élève d'une façon générale en fonction de l'exposition, ce qui donne à notre zone un écoulement important. Les trois grandes classes d'altitudes retenues sont matérialisées comme suit (figure 14 et 15) (D.G.F, 2007) :

A. Altitude inférieure à 500 m

Cette classe est la moins représentée dans la région d'étude, elle caractérise 0,23 % de la superficie totale, où la topographie est généralement plane. Ce sont généralement les fonds de vallées et les zones des piémonts.

B. Altitude comprise entre 500-1000 m

Cette classe caractérise un relief vallonné, formé de plateau ou de bas piedmonts de collines. Cette classe occupe 63,84 % de la surface totale.

C. Altitude supérieure à 1000 m

Cette classe est dominante dans le massif montagneux, elle couvre 35,93 % de la surface totale, le point le plus élevé est enregistré dans la commune de Hassasna (Djebel de Sidi Yousef 1339 m).

De nombreux géographes, anthropologues et écologues se sont succédé pour décrire les massifs montagneux de Saida. Chacun dans son domaine met en exergue le caractère rude et accidenté mais également les richesses dont ils se distinguent des territoires de plaines qui l'entourent.

En premier lieu, c'est l'imposante carapace dure et fortement accidentée qui est mise en évidence. Les Monts de Saida, formés par une masse de calcaires et de grès jurassiques, s'inscrivent entre l'abrupt calcaire qui domine à l'Ouest et la dépression allongée du Sud-Ouest vers Nord-Est (figure 5), jalonnée à l'Est par la Plaine de Balloul et la vallée de l'oued Tifrit (D.G.F, 2007).

Dès qu'on franchit l'Oued Berbour, à travers la forêt, la cuvette au fond de la quellese blottit la petite ville de Saïda puis le relief se relève à nouveau. Dans un cirque sauvage, ponctué de broussailles assez denses, s'ouvrent les boucles tectoniques des Monts des Doui Thabet. A l'Est de Saïda, nouveau spectacle. On atteint, à la limite des Hautes Plaines steppiques, la curieuse petite région karstique des Hassasna Gharaba. Au-delà, l'érosion a décapé le plateau jurassique pour permettre à l'oued Tifrit de tomber en cascades vaporeuses au milieu des granites et des schistes siluriens du substratum profond (D.G.F, 2007).

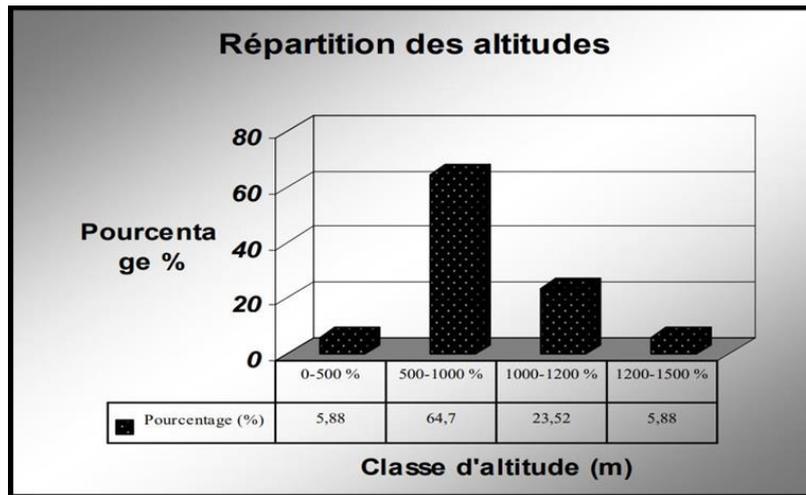


Figure 14 : Répartition des classes d'altitude de la wilaya de Saida (D.G.F, 2007).

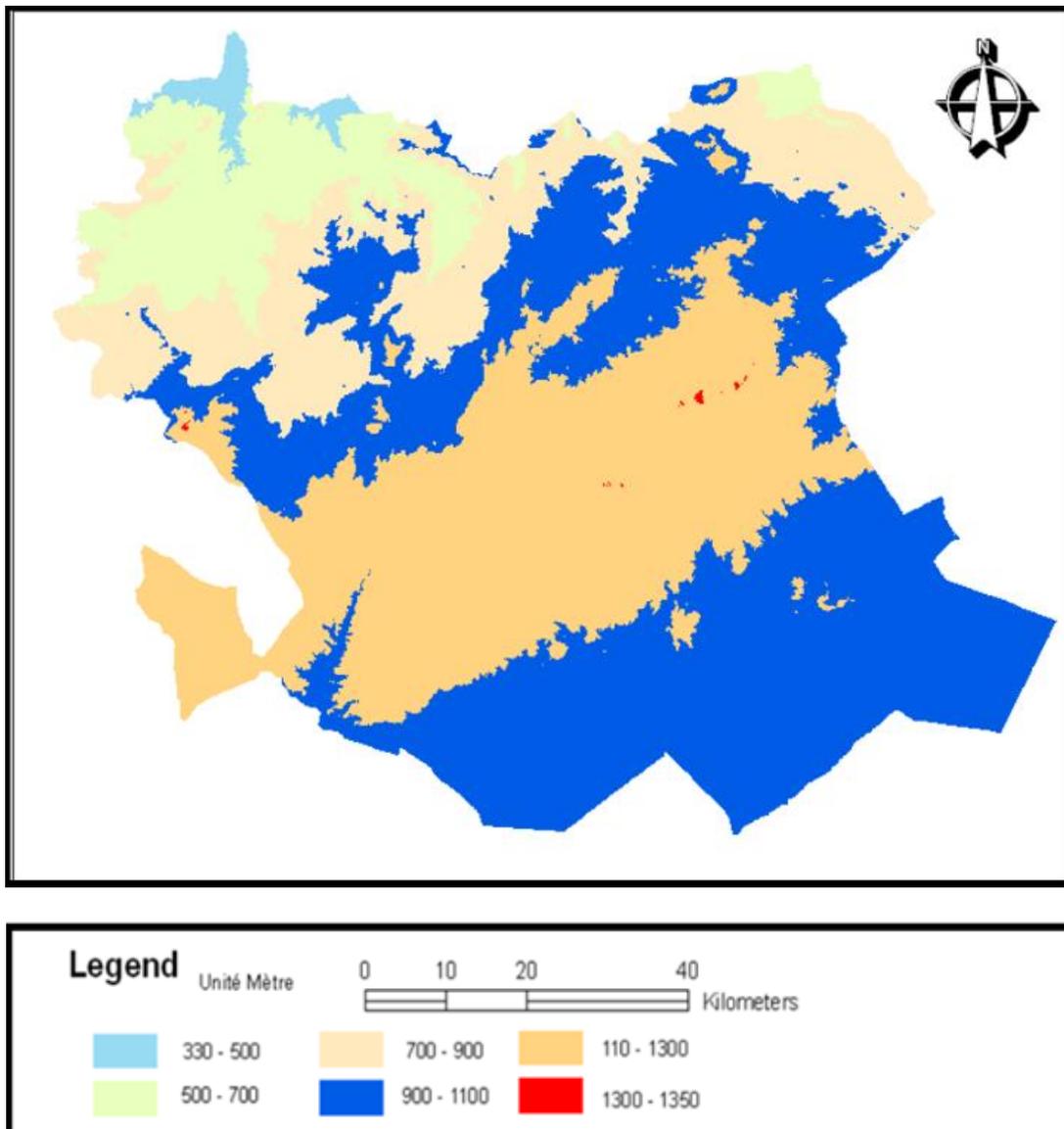


Figure 15 : Carte des altitudes de la wilaya de Saida (extrait MNT)

3.2.4 Exposition

L'exposition correspond à l'angle que fait la normale à la surface par rapport à une direction donnée (Nord géographique). Cette orientation des versants a un effet sur la végétation par l'intermédiaire de l'ensoleillement et l'humidité. La carte d'exposition a été obtenue à partir du modèle numérique du terrain (M.N.T).

Ce paramètre joue un rôle très important dans plusieurs domaines d'étude (la distribution de précipitation, la phytogéographie...etc.). L'exposition Nord peut avoir une quantité très importante d'humidité vue qu'elle reçoit l'aire de la mer. Tandis que la partie orientée vers le sud et l'Est reçoit une quantité importante d'ensoleillement. Ces deux facteurs (Ensoleillement, humidité) sont parmi les paramètres déterminant le type de végétation du territoire de la wilaya de Saida

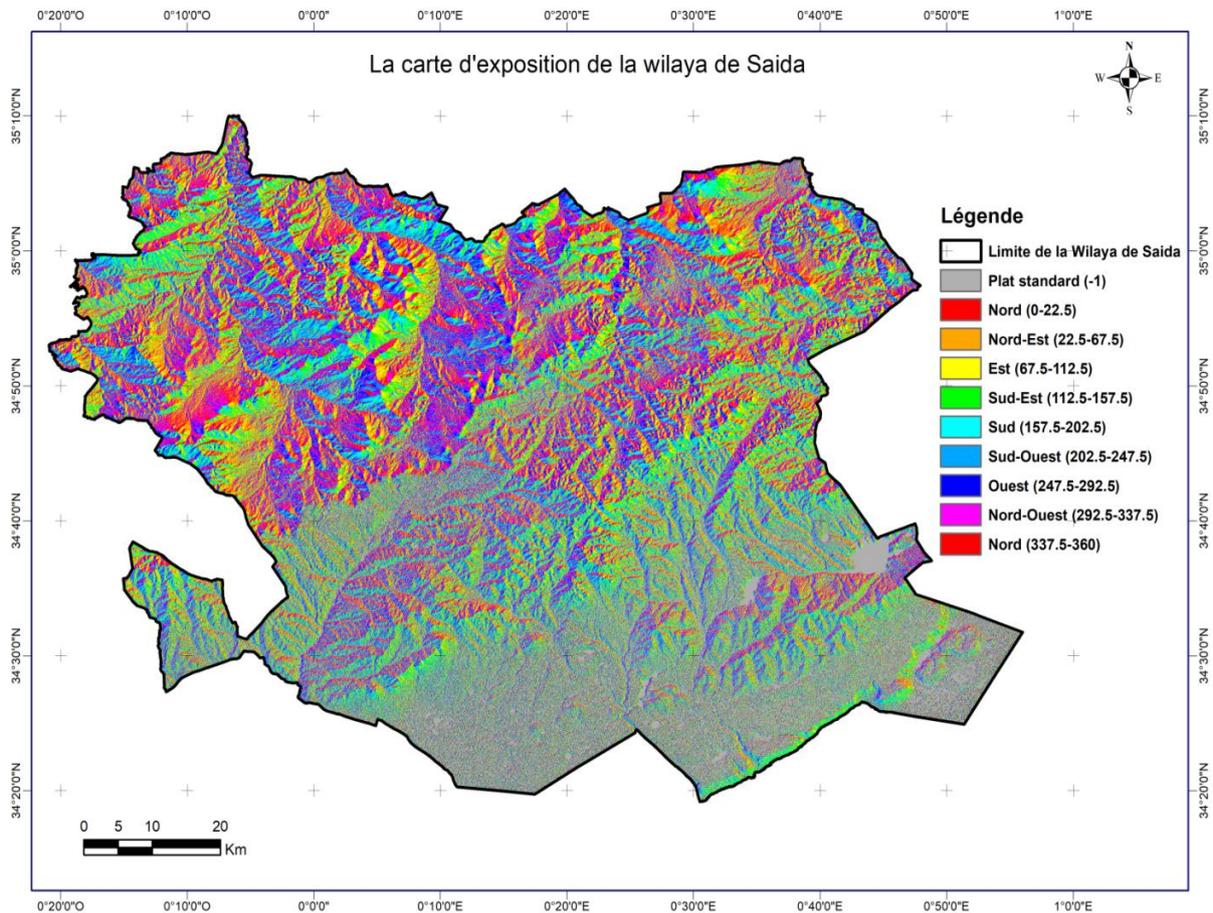


Figure 16 : Carte des expositions de la wilaya de Saida (extrait MNT).

3.2.5 Hydrologie

L'hydrographie du territoire de la Wilaya est constituée de plusieurs bassins superficiels ou l'écoulement se fait en général du sud vers le Nord à l'exception de bassin du Chott Chergui qui draine les eaux vers le sud.

C'est dans l'analyse plus fine des milieux que l'on peut distinguer des sous unités homogènes présentant de réelles potentialités (la plaine des Maalif, les plateaux de Balloul et Ain Soltane, la dépression de Berbour, la vallée de l'Oued Saida...).

Cet espace, potentiellement riche, naturellement diversifié, n'a pas toujours été exploité à sa juste valeur.

3.2.5.1 Eaux superficielles

L'évaluation de la ressource en eaux superficielles est confrontée au problème de sa quantification précise (en raison de l'absence d'un réseau de mesures hydrométriques et de l'insuffisance des stations de jaugeage) (D.H.W, 2009).

3.2.5.2 Réseau hydrographique et sous bassins versants

A ce sujet Deschamps (1973), note : « Etant donné la disposition du plateau de Saida, légèrement bombé au centre et descendant en pente douce vers ses bordures, l'hydrographie de la région permet d'y distinguer plusieurs bassins superficiels ».

Le réseau Hydrographique de la wilaya de Saida qui prend naissance à une altitude de plus de 1300 m réunit trois Bassins versants qui se démarquent dans deux espaces distincts (D.H.W, 2009).

Le premier espace, tourné vers le Nord, est la partie septentrionale de la wilaya qui occupe 53,45% de sa superficie et correspond à la partie amont du bassin supérieur de l'Oued El Hammam du grand bassin de la Macta qui s'écoule vers la mer, en épousant l'orientation de ses vallées. Cet espace comprend également une partie réduite représentant l'amont du bassin de l'Oued Mina-Chéliff qui s'écoule vers la wilaya de Tiaret avant de rejoindre la mer. Le deuxième espace, qui représente 46,55 % restant de la wilaya, correspond à sa partie méridionale couvrant partiellement trois sous bassins versants du Chott Chergui qui s'écoulent vers le Sud

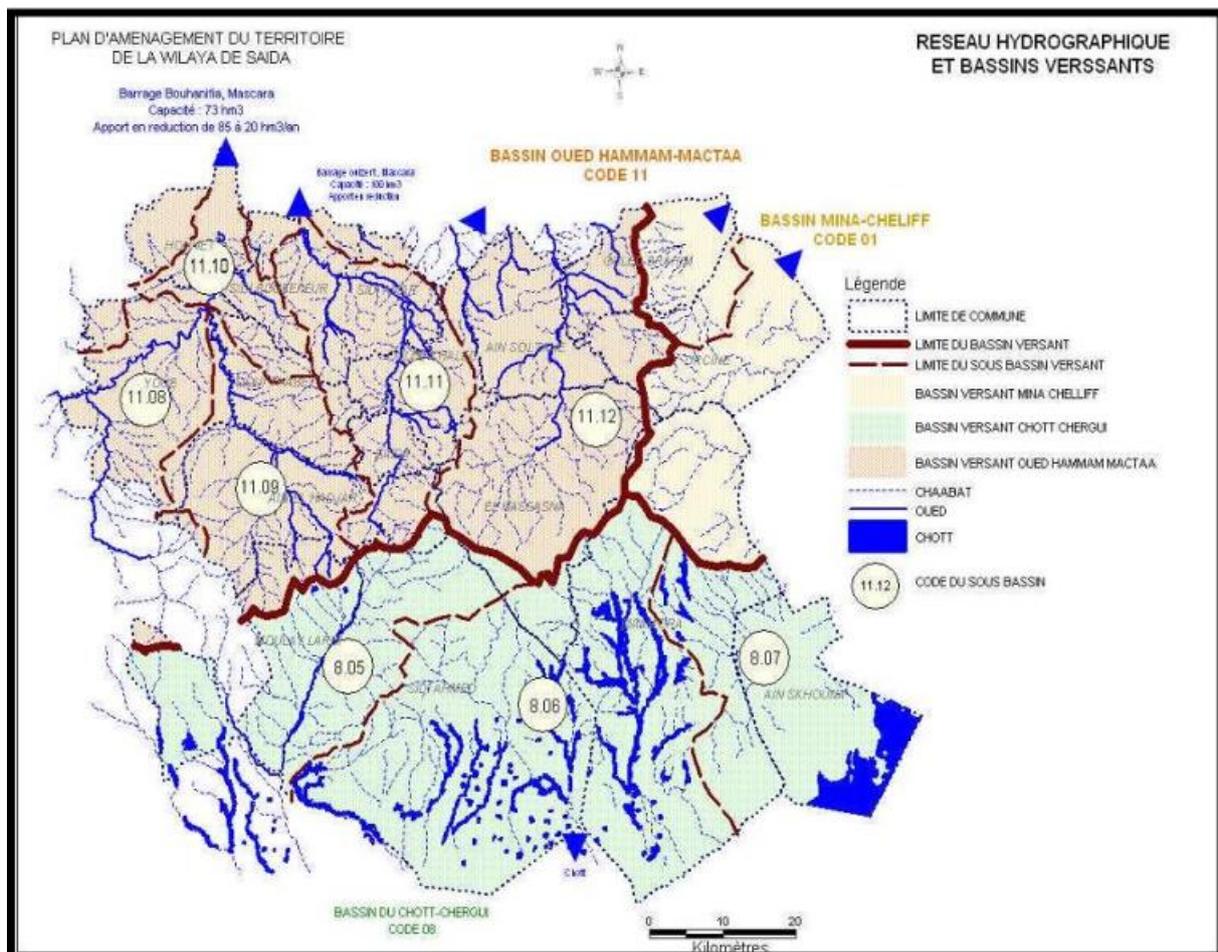


Figure 17 : Carte de réseau hydrographique et bassins versants de la wilaya de Saida (D.H.W, 2009).

3.2.6 Cadre climatique

Le climat, en région méditerranéenne est un facteur déterminant des écosystèmes (Ramade, 1984). Les caractéristiques essentielles servant à différencier les climats sont : la chaleur et l'humidité. Ce sont, en effet, les facteurs influant le plus sur les plantes, lesquelles ont, avant tout, besoin de chaleur et d'eau. Entre la chaleur et l'humidité, il y a d'ailleurs une relation nécessaire : même avec une pluviosité assez abondante, une forte chaleur augmente l'évaporation du sol, active la transpiration de la plante et diminue d'autant son approvisionnement en eau (Boudy, 1952).

Les critères climatiques utilisés dans une description et une classification climatique ne sont pas des données indépendantes, car il existe entre eux des relations plus ou moins complexes. Les nombreuses classifications proposées sont le plus souvent basées sur le calcul d'un indice climatique tenant compte de variables telles que la pluviosité, les températures, et

l'évapotranspiration potentielle (ETP), etc. « ces indices combinent les données météorologique disponible suivant l'échelle de travail. Ils n'ont de valeur que dans la mesure où ils répondent à des objectifs précis (Le Houerou, 1977).

3.2.6.1 Pluviométrie

Les précipitations moyennes annuelles en pluviométrie sont de 300,97 mm. L'analyse pluviométrique sur la région calculée sur une période s'étalant de 1980 à 2005, montre que le mois de Novembre est le mois le plus pluvieux (43,3 mm). Avec un été sec et une période estivale s'étale entre Juin et Août est la moins pluvieuse dans l'année (figure 12). La faible pluviosité est enregistrée durant le mois de Juillet avec une pluviométrie égale 183 mm

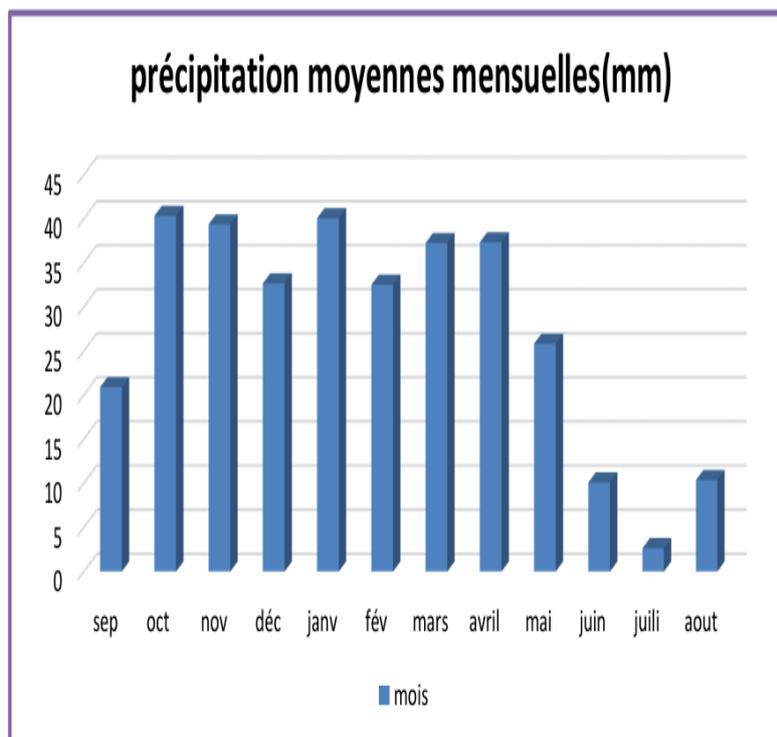


Figure 18 : Précipitations mensuelles moyennes (1980 à 2005) (Station météorologique, 2009).

Dans la zone d'étude, la répartition mensuelle de la pluviométrie montre que les moises plus humides, en hiver et au printemps, renferment plus de 70 % du total interannuel avec un maximum au mois de Décembre et Janvier (46 et 43.2 mm), et que les mois secs, moins de 30%, se situent en été avec des précipitations non significatives. Statistiquement, on observe deux saisons orageuses similaires; l'automne et le printemps, relevant des quantités pluviométrique comparables (environ 56 % du total annuel). L'hiver, de Décembre à Mars, est la saison la plus pluvieuse, représentant ainsi plus de 38.5 % de précipitation annuelle, l'été représenté la saison sèche pendant laquelle les précipitations

sont assez rares (5 % de précipitation annuelle). Le mois d'octobre constitue le début de la saison pluviale

Selon Djebaili (1984), la zone steppique est divisée en deux périodes : La première, pluvieuse, s'étale de Septembre à Mai avec un premier maximum en Octobre et un deuxième en Avril.

Tableau01 : Répartition saisonnière des précipitations (1980-2005) (Station météorologique, 2009).

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Été		Total
	P (mm)	%	P (mm)	%	P (mm)	%	P (mm)	%	
Valeur	93.19	31	115.79	38.5	76.67	25.5	15.32	5	300.97

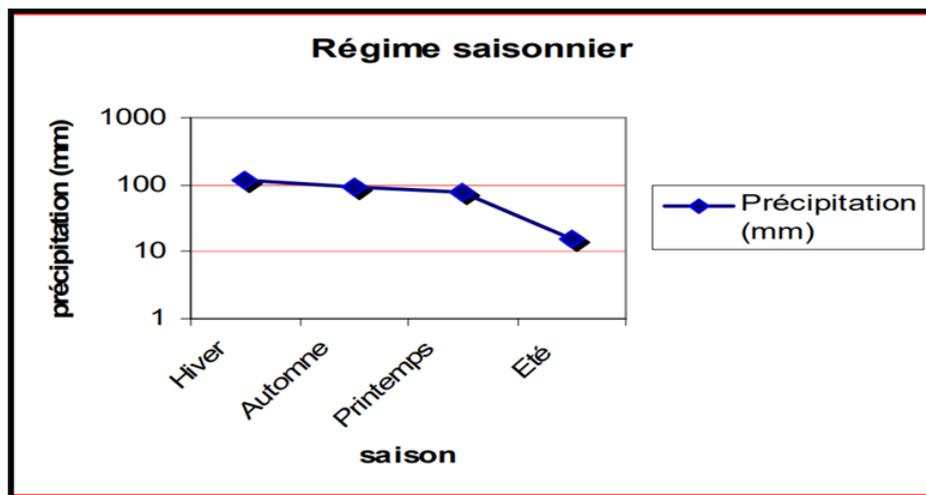


Figure 19 : Régime saisonnier de la zone d'étude (1980-2005).

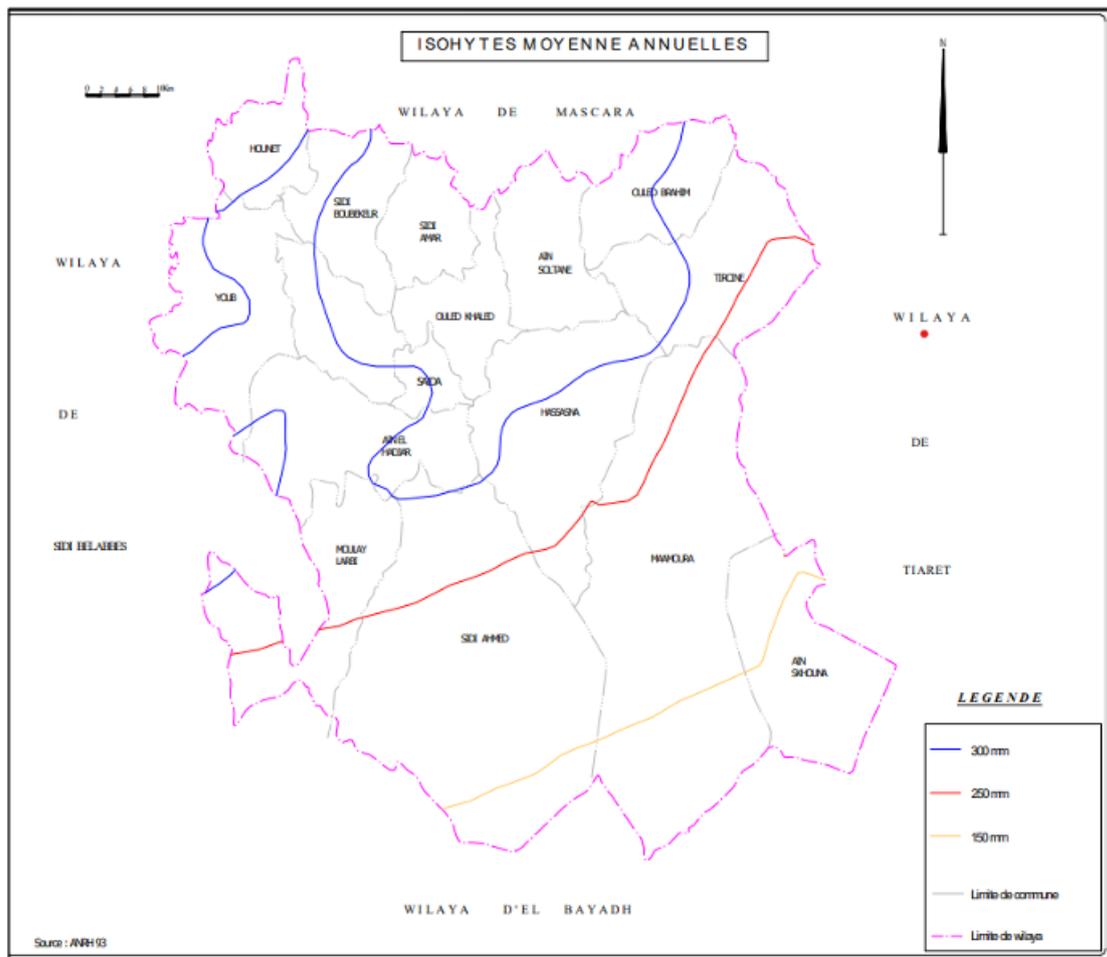


Figure 20 : Carte de l'isohyète moyenne annuelle la wilaya de Saida (1980-2005) (B.N.E.D.E.R, 1992).

3.2.6.2 Les températures

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de Juillet et Août, où elles atteignent un maximum de 35.7 °C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation. Les basses températures se manifestent au mois de février avec une température moyenne de 9.1°C et une minimale moyenne de 2.9 °C.

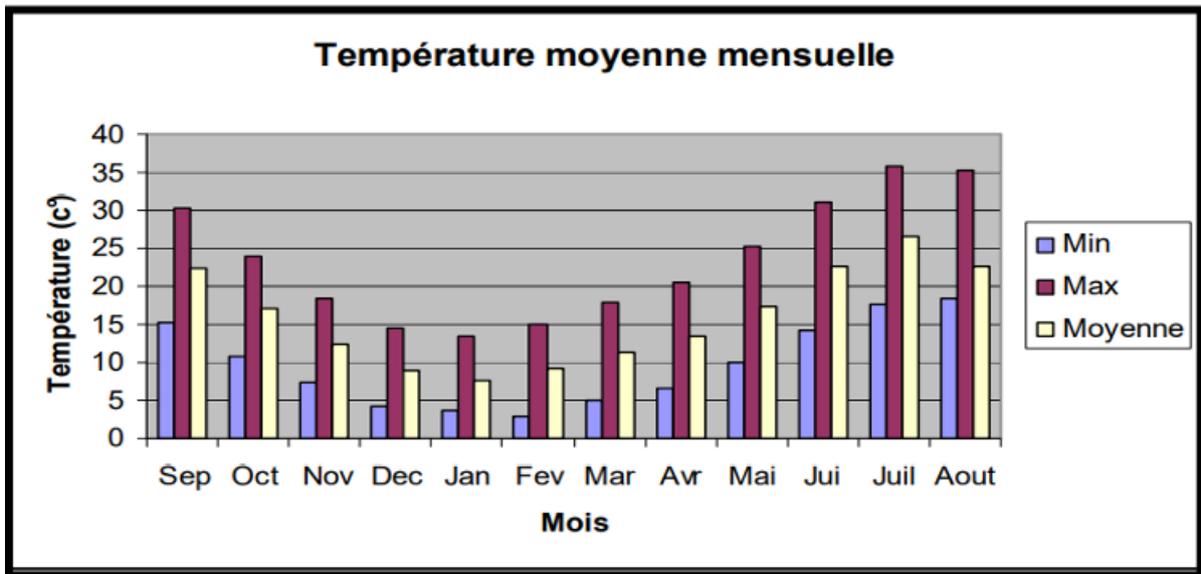


Figure 21 : Température moyenne mensuel (1980-2005).

Cette figure représente les variations mensuelles moyennes de la température. Elle montre une décroissance des températures entre le mois de Septembre jusqu'à Janvier, suivie d'une croissance jusqu'au mois d'Août. On peut distinguer deux grandes périodes : - Période froide allant du mois du novembre jusqu'au mois de mars est caractérisée par un minimum absolu de température de 7.56°C, au mois de janvier ; - Périodes chaudes avec un maximum absolu correspondant à la période allant du mois de Juillet jusqu'au mois d'Août.

Tableau 02 : Classification des mois (période 1980-2005) (Station météorologique, 2009).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
P (mm)	23.06	26.0	43.33	36.75	43.20	36.01	20.71	2.68	31.28	6.23	1.83	7.26
T (°C)	22.77	17.68	12.58	9.28	7.56	8.97	10.84	12.30	17.25	24.40	2.90	28.01
2T (°C)	45.54	35.36	25.16	18.56	15.12	17.94	21.68	24.60	34.70	48.80	55.80	56.02
3T (°C)	68.31	53.04	37.74	27.84	22.68	26.91	32.52	36.60	52.05	73.20	83.70	84.03
Classe	S	S	H	H	H	H	S	SS	S	S	S	S

$P \leq 2T$: Mois sec (S), $2T < P \leq 3T$: Mois sub-sec (SS), $P > 3T$: Mois humide (H). Ce tableau nous montre que la zone est caractérisée par 4 mois humides, un mois subsec et 7 mois sec.

3.2.6.3 Évaporation

L'évaporation la plus élevée est enregistré durant les mois de Juillet et Août où elles atteignent un maximum de 299.15 mm lorsque la température est très élevé

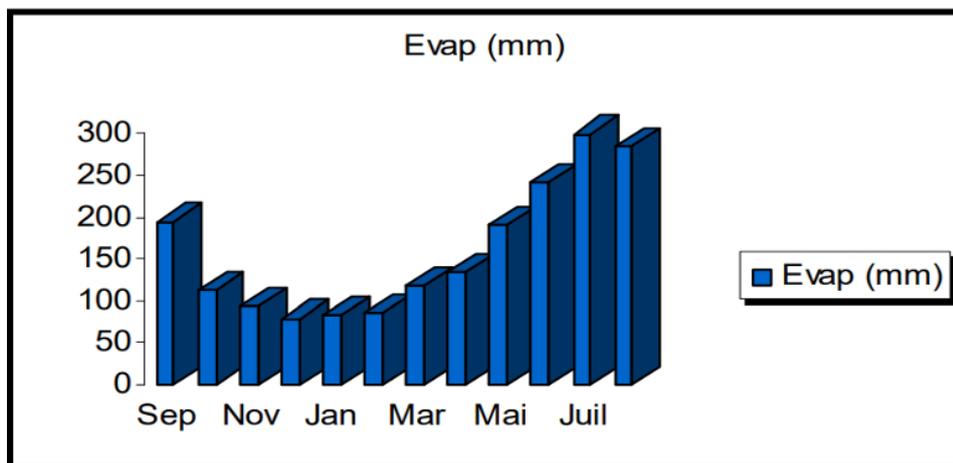


Figure 22 : Variation de L'évaporation en fonction des mois (l'évaporation moyenne mensuelle de la station) (1980-2005) (Station météorologique, 2009).

3.2.6.4 Le vent

Le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température (OZENDA, 1982).

Tableau 03 : Représente les différentes directions des vents saisonnières.

Direction	Période	Température	Caractéristique
Nord-Ouest	Automne - Hiver	Moyen 9 C°	Averses
Sud-Ouest	Printemps - Été	Moyen 20 C°	Siroco
O-N-Ouest	Printemps	Moyen 18 C°	Averses
NE-NO	Hiver - Printemps	Moyen 13 C°	Pluies

Les vents dominants sont particulièrement ceux du Nord Ouest et du Sud Ouest. Le sirocco souffle du Sud vers le Nord, Ils sont fréquents durant la période du mois de Mai jusqu'au mois

d'Août .La zone d'étude est le siège des vents de différentes directions. Les vents dominants sont ceux du Nord avec une fréquence de 17 % et ceux de l'Ouest avec une fréquence de 13 % jouant le rôle de la dégradation mécanique du sol et agit sur l'amplitude de la température. Il constitue ainsi un agent d'érosion efficace dans les régions à couverture végétale faible à nulle, surtout durant la période sèche où beaucoup de sols acquièrent une structure micro-polyédrique (pseudo-sables) (Douaoui, 2005).

La fréquence des vents, dits calmes, avoisine les 34 %. Pour la période d'études considérée, la vitesse moyenne, annuelle des vents sur le massif, varie entre les valeurs 2,4 et 3,5 m/s avec une moyenne de 2,95 m/s.

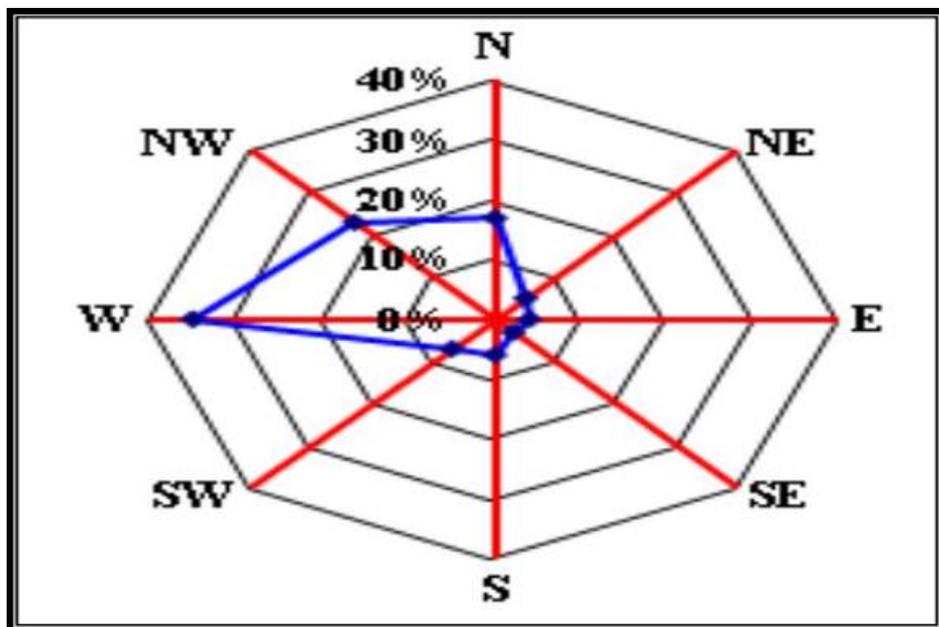


Figure 23 : Direction du vent de la wilaya de Saïda (1980-2005) (Station météorologique, 2009).

3.2.6.5 Le sirocco

C'est un vent chaud et sec à pouvoir desséchant élevé par l'augmentation brutale de la température, et l'abaissement simultané de l'humidité de l'air qu'il provoque. Le sirocco en Algérie est lié aux perturbations de nature orageuse. Indépendamment de son caractère local, le sirocco est plus fréquent à l'Est (30 jours/an en moyenne) qu'à l'Ouest (15 jours/an) ; Rare en hiver, il souffle surtout en été (Djebaili, 1984).

3.2.6.6 L'humidité

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois, elle est de l'ordre de 60 à 70 % en hiver et près de 30 % en été. Elle peut compenser en un certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Le mois le plus humide est le mois de décembre, par contre le mois le plus sec est le mois de juillet (Station météorologique, 2009).

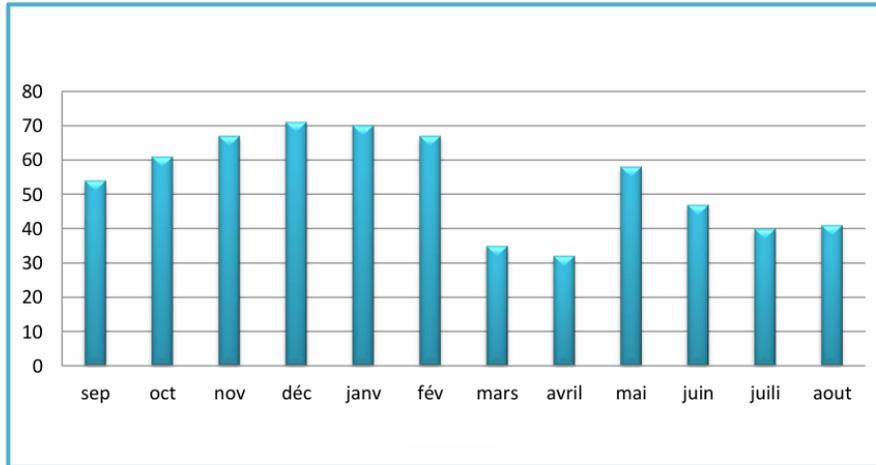


Figure 24 : L'humidité relative de l'air (Station météorologique, 2009).

3.3 Synthèse climatique

Les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres. Dans la synthèse climatique, parmi les formules les plus utilisées qui combinent entre les précipitations et les températures. Nous retiendrons :

Indice D'aridité De Demartonne :

Après avoir analysé les différents éléments du climat, on peut donner une classification de la région de Saida, par l'indice d'aridité annuelle (Ia) de De Martonne (1923) qui est donnée par la formule suivante :

$$Ia = \frac{P}{T + 10}$$

Où :

Ia : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne annuelle (P=327 mm).

T : Température moyenne annuelle (T=17.86 C°).

Donc :

$$Ia = \frac{327}{17.86+10}$$

Où :

Ia = 11.66

L'indice baisse lorsque l'aridité croit (Le Houerou, 2004). L'indice d'aridité annuel de DE MARTONNE définit six zones climatiques en fonction des précipitations moyennes et des températures moyennes. Ces zones sont :

A : zone à écoulement abondant

B : zone à écoulement exoréique.

C : zone tempérée.

D : zone semi-aride.

E : zone désertique.

F : Hyper aride.

En projetant la valeur de l'indice d'aridité obtenu (Ia = 11.66) et la valeur des précipitations moyenne annuelle sur l'abaque de de Martonne nous pouvons en conclure que le climat de la région est du type semi-aride.

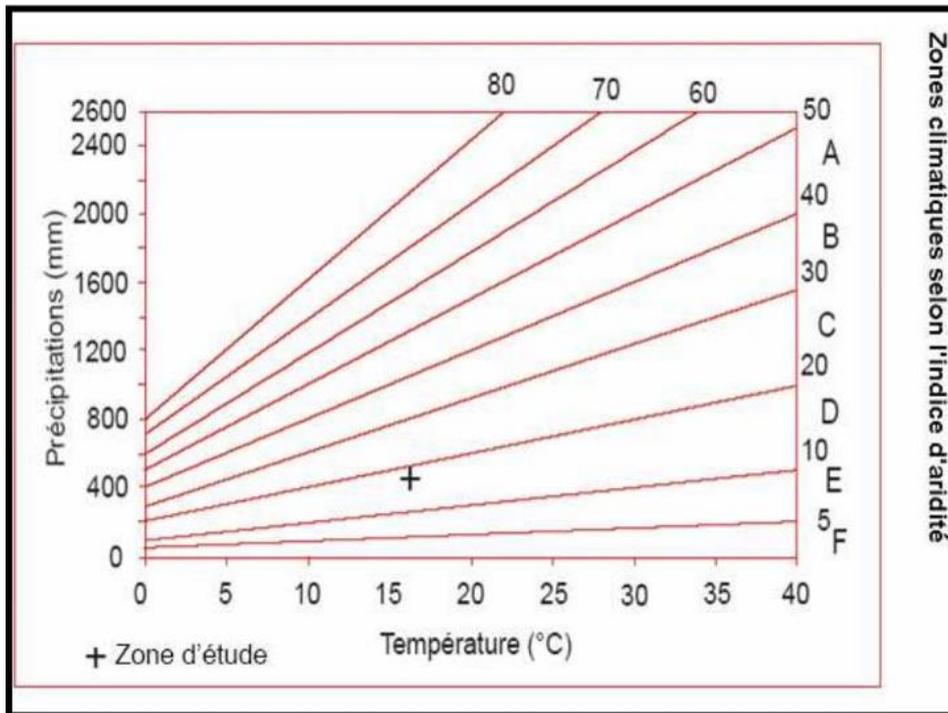


Figure 25 : Détermination du climat à partir de l'abaque DE MARTONNE (1980-2005).

3.4 Quotient pluvio-thermique d'emberger

L'indice pluviothermique d'EMBERGER appelé (Q2) est ainsi formulé :

$$Q_2 = (2000 P) / M^2 - m^2$$

Avec :

Q2 : Quotient pluviothermique.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud exprimée en degrés Kelvin.

m : Température moyenne mensuelle du mois le plus froid exprimée en degrés Kelvin.

M-m : Amplitude thermique extrême moyenne.

La valeur du quotient pluviométrique varie en fonction inverse du caractère xérique du milieu. Plus la sécheresse annuelle globale est grande, moins la valeur du quotient est élevée. Quand :

$50 < Q_2 < 100$: Climat tempéré ;

$25 < Q_2 < 50$: Climat semi-aride;

$10 < Q_2 < 25$: Climat aride ;

$10 < Q_2$: Climat désertique.

$$Q_2 = (2000 * 357) / 95295.69 - 76618.24$$

$$Q_2 = 38.22$$

En reportant la valeur de Q_2 (38.22) et de m ($2.9\text{ }^{\circ}\text{C}$) sur le climagramme d'EMBERGER

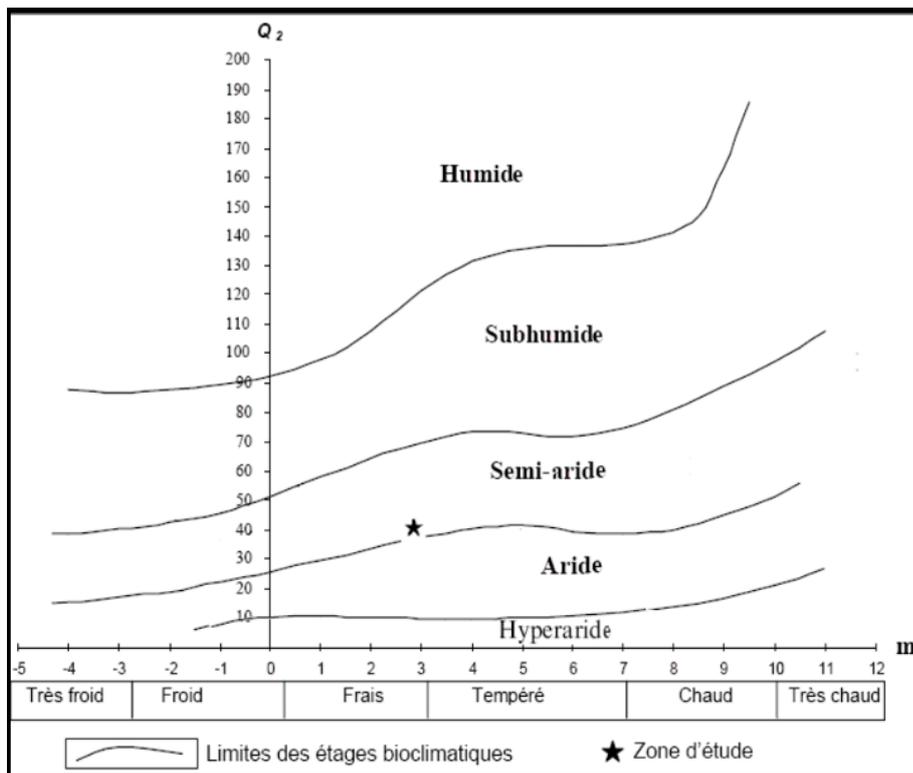


Figure 26 : Position de la zone d'étude sur le climagramme d'emberger.

3.4.1 Diagramme Ombrothermique de Gausсен et bagnoule

Les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres. Dans la synthèse climatique, parmi les formules les plus utilisées qui combinent entre les précipitations et les températures.

Nous retiendrons le diagramme ombrothermique de (Bagnouls & Gausсен (1953), qui exprime la durée de la période sèche de l'année, et l'indice pluviaux thermi que d'EMBERGER qui demeure l'indice le plus efficace dans la description du climat méditerranéen.

Bagnouls & Gaussen (1953), définissent la saison sèche comme étant : « l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades ($P \leq 2T$). ».

Le diagramme ombrothermique de la station climatique de Saida entre 1980 et 2005 (Figure 19) montre que le climat est de type méditerranéen avec une période de sécheresse longue, qui s'étale sur 6 mois, allant du début du mois de Mai jusqu'à la fin du mois d'Octobre.

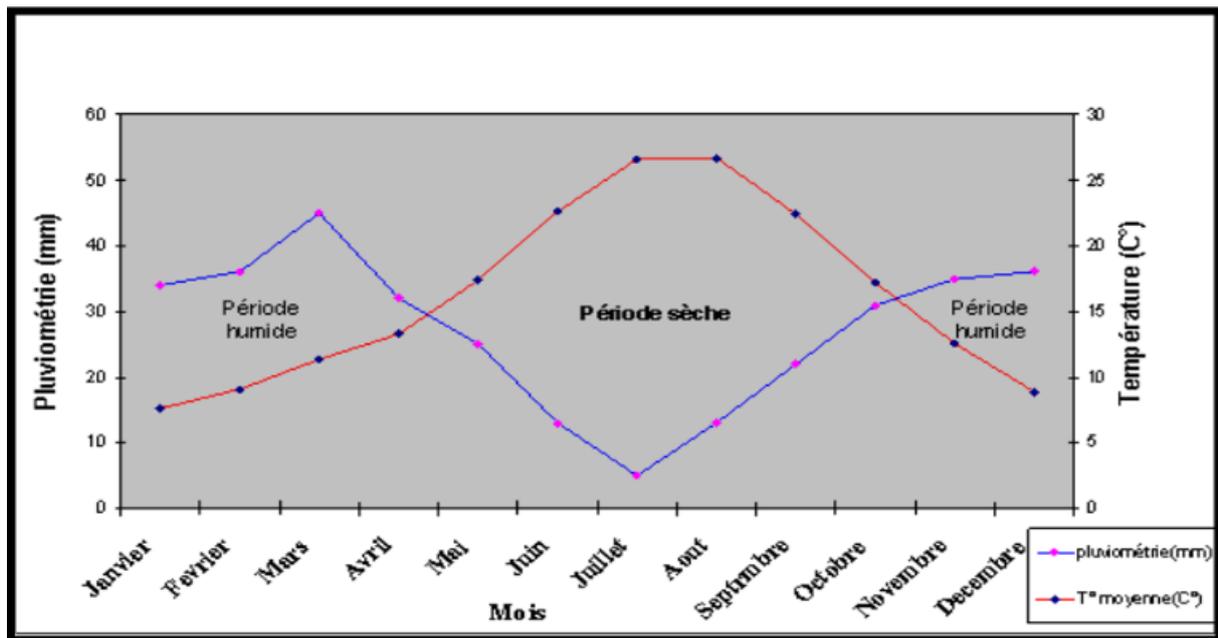


Figure 27 : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (1980,2005).

La caractéristique dominante du climat de la zone d'étude, est sans contredit la tendance à l'aridité. Elle se concrétise, non seulement par l'irrégularité et l'indigence du régime pluviométrique, mais aussi par les fortes températures diurnes estivales qui entraînent une intense évaporation.

La division brutale de l'année en deux saisons, l'une très sèche, l'autre relativement humide, opposition moins tranchée pour la botanique que pour l'agriculture, grâce aux adaptations xérophi les et aux arbres à feuilles persistantes.

On peut lire, à travers les données météorologiques et géographiques la présence du "lutte" entre le domaine méditerranéen et le domaine saharien. Toute une série de facteurs locaux

particuliers : proximité de la mer, altitude, exposition, extension et forme des reliefs, entraînant une gamme de nuances locales qui diversifient le paysage géographique.

De là, s'explique la juxtaposition dans la même région l'allure heurtée des formes d'érosion torrentielle, soit au sein d'une même saison, soit entre l'été et l'hiver. Ce caractère aride imprègne la vie biologique des êtres vivants qui ont l'allure d'une lutte pour la vie, où l'effort soutenu l'emporte plus que le succès éphémère.

4. L'arboriculture

Elle occupe 3329 ha soit 0.39% de la superficie totale de la wilaya (elle reste presque insignifiante)

L'arboriculture dans la wilaya est composée essentiellement d'arbres rustiques (oliviers et amandiers). Le pommier a connu récemment un développement avec un taux de réussite très satisfaisant mais localisé car exigeant en conditions de milieu.

Les plantations de pistachier qui n'est pas aussi exigeant que le pommier s'étendent sur environ 20 ha, localisées essentiellement à Tifrit (commune de Ain Soltane), Sidi Aissa (commune de Sidi Amar) (photo 3) et Ain Beida (commune Ain El Hadjar). Avec des exigences proches de celles de l'amandier, le pistachier peut être développé et occuper des superficies plus importantes.



Figure 28 : Arboriculture à Sidi Amar (Saida).

4.1 La vigne

Les plantations viticoles restent très insignifiantes puisqu'elles n'occupent que 46 ha, 0.01 % de la superficie totale de la wilaya. Ce n'est que très récemment que la viticulture commence à être introduite dans la wilaya

Tableau 04 : Répartition des terres utilisées par l'agriculture (D.P.A.T, 2009).

Commune	Culture herbacée	terres aux repos	vignes	Plantation d'arbres fruitiers	Total S.A.U	pacages et parcours	Terres improductives	terre alfatière	Forêt	Total
Aïn El-Hadjar	13364	11655	34	178	25231	2474	291	00	16545	40033
Sidi Ahmed	19390	22640	08	14	42052	50005	5563	12409	9635	12877
Saïda	1099	2271	00	36	3406	468	5106	00	1951	7583
Moulay Larbi	16310	5751	00	00	22061	1330	3511	1936	4294	42513
Youb	6161	12310	08	329	18808	1973	214	00	13462	42965
Hounet	3715	10375	03	192	14285	2046	569	00	2680	17058
Doui Thabet.	4656	5328	18	129	10131	2424	140	00	8945	21610
Balloul	5948	19501	10	245	25704	1051	175	00	10565	24800
Tircine	8907	16683	00	41	25631	1901	72	00	17178	41113
Aïn Soltane	10973	2584	06	600	14163	1205	2301	00	7480	25890
Rebahia	5994	7309	03	495	13801	1144	4758	00	3732	20491
Sidi Amar	3943	5965	07	571	10486	1330	1390	00	5435	16504
Sidi. Boubekeur	4825	10880	06	499	16210	1338	4438	00	7986	24322
Hassasna	14690	20834	00	-	35524	25	180	625	25474	57658
Maamora	5130	21377	00	-	26507	45021	92	14707	21039	111186
Ain Skhouna	200	2813	00	-	3013	16669	8695	310	00	39353
TOTAL	125305	178276	103	3329	307013	130404	37495	29987	156401	661300

L'exploitation de ce tableau met en évidence:

- Une prédominance de la céréaliculture dans les zones peu accidentées tel que les plaines céréalières de Moulay Larbi et de Ain-El-Hadjar ainsi que le plateau d'El Hassasna et les collines de la région de Youb.

- Une faiblesse des cultures irriguées, à l'exception de celles pratiquées à Dai et Zraguet, limitées aux principales vallées desservies par des oueds (vallées des Oueds :

Saïda, Tifrit et El-Abd et à un degré moins à Ain-El-Hadjar). Les possibilités en ressource hydrique permettent une extension des surfaces irriguées en dehors de ces espaces de faible superficie.

- L'arboriculture reste très faiblement représentée avec seulement 3329 hectares alors que les potentialités en matière de terres en pente assez fertiles peuvent recevoir des **espèces** rustiques ayant donné des résultats appréciables avec l'utilisation des rosacées comme l'amandier, l'abricotier, le prunier, l'olivier et le pistachier.

- La vigne ne couvre que 103 ha et pose toute la problématique d'utilisation des sols (malgré son adaptation aux conditions écologiques du milieu et les possibilités qu'elle offre en matière d'emplois). La politique menée par les services agricoles par le biais des encouragements du Fond national de Développement de l'Agriculture, en matière d'intensification des cultures arboricoles, n'a pas atteint les objectifs escomptés en relation avec les potentialités des espaces.

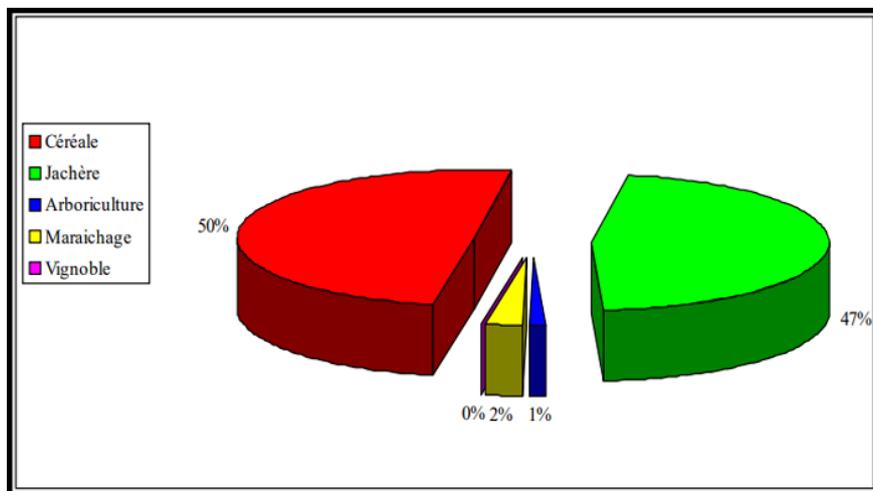


Figure 29 : Occupation de la surface agricole utile de la wilaya du Saïda (D.P.A.T, 2009).

5. Espace forestier

Les espaces forestiers de la wilaya sont de loin les plus importants de toute la région avec plus de 156 000 ha boisés et 14 forêts domaniales, le taux de boisement avoine les 24 % (D.G.F, 2007).

Cette richesse écologique participe à la préservation et à l'enrichissement de la biodiversité régionale tout en offrant des aires de chasse et de découverte. Elle est toutefois très fragile étant exposée à de différentes formes de dégradation et à de la disparition de certaines espèces de la flore et du gibier.

La conservation des forêts a tracé un programme ambitieux pour réhabiliter ce patrimoine non seulement pour des raisons évidentes d'équilibre écologique mais également pour des raisons de protection des sols et des nappes, de lutte contre la désertification et de régénérescence de la steppe.

Au plan de la répartition spatial de la couverture forestière, la figure 35 indique que les 16 communes, en sont pourvues, les plus importants massifs sont en grande partie situés sur les Monts de Dhaya.

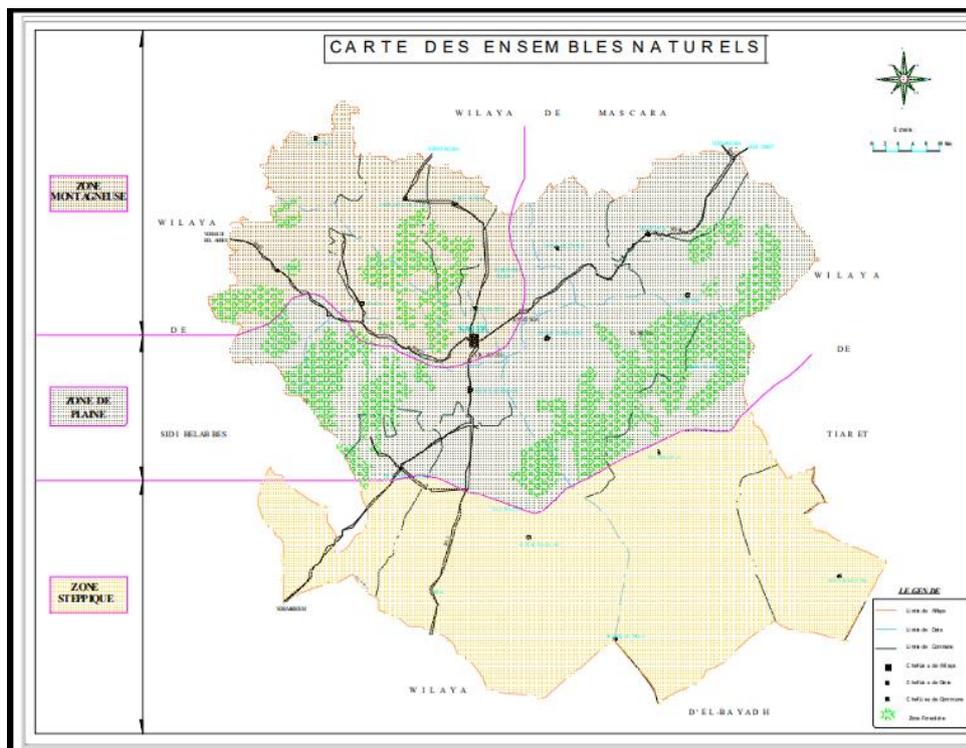


Figure 30 : Carte des ensembles naturels de la wilaya de Saida (B.N.E.D.E.R, 1992)

Les espèces forestières les plus présentes sont surtout le pin d'Alep (69% des espèces) et le chêne vert ainsi que le thuya. Selon les services forestiers de la Wilaya, le maquis couvre également d'importantes superficies.

Les forêts denses : Elles occupent environ 13047 ha soit 1.96 % de la superficie totale. Ces forêts représentent 7 % des superficies forestières. 80 % des forêts denses sont situées dans les monts de Dhaya. Elles concernent les communes d'Ain-El-Hadjar (photo 4), Youb et Moulay Larbi. L'essence dominante dans ces forêts est le pin d'Alep essentiellement pur ou en association avec le Thuya (figure 25) (D.P.A.T, 2009).

Les forêts claires : Les plus grandes superficies occupées par les forêts claires sont situées dans la commune de Youb, 40% de la superficie totale des forêts claires. Elles sont localisées dans les monts de Dhaya (Oued Séfioun) à concurrence de 45%.

Les maquis denses : Ces formations forestières couvrent une superficie de 14520 ha et représentent 2.18 % de la superficie totale de la wilaya. Ces maquis denses représentent 8 % des superficies forestières.

Les maquis clairs : Il s'agit de la formation la plus représentée sur les terres forestières en occupant 112635 ha soit 62.5 % ; ces maquis clairs représentent 16.19 % de la superficie totale de la wilaya

Les reboisements : Ils ne constituent pas un volet significatif dans les formations forestières au regard de la superficie qu'ils occupent, 7033 ha soit 1.06 % de la superficie totale et 3.5 % des superficies forestières.



Figure 31 : Forêt dense de Bendjelloud (Saida)

figure 32 : Maquis claire d'AïnSoltane

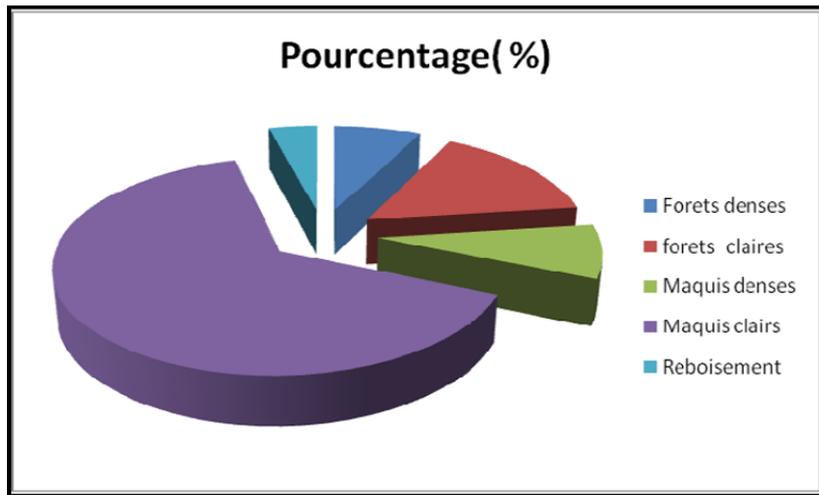


Figure 33 : Importance des formations forestières (D.P.A.T, 2009).

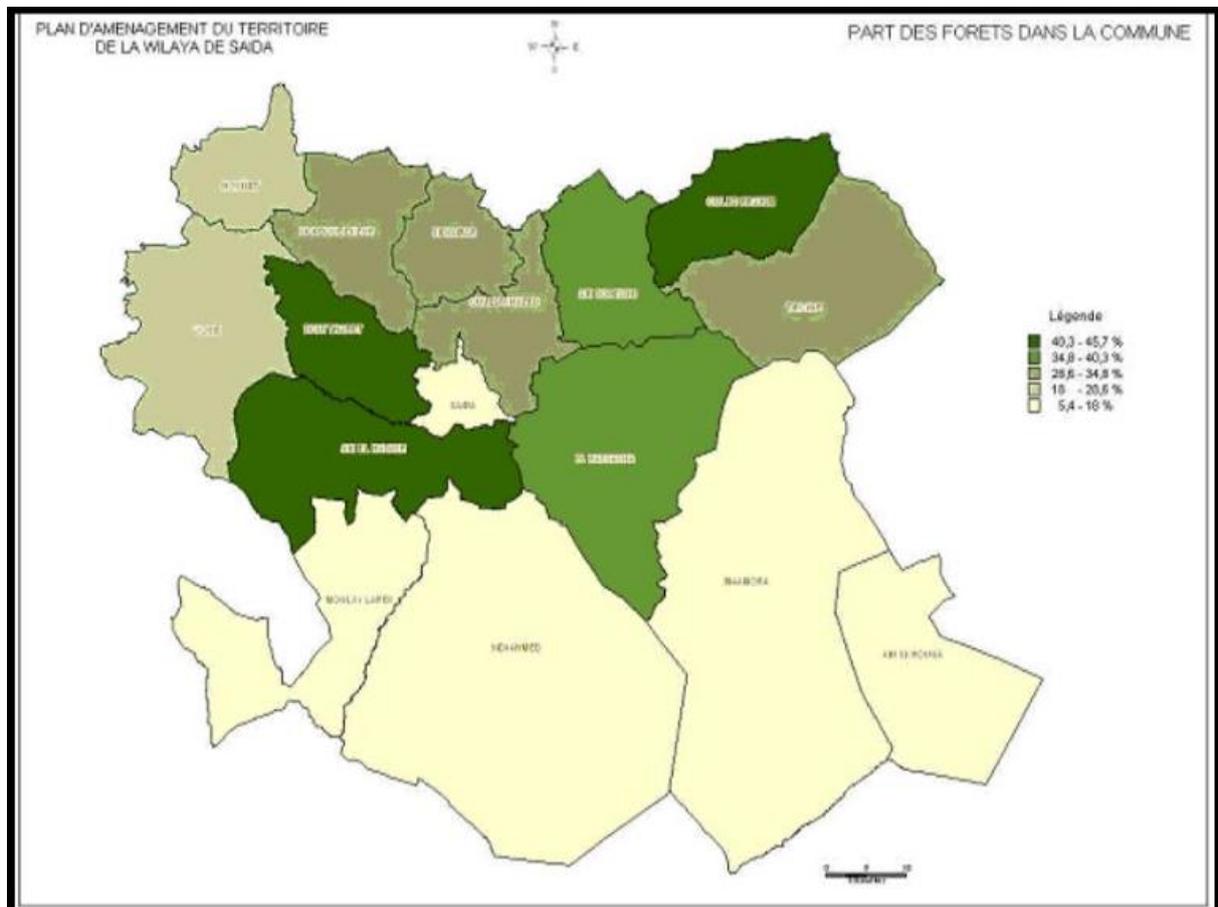


Figure 34 : Répartition de l'espace forestier par commune (D.P.A.T, 2009).

5.1 L'état de l'espace forestier

L'espace forestier couvre 26% de la surface totale des communes, un taux supérieur à la moyenne régionale (puisque'elle se classe en premier rang) et même nationale. Les formations

forestières sont dominées par les groupements à pin d'Alep (*Pinetum halepensis*). Les forêts domaniales de Tendfelt, Djaafra et Fenouane sont les plus importantes, leur impact sur les autres espaces et sur la vocation de la wilaya est présent et ne peut être ignoré dans toute approche d'aménagement ou d'orientation globale du développement, par son impact sur les autres espaces.

Les pinèdes dominant et sont associées soit au chêne vert (*Quercus rotundifolia*) soit au thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) avec un cortège floristique caractéristique de l'étage bioclimatique et des groupements et associations végétales ligneuses dominantes que sont le *Pinetum halepensis* et le *Quecetum illicis*. Le cortège floristique est diversifié en espèces de la strate arbustive et sous arbustive adaptées aux conditions du milieu et résistantes de par leur faculté de rejeter de souche.

Le lentisque (*Pistacia lentiscus*), la filaire (*Phillyrea angustifolia*), les genêts (*Genista tricuspidata* et *ericoides*), le romarin (*Rosmarinus tournefortii*) et d'autres espèces dominant en sous-bois. Certaines espèces restent très appréciées par le cheptel, le sous-bois subit ainsi des pressions intenses imposées par une charge ovine (pacage) permanente évaluée par plusieurs auteurs à plus de 10 équivalents ovins par hectare alors que la possibilité n'est que de un équivalent ovin (Benabdeli, 1996).

5.2 Superficies de l'espèce forestière

Selon BENABDELI (1996) les espèces forestières se réparties comme suit:

- Pin d'Alep 54740 (ha) soit 35% ;
- Chêne vert 46920 (ha) soit 30% ;
- Thuya de berberie 15640 (ha) soit 10% ;
- Chêne Kermes 7820 (ha) soit 05% ;
- Genévrier Oxycèdre 7820 (ha) soit 05% ;
- Autres (Eucalyptus...) 23000 (ha) soit 15% ;

5.2.1 Espace steppique

Elles s'étendent sur une superficie de 253679 ha soit 38.08 % des superficies totales de la wilaya. Ceci représente une part importante dans l'occupation du sol de la wilaya. On distingue les parcours se situant dans la partie tellienne qui englobent 11.98 % de la superficie

totale de la wilaya (79839 ha) et les parcours steppiques qui couvrent 129513 ha soit 19.44 % de la superficie totale.

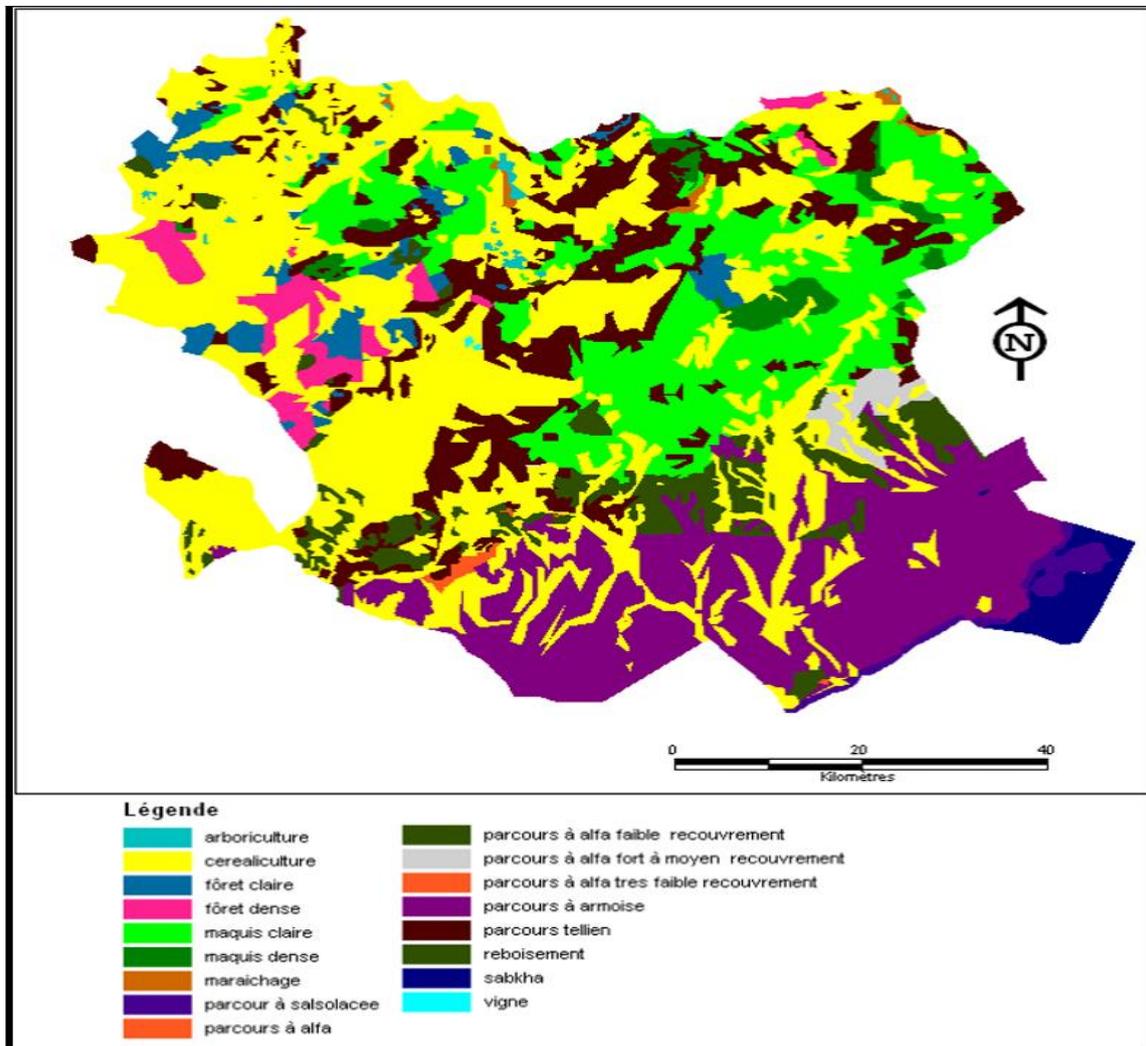


Figure 35 : Carte d'occupation du sol de la Wilaya de Saida (extrait B.N.E.D.E.R, 1992)

6. Elevage

Appartenant en partie à la zone steppique, l'élevage, se pratique dans toutes les communes de la Wilaya. L'évolution des effectifs montre que pour les bovins l'année 1997, marque le début d'une chute assez brute des effectifs puisque l'on passe de 22 100 tête en 1996 à 11 605 têtes l'année suivantes, soit 50% de moins. La situation est comparable pour les ovins dont la régression est encore plus nette. On passe ainsi de 75000 têtes en 1991 à 32000 têtes en 2001

après un repris ces dernières années. Ce sont les caprins qui enregistrent le plus fort de progression en doublant leur effectif en l'espace de deux ans (D.P.A.T, 2009).

7. Potentiel humain

La tendance d'évolution observée durant les quatre périodes intercensitaires (66/77.77/87.87/98 et 98/2008) même si elle s'inscrit dans le schéma de la transition démographique, présente des particularités, notamment dans la répartition du peuplement (D.P.A.T, 2009).

En effet, la wilaya de Saida comptait un volume de population de l'ordre de 111 543 habitants en 1966, 171 811 habitants en 1977, 235 240 habitants en 1987, 279 526 habitants en 1998 pour atteindre 324 949 en 2008 (D.P.A.T, 2009).

En 2008, 74,86 % de la population de la wilaya est concentrée dès les agglomérations chefs-lieux, 12,35 % est au niveau des agglomérations secondaires, 12,68 % est répartie dans la zone épars (D.P.A.T, 2009). La ville de Saida est la plus importante, elle rassemble à elle seule 49,14 % des habitants des chefs-lieux (D.P.A.T, 2009).

8. Conclusion

La dynamique de la végétation de la forêt dans la région de Saida reflète la relation complexe entre les conditions naturelles, la pression humaine et la restauration. L'utilisation de données de télédétection, de SIG et d'observation sur le terrain dans un outil combiné pour analyser et interpréter cette dynamique. Une meilleure connaissance de ces évolutions est essentielle pour orienter les politiques de gestion durable des ressources forestières et renforcer la résilience des écosystèmes aux changements climatiques et à l'augmentation des pressions anthropiques.

CHAPITRE IV : APPROCHE METHODOLOGIQUE

1. Objectif du travail

L'approche utilisée pour l'étude du changement spatiotemporelle de végétation forestière dans la wilaya de Saida : nous allons à l'aide de des images satellitaires sentinel 2; corrigées et prétraitées, des années 2015 et 2021, 2022, 2025 ; puis la Vérification sur terrain du couvert végétale des sites choisis à l'aide d'un GPS en a atteindre de :

- Crée une Carte NDVI de la zone d'étude à l'état actuelle 2025 ;
- Crée une Carte NDVI de la zone d'étude de l'année 2021 ;
- Crée une Carte NDVI de la zone d'étude de l'année 2022 ;

2. Matériels

2.1. Données utilisées

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ainsi que dans la planification et la gestion des ressources ; elles sont descriptives et apportent une information spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information (POUCHIN, 2001).

2.2. Outils de prospection : G.P.S (Global Positioning System)

Le but principal d'un G.P.S est de déterminer la position tridimensionnelle (altitude, latitude et longitude) de manière continue et instantanée. Pour notre cas. Le G.P.S a été utilisé pour la vérification de l'état de végétation afin de faire une comparaison avec nos images satellitaires.

3. Méthodologie de traitement des données cartographiques

Pour la réalisation de la carte d'occupation de sol pour l'année 2015, 2021, 2022, 2025 nous allons traiter les images satellitaire de la même année (**composition coloré**) avec la vérification de l'occupation se sol sur terrain. Les étapes sont les suivants et le calcul de NDVI:

3.1. Délimitation de la zone d'étude

Les images satellitaires de base que nous avons utilisée s'étendent au-delà des limites de notre zone d'étude. Par conséquent nous avons utilisé le logiciel ARCGIS 10.3 afin d'extraire uniquement la zone concernée par l'étude.

3.2 La composition colorée

En attribuant des couleurs fictives aux bandes spectrales, on obtient une image dite composition colorée vari couleur qui se compose de trois plans de couleur rouge, vert et bleu (RGB). Elle a été réalisé dans notre travail grâce au logiciel ARCGIS10.3 par superposition des canaux 4, 3, 2 et composition coloré fausse couleur 8, 4, 3 (proche infrarouge, rouge, vert).

Les résultats obtenus sont très importants pour une interprétation préliminaire (visuelle) de nos images satellitaires.

L'information apportée par un seul canal ne permet pas toujours de donner un détail satisfaisant pouvant refléter de près ce qu'on espère ressortir des données télédéteectées. Pour ce faire, on a recours à la combinaison de trois(3) canaux en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales : Bleu : Vert : Rouge : c'est-à-dire en associant les couleurs primaires dans l'ordre de classement à leur longueur d'onde à savoir : Vert : Rouge : Proche infrarouge.

3.3 Calcule de l'indice de végétation normalisé NDVI

Cette étape a pour objectifs d'augmenter la sensibilité des images aux composantes végétales et exprimer la variance des images selon un nombre minimal de bandes spectrales afin d'augmentes le pouvoir de discrimination entre les différents classes thématiques.

Parmi les indices de végétation les plus populaires identifiés par Richardson et Evert (1992), le NDVI est le plus utilisée en télédétection (GIRARD et GIRARD, 2000). C'est un indice de végétation à la différence normalisée qui est étroitement corrélé avec l'activité chlorophyllienne des surfaces végétales et basé sur la différence de réluctance mesurée dans le rouge et le proche infrarouge.

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$$

Ou : NDVI est la valeur NDVI d'un pixel de l'image résultante, PIR est la valeur numérique du même dans la bande de proche infrarouge, R est la valeur numérique du même pixel dans la bande du rouge. Les valeurs se situent sur une échelle de -1 à 1 ou la valeur de pixels augmente avec la présence de végétation.

3.4 Détection des changements

Pour la détection précise et quantitative des changements entre les deux images satellitaires nous avons introduit les deux images dès les mêmes superficies de la zone d'étude en format

raster dans le logiciel Arcgis10.3 et nous avons obtenu une carte de changement qui a été pour nous une information impeccable dans la réalisation de la carte de changement) et du résultat de l'enquête sur terrain permis de validé c est changement .

Notre travail se résume comme le montre le diagramme suivant

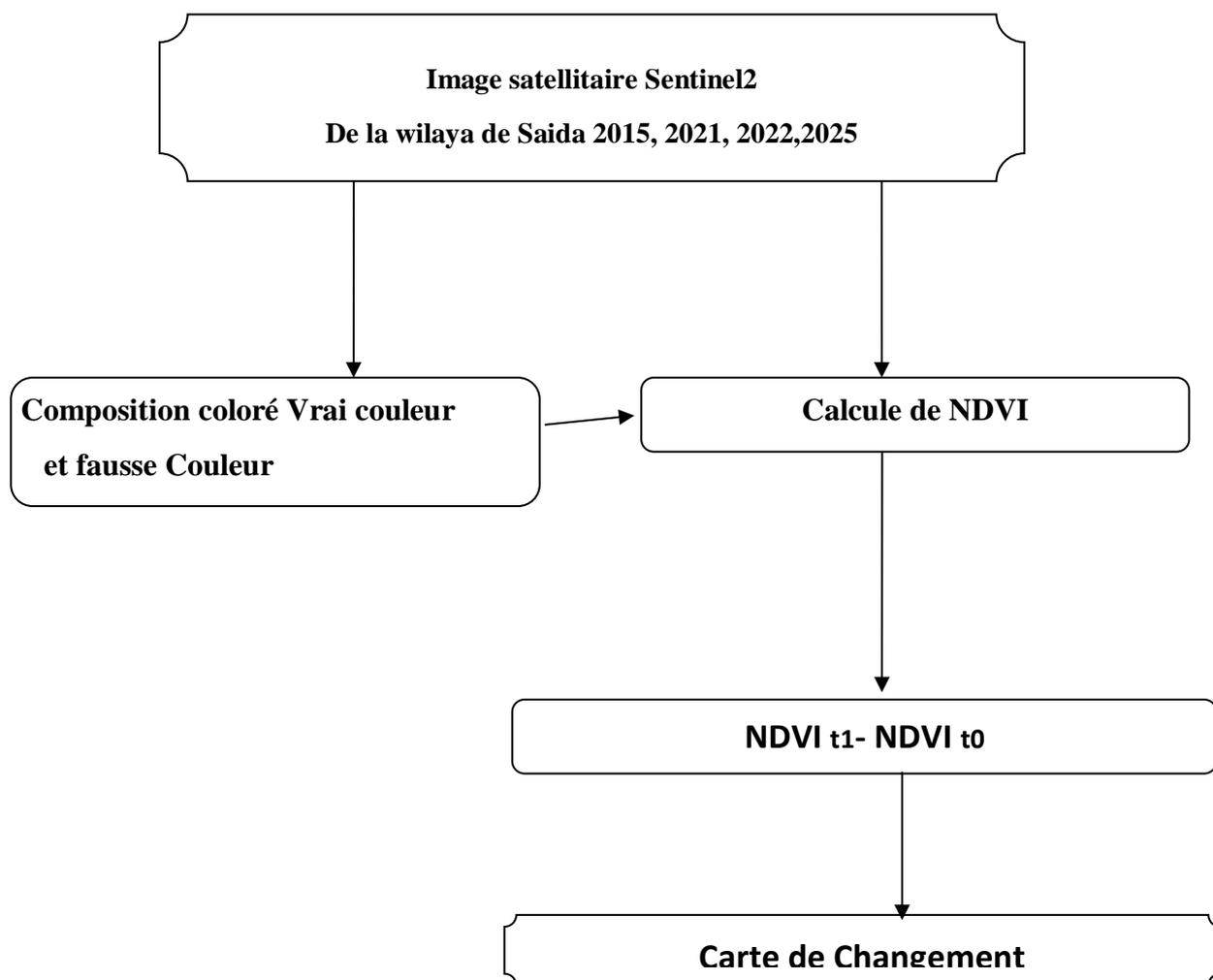


Figure 36 :Démarche méthodologique

Chapitre VI : Résultats et interprétation

Cette partie présente les résultats issus de l'analyse diachronique de la végétation forestière dans la région de Saïda à partir des images satellitaires traitées sous QGIS. Les dates choisies (2015, 2021, 2022 et 2025) permettent de retracer l'évolution spatio-temporelle du couvert forestier. Les traitements appliqués incluent la visualisation en vraies et fausses couleurs, le calcul de l'indice NDVI, l'analyse de la fragmentation et le croisement NDVI / occupation du sol. Ces résultats sont discutés en relation avec les dynamiques naturelles et anthropiques affectant la région.

1. Analyse visuelle des images satellitaires

1.1. Images en vraies couleurs (RGB)

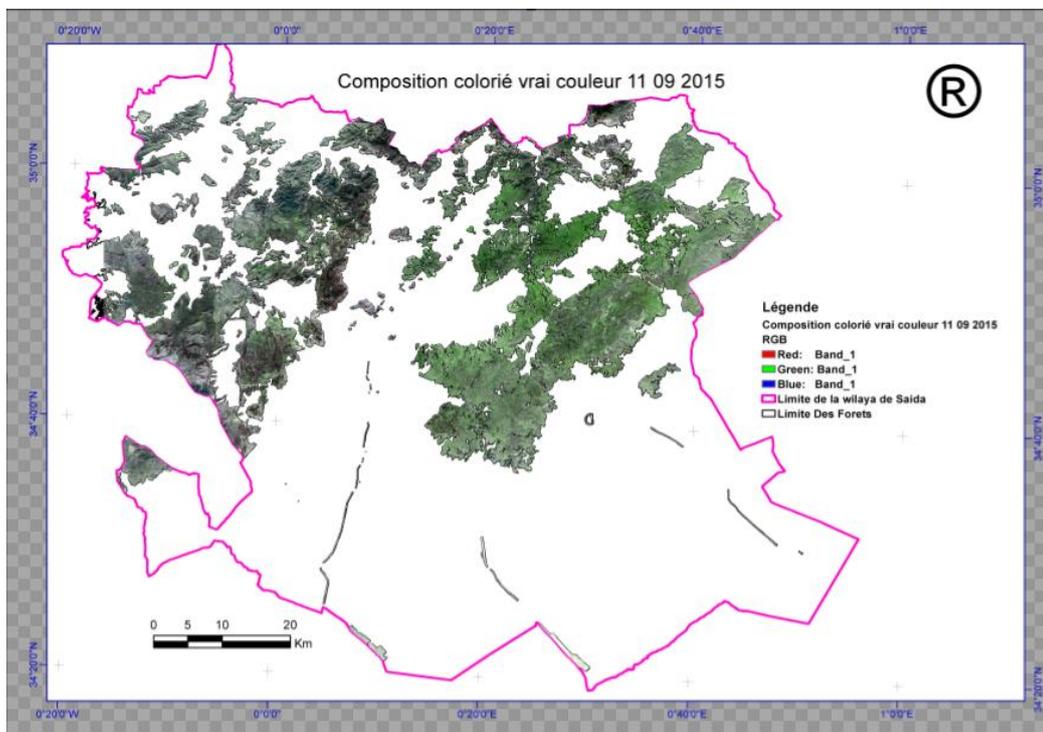


Figure 37 : Image satellite en vraies couleurs – 11/09/2015

L'image de 2015 présente une composition colorée en vraie couleur (RGB) qui montre une couverture végétale dense, particulièrement marquée dans le nord et le centre de la wilaya de Saïda. Les zones forestières y apparaissent en vert foncé, indiquant un bon état de santé des forêts. Les limites administratives de la wilaya et des forêts sont bien tracées en rose et noir.

Cette année représente un état de référence où la végétation semble bien conservée, avec une répartition relativement homogène

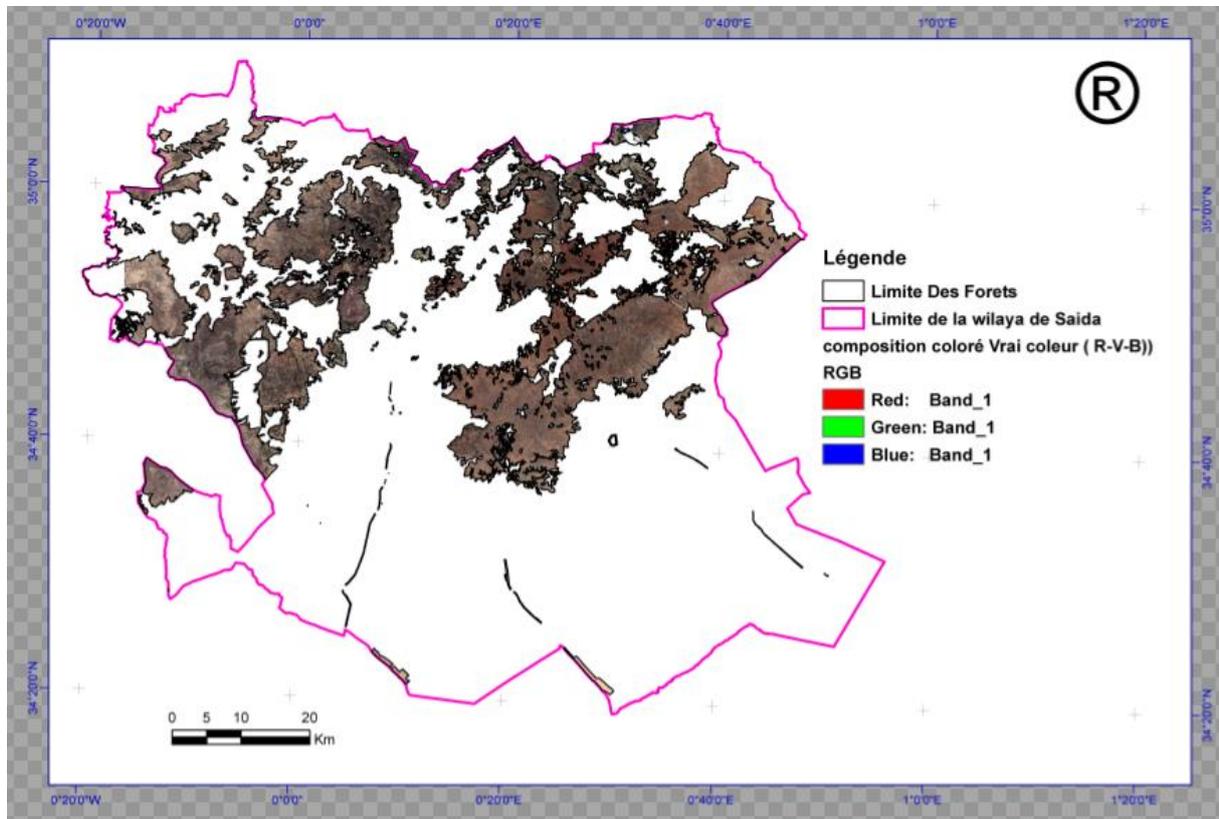


Figure 38 : Image satellite en vraies couleurs – 12/ 04 / 2021

L'image de 2021 utilise la même composition RGB mais présente une teinte brunâtre dominante sur l'ensemble de la surface forestière. Cela traduit un affaiblissement de la densité chlorophyllienne et donc une dégradation de l'état de la végétation. L'impact de facteurs anthropiques (déforestation, incendies) ou climatiques (sécheresse) peut être suspecté. L'absence de tons verts suggère une perte significative de couverture végétale vivante

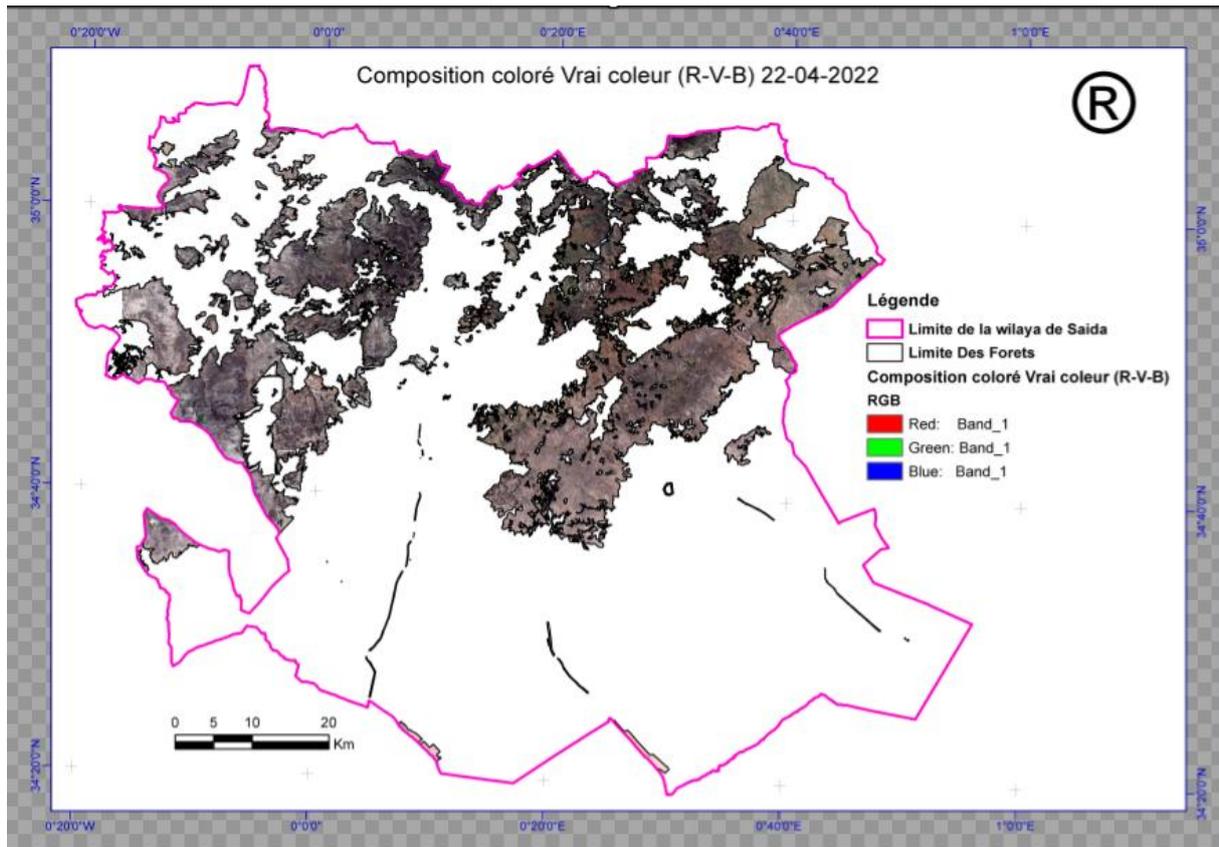


Figure 39 : Image satellite en vraies couleurs – 22/04/2022

En 2022, l’image révèle une situation très proche de celle de 2021, avec une teinte générale toujours brunâtre à violette. Bien que quelques zones vertes persistent très localement, la majorité des forêts apparaît dégradée ou en stress hydrique. Le maintien de cette tendance confirme la continuité de la pression sur les écosystèmes forestiers de la région

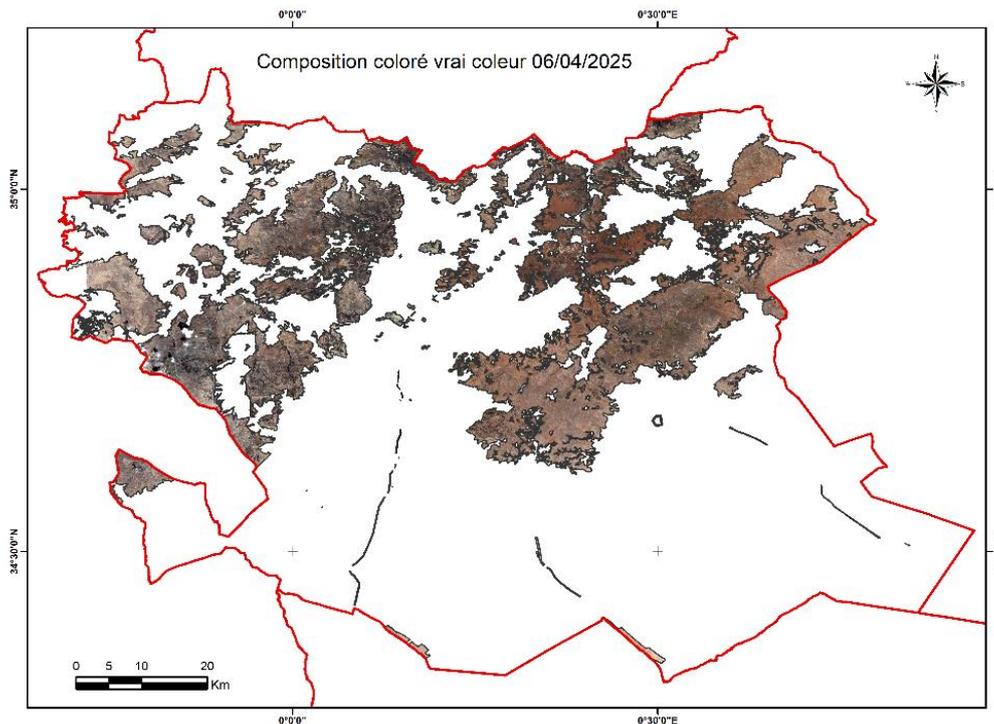


Figure 40 : Composition vrai couleur sentinel 2 R V B 06/04/ 2025

Une composition colorée dans laquelle les thèmes recherchés sont les plus apparents a été élaborée lors du traitement de l'image qui a permis de visualiser les canaux en vert, rouge et proche infrarouge en leur affectant respectivement les couleurs bleu, vert et rouge

L'image montre une légère amélioration dans certaines zones localisées où des nuances de vert réapparaissent, suggérant une reprise végétative partielle. Cependant, la majorité du territoire reste dominée par des teintes sombres, indiquant que la couverture forestière n'a pas encore retrouvé son état de 2015. Cela peut signaler l'effet de certaines politiques de reboisement ou de régénération naturelle, mais les résultats restent limités et localisés

Comparaison globale de la période 2015 -2025:

L'évolution spatio-temporelle de la couverture forestière entre 2015 et 2025 montre une régression nette entre 2015 et 2022, suivie d'un léger mieux en 2025.

- En 2015, les forêts sont denses, continues et en bon état.
- En 2021 et 2022, la situation se dégrade fortement : perte de végétation, brunissement généralisé.
- En 2025, une amélioration modérée est perceptible, mais le territoire reste largement affecté.

1.2. Images en fausses couleurs (Infrarouge proche)

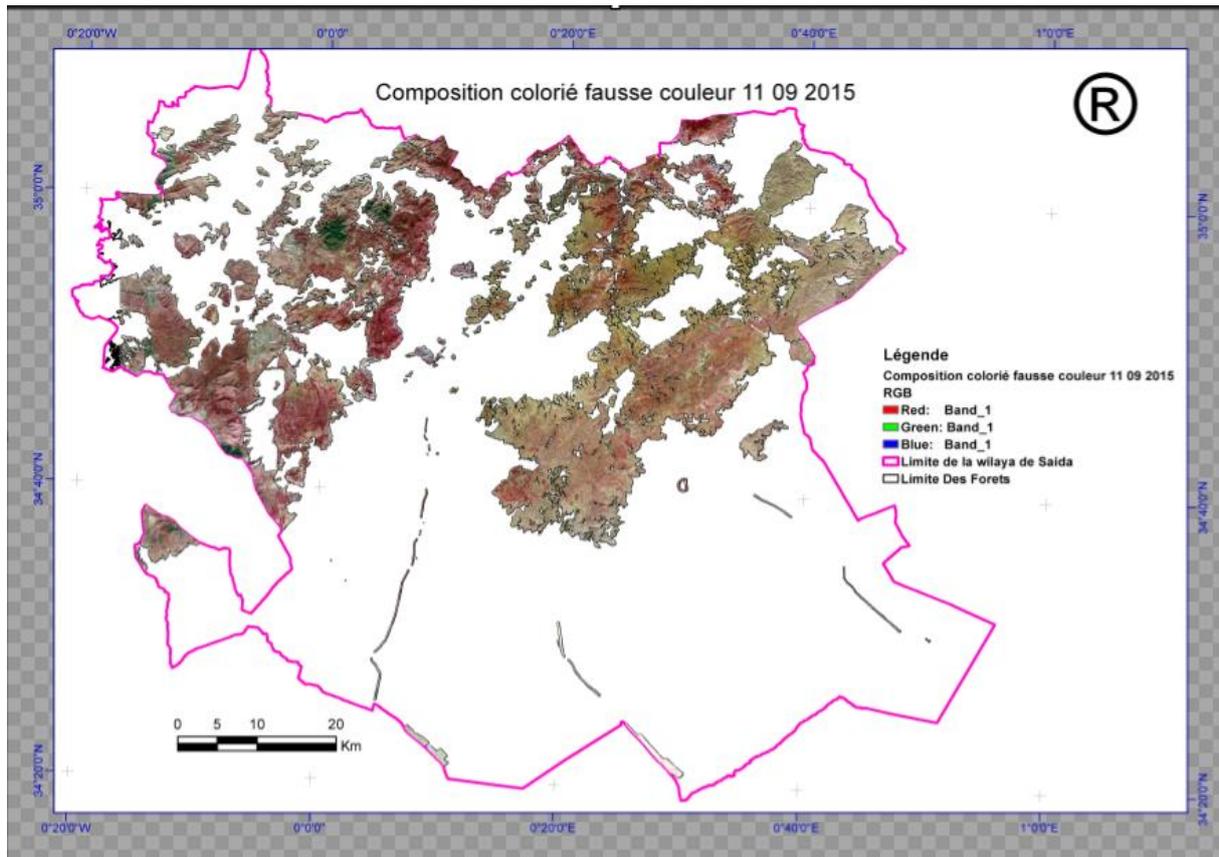


Figure 41 : Image en fausses couleurs – 11/09/2015

Cette carte présente une composition colorée en fausse couleur datée du 11 septembre 2015, avec les mêmes éléments de légende que la première :

La végétation dense apparaît en tons rougeâtres (typique de la bande PIR dans une fausse couleur),

Les zones dénudées ou peu végétalisées apparaissent en teintes brunes/grises.

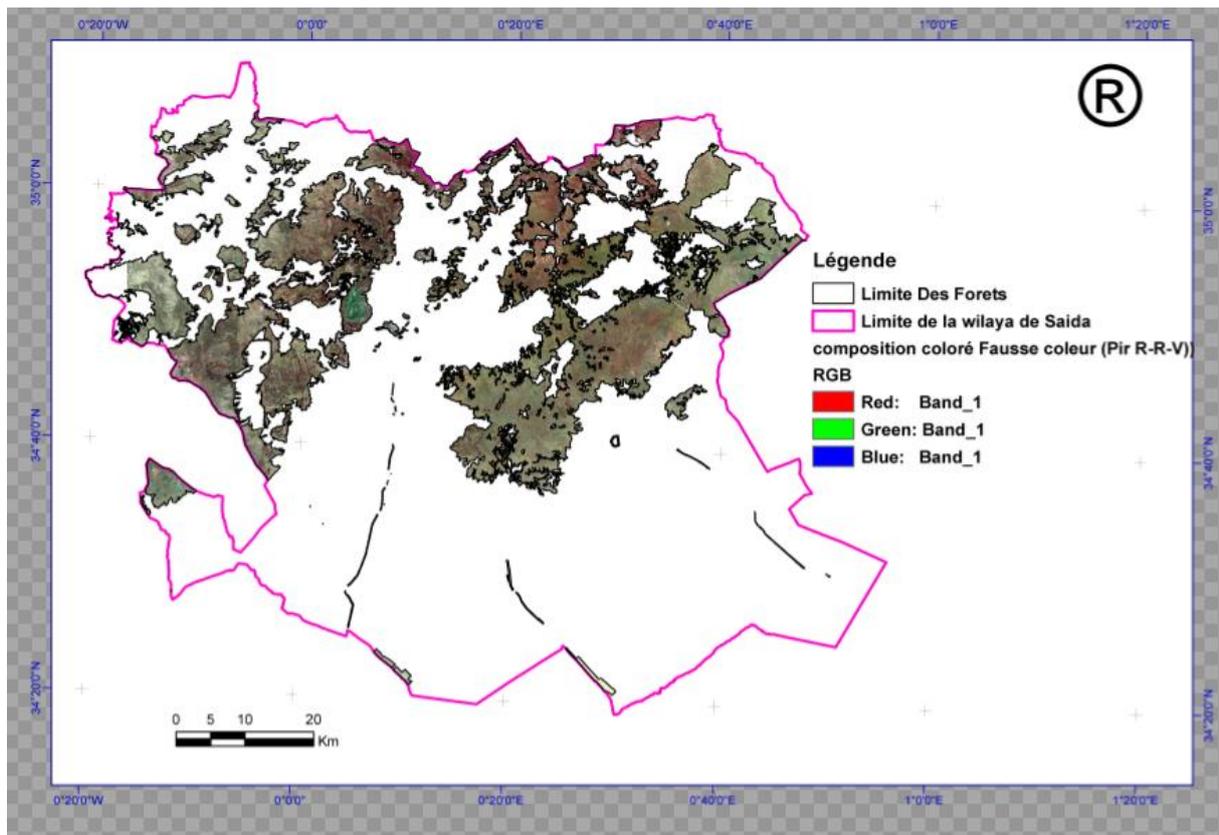


Figure 42 : Image en fausses couleurs – 12 / 04 / 2021

Cette carte montre une composition colorée en fausse couleur utilisant les bandes spectrales infrarouge, rouge et vert (Pir-R-V) sur l'ensemble de la wilaya de Saïda, avec en évidence :

- Les limites des forêts en noir,
- La limite administrative de la wilaya de Saïda en rose,
- Une composition fausse couleur où toutes les bandes sont identifiées comme Band_1, ce qui semble indiquer une erreur ou un paramétrage identique des bandes (à confirmer par l'analyse des métadonnées raster utilisées).

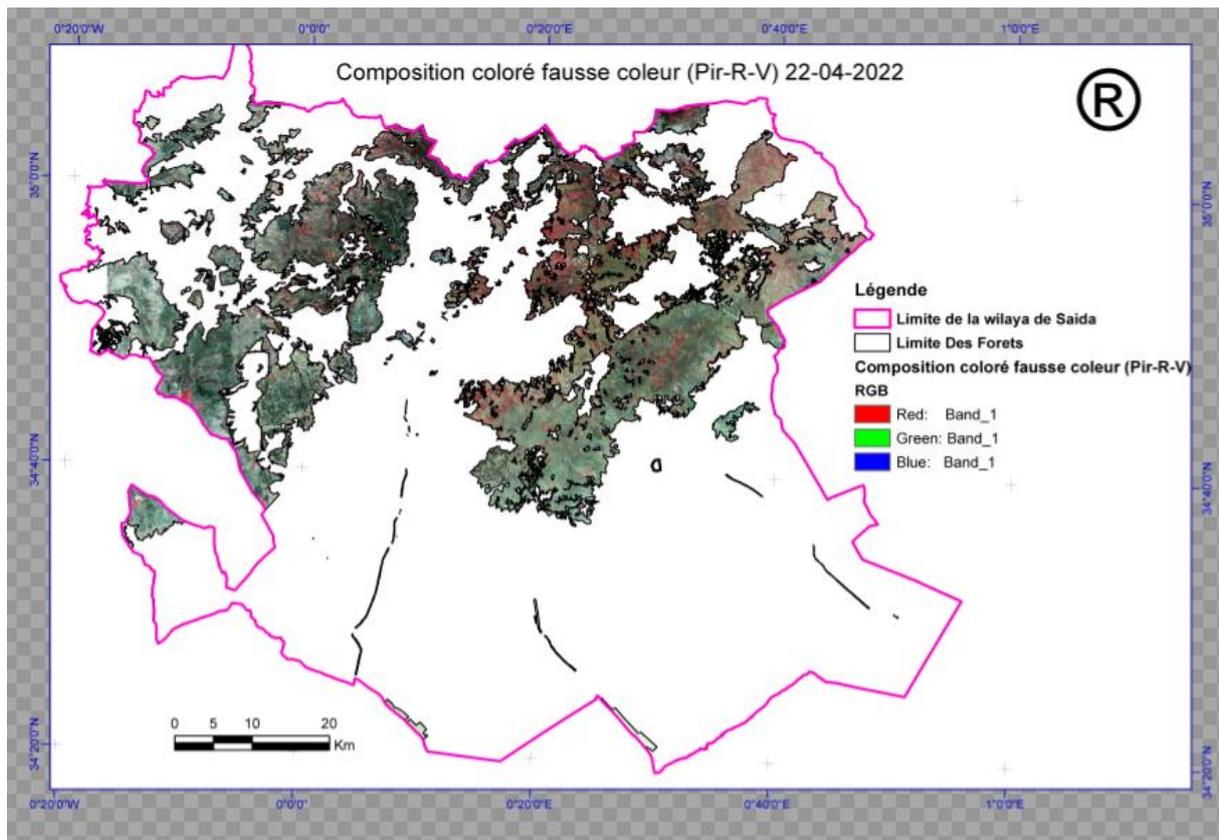


Figure 43 : Image en fausses couleurs – 22/04/2022

Il s'agit d'une composition colorée fausse couleur (PIR-R-V) réalisée le 22 avril 2022. Les bandes sont bien identifiées comme suit :

Rouge : Bande infrarouge (PIR),

Vert : Bande rouge,

Bleu : Bande verte.

La végétation saine apparaît ici en rouge foncé (ce qui est typique de la fausse couleur), ce qui permet une bonne visualisation des zones densément végétalisées.

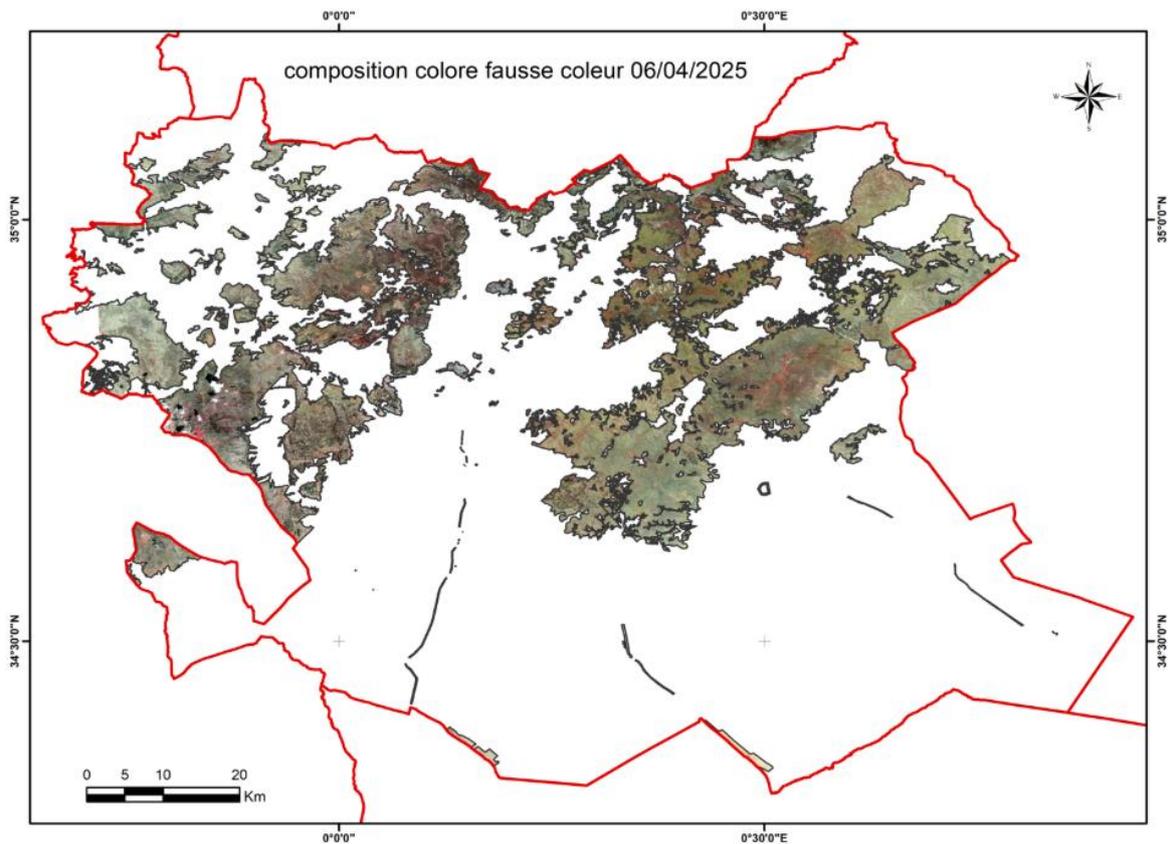


Figure 44 : Composition fausse couleur sentinel 2 06/04/ 2025

Il existe plusieurs façons de produire des images en 'fausses couleurs' chacune étant plus adaptée à une application particulière. L'image de droite ci-dessous présente la même image que précédemment, mais avec une composition colorée cette fois-ci en fausses couleurs. Ici la couleur rouge est associée à la bande proche IR, la couleur verte à la bande

Tableau 05 : Analyse comparative visuelle entre les cartes

Elément comparé	Carte (2015)	Carte (2021)	Carte (2022)	Carte (2025)
Qualité des données	bonne	Peu claire (band_1 pour tout)	Très bonne	Très bonne
Densité de la végétation	Elevée (nombreuses zones rouges)	moyenne	Réduite dans plusieurs zones	Très réduite
Etendue forestière	Plus de zones boisées visibles	Etendue significative	Quelques pertes visibles surtout au sud-est	Très fragmentée
lisibilité	bonne	moyenne	Très bonne	Très bonne
Valeur analytique	Référence temporelle moyenne	Référence initiale	Référence finale (récente)	Etat final

L'analyse des cartes de composition colorée, issues de données satellitaires multitemporelles, constitue un outil précieux pour évaluer l'évolution progressive de la végétation forestière dans la wilaya de Saïda. Ces cartes permettent une visualisation claire des changements spatio-temporels survenus au cours de la période 2015–2025. Elles révèlent une régression marquée et continue des superficies forestières, traduite par une diminution progressive des zones en teintes vertes denses, remplacées peu à peu par des couleurs plus ternes (brun, beige, jaune), indicatrices d'une dégradation végétale significative.

Cette régression s'explique par une combinaison de facteurs naturels et anthropiques. Sur le plan naturel, la région, située en zone méditerranéenne à tendance semi-aride, est soumise à une variabilité climatique importante, caractérisée notamment par des épisodes prolongés de sécheresse, une baisse des précipitations annuelles et une augmentation des températures moyennes. Ces conditions climatiques défavorables réduisent considérablement la capacité de régénération naturelle de la végétation forestière.

Du côté anthropique, plusieurs pressions contribuent à cette dégradation. Le surpâturage, qui exerce une pression constante sur les écosystèmes forestiers, empêche la régénération des espèces ligneuses et herbacées. Les incendies, souvent liés à des activités humaines (brûlis agricoles, négligence ou actes volontaires), ont détruit des milliers d'hectares de couvert forestier. L'extension urbaine et les pratiques agricoles non durables jouent également un rôle dans la fragmentation et la réduction des habitats forestiers.

Ces observations ne se limitent pas à une simple lecture des dynamiques spatiales, elles offrent également des pistes d'interprétation sur les mécanismes environnementaux à l'œuvre dans ce type de territoire. En contexte méditerranéen semi-aride, où les équilibres écologiques sont particulièrement fragiles, ces dynamiques témoignent de la nécessité d'une gestion plus rigoureuse et proactive des ressources naturelles.

L'identification précise des zones les plus touchées par la régression forestière permet ainsi de proposer des mesures de conservation plus ciblées : reboisement adapté aux conditions climatiques locales, limitation du pâturage dans les zones sensibles, création de pare-feux, surveillance des zones à haut risque d'incendie, ou encore restauration des sols dégradés. Ces mesures doivent s'inscrire dans une stratégie globale de lutte contre la désertification et de préservation de la biodiversité, essentielle à la résilience écologique de la région.

1.3 Évolution de l'indice de végétation NDVI

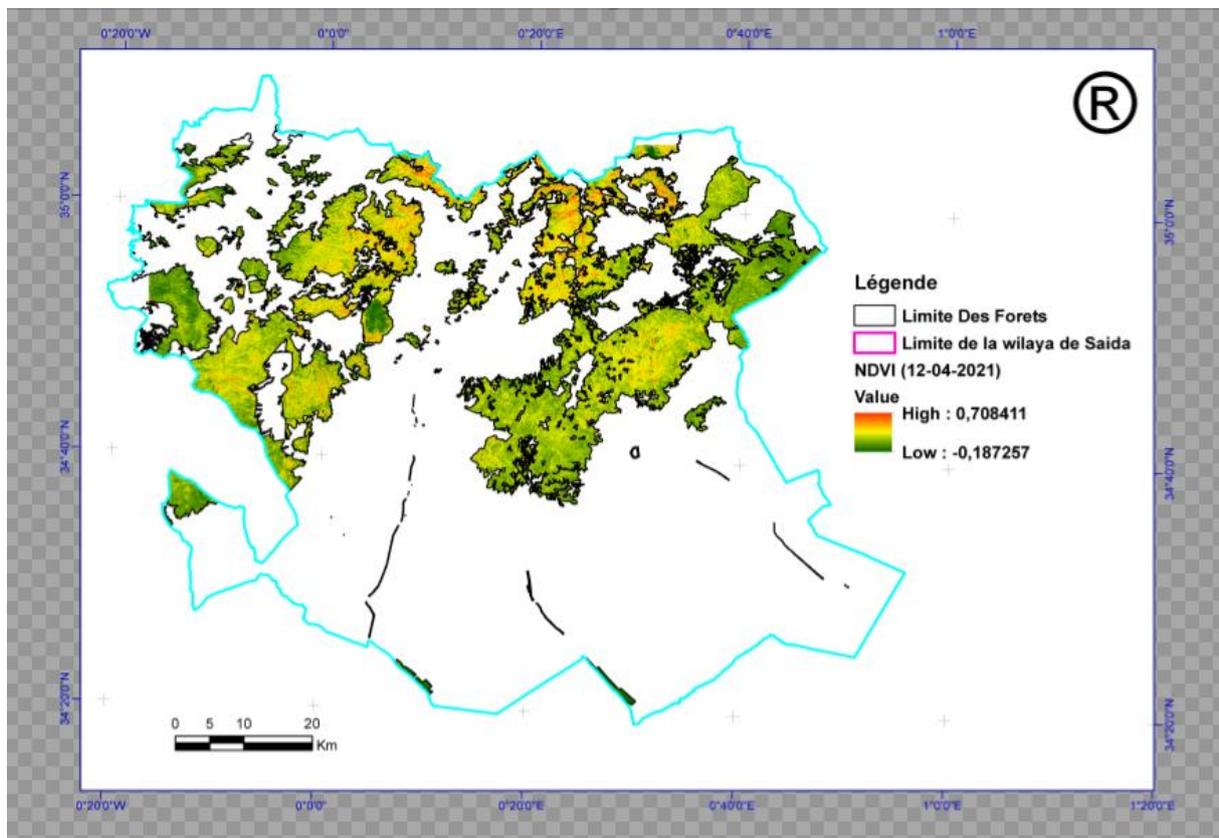


Figure 45 : Carte NDVI – 2021

L'analyse de l'indice de végétation normalisé (NDVI) pour l'année 2021 révèle une situation globalement favorable de la couverture végétale dans la wilaya de Saïda, en particulier dans les régions septentrionales. Les cartes NDVI montrent une végétation relativement dense dans la partie nord-ouest et nord-est de la wilaya, caractérisée par des teintes vert foncé correspondant à des valeurs proches de 0,7. Ces zones correspondent principalement aux massifs forestiers et aux milieux naturels mieux préservés, bénéficiant d'un microclimat plus humide et de conditions édaphiques plus propices au développement végétal.

En revanche, les zones centrales et méridionales présentent une végétation plus clairsemée, souvent en état de stress. Ces zones apparaissent en jaune et orange sur les cartes, traduisant des valeurs NDVI moyennes à faibles, indicatrices d'une moindre activité chlorophyllienne. Cette situation peut être attribuée à une combinaison de facteurs, notamment une pluviométrie plus faible, des sols pauvres ou dégradés, ainsi qu'une pression anthropique accrue, notamment due au surpâturage.

La partie sud de la wilaya, quant à elle, montre de vastes zones quasi désertiques, avec des valeurs NDVI très faibles, proches de 0. Ces teintes brunâtres ou grises sur la carte indiquent une couverture végétale très limitée, voire inexistante, typique des environnements arides ou fortement dégradés.

Malgré cette hétérogénéité spatiale, la couverture végétale pour l'année 2021 peut être considérée comme globalement bonne, particulièrement dans les régions forestières du nord, qui jouent un rôle crucial dans la régulation écologique locale. Toutefois, la densité de végétation est nettement moins marquée dans les zones périphériques et au sud, mettant en lumière une vulnérabilité écologique accrue dans ces régions. Cette situation souligne l'importance de mettre en place des actions différenciées de gestion et de restauration écologique en fonction des spécificités spatiales du territoire.

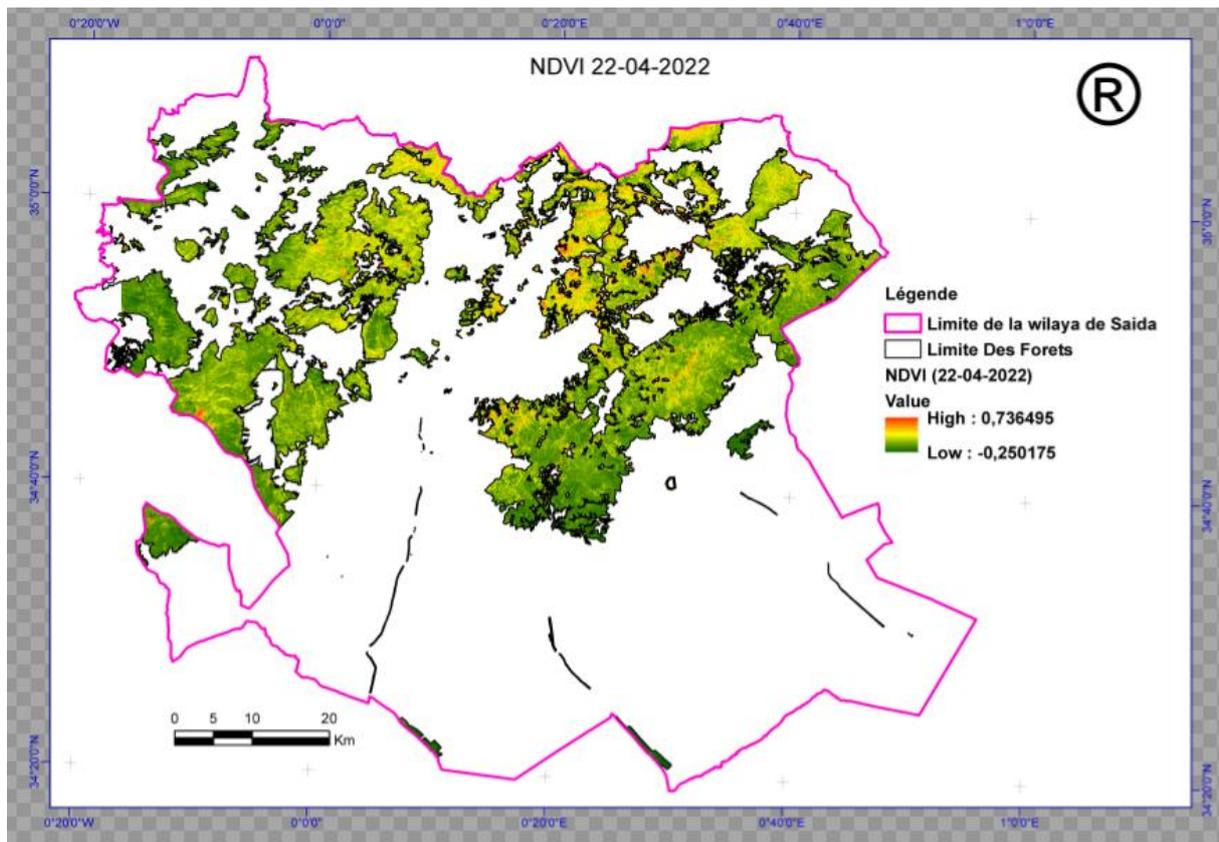


Figure 46 : Carte NDVI – 2022

L'analyse spatio-temporelle des indices de végétation en 2022 montre une évolution contrastée. D'une part, on observe une amélioration relative de la couverture végétale dans certaines zones de la wilaya de Saïda, notamment dans le nord, le centre et une partie du sud. Cette amélioration se manifeste par une extension des zones en vert foncé sur les cartes NDVI, indiquant des zones à forte densité de végétation. Ces régions semblent avoir mieux résisté aux contraintes environnementales ou ont bénéficié d'une certaine régénération naturelle.

Cependant, en dépit de cette extension spatiale localisée, les valeurs maximales de l'indice de végétation (NDVI) montrent une tendance à la baisse progressive entre 2021 et 2022. En effet, les pics de NDVI atteints en 2021 ne sont plus égalés dans les années suivantes, traduisant une diminution globale de la vitalité végétale. Cette régression est attribuable à plusieurs facteurs, au premier rang desquels figurent les conditions climatiques défavorables. Une baisse marquée des précipitations a été observée au cours de cette période, réduisant considérablement la disponibilité en eau, élément essentiel pour la croissance des espèces végétales, en particulier dans les zones semi-arides.

À cela s'ajoutent des facteurs anthropiques aggravants, notamment le surpâturage, qui exerce une pression continue sur les couverts végétaux, empêchant leur régénération, ainsi que les incendies de forêt, qui ont détruit de larges superficies végétalisées, notamment dans les secteurs les plus vulnérables. Ces pressions combinées expliquent la détérioration progressive de l'état de la végétation, en dépit d'une distribution spatiale apparemment plus étendue.

En somme, bien que certains signes d'amélioration soient perceptibles sur certaines zones géographiques, les indicateurs écologiques confirment une dégradation structurelle de la vitalité végétale sur l'ensemble de la période, ce qui souligne l'urgence de mettre en place des mesures de gestion durable et de restauration écologique adaptées aux réalités climatiques et socio-économiques locales.

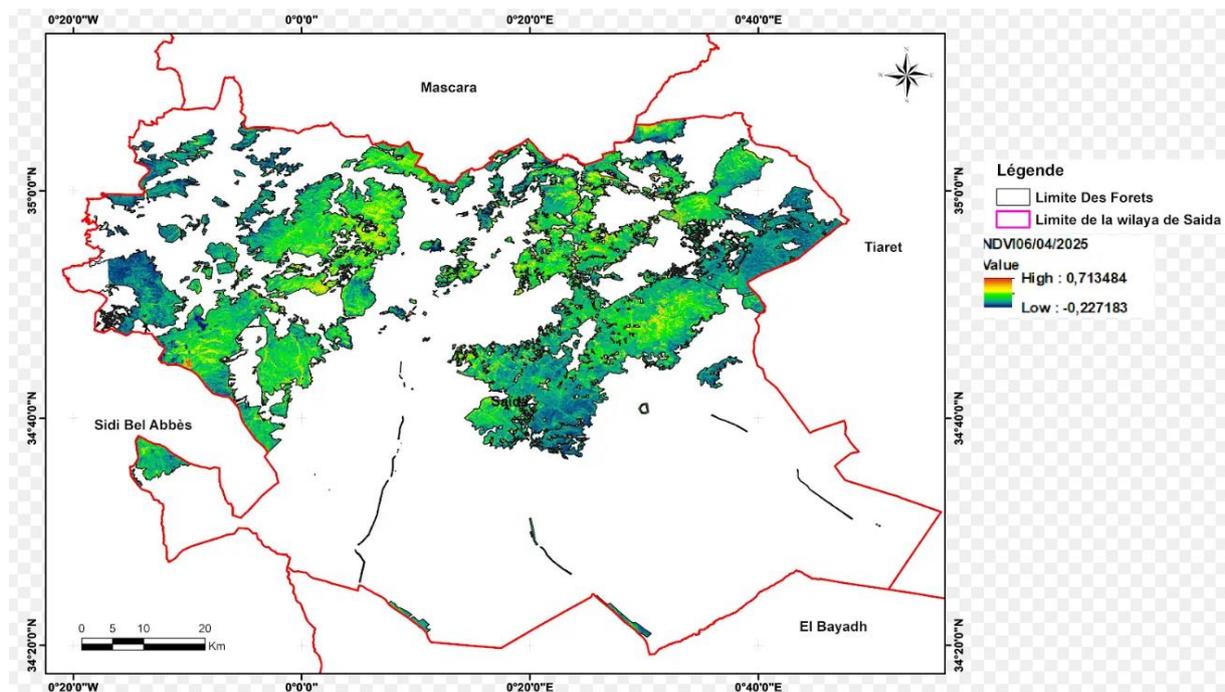


Figure 47 : NDVI 06/04/2025

Tableau 06: Comparaison visuelle entre les indices de végétation (NDVI)

élément	2021	2022	2025	évolution
Zones vertes foncées	Présentes mais limitées au nord 35%	moins étendues et denses 30%	Moins étendues 28%	accroissement notable
Zones jaunes / orange	Plus étendues 40%	Réduites 33%	Peu 28%	Régression du stress végétatif
homogénéité	Moins homogène	moins homogène	Plus moins homogène	Une bas répartition spatiale

L'analyse comparative des images satellitaires et des données sur la couverture végétale révèle une régression notable de la végétation en 2025 par rapport aux années 2021 et 2022 dans la wilaya de Saïda. Cette diminution s'explique en grande partie par des conditions climatiques défavorables, telles qu'une baisse des précipitations, une augmentation des températures moyennes et une plus grande fréquence des périodes de sécheresse. Ces facteurs climatiques ont un impact direct sur la croissance et la régénération des espèces végétales, particulièrement dans les zones steppiques et semi-arides déjà fragilisées.

Par ailleurs, des facteurs anthropiques viennent aggraver cette dégradation. Le sure-pâturage, causé par une pression croissante du cheptel sur les ressources végétales limitées, empêche la régénération naturelle des espèces herbacées et arbustives. De plus, les incendies de végétation, qu'ils soient d'origine naturelle ou liés à des activités humaines (brûlis, négligence, actes volontaires), ont contribué à la destruction d'importantes surfaces forestières. À titre d'exemple, on note une perte estimée à 1 200 hectares dans le secteur A, 980 hectares dans le secteur B, et 1 450 hectares dans le secteur C, soit une perte totale de 3 630 hectares. Ces chiffres illustrent l'ampleur du phénomène et soulignent l'urgence d'une intervention ciblée.

Ces phénomènes, combinés, accélèrent la désertification et mettent en péril les équilibres écologiques locaux ainsi que les moyens de subsistance des populations rurales. Il devient donc essentiel de mettre en œuvre des stratégies de gestion durable des ressources naturelles, incluant la lutte contre le surpâturage, la sensibilisation aux risques d'incendie et la mise en place de programmes de reboisement adaptés aux conditions climatiques locales.

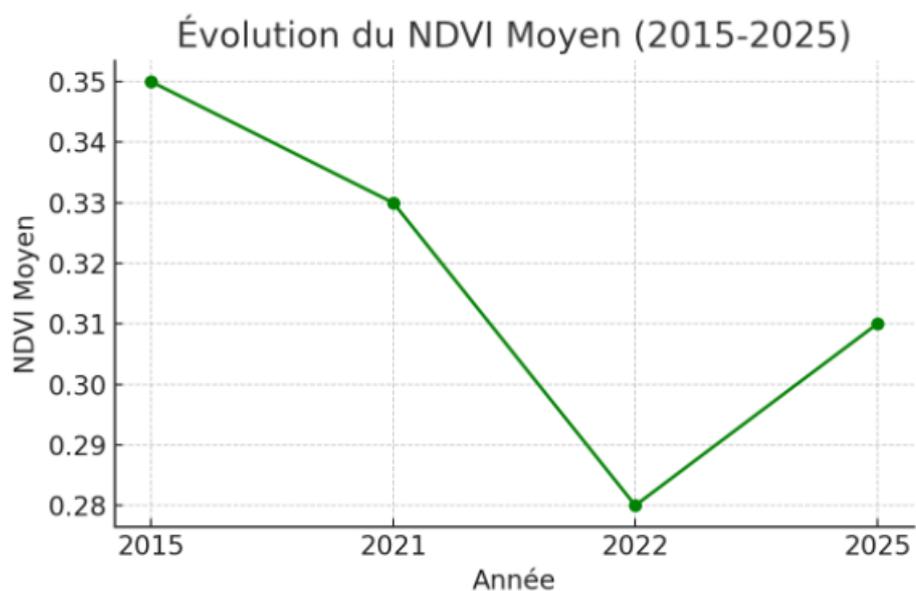


Figure 48 : Évolution temporelle du NDVI moyen dans la région de Saïda.

Tableau 07 : Synthèse des zones dégradées par secteur (2015 – 2022)

Secteur	Surface Totale (ha)	Dégradée 2015 (ha)	Dégradée 2021 (ha)	Dégradée 2022 (ha)	Dégradée 2025 (ha)
Secteur A	1200	150	230	310	350
Secteur B	980	90	140	180	200
Secteur C	1450	220	300	370	400

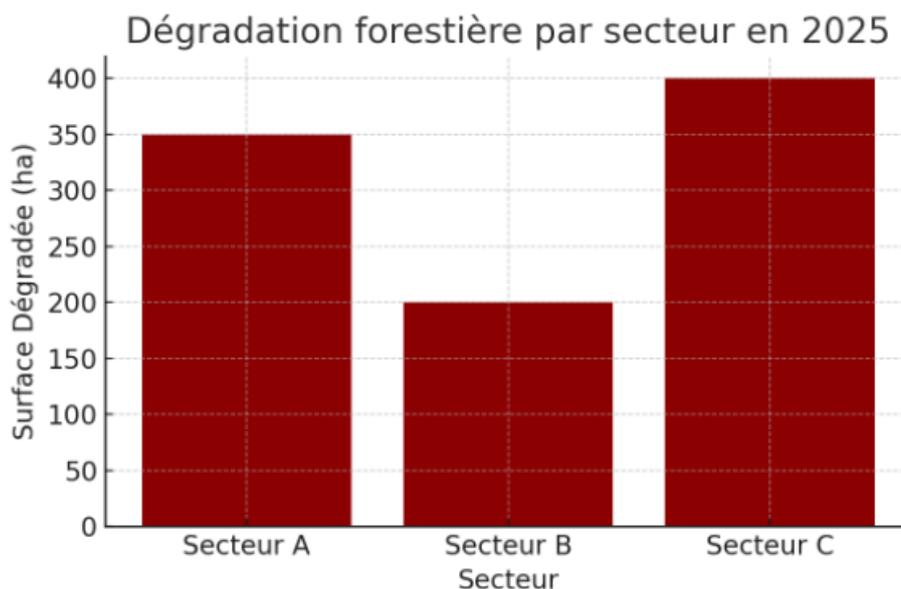


Figure 49 : Surface dégradée par secteur dans la région de Saïda en 2025.

CONCLUSION

La présente étude a permis de démontrer l'importance des outils géomatiques, en particulier les SIG et la télédétection, dans l'analyse de la dynamique spatiotemporelle de la végétation forestière. En se basant sur des données satellites couvrant une période de dix ans, nous avons pu cartographier, quantifier et interpréter les transformations survenues dans le paysage forestier de la région de Saïda. Les résultats ont clairement mis en évidence une régression significative du couvert végétal, en lien avec des facteurs humains tels que la déforestation, le surpâturage, les incendies, mais aussi les effets du changement climatique.

Cette dégradation de l'espace forestier appelle à une réaction urgente des autorités locales et des gestionnaires du territoire. Les cartes générées dans cette étude peuvent servir d'outil d'aide à la décision pour orienter les politiques de reboisement, de protection et de valorisation des forêts. De plus, l'approche méthodologique mise en œuvre ici est facilement reproductible dans d'autres régions confrontées à des problématiques similaires.

En somme, ce mémoire n'est pas seulement une analyse environnementale, mais aussi un plaidoyer pour une gestion durable, intégrée et proactive des ressources naturelles. Il est essentiel d'instaurer une veille écologique continue à travers l'utilisation régulière des technologies spatiales et des systèmes d'information géographique, en intégrant également les acteurs locaux dans une démarche participative. Ce travail ouvre ainsi la voie à de futures recherches interdisciplinaires alliant technologie, écologie et aménagement du territoire.

Référence bibliographiques

- B.N.E.D.R, and bifidobacteria. Food and soil. (Forest soil: properties and process. (1992):EtudedudéveloppementagricoledanslawilayadeSaida.Aménagement des zones forestières et montagne, rapport principal, Tipaza, Algérie
- Meteo Et Climat : Saïda (Algerie) - Quand Partir A Saïda ? (N.D.). Le Planificateur De Voyages.<https://Planificateur.A-Contresens.Net/Afrique/Algerie/WilayaDeSaida/Saida/2482572.Html?Fbclid=Iwar1ozfis1ps5pleckvpt5qew9nr6lwwqcuqkchcg194eppnw1bqpjqtvsdi> .
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). Wiley.
- Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing* (2nd ed.). CRC Press.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective* (2nd ed.). Pearson Education.
- Bonn, F., & Rochon, G. (1992). *Précis de télédétection – Tome 1 : Les concepts de base*. Presses de l'Université du Québec.
- Boudiaf, B. (2013). Les forêts en Algérie : État et perspectives. *Revue Forêt Méditerranéenne*, 34(1), 21–32.
- Sitayeb, T., (2019): TELEDETECTION: Application dans la dynamique du paysage. Lulu, 2019.
- Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche (MADR). (2021). *Rapport annuel sur les ressources forestières en Algérie*.
- Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT). *Base de données et cartes topographiques régionales de Saïda*.
- Direction Générale des Forêts (DGF). (2022). *Atlas forestier national*.
- Giri, C. (Ed.). (2012). *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. CRC Press.
- Copernicus Open Access Hub. (n.d.). Retrieved from <https://scihub.copernicus.eu>
- USGS Earth Explorer. (n.d.). Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov>
- QGIS Documentation. (n.d.). Retrieved from <https://docs.qgis.org>
- WorldClim. (n.d.). Retrieved from <https://www.worldclim.org>
- FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fensholt, R., et al. (2012). Greenness in semi-arid areas across the globe 1981–2007—An Earth Observing Satellite based analysis of trends and drivers. *Remote Sensing of Environment*, 121, 144–158.

Benabdeli, K. (2000). La dégradation des ressources naturelles et les politiques de développement durable en Algérie. *Options Méditerranéennes. Série B, Études et Recherches

[Copernicus Data Space Ecosystem | Europe's eyes on Earth](#)