

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de TLEMCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Département des ressources forestières



MEMOIRE

Présenté par

SAHNOUNE Zehor Rabéa

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En FORESTERIE

Option : Protection des forêts

Thème

**Inventaire cartographique de l'occupation du sol
du Parc National de Tlemcen, approche
géomatique pour une stratégie de protection**

Soutenu le 29 /06/2026, devant le jury composé de :

Président	M. HADDOUCHE Driss	Professeur	Université de Tlemcen
Encadreure	M. ABDELBAKI Amina	MAA	Université de Tlemcen
Examinatrice	M. MEDJAHDI-	Professeur	Université de Tlemcen
	LETREUCH-BELAROUCI Assia		

Année universitaire : 2025/2026

Résumé :

Ce travail de recherche démontre la puissance de l'approche géomatique à travers l'élaboration d'un inventaire cartographique précis de l'occupation du sol au sein du Parc National de Tlemcen, visant à définir une stratégie de protection rigoureuse. Sur le plan méthodologique, la démarche exploite le potentiel analytique des technologies et données géospatiales *Open Source*. Le paysage est largement dominé par les formations forestières et les maquis, qui couvrent plus de 73 % de la superficie totale, assurant un rôle écologique majeur. L'empreinte anthropique est principalement marquée par l'activité agricole (14,41 %), confirmant la vocation rurale de la zone, tandis que l'artificialisation reste très limitée (03,26 % de bâtis). Le défi majeur réside dans la mise en œuvre d'une planification spatiale rigoureuse capable de concilier le développement socio-économique et la préservation durable des écosystèmes naturels.

Mots-clés : Occupation du sol, cartographie, protection, Parc National de Tlemcen.

Cartographic inventory of land cover in the Tlemcen National Park: a geomatic approach for a protection strategy.

Abstract : This research work demonstrates the power of the geomatic approach through the development of a precise cartographic inventory of land cover within the Tlemcen National Park, aiming to define a rigorous protection strategy. Methodologically, the approach leverages the analytical potential of Open Source geospatial technologies and data. The landscape is largely dominated by forest formations and shrublands (maquis), which cover more than 73% of the total area, playing a major ecological role. The anthropogenic footprint is mainly marked by agricultural activity (14.41%), confirming the rural nature of the area, while urbanisation remains very limited (3.26% of built-up areas). The major challenge lies in implementing rigorous spatial planning capable of reconciling socio-economic development with the sustainable preservation of natural ecosystems.

Keywords : Land cover, mapping, protection, Tlemcen National Park.

الجرد الكارتوغرافي لغطاء الأرض في الحظيرة الوطنية لتلمسان: مقارنة جيوماتيكية من أجل استراتيجية حماية

ملخص: يبرز هذا العمل البحثي قوة المقاربة الجيوماتيكية من خلال إعداد جرد كارتوغرافي دقيق لغطاء الأرض داخل الحظيرة الوطنية لتلمسان، بهدف تحديد استراتيجية حماية صارمة. من الناحية المنهجية، يستغل هذا المسعى الإمكانيات يهيمن على المشهد الطبيعي بشكل كبير. (Open Source) التحليلية للتكنولوجيات والبيانات الجيومكانية مفتوحة المصدر التشكيلات الغابية والأحراش، والتي تغطي أكثر من 73% من المساحة الإجمالية، مما يضمن دوراً بيئياً رئيسياً. في المقابل، تظهر البصمة البشرية بشكل أساسي من خلال النشاط الفلاحي (14.41%)، وهو ما يؤكد الطابع الريفي للمنطقة، في حين يظل التوسع العمراني محدوداً للغاية (3.26% من المساحات المبنية). ويكمن التحدي الأكبر في تنفيذ تخطيط مجالي صارم. قادر على التوفيق بين التنمية الاقتصادية والاجتماعية والحفاظ المستدام على النظم البيئية الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: غطاء الأرض، الكارتوغرافيا، الحماية، الحظيرة الوطنية لتلمسان

Remerciement

*Je remercie du fond du cœur **Dieu le Tout-Puissant**, qui a apaisé mon cœur dans les moments de doute, et qui m'a donné la santé, la patience et la force de continuer ce long parcours. Sans Sa grâce, Sa lumière et Sa bénédiction, rien de tout cela n'aurait été possible.*

*Mes remerciements les plus sincères et les plus respectueux s'adressent à ma promotrice, **Madame RABAH-FISSA Amina née ABDELBAKI**, pour avoir guidé ce travail avec une bienveillance et une distinction remarquable. Je lui exprime ma profonde gratitude pour son soutien indéfectible, ses encouragements constants et sa précieuse disponibilité. Malgré la rigueur de ses charges et un emploi du temps souvent surchargé, elle a su faire preuve d'un sérieux exemplaire, d'une infinie patience et d'une immense gentillesse à mon égard. Collaborer avec une enseignante aussi remarquable fut un privilège, confirmant en tout point qu'elle incarne la promotrice idéale.*

*Mes remerciements s'adressent également à **Monsieur HADDOUCHE Driss**, pour m'avoir fait l'immense honneur d'accepter la présidence de mon jury de soutenance. C'est un privilège et un immense plaisir de savoir mon travail soumis à l'appréciation d'un enseignant de sa distinction et de sa valeur. Je le remercie chaleureusement pour le temps qu'il consacre à l'évaluation de ce projet.*

*Ma profonde gratitude va de même à **Madame MEDJAHDI-LETREUCH-BELAROUCI Assia**, pour avoir si gentiment accepté d'examiner mon travail. C'est un réel plaisir et un honneur de présenter ce projet devant elle, et je la remercie chaleureusement pour le temps et l'intérêt qu'elle accorde à l'évaluation de ce mémoire. Je mesure pleinement la chance qui est la mienne aujourd'hui d'évoluer devant un jury d'une telle qualité.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à celui que nous considérons tous comme le père de la foresterie au sein de notre département, **Monsieur BOUHRAOUA Rachid Tarik**. Un immense merci pour m'avoir accompagnée et guidée sur le terrain. Votre soutien spontané et désintéressé a toujours devancé mes besoins. Vous êtes une personne en or, d'une générosité rare, et je m'estime infiniment chanceuse d'avoir tant appris aux côtés d'un si grand savoir.*

*Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à notre chef de département, **Monsieur BENSENANE Bachir**, pour son soutien constant et sa bienveillance. Je lui suis profondément reconnaissante de m'avoir encouragée et convaincue de persévérer dans cette spécialité, malgré les contraintes et les doutes que j'ai pu traverser. Un grand merci pour son*

dévouement. Monsieur, votre sérieux est indéniablement votre signature au sein de ce département.

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à **Madame Khelladi Meriem**, inspecteur chef au sein du Parc National de Tlemcen, pour son aide précieuse et ses conseils avisés tout au long de mon stage pratique. Sa disponibilité, son expertise et son accompagnement constant ont été des atouts majeurs dans la réussite de ce travail, et je la remercie chaleureusement pour sa générosité professionnelle.

Ma reconnaissance s'adresse également à l'ensemble de nos chers **enseignants**, ainsi qu'aux membres de la **scolarité** et du personnel administratif du département des ressources forestières. Merci pour votre dévouement quotidien, votre encadrement et votre gestion exemplaire. Sans votre soutien constant et votre présence à nos côtés, je ne serais jamais là où je suis aujourd'hui.

Un grand merci est également adressé à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur pierre à l'édifice de ce mémoire. Que ce soit par leur expertise technique, leurs précieux conseils sur le terrain, ou simplement par leurs encouragements constants, leur soutien a été un moteur indispensable à la réussite de ce travail. Que chacun trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Dédicace

À moi-même,

À la jeune fille qui a tant pleuré en secret, qui a porté des charges trop lourdes et qui a traversé ce long chemin la douleur au cœur. Derrière chaque mot de ce mémoire, il y a une nuit difficile, un sacrifice et une blessure que j'ai dû soigner toute seule, à force de patience. Je m'offre cette dédicace pour me dire merci. Merci à mon cœur d'avoir tenu bon quand tout me poussait à abandonner. Ce diplôme n'est pas juste un papier, c'est ma plus belle revanche sur la souffrance. C'est la preuve que je suis forte, et le début d'une vie plus douce, plus lumineuse, et remplie de la paix que je mérite tant.

À mon cher père, BELKACEM

Le premier amour de ma vie, mon guide, mon tout et la lumière qui éclaire mon chemin. À toi, mon plus grand supporter, qui as toujours été mon ami avant d'être mon père. Merci d'avoir partagé mes moindres moments, d'avoir été mon soutien dans toutes les situations, et de m'avoir toujours poussée à donner le meilleur de moi-même et à étudier encore plus. Tu as fait l'impossible pour que je sois à l'aise et que je ne manque jamais de rien. C'est grâce à tes sacrifices que je peux aujourd'hui terminer mes études en excellence. Sans toi et tes encouragements, je ne serais jamais arrivée là où je suis. Tu représentes le monde entier pour moi, et je me sens tellement chanceuse d'avoir un père comme toi. Que Dieu te préserve, te garde pour moi et t'accorde une longue vie pleine de santé, afin que je puisse continuer à te rendre fier.

À ma tendre mère, FATIMA ZAHRA OUISSAM

Mes yeux avec lesquels je vois le monde, ma fierté absolue et ma plus précieuse amie. À toi, maman, qui as sacrifié ta jeunesse, tes rêves et tant enduré dans l'ombre pour que je puisse briller aujourd'hui. Tu es mon étreinte chaleureuse, ce havre de paix unique où tous mes problèmes s'effacent par un simple câlin. Dans chaque tempête et chaque moment difficile de ma vie, tu as été mon refuge et ma force. Tu as tout donné pour vivre et témoigner de ce jour, le jour de mon succès. Tu es une femme et une mère unique au monde, irremplaçable, et le ciel m'a bénie en me donnant une maman comme toi, dont le regard déborde de tendresse et de joie. Je ne pourrai jamais réparer la dette de tes immenses efforts, mais je te fais la promesse solennelle de passer ma vie à te rendre fière. Que Dieu te préserve, illumine tes jours et te garde à jamais mon plus beau trésor.

À ma chère sœur RAMA et mon cher frère AHMED

Mes piliers, mes complices, et ceux que je considère profondément comme mes propres enfants. À vous deux, qui m'avez enveloppée de votre amour inconditionnel et de votre soutien sans faille tout au long de ce long chemin. Merci pour votre patience infinie envers moi, et d'avoir toujours été là pour me tendre la main et m'apaiser chaque fois que je me sentais dépassée ou en détresse. Votre présence à mes côtés est un cadeau précieux qui a rendu ce parcours plus doux. Je vous dédie ce succès en espérant être toujours à la hauteur de votre amour. Que Dieu vous protège, éclaire votre avenir et vous accorde une vie pleine de bonheur et de réussite.

À ma chère tante, NADJAT

*Une personne si précieuse qui occupe une place unique et privilégiée dans ma vie. À toi, que je considère profondément comme ma deuxième maman. Merci d'avoir toujours été à mes côtés et de m'avoir soutenue à chaque fois que le chemin devenait difficile. Tu as été ma source d'énergie positive, mon refuge et mon soutien inconditionnel dans les moments de doute. Ta bienveillance et ton amour ont été un moteur essentiel pour la réussite de ce travail. Que Dieu te préserve, t'accorde une santé de fer et te comble de bonheur. Sans oublier son fils **FAROUK**, que je considère en tout point comme mon propre frère. Merci pour ta présence, ta complicité et d'avoir toujours été là pour moi au fil des années. Et son mari **KADER**, un homme d'une immense gentillesse, qui mérite tout le bonheur du monde. Merci pour votre bienveillance constante.*

À la mémoire de ma regrettée grand-mère, ZHOR

L'absente la plus présente, celle qui s'en est allée trop tôt sans pouvoir assister à ma soutenance. Pourtant, « Mée », tu étais la première à t'enthousiasmer pour mon avenir, impatiente de vivre chaque petit détail de mon succès. Tu as laissé un vide immense dans mon âme, mais tu resteras à jamais gravée dans mon cœur et dans ma mémoire. Je sais que là où tu es aujourd'hui, tu me regardes et tu es fière de moi, car j'étais ta petite-fille préférée, ta protégée. Regarde-moi aujourd'hui : je suis ZEHOR la diplômée, exactement comme tu l'as toujours rêvé. Mon seul et plus cher regret est que tu ne sois pas là physiquement à mes côtés pour partager cette joie. Tu me manques tellement... Que Dieu t'accorde Sa sainte miséricorde, t'ouvre les portes de Son vaste Paradis et apaise mon cœur. Ce succès est aussi le tien.

À mon cher grand-père HOCINE

Un homme de sagesse et de valeurs, pour qui je prie aujourd'hui du fond du cœur.

Je te souhaite de tout mon cœur un prompt rétablissement et une longue vie bénie. Merci infiniment pour la richesse de tes conseils, de tes consignes et de tes précieux enseignements qui me guident chaque jour pour réussir, tant sur le plan personnel que professionnel. Ce travail est aussi le fruit de ta guidance. Que Dieu apaise tes maux, te préserve et te garde à nos côtés en parfaite santé.

À ma chère amie et sœur de cœur, ZINEB

Ma sœur que ma mère n'a pas mise au monde, la plus douce et la plus précieuse des amies. À toi, que le destin m'a fait la grâce de mettre sur mon chemin. Tu as toujours été là pour moi, présente dans les moments difficiles bien avant les moments faciles, et ce à chaque instant de ma vie. Tu es mon bras droit, ma confidente et ma vraie amie, celle que j'aime et que j'apprécie du plus profond de mon cœur. Merci d'avoir partagé les joies et les peines de ce long parcours à mes côtés. Je te dédie ce succès en témoignage de notre amitié éternelle. Que Dieu te protège, éclaire ton avenir et préserve notre lien à jamais.

À mes chers amis et compagnons de route

*À mes formidables amies de la promotion de **Master 2 en Foresterie (2024 /2026)**, avec qui j'ai partagé tant de longues journées d'études, de projets et de précieux moments d'entraide.*

*Sans oublier mes chers amis de **Licence en Foresterie, KHALED et SOUHILA (2021/2024)**, repères précieux de mes premiers pas universitaires. Merci pour les rires, le soutien partagé et la beauté de notre parcours. Je vous souhaite à tous une vie remplie de succès, d'épanouissement et tout le bonheur du monde.*

À tous mes proches et à ceux qui me sont chers

À tous les membres de ma famille, mes proches, mes camarades et mes amis, qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à m'accompagner, à me soutenir et à me porter jusqu'à cette position aujourd'hui. Votre bienveillance, vos encouragements et votre présence tout au long de ce parcours ont été une source de motivation inestimable. Je vous dédie ce travail en signe de profonde gratitude et d'affection. Que Dieu vous protège et vous accorde à tous le bonheur et la réussite.

ZEHOR

Table des matières

Résumés	
Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des photos	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I : Concept de l'occupation du sol et approche géomatique	
I.1. Cartographie	4
I.1.1. Définitions	4
I.2. Cartographie de l'occupation du sol	5
I.2.1. Carte	5
I.2.2. Les éléments d'une carte	5
I.3. Approche géomatique appliquée à la cartographie de l'occupation du sol	6
I.3.1. Télédétection spatiale	6
I.3.2. Systèmes d'Information Géographique (SIG)	7
I.3.2.1. Caractéristiques des SIG	8
I.3.2.2. Composants d'un SIG	8
I.3.2.3. Organisation des données spatiales dans un SIG	9
I.3.2.3.1. Format raster	9
I.3.2.3.2. Format vecteur	9
I.3.3. Apport des logiciels libres et open source	11
I.4. Cartographie de l'occupation du sol comme outil stratégique de protection	11
I.4.1. L'inventaire cartographique : Établissement d'un état des lieux	11
Conclusion du chapitre	12
Chapitre II : Description du milieu physique	
II.1. Choix de la zone d'étude	14
II.2. Présentation du Parc National de Tlemcen PNT	14
II.2.1. Situation administrative	15
II.2.2. Situation géographique	15

II.2.3. Géomorphologie	17
II.2.3.1. Altitude	17
II.2.3.2. Pentes	19
II.2.3.3. Expositions	20
II.2.4. Géologie	21
II.2.5. Pédologie	22
II.2.6. Hydrographie	23
II.2.6.1. Réseau hydrographique	23
II.2.6.1.1. Réseau septentrional (Nord)	23
II.2.6.1.2. Réseau méridional (Sud)	24
II.2.6.2. Sources d'eau	24
II.2.6.3. Oueds	24
II.2.6.4. Barrage El Meffrouche	25
II.2.7. Forêts dans le territoire du PNT	25
II.2.7.1. Forêt domaniale de Zariffet	26
II.2.7.2. Forêt domaniale de Tlemcen	26
II.2.7.3. Forêt domaniale de Hafir	27
II.2.7.4. Forêt domaniale d'Ifri (Canton des Cascades)	28
II.2.8. Faune	28
II.2.9. Voies de communication	29
II.2.9.1. Accès Nord	29
II.2.9.2. Accès Est	29
II.2.9.3. Accès Sud	29
II.2.9.4. Accès Ouest	29
II.10. Caractéristiques climatiques	29
II.10.1. Précipitations	30
II.10.2. Régime saisonnier	31
II.10.3. Températures	31
II.11. Synthèse climatique	33
II.11.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	33
II.11.2. Climagramme d'EMBERGER	34
II.12. Aspect socio-économique	36

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Outils et matériel utilisés	39
III.1.1. Outils utilisés	39
III.1.1.1. Mapinfo Pro	40
III.1.1.2. SAS. Planet	41
III.1.1.3. Google Earth Pro 2026 (version 7.3)	42
III.1.1.4. NASA POWER 2026	43
III.1.1.5. Microsoft Excel 2021	44
III.1.2. Matériel utilisé	44
III.1.2.1. G.P.S « Global Positioning System »	45
III.1.2.2. Cartes topographiques	45
III.1.2.3. Appareil photos numérique	46
III.1.2.4. Ordinateur portable	46
III.2. Méthodologie du travail	47
III.2.1. Acquisition des données (Sur SAS.Planet)	48
III.2.1.1. Choix de la source des données	48
III.2.1.2. Extraction et téléchargement des GéoTIFFs	48
III.2.1.3. Exportation des GéoTIFFs	50
III.2.2. Traitement numérique (MapInfo)	50
III.2.2.1. Intégration et affichage des GéoTIFFs	50
III.2.2.2. Définition des classes d'occupation du sol et digitalisation	51
III.2.2.3. Chargement de la base des données	54
III.2.3. Validation, calculs et mise en page finale	54
III.2.3.1. Campagne de vérification sur le terrain	54
III.2.3.2. Analyse des données et calcul des superficies	54
III.2.3.3. Mise en page de la carte	55

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Analyse de l'occupation du sol par classe	57
IV.1.1. Formations végétales	57
IV.1.2. Espaces anthropisés et de production	58
IV.1.3. Réseaux de transport	59
IV.1.4. Infrastructures de défense et les éléments physiques	60

IV.2. Calcul des superficies par classe d'occupation	61
IV.3. Validation terrain des classes d'occupation du sol	63
IV.4. Mise en page de la carte finale de l'occupation du sol	63
Discussion générale	
Conclusion	
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Chapitre I : Concepts de l'occupation du sol et approche géomatique

Figure I.01 : SIG, un environnement de traitement de l'information spatiale au niveau opérationnel	07
Figure I.02 : Principales fonctionnalités d'un SIG	08
Figure I.03 : Différentes composantes d'un SIG	09
Figure I.04 : Organisation en couches de l'information géographique utilisée	10

Chapitre II : Description du milieu physique

Figure II.01 : Découpage administratives du Parc National de Tlemcen	15
Figure II.02 : Situation géographique du Parc National de Tlemcen	16
Figure II.03 : Carte altimétrique du PNT	19
Figure II.04 : Carte des pentes du PNT	20
Figure II.05 : Carte des expositions du PNT	21
Figure II.06 : Carte géologique du PNT	21
Figure II.07 : Carte pédologique du PNT	23
Figure II.08 : Carte du réseau hydrographique du PNT	26
Figure II.09 : Carte du réseau routier du PNT	30
Figure II.10 : précipitations moyennes mensuelles (1981-2025)	32
Figure II.11 : variations des températures mensuelles (1981-2025)	33
Figure II.12 : Diagramme ombrothermique du PNT (1981-2025)	35
Figure II.13 : Climagramme pluviométrique d'Emberger (1981-2025)	37

Chapitre III : Matériels et méthodes

Figure III.1 : Logiciel Mapinfo	41
Figure III.2 : SAS. Planet	41
Figure III.3 : Interface du logiciel SAS. Planet	42
Figure III.4 : Google Earth Pro	43
Figure III.5 : NASA POWER 2026	43
Figure III.6 : Microsoft Excel 2021	44

Figure III.7 : Cartes topographiques couvrant le PNT	45
Figure III.8 : Organigramme méthodologique	47
Figure III.9 : Délimitation du PNT (SAS.Planet)	48
Figure III.10 : Extraction des GéoTIFF	49
Figure III.11 : Zone de transition entre GéoTIFFs	49
Figure III.12 : Exportation des données	50
Figure III.13 : Mosaïque des tables sous MapInfo	51
Figure III.14 : Classes d'occupation du sol (couches vecteurs)	52
Figure III.15 : Digitalisation de la classe agriculture sous MapInfo	52
Figure III.16 : Visualisation tridimensionnelle du PNT sous Google Earth Pro	53
Figure III.17 : Couverture vectorielle du PNT	53
Figure III.18 : Mise en page de la carte d'occupation du sol sous MapInfo	55
 Chapitre IV : Résultats et discussions	
Figure IV. 01 : Occupation du sol du PNT en pourcentage (%)	62

Liste des photos

Chapitre II : Description du milieu physique

Photo II. 01 : Siège administratif du Parc National de Tlemcen	14
Photo II. 02 : Forêt domaniale de Zariffet	26
Photo II. 03 : Forêt domaniale de Tlemcen	27
Photo II. 04 : Forêt domaniale de Hafir	27
Photo II. 05 : Forêt domaniale d'Ifri	29

Chapitre III : Matériels et méthodes

Photo III.01 : GPS utilisé	45
Photo III.02 : Appareil photos numérique utilisé	46

Chapitre IV : Résultats et discussions

Photo IV. 01 : classe « Forêt »	57
Photo IV. 02 : classe « Maquis »	58
Photo IV. 03 : classe « Agriculture »	58
Photo IV. 04 : classe « Bâtis »	59
Photo IV. 05 : classe « Voies principales et Réseau Routier »	59
Photo IV. 06 : classe « Sol nu »	60

Liste des tableaux

Chapitre II : Description du milieu physique

Tableau II. 01 : Répartition des superficies par commune dans le PNT	15
Tableau II. 02 : Principaux massifs montagneux du PNT	18
Tableau II. 03 : Principaux oueds traversant le PNT	25
Tableau II. 04 : Caractéristiques géographiques de la station de référence « Zenata »	31
Tableau II. 05 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles « 1981-2025 »	31
Tableau II. 06 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (1981-2025)	33
Tableau II. 07 : Les précipitations et les températures mensuelles (1981-2025)	34

Chapitre IV : résultats et discussions

Tableau II. 01 : Superficies et pourcentages des classes d'occupation du sol.	60
--	----

Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
AEP	Alimentation en Eau Potable
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
FOSS	Free and Open Source Software
GCOS	Global Climate Observing System
GeoTIFF	Geographic Tagged Image File Format
GPS	Global Positioning System
KML	Keyhole Markup Language
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ONM	Office National de la Météorologie
PG.PNT	Plan de Gestion du Parc National de Tlemcen
PNT	Parc National de Tlemcen
RAM	Random Access Memory
RN	Route Nationale
SIG	Système d'Information Géographique
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
SIRS	Système d'Information à Référence Spatiale
SQL	Structured Query Language
SSD	Solid State Drive
THR	Très Haute Résolution
VCE	Variable Climatique Essentielle
°C	Degré Celsius
ha	Hectare
km	Kilomètre
km²	Kilomètre carré
m	Mètre
m²	Mètre carré
m³	Mètre cube
Mm	Millimètre
%	Pourcentage
WGS	World Geodetic System
UTM	Universal Transverse Mercator

*Introduction
générale*

En Algérie, plus grand pays d'Afrique, les parcs nationaux constituent le pilier de la stratégie nationale de conservation de la biodiversité et de préservation des écosystèmes forestiers fragiles (**Sekkoum et Maachou, 2018**). Soumis à un cadre juridique protecteur, ces espaces protégés abritent un patrimoine biologique d'une richesse exceptionnelle, caractérisé par un taux d'endémisme élevé et des formations végétales d'une grande valeur écologique. Au-delà de leur rôle de sanctuaires naturels, ils participent activement à la régulation climatique, à la protection des sols contre l'érosion et au maintien des services écosystémiques essentiels (**DGF, 2017 ; Meddour-Sahar, 2014**).

Parmi ces territoires d'exception, le Parc National de Tlemcen (PNT), qui se distingue comme un patrimoine naturel et écologique majeur, reconnu pour la diversité de ses paysages et sa richesse floristique. Cependant, cet écosystème remarquable est aujourd'hui fortement exposé à de multiples pressions anthropiques, telles que le surpâturage, les incendies de forêt récurrents et l'extension urbaine périphérique, des facteurs structurels qui se trouvent accentués par les effets du changement climatique en zone semi-aride (**Bouhraoua, 2013**). Face à ces mutations rapides qui menacent la résilience de la couverture végétale, la mise en place d'un suivi rigoureux s'avère indispensable pour orienter les actions de conservation.

La gestion durable et la protection des ressources du PNT se heurtent toutefois à un obstacle méthodologique majeur : le manque de données cartographiques actualisées et centralisées sur l'état de la couverture végétale. Pour agir efficacement contre les dynamiques de dégradation et planifier des aménagements sylvo-pastoraux adaptés, l'accès à une cartographie précise, fiable et récente de l'occupation du sol s'impose comme une nécessité absolue (**Bensaid, 2006**). Sans une connaissance spatiale rigoureuse des différentes classes végétales et des zones anthropisées, toute stratégie de protection à long terme demeure difficilement opérationnelle sur le terrain.

Pour répondre à cette problématique, la présente étude se fixe comme objectif principal de réaliser un inventaire cartographique complet de l'occupation du sol du PNT par le biais des outils géomatiques. L'analyse vise à fournir une base de données géographique de référence indispensable pour concevoir une stratégie de protection efficace. Ces outils modernes permettent non seulement de cartographier de vastes étendues forestières d'accès parfois difficile, mais offrent également une structure de données idéale pour le suivi temporel et la modélisation, éléments fondamentaux pour anticiper les risques de dégradation au sein du parc.

Le recours aux technologies géomatiques, combinant la télédétection spatiale et les Systèmes d'Information Géographique (SIG), se justifie par leur rapidité d'exécution, leur haute précision géométrique et leur puissance d'analyse spatiale complexe, surpassant ainsi les limites des approches d'inventaire traditionnelles (**Bonn & Rochon, 1992 ; Girard & Girard, 2010**).

Afin de développer cette démarche, le présent mémoire est structuré en quatre chapitres principaux :

- Un premier chapitre pose le cadre théorique à travers les concepts généraux sur l'occupation du sol et l'approche géomatique appliquée à la foresterie ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la description détaillée du milieu physique caractérisant le PNT ;
- Le troisième chapitre expose de manière rigoureuse le matériel utilisé ainsi que l'ensemble de la démarche méthodologique adoptée ;
- Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus et développe leur discussion, en mettant en évidence : la carte finale de l'occupation du sol, l'analyse des classes et l'identification des zones à enjeux.

Chapitre I :
Concepts de l'occupation du
sol et approche géomatique

La protection des écosystèmes naturels, particulièrement au sein d'espaces protégés complexes tels que le Parc National de Tlemcen (PNT), exigent une connaissance précise et spatialisée du territoire. C'est dans cette perspective que ce premier chapitre pose les fondements théoriques et conceptuels indispensables à la démarche globale de ce travail. Les notions clés de la cartographie, de l'occupation du sol et des cartes thématiques y sont d'abord définies. Par la suite, l'accent est mis sur l'apport des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de l'approche géomatique. Ces technologies modernes de numérisation, d'analyse et de gestion des données spatiales ne se limitent plus à la simple représentation graphique, mais s'imposent comme de véritables instruments d'aide à la décision, essentiels pour concevoir une stratégie de protection durable.

I.1. Cartographie

I.1.1. Définitions : Selon **Poidevin (2007)**, la cartographie peut se définir comme l'ensemble des études, des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration de cartes, de plans et d'autres modes d'expression.

Elle repose sur trois dimensions fondamentales :

- **Une science :** Ses bases sont mathématiques. Elle s'appuie sur la géodésie pour déterminer la forme et les dimensions de la terre, et utilise les systèmes de projection pour reporter sa surface courbe sur un plan (carte) tout en garantissant la précision et la fiabilité des données ;
- **Un art :** En tant que mode d'expression graphique, la carte doit être esthétique, claire et lisible. Elle exige des choix de représentation rigoureux (sémiologie graphique) pour optimiser les capacités visuelles et la compréhension du lecteur ;
- **Une technique :** Elle implique l'utilisation d'outils et de méthodes en constante évolution (photographies aériennes, imagerie satellite, outils informatiques) qui ont profondément modernisé la filière.

D'après la même source (**Poidevin, 2007**), la cartographie a pour but la représentation de la terre ou d'une autre planète sous une forme géométrique et graphique grâce à la conception, la préparation et la réalisation de cartes.

I.2. Cartographie de l'occupation du sol

La cartographie de l'occupation du sol est une démarche fondamentale de l'analyse spatiale qui consiste à identifier, classer et représenter graphiquement les différents types de couvertures physiques et d'usages des terres d'un territoire donné (tels que les forêts, les zones agricoles, les milieux urbains ou les plans d'eau...). S'appuyant aujourd'hui massivement sur les outils géomatiques, notamment la télédétection par imagerie satellite et les Systèmes d'Information Géographique (SIG), elle permet de traduire la complexité du paysage en données numériques structurées.

L'occupation des sols (land cover en anglais) décrit la couverture bio-physique de la surface des terres émergées. Elle est identifiée par le programme *Global Climate Observing System* (GCOS) comme l'une des cinq Variables Climatiques Essentielles (VCE) hautement prioritaires (GCOS, 2016).

Les cartes décrivant l'occupation des sols sont de puissants outils scientifiques et décisionnels. Elles sont utilisées dans des travaux de recherche comme entrée des systèmes de modélisation des cycles de l'eau et du carbone ou encore pour les bilans d'énergie (Claverie et al., 2012 ; Houghton et al., 2012).

I.2.1. Carte

Poidevin (2007) définit la carte comme : "Objet très ancien, plus ou moins complexe, aux multiples facettes et utilisations, on ne peut donner une seule définition de la carte. Toutes les cartes ont néanmoins un point commun, celui de représenter une portion de l'espace terrestre".

Autres définitions de la carte :

- **Joly (1976)** : Une représentation géométrique, plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface terrestre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle échelle ;
- **Mériaux et Frayssinet (2019)** : Une représentation graphique conventionnelle, sur un support (papier, numérique... etc.), de données concrètes (routes, habitations, végétation...) ou abstraites (densité de population, revenus, pluie, bruit) localisées sur le globe ou une portion de l'espace terrestre.

I.2.2. Les éléments d'une carte

Une carte est composée d'éléments nécessaires à sa compréhension :

- Le titre ;
- La légende ;
- L'échelle ;
- L'orientation ;
- Les sources ;
- La projection.

I.3. Approche géomatique appliquée à la cartographie de l'occupation du sol

Selon **Genevois (2008)**, la géomatique (l'utilisation des technologies numériques pour acquérir, traiter, visualiser et communiquer l'information géographique) comprend de très nombreux domaines d'application dans le monde professionnel. L'usage de ces technologies (système de localisation GPS, globes virtuels sur Internet, systèmes d'information géographique...) commence à se diffuser dans la vie quotidienne. **Collet (2004)** souligne que la géomatique est un domaine méthodologique qui évolue dans un contexte que l'on peut structurer en trois composantes : celle du processus de traitement de l'information, celle des niveaux d'intervention de la problématique spatiale et celle du champ d'application. Cette approche géomatique combinée constitue un outil décisionnel indispensable pour anticiper les dégradations environnementales et planifier une stratégie de protection durable du territoire.

I.3.1. Télédétection spatiale

Selon **Eugenio González et al. (2010)**, la télédétection spatiale "Remote Sensing" est une discipline scientifique qui intègre un large éventail de compétences et de technologies utilisés pour l'observation, l'analyse et l'interprétation des phénomènes terrestres et atmosphériques qui utilise l'énergie électromagnétique pour obtenir de l'information de la surface terrestre et de l'atmosphère environnante sans contact direct. Ses principales sources sont les mesures et les images obtenues à l'aide de plateformes aériennes et spatiales.

Elle est indispensable pour cartographier l'occupation du sol, car elle permet d'observer régulièrement la terre (à distance) sans contrainte d'accès au terrain. Grâce aux images satellites, elle aide à identifier facilement les différents milieux (forêts, cultures, zones urbaines) et à suivre leur évolution dans le temps. C'est donc un excellent outil d'alerte pour repérer les changements et prendre les bonnes décisions pour protéger les écosystèmes menacés.

I.3.2. Systèmes d'Information Géographique (SIG)

Selon **Freycon et al., (1996)**, la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (1989) définit un S.I.G. comme étant un : "Système informatique remettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace".

Collet (2004) ajoute que les SIG ou dénommés aussi Systèmes d'Information à Référence Spatiale (SIRS) sont l'expression de la géomatique au niveau opérationnel. Ils constituent l'environnement qui rend possible la démarche méthodologique spécifique à l'information à référence spatiale. On retrouve donc tout naturellement dans cet environnement les moyens (structure, outils) d'appliquer les différentes étapes du processus de traitement de cette information, messagère de la réalité (fig. I. 01).

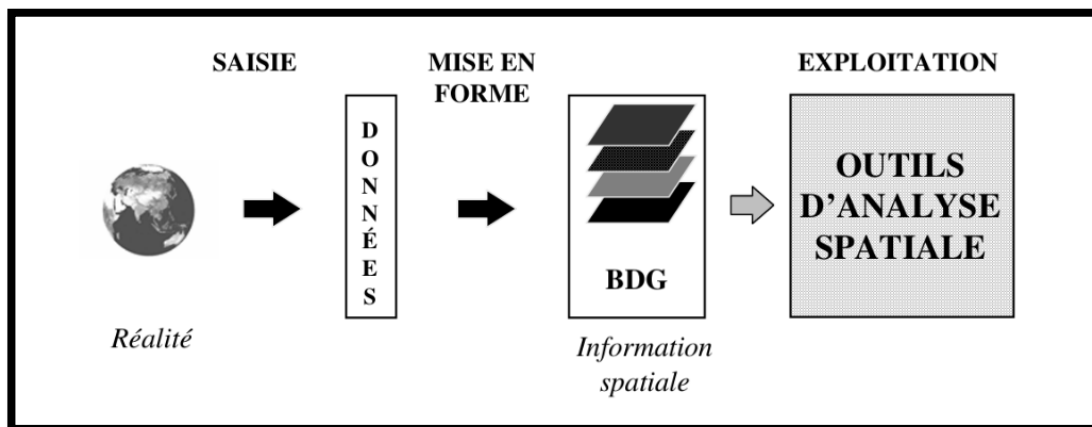


Figure I. 01 : SIG, un environnement de traitement de l'information spatiale au niveau opérationnel (Collet, 2004)

Gilliot (2000) souligne qu'un SIG est un ensemble de données numériques, localisées géographiquement et structurées à l'intérieur d'un système de traitement informatique comprenant des modules fonctionnels permettant de construire, de modifier, d'interroger, de représenter cartographiquement, la base de données, selon des critères sémantiques et spatiaux.

Un SIG est un outil informatique de représentation et d'analyse de données géographiques localisées. C'est principalement cette possibilité d'analyse spatiale qui les différencie de tous les autres systèmes de gestion et de manipulation de données, confirme (**Koehl, 2004**).

Le vocable SIG désigne comme l'expliquent **Deshayes et Chery (2000)** à la fois :

- Le concept de chaîne de traitement numérique de l'information géographique ;

- Les outils informatiques qui permettent de l' instrumenter ;
- Et les applications qui sont construites avec cet outil.

I.3.2.1. Caractéristiques des SIG

Un Système d'Information Géographique est composé de :

- Matériel ;
- Logiciels ;
- Données ;
- Programmes d'applications.

Un tel système est destiné à la saisie des données géo-localisées, à leur stockage et réorganisation, leur modélisation et leur analyse ainsi qu'à leur représentation sous forme alphanumérique ou graphique (fig. I. 02).

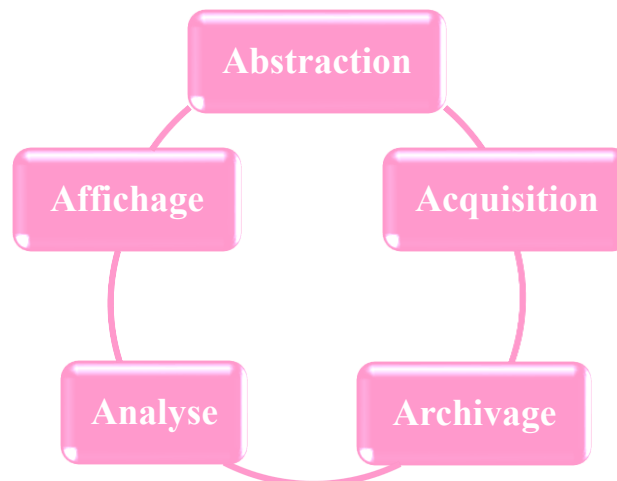


Figure I. 02 : Principales fonctionnalités d'un SIG

I.3.2.2. Composants d'un SIG

Selon Freycon et al., (1996), les SIG sont composés (fig. I. 03) de :

- Une base de données géographiques ;
- Un système de saisie numérique ;
- Un système de représentation cartographique ;
- Un système de gestion de base de données (S.G.D.B.) ;
- Un système d'analyse spatiale ;
- Un système de traitement d'images ;

- Un système d'analyse statistique.



Figure I. 03 : Différentes composantes d'un SIG
(Boukli hacen & Rabah Fissa, 2014)

I.3.2.3. Organisation des données spatiales dans un SIG

Bernier et al., (2014) soulignent qu'un SIG s'appuie sur un modèle d'informations géographique basé sur des couches organisées de façon cohérente pour caractériser et décrire le monde. Deux formats permettent de stocker les données spatiales : le format raster et le format vecteur :

I.3.2.3.1. Format raster : Les données raster correspondent aux images issues des satellites, des photographies aériennes, des images scannées (anciennes cartes papier) ou à des données continues représentant des phénomènes tels que la température ou l'altitude.

I.3.2.3.2. Format vecteur : Chaque couche au format vecteur (fig. I. 04) est modélisée sous forme d'une double composante :

- Composante graphique ;
- Composante descriptive (attributaire).

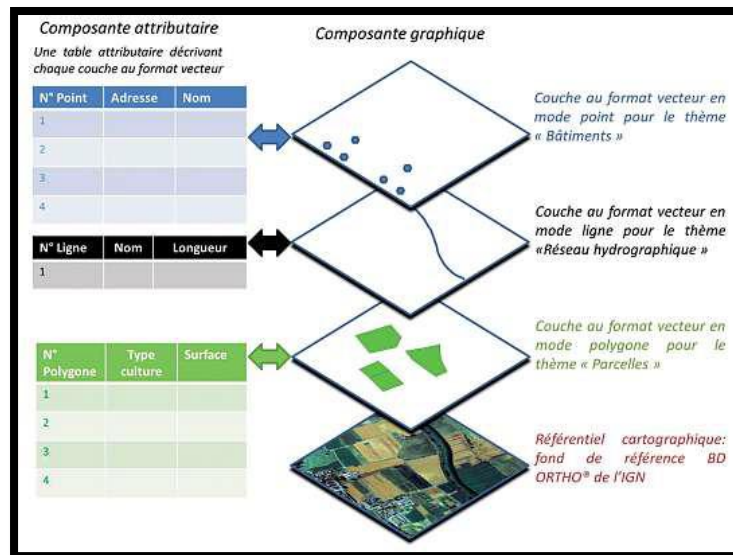


Figure I. 04 : Organisation en couches de l'information géographique utilisée (Bernier et al., 2014)

- **Composante graphique** : Chaque thème du territoire (forêt, parcelles agricoles, réseau hydrographique, réseau routier, villes, etc.) est représenté sous forme d'une couche thématique au format vecteur. Par exemple, une couche représentant des parcelles agricoles contient un ensemble d'objets graphiques qui définissent les contours de chaque parcelle. Le type de forme qui représente en général une parcelle (et tous les objets surfaciques) est un polygone, mais il est aussi possible de représenter les objets géographiques sous forme ponctuelle (points de prélèvements, arbres...) ou linéaire (réseau routier, réseau hydrographique, système d'irrigation, ...). Les types de représentations graphiques (point/ligne/polygone) ne sont jamais mélangés dans une même couche ;
- **Composante descriptive (attributaire)** : A chaque objet graphique d'une couche thématique sont reliées des informations descriptives stockées dans une table attributaire. Pour une couche "parcelles agricoles", ces informations peuvent être par exemple : l'identifiant (unique par parcelle), la surface, l'âge du peuplement, etc. L'ajout de champs dans la table attributaire ou leur modification se fait de façon aisée. La table attributaire peut être stockée dans un simple tableur ou liée à une base de données plus ou moins complexe stockée sous un système de gestion de base de données (SGBD) liée au SIG.

I.3.3. Apport des logiciels libres et open source

L'émergence des logiciels libres et open source (FOSS - *Free and Open Source Software*) a profondément transformé le paysage de la géomatique appliquée à la gestion de l'environnement. Dans le contexte de la cartographie forestière et de la conservation des espaces protégés, ces outils offrent des avantages majeurs qui complètent, voire surpassent parfois, les solutions propriétaires traditionnelles.

Le premier apport fondamental est d'ordre économique et réside dans l'accessibilité et l'optimisation des coûts. En effet, l'absence de frais de licence permet aux institutions publiques, aux universités et aux gestionnaires des parcs nationaux de déployer des outils d'analyse spatiale puissants sans contraintes budgétaires, ce qui démocratise l'accès à la technologie cartographique pour la recherche scientifique. De plus, ces logiciels se distinguent sur le plan technique par leur flexibilité et leur grande interopérabilité. Ils possèdent la capacité de lire et de traiter une immense variété de formats de données vectorielles et rasters, tandis que le développement constant d'extensions (*plug-ins*) par une communauté mondiale de chercheurs permet d'intégrer rapidement des algorithmes de pointe, notamment pour la classification de la végétation ou le suivi de la dynamique des milieux.

Enfin, ces outils garantissent une forte autonomie dans la mise à jour des données et brisent la dépendance vis-à-vis des données géospatiales payantes. Couplés à des plateformes d'accès libre à l'imagerie spatiale, telles que SAS.Planet ou Google Earth Pro, ces logiciels permettent une cartographie réactive en important directement des flux de données d'images à haute résolution. Les gestionnaires peuvent ainsi actualiser l'état de l'occupation du sol de manière autonome, un atout devenu aujourd'hui indispensable pour le suivi des pressions anthropiques, comme le surpâturage et les coupes illicites, ou des risques environnementaux majeurs tels que les incendies de forêt. En somme, l'approche open source en géomatique ne représente pas seulement une alternative économique, mais un choix stratégique offrant la souveraineté technique nécessaire pour concevoir des plans de protection forestière durables et adaptatifs.

I.4. Cartographie de l'occupation du sol comme outil stratégique de protection

I.4.1. L'inventaire cartographique : Établissement d'un état des lieux

L'établissement d'un état des lieux constitue la première étape incontournable de toute démarche d'aménagement, de gestion ou de conservation des espaces naturels. Appliqué aux écosystèmes forestiers, cet état des lieux se matérialise par l'inventaire cartographique, qui consiste à identifier, classer et spatialiser les différentes composantes de l'occupation du sol

à un instant précis. Loin d'être une simple représentation graphique passive, cet inventaire est un acte de diagnostic scientifique rigoureux qui répond simultanément à trois exigences fondamentales : descriptive, quantitative et spatiale.

Sur le plan descriptif et qualitatif, l'inventaire permet de caractériser la nature des structures qui recouvrent le territoire. Il documente la diversité des formations végétales (forêts denses, matorrals, groupements clairs) ainsi que les espaces anthropisés (zones agricoles, infrastructures, sols nus). Sur le plan quantitatif, l'association de la cartographie aux outils géomatiques permet de dépasser la simple observation visuelle en traduisant la réalité du terrain en données chiffrées précises. Le calcul des superficies (en ha) et des proportions de chaque classe d'occupation du sol fournit des indicateurs objectifs sur la structure et la composition spatiale du milieu. Enfin, sur le plan géographique, l'inventaire localise avec exactitude ces différentes entités, permettant d'identifier les zones de contact à risque (interfaces).

Dans une stratégie de protection, on ne peut concevoir des mesures de sauvegarde efficaces pour un territoire sans en connaître au préalable la répartition de ses ressources et la localisation exacte des pressions qu'il subit. C'est par comparaison avec cet état initial que les analyses spatiotemporelles pourront, à l'avenir, mesurer objectivement les rythmes de dégradation ou, à l'inverse, évaluer l'efficacité des politiques de conservation mises en œuvre.

Conclusion

Ce premier chapitre a permis de poser le cadre théorique indispensable à notre étude. Il en ressort que la cartographie de l'occupation du sol, enrichie par l'approche géomatique et optimisée par l'avènement des technologies open source, dépasse la simple représentation graphique pour s'affirmer comme un instrument de diagnostic scientifique rigoureux. En formalisant un état des lieux quantifié et spatialisé du territoire, l'inventaire cartographique constitue la situation de référence essentielle à l'élaboration de toute stratégie de conservation forestière.

Chapitre II :
Description
du milieu physique

La mise en place d'une approche géomatique dédiée à la protection du Parc National de Tlemcen (PNT) exige une connaissance approfondie de son cadre naturel. Ce chapitre propose une description structurée du milieu physique de la zone d'étude. L'analyse successive des caractéristiques géographiques, climatiques, édaphiques et géologiques permettra de mettre en lumière les facteurs abiotiques qui façonnent l'occupation du sol et dictent la répartition des paysages de ce parc d'une importance écologique majeure.

II.1. Choix de la zone d'étude

La gestion du PNT fait face à un déficit persistant en informations spatiales centralisées, actualisées et de haute précision. L'absence d'une base de données géospatiales unifiée limite l'efficacité des interventions de terrain et le suivi en temps réel des dégradations environnementales. L'application d'une approche géomatique à ce territoire prend ici tout son sens : elle permet de pallier ces lacunes institutionnelles en fournissant une cartographie fine et centralisée de l'occupation du sol, indispensable à la formulation d'une stratégie de protection cohérente.

II.2. Présentation du Parc National de Tlemcen PNT

Le Parc National de Tlemcen fut le huitième parc national qui a été officiellement établi par le décret exécutif n° 93-117 du 12 mai 1993. Situé dans la wilaya de Tlemcen, son siège administratif est fixé au chef-lieu de la wilaya (photo. II.1). Classé pour la valeur exceptionnelle de ses sites naturels et la richesse de son patrimoine végétal (Sekkoum et Maachou, 2018) ce texte législatif définit le cadre juridique et géographique de cet espace protégé.



Photo II. 01 : Siège administratif du Parc National de Tlemcen (photo originale)

II.2.1. Situation administrative

Selon **PG.PNT (2020)**, le PNT s'étend sur une superficie de 8 225,04 ha (périmètre = 82 Km), le PNT englobe 07 communes : Terny - Sabra - Ain Fezza - Tlemcen - Mansourah - Ain Ghoraba et Beni Mester. (Tableau II.01 & fig. II.01).

Tableau II. 01 : Répartition des superficies par commune dans le PNT.

Commune	Superficie (ha)	%
- Terny	3 200	40 %
- Sabra	1682	20 %
- Ain Fezza	1535	18 %
- Tlemcen	731	09 %
- Mansourah	546	07 %
- Ain Ghoraba	342	04 %
- Beni Mester	189	02 %

Source : PNT (2006)

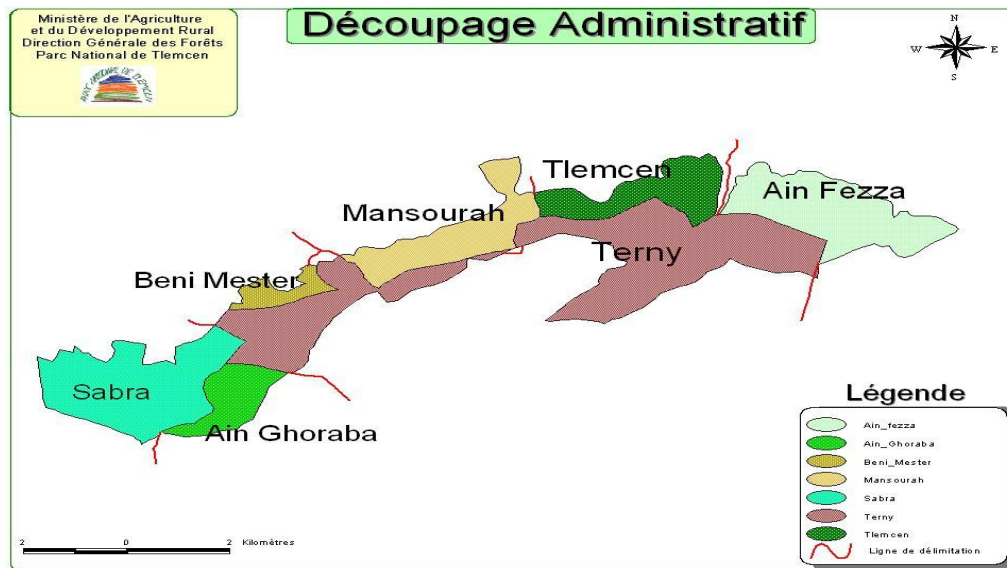


Figure II. 01 : Découpage administratif du Parc National de Tlemcen (PNT, 2020)

II.2.2. Situation géographique

Le PNT est situé dans la partie Nord des monts de Tlemcen, dominant directement la ville de Tlemcen (fig. II. 02), ce qui lui confère une position géographique stratégique et un rôle écologique important dans la région.

Selon **PNT (2006)**, ce parc s'inscrit dans un cadre spatial bien défini, d'une l'altitude qui varie entre 869 m et 1 418 m, et délimité par des coordonnées Lambert :

- Nord : $x = 137,4$; $y = 183,7$;
- Sud : $x = 120,9$; $y = 172,5$;
- Ouest : $x = 118,2$; $y = 174$;
- Est : $x = 144,2$; $y = 180,7$.

Cette localisation témoigne de son extension sur un territoire relativement vaste, caractérisé par une diversité de paysages naturels, incluant des formations forestières, des reliefs montagneux et des espaces à forte valeur écologique, faisant du parc un élément clé dans la préservation de la biodiversité et le maintien des équilibres environnementaux à l'échelle locale et régionale.

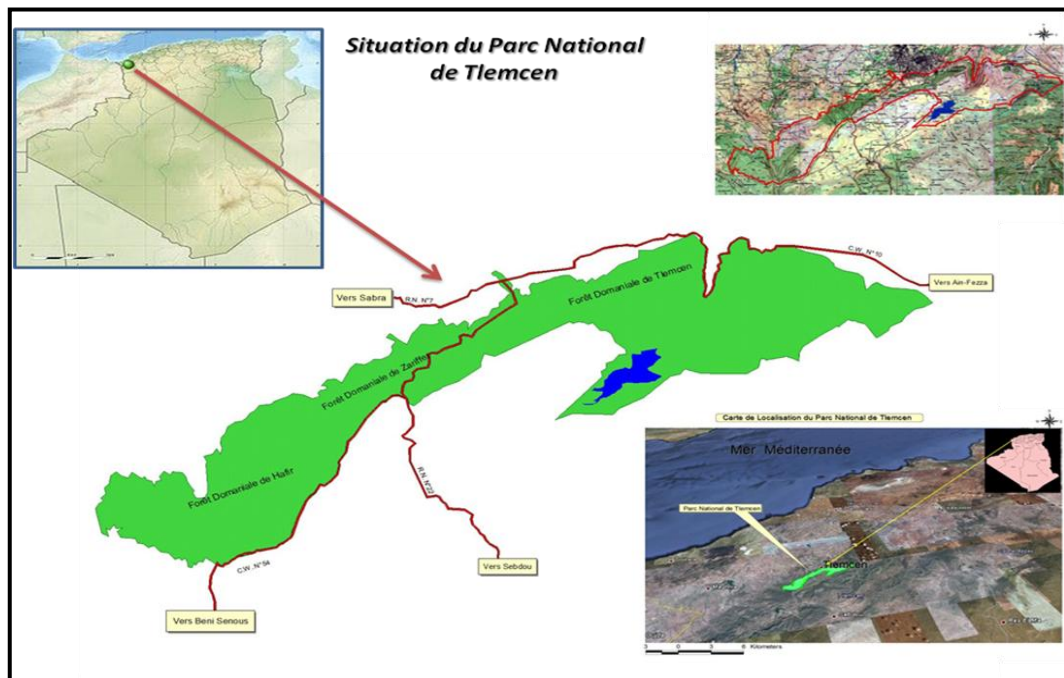


Figure II. 02 : Situation géographique du Parc National de Tlemcen (PNT, 2020)

Il se distingue par la diversité et la complémentarité de ses écosystèmes forestiers, géomorphologiques et culturels. Selon le **PG.PNT (2025)**, il abrite :

- Une subéraie occidentale plus que bicentenaire, située au niveau de la forêt de Hafir, constituant un patrimoine forestier remarquable tant sur le plan écologique que patrimonial ;
- Une zénaie à *Quercus faginea* subsp. *tlemceniensis*, endémique, évoluant dans un microclimat humide au sein de la forêt de Hafir, et présentant un intérêt scientifique et conservatoire majeur ;

- Un boisement de protection du site des « Petits Perdreux », formant une forêt dense de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), jouant un rôle important dans la stabilisation des sols et la protection contre l'érosion ;
- Des sites karstiques d'intérêt naturel et paysager, notamment dans la partie Est du parc, comprenant les cascades de l'Ourit et les grottes de Beni Add, qui revêtent également une dimension culturelle et touristique ;
- Des ensembles historiques et culturels majeurs, tels que les complexes de Sidi Boumediène et de Mansourah, témoins de l'histoire riche et ancienne de la région, bénéficiant d'une renommée reconnue dans le monde arabo-musulman.

II.2.3. Géomorphologie

Pour le territoire du PNT, les facteurs topographiques tels que l'altitude, l'inclinaison des pentes et l'orientation des versants ne sont pas de simples mesures géométriques, mais des déterminants majeurs qui structurent la biodiversité. En s'appuyant sur les données techniques détaillées dans le **PG.PNT (2006)**, nous pouvons dresser un état des lieux précis de l'orographie et de son influence sur la dynamique des formations végétales locales.

II.2.3.1. Altitude

Le relief du PNT s'inscrit au cœur des monts de Tlemcen, se déployant d'Est en Ouest à travers une succession de massifs montagneux aux caractéristiques distinctes. Selon les inventaires consignés dans le **PG.PNT (2006)**, cette chaîne comprend une série de sommets (tableau II.02) dont les altitudes témoignent d'une morphologie tourmentée (fig. II.03).

Le parcours débute par le Djebel Bou-Arb, culminant à 1 122 m au niveau de son point géodésique situé au lieu-dit « les grottes », suivi par les Djebels Dokara (1 113 m) et Sebt (1084m). Le relief s'élève ensuite avec le Djebel Dahr el-Barhal (1 230 m), le Djebel Tichtiouine (1 206 m), le Djebel Hanif (1 279 m) et le Djebel Chouka (1 166 m). La progression altitudinale se poursuit via le Djebel Beniane (1 235 m), le Djebel Guendouza (1 272 m) et le Djebel Temama (1 271 m). Les points culminants sont représentés par le Djebel El-Koudia avec ses 1 418 m, le Djebel Taksemt (1 393 m), le Djebel El-Merdja (1 309 m), le Djebel Tatsa (1 264m) et se termine par le Djebel El-Koun à 1302 m.

Comme le souligne la description du profil topographique dans le **PG.PNT**, ces monts présentent des lignes de crêtes tantôt aiguës, tantôt atténuées et arrondies. Ces reliefs sont entrecoupés de vallées encaissées et de zones de plateaux, notamment ceux de Lalla-Setti, Meffrouche et Ain-Fezza. Cette importante variation altitudinale est un facteur écologique clé

indiquée qu'elle favorise la création de microclimats variés, influençant directement la répartition de l'occupation des terres et la zonation des formations végétales.

Tableau II. 02 : Principaux massifs montagneux du PNT.

Massif montagneux	Altitude (m)
Djebel Bou-Arb	1 122
Djebel Sebt	1 113
Djebel Dahr el-Barhal	1 084
Djebel Tichtiouine	1 230
Djebel Hanif	1 206
Djebel Chouka	1 279
Djebel Beniane	1 166
Djebel Guendouza	1 235
Djebel Temama	1 271
Djebel El-Koudia	1 418
Djebel Taksemt	1 393
Djebel El-Merdja	1 309
Djebel Tatsa	1 264
Djebel El-Koun	1 302

Source : PNT (2006).

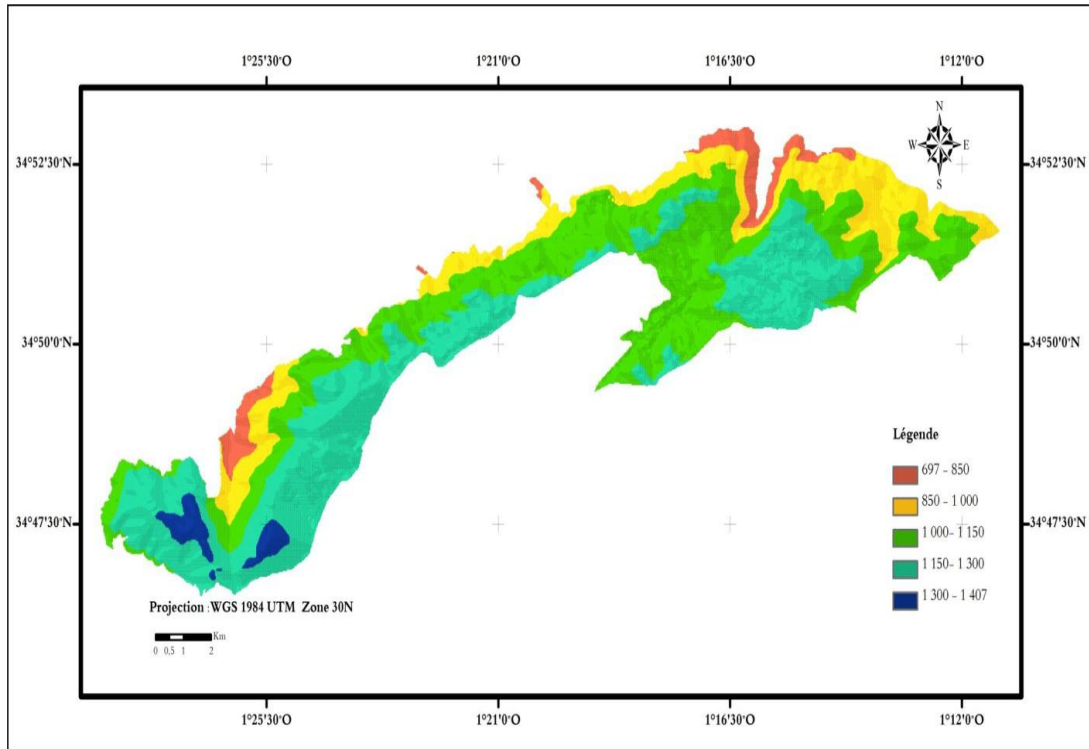


Figure II. 03 : Carte altimétrique du PNT (Benaissa, 2020).

II.2.3.2. Pent

L'analyse des déclivités permet de confirmer le caractère accidenté du territoire. Trois classes de pentes prédominantes sont identifiées : les pentes allant de 3 à 12,5 %, celles de 12,5 à 25% et enfin les pentes les plus fortes (situées entre 25 % et 50 %). Cette prédominance de fortes inclinaisons atteste d'un relief montagneux vigoureux (fig. II. 04).

À l'opposé de ces zones accidentées, les vallées et les plateaux se distinguent par une pente très légère de 0,3 %. Ces terrains plats sont géographiquement très localisés, se limitant essentiellement aux secteurs des plateaux de Lalla-Setti, d'Ain-Fezza et d'El-Meffrouche.

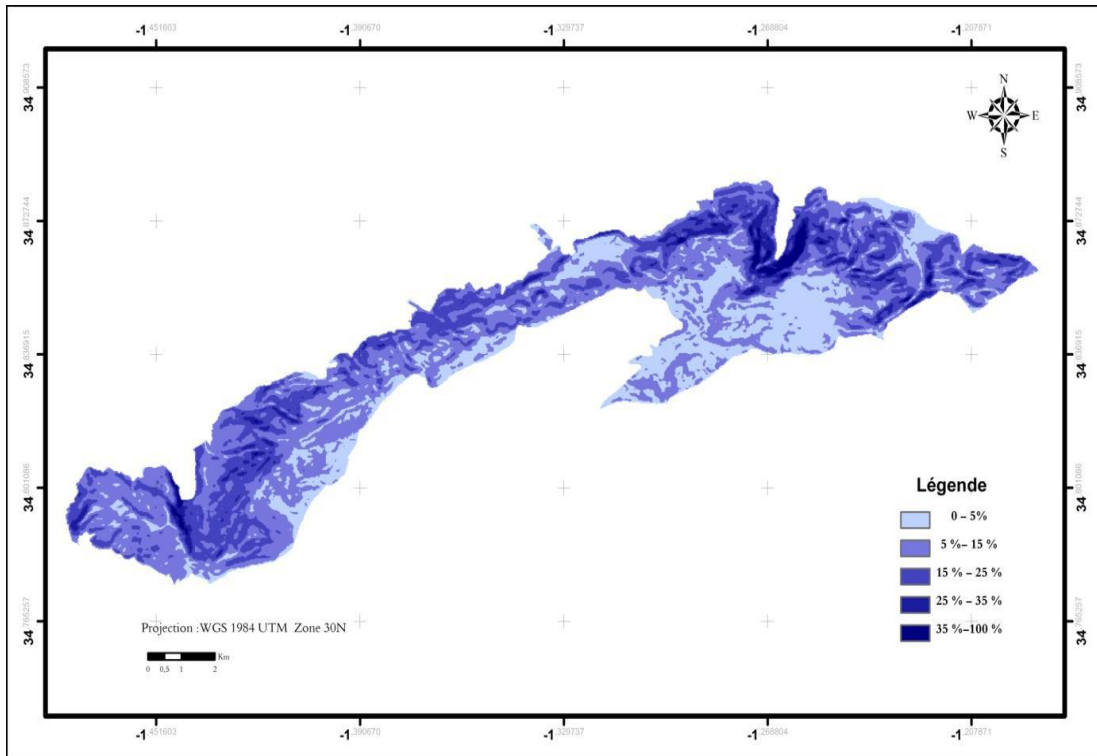


Figure II. 04 : Carte des pentes du PNT (Benaissa, 2020).

II.2.3.3. Expositions

L'orientation générale des massifs, s'étendant de l'Ouest vers l'Est, induit une dominance des expositions Nord-Ouest et Sud-Est. Cette opposition des versants crée des contrastes marqués dans l'occupation végétale. Selon le **PG.PNT (2006)**, les versants exposés au Nord, bénéficiant d'une humidité plus élevée et d'une insolation réduite, offrant un milieu propice au développement des massifs forestiers (fig. II.05). À l'inverse, les versants Sud, plus arides, sont le domaine de matorrals bas constitués d'une végétation xérophile adaptée aux conditions d'insolation intense.

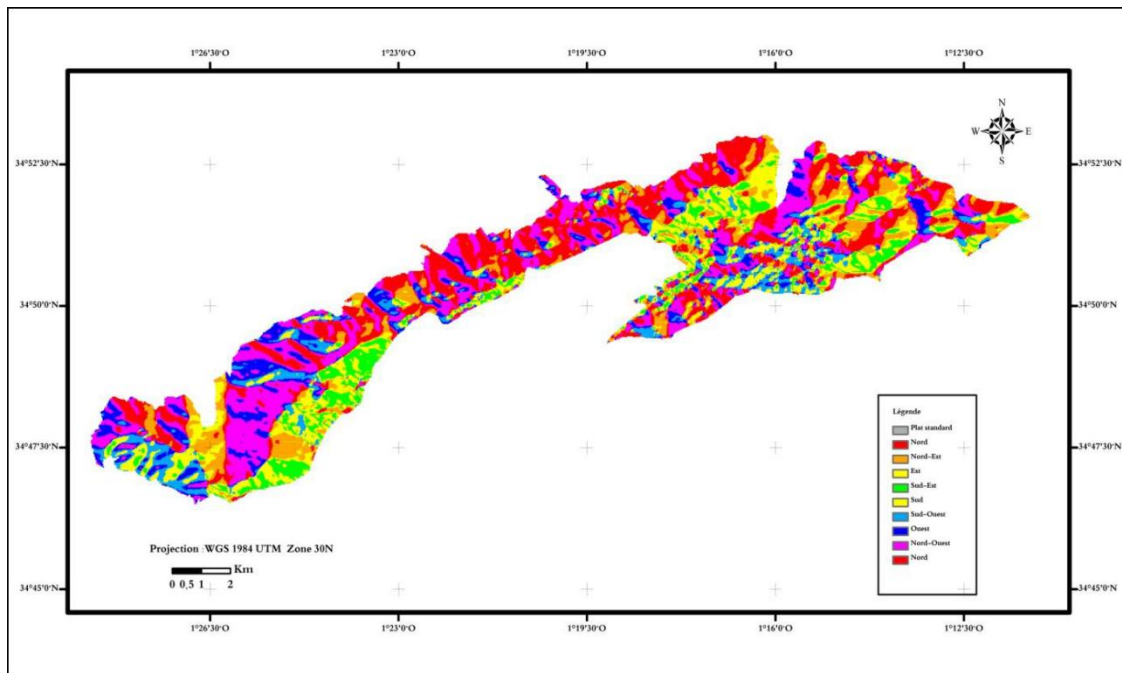


Figure II. 05 : Carte des expositions du PNT (Benaissa, 2020).

II.2.4. Géologie

Selon Benest (1985) et PG.PNT (2006), le territoire du PNT est constitué d'une série de couches sédimentaires dont l'évolution verticale (du Jurassique supérieur au Quaternaire) montre deux grandes séries litho-stratigraphiques distinctes (fig. II .06), décrites de bas en haut:

- **Séries anciennes (jurassique supérieur - crétacé inférieur)** : Les assises sédimentaires attribuées au jurassique supérieur et au crétacé inférieur sont principalement formées de carbonates ;
- **Séries récentes (miocène inférieur - quaternaire).**

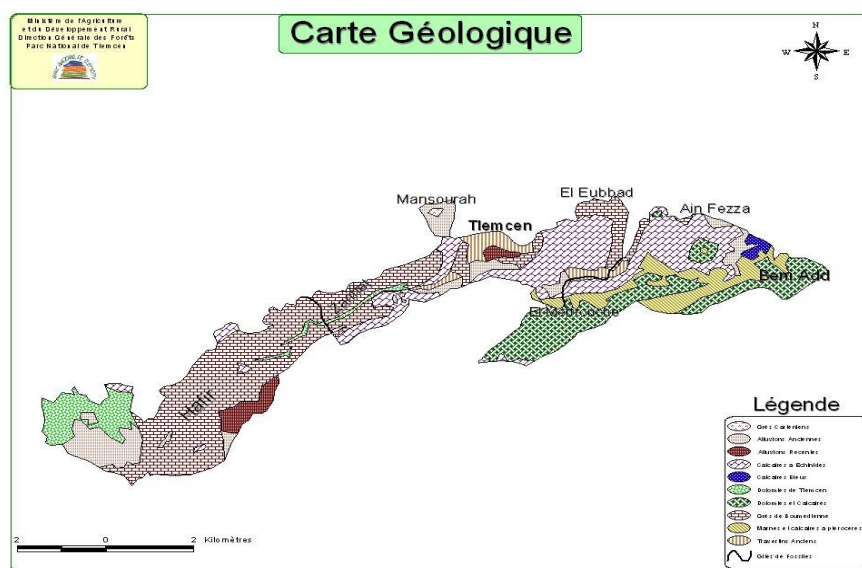


Figure II. 06 : Carte géologique du PNT (PNT, 2006)

II.2.5. Pédologie

Selon **Benaissa & Benabdeli (2019)** et **Gaouar (1998)**, d'après l'esquisse pédologique effectuée, les types de sols dans le PNT (fig. II. 07) sont les suivants :

- **Sol fersiallitique rouge** : C'est un sol lourd très pauvre en réserves d'eau, riche en bases notamment en Ca^{++} Mg^{++} et K^+ , existant sous une végétation climatique (chêne vert, pin d'Alep) avec un sous-bois assez dense. Ce type de sol se rencontre à Zariffet, Ain fezza, Eubbad, Mefrouch. On y distingue le type lessivé et le type non lessivé avec une variante pseudogley ;
- **Sol brun fersiallitique** : Prend naissance sur roche mère calcaire, sous l'influence d'un climat froid à saison sèche moins marquée. Ce sol a les mêmes caractéristiques d'ensemble mais plus humide et plus poreux. Il se trouve au niveau de Zariffet et Hafir ;
- **Sol fersiallitique brun type terra - fusca** : Il s'agit d'un matériau ancien (paléosol) de couleur brun foncé, composé d'argile de décarbonatation plus ou moins lourd, riche en Mg^{++} et Ca^{++} , formé sous l'influence d'un climat plus humide et moins chaud, se rencontre au Sud et Est du barrage Meffrouche ;
- **Sol brun calcaire sur travertin** : C'est un sol apparenté aux sols brunifiés par sa morphologie, la différence fondamentale réside dans la présence de carbonate de calcium actif dans tout le profil. La rubéfaction n'est pas complète dans ce type de sol. Faible teneur en Mg^{++} . Ce type de sol est localisé aux niveaux de la forêt d'Ifri (canton El Ourit) ;
- **Sol brun calcaire en alternance avec des travertins en place** : mêmes caractéristiques que le précédent seulement il est moins profond, ainsi les travertins apparaissent de temps à autre. Il se localise dans la forêt d'Ifri ;
- **Sol fersiallitique rouge à caractère vertique** : C'est un sol qui, pendant une certaine période (années sèches), présente dans les 50 premiers cm de l'horizon B des fentes larges de 1 cm ou plus. Il est plus lourd (riche en argiles gonflantes) que le sol fersiallitique rouge et possède une très bonne teneur en eau, c'est un sol difficile à mettre en culture. Il prend naissance sur des roches mères calcaires (Karst). On le trouve à Mansourah et Plateau Lala Setti ;
- **Sol fersiallitique rouge et mosaïque dolomie/sol** : La mosaïque reflète le déséquilibre dans les sols qui sont le plus souvent peu profonds et/ou affleure de temps à autre la roche dolomitique, et par conséquent un tapis végétal très hétérogène. Cette catégorie domine plus dans la tranche Est du PNT : une partie de la forêt de Tlemcen, Meffrouche,

Djebel Massart, Djebel Tichtiouine, Ain-Fezza, Djebel Dokara, Djebel Dahr el Berhal, au sud-ouest de Zariffet et Est de Hafir.

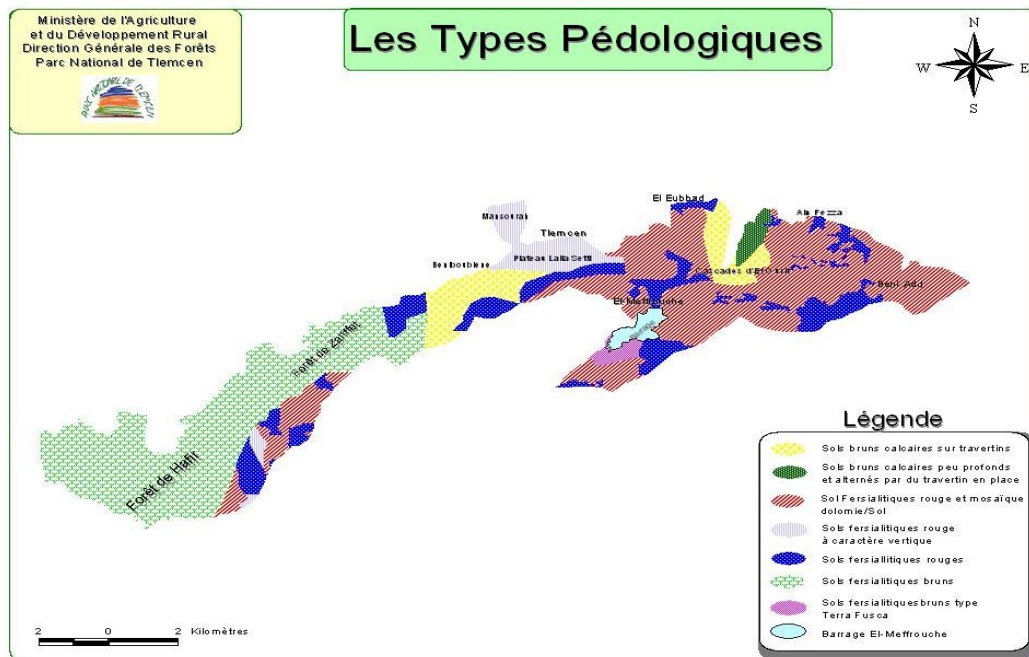


Figure II. 07 : Carte pédologique du PNT (PNT, 2006)

II.2.6. Hydrographie

L'analyse du milieu physique du PNT met en évidence une organisation hydrographique complexe, étroitement liée à la morphologie du relief et à la nature géologique du terrain. La compréhension de ce réseau est essentielle, car il constitue le support vital des écosystèmes forestiers et de la biodiversité du parc. En s'appuyant sur les données détaillées du **PG. PNT (2006)**, la structure des ressources hydriques de cette aire protégée est la suivante :

II.2.6.1. Réseau hydrographique

Le territoire du parc se caractérise par un réseau hydrographique d'une densité remarquable (fig.II.08), dont la pérennité est assurée par l'émergence de nombreuses sources naturelles. Selon les descriptions fournies, l'organisation spatiale des eaux est dictée par une ligne de crête majeure s'étirant du Djebel Taksemt à l'Ouest jusqu'au Djebel Benniane à l'Est. Ce relief fait office de ligne de partage des eaux, scindant le schéma hydrographique en deux ensembles géographiques bien différenciés :

II.2.6.1.1. Réseau septentrional (Nord) : Il regroupe une série de cours d'eau, notamment les oueds Tlat, Bounasser, Inndouz, Reyenne, Dar Ziata, Zarifet, Magramane et Ouadallah, complétés par plusieurs châabets.

II.2.6.1.2. Réseau méridional (Sud) : Ce versant est dominé par le bassin versant de l'oued Nachef, qui se prolonge en aval par l'oued Meffrouch, ce dernier franchit les monts de Tlemcen au niveau du Djebel Chouka et du Djebel Hanif à travers des gorges profondes, donnant naissance aux célèbres cascades de l'Ourit.

II.2.6.2. Sources d'eau

Le système hydrique repose sur une multitude de sources (Ain) réparties sur l'ensemble du périmètre du Parc National. Comme le précise le document de référence du **PNT**, ces points d'eau alimentent la quasi-totalité du réseau. Parmi les plus importantes, on peut citer :

- Ain Meharras, qui assure l'alimentation de l'oued Meffrouche.
- Ain Krannez, Ain El Mohguene, Ain El Djerad, Ain El Fouera, Ain El Rhenza, Ain Safah et Ain Shrifa.

II.2.6.3. Oueds

L'orientation des cours d'eau suit la topographie des versants : une direction Sud-Nord pour le versant septentrional, tandis que les oueds du versant méridional adoptent une orientation Sud-Ouest et Nord-Est jusqu'aux cascades de l'Ourit, avant de bifurquer vers le Nord. Ces oueds sont caractérisés par leur faible longueur et se jettent majoritairement dans l'Oued Tafna ou le Sikkak, rejoignant finalement la mer Méditerranée.

Les artères principales identifiées dans le parc sont l'oued Nachef et l'oued Meffrouche. Initialement dotés d'un régime permanent, leur configuration a évolué : l'oued Meffrouche constitue en réalité le prolongement du réseau d'affluents de l'oued Nachef après le barrage de Meffrouche, avant de s'écouler vers la plaine de Tlemcen sous le nom d'oued Saf-saf.

Enfin, ces cours d'eau sont étroitement soumis aux cycles saisonniers. Si l'hiver est marqué par des crues, la période estivale entraîne une baisse de débit significative due à l'évaporation intense ainsi qu'aux phénomènes d'absorption et d'infiltration au sein des masses calcaires perméables qui caractérisent la région.

Tableau II. 03 : Principaux oueds traversant le PNT

Nom de l'Oued	Longueur réelle (m)	Régime
Oued Nachef	11500 m	Temporaire
Oued dardar	3000 m	
Oued dar-rouh	2250 m	
Oued Zariffet	3000 m	
Oued Benacer	3250 m	
Oued Safsafa	1500 m	
Oued Tlat	4250 m	
Oued Talouanes	1500 m	
Oued Meffrouche	/	
Oued Saf Saf	/	

(PNT, 2006)

II.2.6.4. Barrage El Meffrouche

Situé sur le cours de l'oued éponyme, le barrage d'El Meffrouche occupe une position stratégique au sein d'une cuvette naturelle. Selon les délimitations géographiques rapportées par le **PG. PNT (2006)**, cet ouvrage est ceinturé au Sud par le Djebel Nador, à l'Est par le Djebel Bouleradour et à l'Ouest par les reliefs des Djebels Guendouza et Koudia. Sa limite septentrionale est marquée par la forêt de Zarifet et le Djebel Beniane.

Sur le plan technique, l'infrastructure dispose d'une capacité de stockage de 15 millions de m³, générant un plan d'eau optimal s'étendant sur 148 ha. Au-delà de son aspect paysager, le document de gestion souligne son rôle vital pour la région, puisqu'il assure l'alimentation en eau potable (AEP) de la ville de Tlemcen tout en permettant l'irrigation de sa plaine agricole.

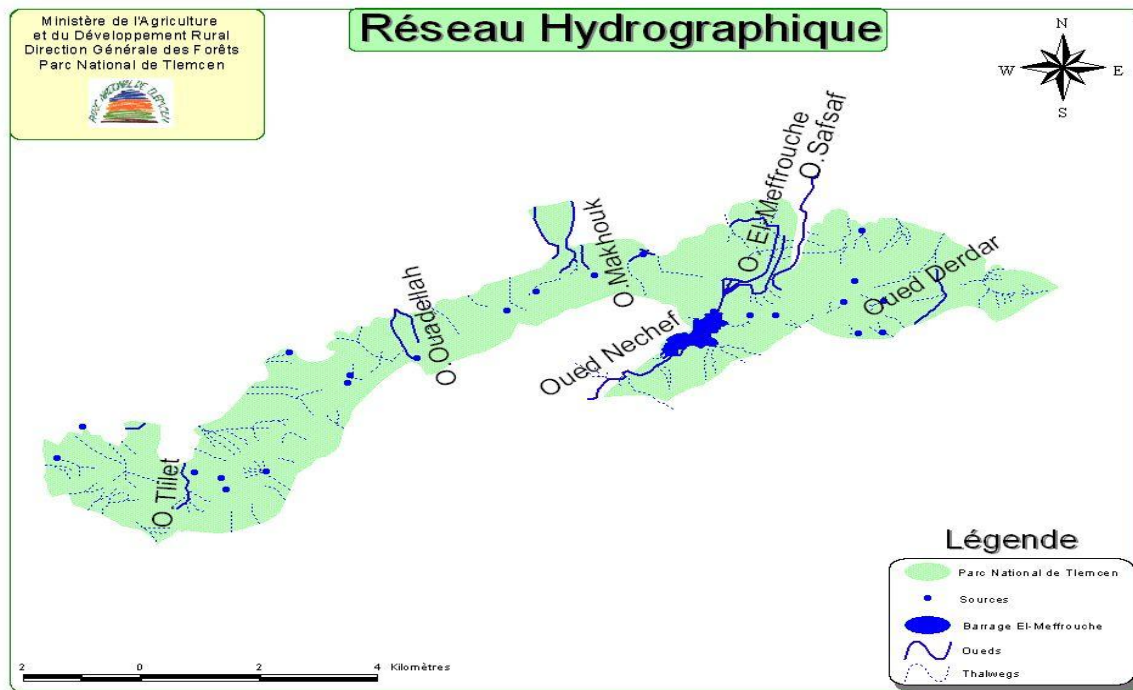


Figure II. 08 : Carte du réseau hydrographique du PNT (PNT, 2006)

II.2.7. Forêts dans le territoire du PNT

L'espace forestier du PNT est structuré autour de plusieurs massifs domaniaux aux caractéristiques biophysiques et historiques distinctes. La gestion de ces unités est assurée conjointement par la Circonscription des forêts et l'administration du Parc. Les données suivantes, issues du **PG. PNT (2006)**, détaillent la répartition et la composition de ces écosystèmes :

II.2.7.1. Forêt domaniale de Zariffet

Située au sud-ouest de l'agglomération de Tlemcen, la forêt de Zariffet (photo. II.02) constitue un ensemble naturel de première importance. Le plan de gestion du parc précise que ce massif s'étend sur une superficie de 931 ha. Il se distingue par une composition floristique riche, structurée autour de trois groupements végétaux majeurs : le chêne-liège (*Quercus suber*), le chêne vert (*Quercus rotundifolia*) et le chêne zeen (*Quercus faginea*).



Photo II. 02 : Forêt domaniale de Zariffet (photo originale)

II.2.7.2. Forêt domaniale de Tlemcen

Directement implantée en amont de la ville, cette unité forestière couvre une surface de 272,7ha, répartie sur les communes de Tlemcen, Mansourah et Terny. Selon les archives techniques du PNT, il s'agit d'un boisement artificiel de Pin d'Alep établi en 1890. Outre sa fonction de protection, le document de gestion souligne son accessibilité remarquable, assurée par un réseau dense de pistes carrossables et par le chemin vicinal n°07 traversant le plateau de Lalla Setti (photo. II.03).



Photo II. 03 : Forêt domaniale de Tlemcen (photo originale)

II.2.7.3. Forêt domaniale de Hafir

Localisée également dans le secteur sud-ouest, la forêt de Hafir représente l'une des unités les plus vastes avec 1 653 ha, chevauchant les territoires de Aïn Ghoraba et Sabra. Les inventaires dressés dans le cadre du plan de gestion confirment la dominance d'un cortège forestier noble, où se côtoient le chêne-liège, le chêne vert et le chêne zeen, confirmant ainsi la haute valeur écologique de ce secteur (photo. II.04).



Photo II. 04 : Forêt domaniale de Hafir (photo originale)

II.2.7.4. Forêt domaniale d'Ifri (Canton des Cascades)

À l'est de Tlemcen, la forêt des cascades s'étend sur 100 ha, entre les communes de Tlemcen et d'Aïn Fezza. Le plan de gestion du PNT indique que cet espace est partiellement constitué d'un peuplement artificiel de Pin d'Alep, lequel occupe environ 40 ha de la superficie totale, jouant un rôle essentiel dans la protection du site et l'esthétique paysagère de cette zone touristique (photo. II.05).



Photo II. 05 : Forêt domaniale d’Ifri (photo originale).

II.2.8. Faune

La caractérisation écologique du PNT repose sur une identification précise de ses composantes biocénétiques. Parmi ces dernières, la faune occupe une place prépondérante dans l'évaluation de la biodiversité et de la valeur patrimoniale de cet espace protégé.

Les peuplements animaux qui abritent le Parc National de Tlemcen représentent un patrimoine naturel d'une valeur considérable. Toutefois, cette biodiversité demeure encore partiellement documentée en raison de la relative rareté des travaux de recherche et des investigations scientifiques menés dans la région.

Afin de pallier ce manque de données, l'équipe technique de l'établissement a entrepris un important travail de synthèse bibliographique, complété par des prospections de terrain et des enquêtes structurées auprès des populations riveraines, des chasseurs et des naturalistes locaux. Ces efforts ont permis de répertorier un total de 201 espèces animales. Ce bilan, bien que significatif, demeure non exhaustif, notamment en raison du déficit d'inventaires approfondis concernant certaines classes taxonomiques.

II.2.9. Voies de communication

Le réseau d'infrastructures routières entourant et traversant le PNT garantit une connectivité importante avec les grands axes régionaux, se structurant autour de quatre points d'accès cardinaux (fig. II. 09) :

II.2.9.1. Accès Nord : Il est assuré de manière principale par les routes nationales RN 7 et RN 22, qui relient le parc aux grands pôles urbains septentrionaux ;

II.2.9.2. Accès Est : La pénétration par cette façade s'effectue via un chemin vicinal, un axe stratégique qui assure notamment la desserte touristique vers le site des grottes de Béni-Add ;

II.2.9.3. Accès Sud : L'entrée méridionale est connectée à la route nationale RN 22 sur l'axe Terny - Tlemcen. Elle s'appuie également sur un chemin vicinal reliant Terny à Tlemcen, dont le tracé longe le périmètre du barrage d'El Meffrouche ;

II.2.9.4. Accès Ouest : Ce secteur est desservi par la route nationale RN 7, reliant Maghnia à Tlemcen, constituant un axe de transit majeur.

À l'intérieur des limites du parc, la circulation est facilitée par un réseau maillé comprenant une série de pistes carrossables, indispensables pour la surveillance forestière et la lutte contre les incendies, ainsi que plusieurs routes goudronnées.

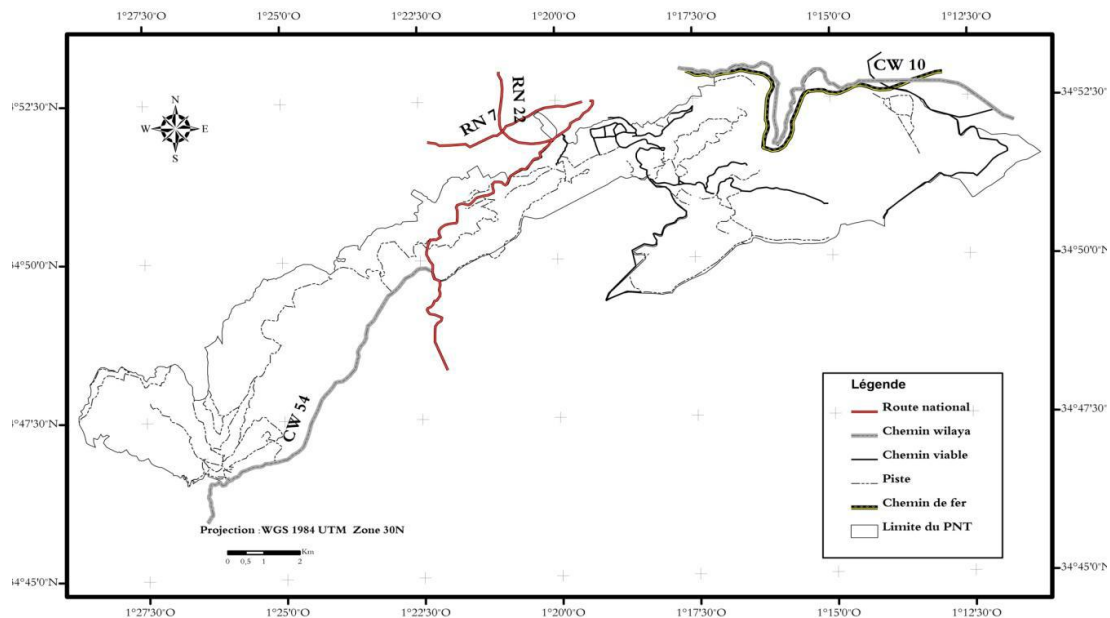


Figure II. 09 : Carte du réseau routier du PNT (Benaïssa, 2020)

II.10. Caractéristiques climatiques

Selon **Maljean-Dubois (2018)**, le climat désigne l'ensemble des éléments météorologiques qui caractérisent les conditions moyennes et extrêmes de l'atmosphère sur une région donnée de la surface du globe et pendant une longue période de temps.

L'analyse climatique du PNT permet de caractériser le contexte thermique et pluviométrique dans lequel évoluent les formations forestières, afin de mieux évaluer les contraintes environnementales et les risques associés. Sachant qu'il convient de souligner que la réunion du matériel climatique a constitué l'étape la plus laborieuse de cette étude. L'obtention de ces

données se heurte à des restrictions d'accès rigides de la part des institutions météorologiques, même munis d'ordres de mission et de papiers officiels, les chercheurs se voient souvent imposer des séries de données limitées ou sélectives qui ne coïncident pas avec les exigences scientifiques de l'étude. Ce manque d'accessibilité a imposé une réorientation vers des sources web fiables pour l'extraction des données actualisées.

Les caractéristiques géographiques de station de référence Zenata sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.04 : Caractéristiques géographiques de la station de référence « Zenata ».

Paramètre géographique	Latitude	Longitude	Altitude
Valeur	35,01° N	-1,46° E	247m

II.10.1. Précipitations

Une précipitation est le processus ou une particule d'eau liquide (gouttelette) ou solide (glace) chute vers le sol sous l'action de la pesanteur (**Élie, 2010**). Les données de précipitations enregistrées sur une période de 44 ans (1981 - 2025) (Annexe III.03), permettent une comparaison facile d'un mois à l'autre (tableau II.05 & fig. II.10).

Tableau II. 05 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles « 1981-2025 »

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
P (mm)	57,82	47,21	54,15	47,01	39,78	12,9	5,18	11,85	30,18	41,58	60,35	47,42	455,50

Source : Nasa power, 2026

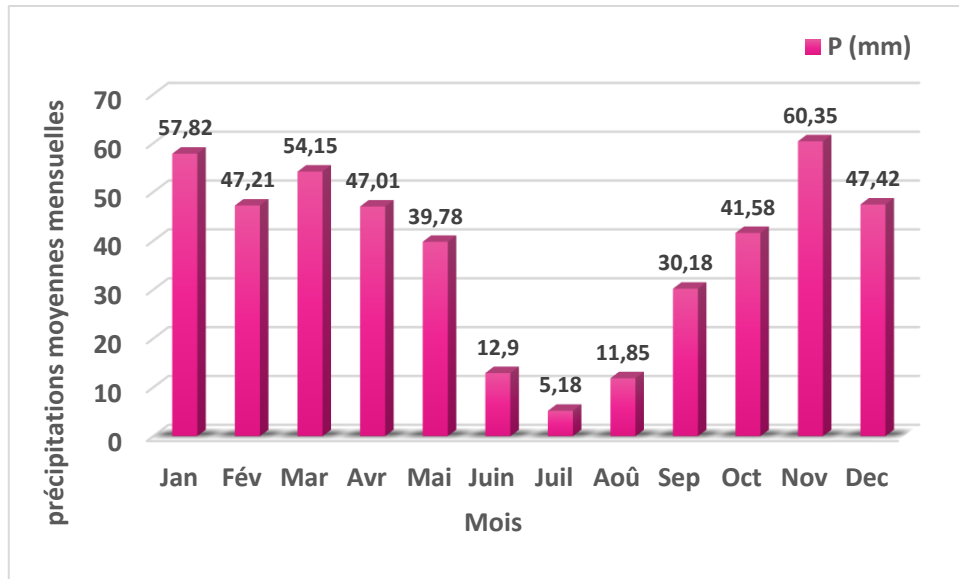


Figure II. 10 : Précipitations moyennes mensuelles (1981-2025)

Le cumul annuel moyen calculé à partir de ces données met en évidence une pluviométrie modérée. La répartition mensuelle affiche de fortes disparités au cours de l'année, caractéristiques des régions soumises à l'influence méditerranéenne :

- Le mois le plus arrosé de l'année est le mois de novembre avec un pic de 60,35 mm, suivi de près par le mois de janvier (57,82 mm) et le mois de mars (54,15 mm) ;
- Une baisse drastique des précipitations est amorcée dès le mois de juin (12,9 mm), atteignant son minimum absolu en juillet avec seulement 5,18 mm, avant de remonter légèrement en août (11,85 mm).

II.10.2. Régime saisonnier

Le calcul des cumuls saisonniers à partir des données pluviométriques met en évidence une prédominance des précipitations printanières, avec un total de 140,94 mm. Les saisons hivernale et automnale affichent des valeurs extrêmement rapprochées, atteignant respectivement 132,45 mm et 132,11 mm. La saison estivale se distingue par une sécheresse marquée, n'enregistrant qu'un cumul minimal de 29,93 mm. L'organisation décroissante de ces apports d'eau permet de définir un régime saisonnier de type **P-H-A-E** (Printemps - Hiver - Automne - Été) pour la station de Zenata, confirmant le rythme pluviométrique propre aux franges semi-arides du bassin méditerranéen.

II.10.3. Températures

La température est considérée comme un facteur constitutif après la pluviométrie et joue un rôle déterminant dans la vie d'un végétal. Elle intervient dans le déroulement de tous les processus

la croissance, la reproduction, la survie et par conséquent la répartition géographique, générant les paysages les plus divers (Soltner, 1987).

Les températures moyennes mensuelles sont mentionnées dans le tableau ci-dessous (fig. II. 11 & Annexe III. 05 ; 06) :

Tableau II. 06 : Températures moyennes mensuelles et annuelles (1981-2025).

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
m(C°)	1,2	2,33	3,05	5,66	8,49	12,76	16,92	17,69	14,01	9,89	5,35	2,5	0,35
M(C°)	20,94	22,68	26,32	29,03	32,64	36,7	39,4	39,06	35,51	31,16	26,07	21,64	40,06
T moy (C°)	9,38	10,48	12,8	15,1	18,64	23,13	26,9	27,07	23,12	18,93	13,74	10,64	17,53

Source : Nasa power, 2026

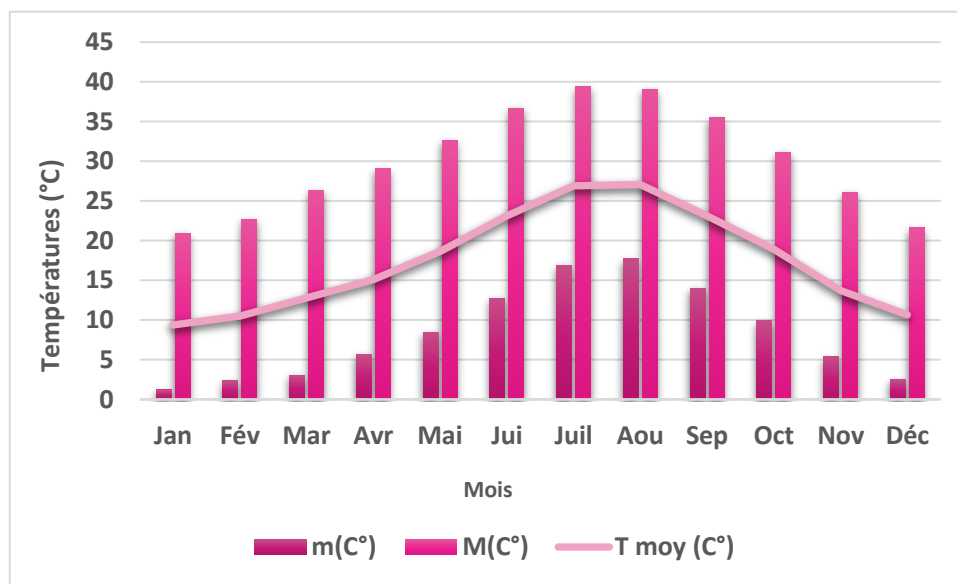


Figure II. 11 : Variation des températures mensuelles (1981-2025)

Le graphique (**fig. II. 11**) expose l'évolution des températures moyennes mensuelles (T moy), ainsi que les moyennes des températures maximales (M) et minimales (m) enregistrées à la station de Zenata. L'examen de ces variables permet de définir le comportement thermique annuel et d'identifier les périodes critiques pour l'écosystème forestier.

La courbe des températures moyennes mensuelles affiche une allure unimodale, typique du climat méditerranéen. Une progression constante des températures est observée dès le printemps pour atteindre un plateau estival élevé en juillet et août, avec des valeurs maximales

de l'ordre de 27°C. À l'inverse, les valeurs minimales de cette courbe sont enregistrées en hiver, particulièrement en janvier, où la moyenne s'établit à 9,5°C.

L'évaluation des risques climatiques en foresterie repose grandement sur l'étude des valeurs extrêmes représentées par les histogrammes de :

- **Mois le plus chaud (M) :** Les températures maximales moyennes culminent en juillet en atteignant 39,5°C, suivies de très près par le mois d'août avec 39,1°C. Cette forte chaleur estivale accentue l'évapotranspiration potentielle et induit un stress thermique sévère sur la végétation ;
- **Mois le plus froid (m) :** Les températures minimales moyennes les plus basses sont observées en janvier, avec une valeur critique de 1,2°C. Ce paramètre (m) est fondamental car il indique une période d'hiver frais où le risque de gelées matinales est présent, ce qui peut impacter la phénologie et la reprise des jeunes plants forestiers.

II.11. Synthèse climatique

L'intégration des facteurs thermiques et pluviométriques permet de dégager une synthèse rigoureuse des conditions bioclimatiques qui caractérisent la zone d'étude (PNT). Cette synthèse repose sur l'application de formules et d'indices écologiques reconnus en foresterie pour évaluer l'intensité de la sécheresse. Elle conditionne la combinaison des différents paramètres climatiques T (C°) et P (mm) dont divers types de diagrammes sont destinés à donner une présentation graphique des paramètres majeures du climat propre à cette dernière (PNT).

II.11.1. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le croisement des données mensuelles selon le principe $P < 2T$ (où le cumul des précipitations en millimètres est inférieur ou égal au double de la température moyenne en degrés Celsius) permet d'identifier graphiquement l'amplitude de la saison sèche.

Tableau II. 07 : Les précipitations et les températures mensuelles (1981-2025)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
P (mm)	57,82	47,21	54,15	47,01	39,78	12,9	5,18	11,85	30,18	41,58	60,35	47,42	455,5
T moy (C°)	9,38	10,48	12,8	15,1	18,64	23,13	26,9	27,07	23,12	18,93	13,74	10,64	17,53

Source : Nasa power, 2026

Le diagramme ombrothermique construit selon le principe fondamental de Bagnouls et Gaussen ($P < 2T$), permet d'identifier avec précision la durée et l'intensité de la période sèche annuelle à la zone d'étude (fig. II. 12). Graphiquement, cette période correspond à la zone où la courbe des températures moyennes (T_{moy}) passe au-dessus de la courbe des précipitations (P).

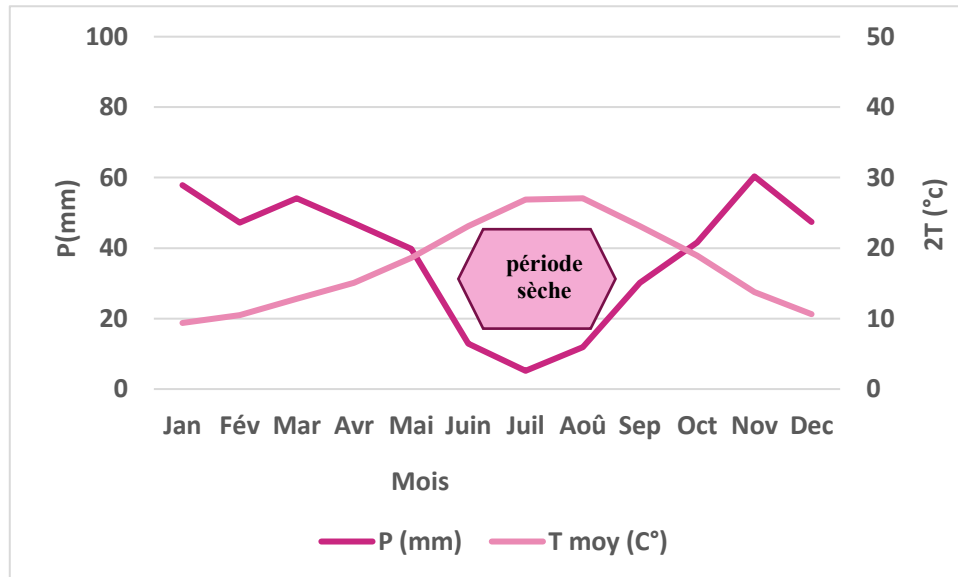


Figure II. 12 : Diagramme ombrothermique du PNT (1981-2025)

L'intersection des deux courbes met en évidence une saison sèche particulièrement longue et marquée, qui s'étend sur une durée d'environ 5 mois : Elle s'amorce au cours du mois de mai, période où la courbe des températures intercepte celle des précipitations en raison de la chute des pluies (39,78 mm) et de l'augmentation thermique. Elle s'achève au cours du mois d'octobre, mois durant lequel les précipitations reprennent de manière significative, repassant au-dessus de la courbe thermique.

Le déficit hydrique atteint son paroxysme durant le trimestre estival (juin, juillet, août). En juillet, l'écart entre le pic de température moyenne (proche de 27°C) et le minimum pluviométrique (5,18 mm) révèle l'existence d'une aridité estivale sévère.

II.11.2. Climagramme d'EMBERGER

L'évaluation globale du bioclimat du PNT repose sur le calcul du quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2). Cet indice permet de synthétiser l'efficacité de la pluviométrie au sein du parc en tenant compte de l'évaporation, fortement influencée par les extrêmes thermiques. La formule standard utilisée pour la détermination du quotient est la suivante :

$$Q_2 = \frac{1000 * P}{\frac{(M + m)}{2} * (M - m)}$$

Q₂ : Quotient pluviométrique ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

M : Température moyenne des maxima du mois le plus chaud en °k (T°C+ 273,15) ;

m : Température moyenne des minima du mois le plus froid en °k.

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot 455,5}{\frac{(39,5 + 1,2)}{2} \cdot (39,5 - 1,2)} \approx \mathbf{58,44}$$

Le quotient pluviométrique obtenu s'élève donc à 58,44.

La projection des valeurs calculées pour le PNT sur le climagramme d'Emberger de (fig. II. 13) permet de définir les caractéristiques climatiques globales :

- Avec un $Q_2 = 58,44$, le point se situe sur l'axe vertical entre les graduations 50 et 60, ce qui place le territoire au cœur de l'Étage Semi-aride (précisément dans sa frange supérieure) ;
- La moyenne des températures minimales du mois le plus froid, s'élevant à $m = 1,2^\circ\text{C}$, positionne le point sur l'axe horizontal entre 1 et 2, soit au sein de la zone délimitée comme « Frais ».

Alors, le croisement de ces deux variables ($Q_2 = 58,44$; $m = 1,2^\circ\text{C}$) démontre de façon rigoureuse que le Parc National de Tlemcen est soumis à un bioclimat *Semi-aride à hiver frais*. Cette situation écologique de transition impose des contraintes hydriques et thermiques marquées, déterminantes pour la répartition et la protection des formations forestières du parc.

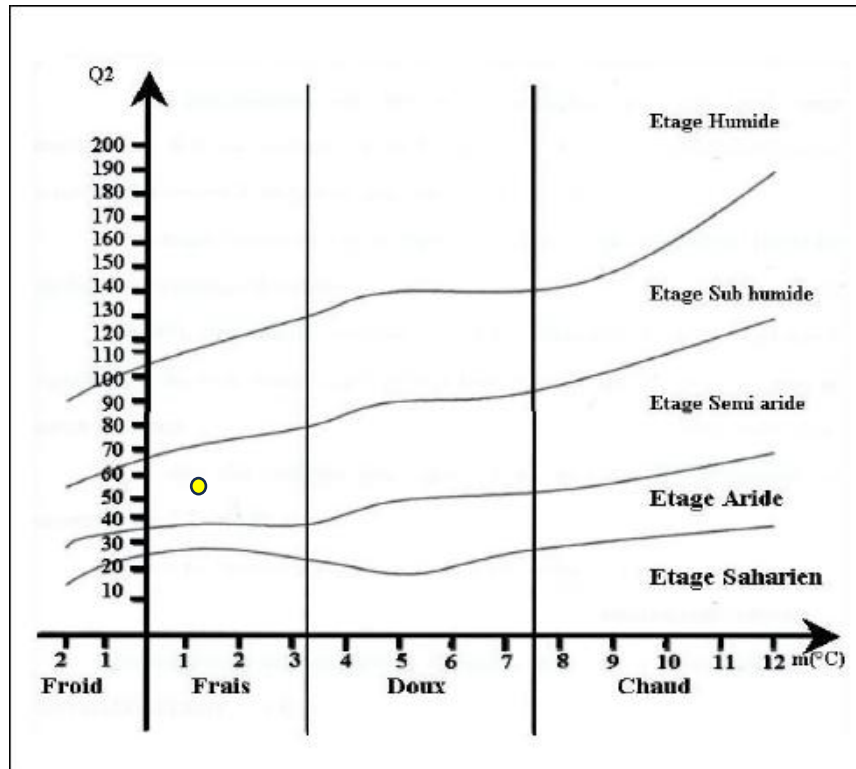


Figure II. 13 : Climagramme pluviométrique d'Emberger (1981-2025)

II.12. Aspect socio-économique

L'analyse socio-économique du PNT permet de comprendre l'interaction entre les populations locales et leur environnement. Le territoire du parc, qui englobe plusieurs municipalités, est marqué par des dynamiques économiques spécifiques où le secteur primaire joue un rôle capital dans la subsistance des habitants et la gestion de l'espace.

Selon le **PG. PNT (2006)**, une prépondérance de l'activité agricole au sein des sept communes intégrées à ce territoire protégé est notée. En raison des contraintes topographiques et de la configuration accidentée du relief, le tissu agricole local est essentiellement caractérisé par une agriculture de montagne.

Cette dernière s'articule principalement autour d'un système de culture extensive, dominé par l'arboriculture fruitière et la céréaliculture. Ce modèle est complété par des pratiques traditionnelles de subsistance et de diversification des revenus, telles que l'apiculture, ainsi que l'élevage extensif d'ovins, de bovins et l'aviculture traditionnelle.

Parallèlement aux secteurs dominants, le tissu économique local englobe plusieurs activités d'appoint :

- La récolte des glands, qui participe à l'économie de subsistance ;
- La carbonisation, une pratique traditionnellement observée de manière conjoncturelle à la suite des incendies de forêt ;
- L'apiculture de montagne, qui valorise la flore locale ;
- L'artisanat d'art, matérialisé par la tapisserie, la sparterie et le travail de la laine, reflétant le savoir-faire local.

Les us et coutumes locaux (activités traditionnelles) se traduisent par le maintien d'activités ancestrales liées aux ressources naturelles :

- La cueillette des plantes aromatiques et médicinales ;
- La récolte de miel traditionnel ;
- La chasse, dont la pratique est désormais encadrée et régulée sous l'égide de la fédération de chasse ;
- La pêche continentale, localisée spécifiquement au niveau du barrage de Meffrouche.

De nouvelles dynamiques émergent sur le territoire, bien qu'elles nécessitent une structuration plus approfondie :

- Le tourisme, un secteur au potentiel certain mais qui souffre encore d'un déficit de prise en charge et d'organisation par les instances sectorielles concernées ;
- Le sport de nature, qui se développe spontanément sous l'impulsion de petits collectifs d'amateurs, constitués en grande partie de personnes retraitées.

En somme, la présentation du Parc National de Tlemcen met en évidence la diversité et la complexité de son cadre physique et écologique. Cela constitue un socle indispensable à la réalisation d'inventaire cartographique de l'occupation du sol, indispensable à l'élaboration d'une stratégie de protection adaptée.

Chapitre III :
Matériel et Méthodes

Ce chapitre est dédié à la présentation du cadre méthodologique et des outils techniques mis en œuvre pour réaliser l'inventaire cartographique de l'occupation du sol du Parc National de Tlemcen. La démarche adoptée repose sur une approche géomatique intégrée, combinant l'exploitation d'outils de télédétection et de systèmes d'information géographique (SIG). Structurée de manière logique, cette méthodologie s'articule autour de phases successives allant de l'acquisition et du pré-traitement des données spatiales *ex-situ*, jusqu'à la validation finale des livrables cartographiques par le biais d'investigations systématiques sur le terrain (*in-situ*). L'ensemble des étapes de cette chaîne de traitement, conçu pour répondre aux objectifs de protection et de gestion durable du parc.

Pour optimiser la gestion de ces informations, ce travail prévoit la conception et l'implémentation d'une base de données relationnelle sous SIG, structurée pour sécuriser le stockage et fluidifier l'interrogation des données. La finalité opérationnelle repose sur la mise en place d'un outil de monitoring pérenne, garantissant aux gestionnaires du Parc une mise à jour simplifiée et durable.

III.1. Outils et matériel utilisés

III.1.1. Outils utilisés

III.1.1.1. Mapinfo Pro : Est un logiciel SIG commercial développé par Precisely (fig. III. 01), il a été intégré de manière stratégique dans la chaîne de traitement géomatique, son rôle s'est avéré capital pour orchestrer plusieurs tâches fondamentales :

- Disponibilité d'une bibliothèque de symboles cartographiques, de trames et légendes modifiables de façon interactive ;
- Accès aux bases de données externes (Access, Excel, Oracle, SQL server,..) ;
- Réaliser des analyses spatiales dans un environnement bureautique ;
- Traitements statistiques ;
- Opérations de superposition : superposition de couches thématiques ;
- Echange de données avec les autres SIG (ArcGis, ArcInfo, etc.) et les logiciels de (CAO/DAO), tel que « AUTO CAD » ;
- Type de sortie : représentation cartographiques, valeurs numériques ou textuelles,
- Histogrammes, graphiques etc ;
- Mettre en évidence des tendances de vos données qui autrement ne sont pas perceptibles ;
- Son langage de requête qui permet de mixer les entrées graphiques et non graphiques.



Figure III. 01 : Logiciel Mapinfo

III.1.1.2. SAS. Planet : Est un logiciel de navigation et de téléchargement de données géospatiales (open- source). Contrairement aux logiciels SIG conventionnels qui requièrent le téléchargement préalable de scènes satellitaires entières, SAS.Planet permet de visionner et d'extraire des dalles cartographiques (*tiles*) à haute et très haute résolution spatiale (THR) issues des plus grands serveurs de cartographie en ligne, tels que : Bing Maps, Esri Satellite, Google Earth, Here ou Yandex (fig. III. 02).



Figure III. 02 : SAS. Planet

L'interface de cet outil d'acquisition géospatiale offre une plateforme unifiée où l'utilisateur peut interagir directement avec ces différents flux de données (fig. III. 03). Elle se caractérise par une barre de menus supérieure permettant de sélectionner à la volée la source d'imagerie et

de superposer des couches de données superposées. La bascule d'un fournisseur d'imagerie à un autre se fait de manière instantanée, fluide et transparente. De plus, l'interface intègre un module de capture et d'assemblage géométrique particulièrement puissant. C'est à travers cette fenêtre de commande que l'opérateur définit graphiquement l'emprise d'étude et configure les propriétés d'extraction (choix de la résolution, de la projection et des fichiers de calage).

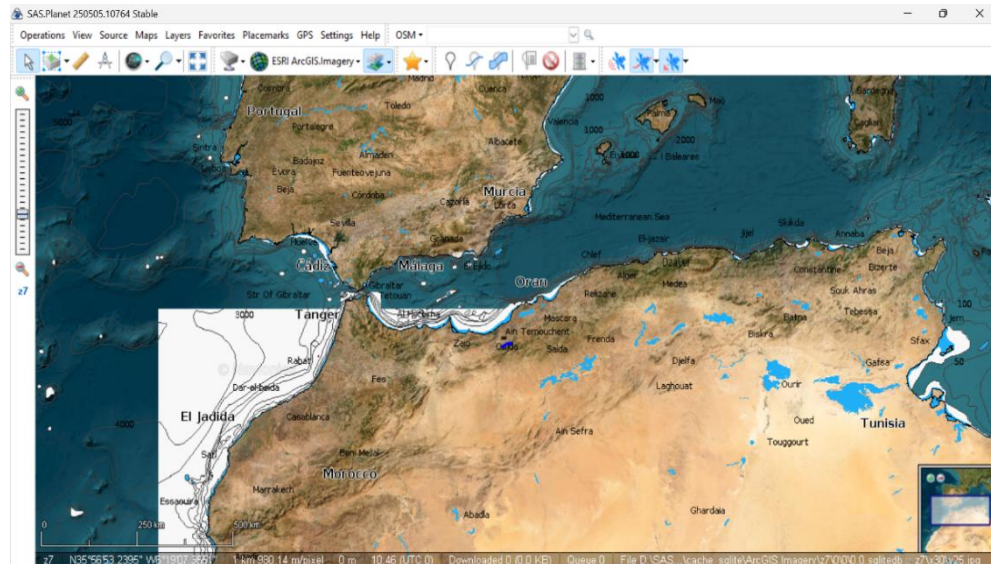


Figure III. 03 : Interface du logiciel SAS. Planet

Dans le cadre de ce travail, cet outil nous a permis d'obtenir des mosaïques d'imagerie continue, d'une très haute résolution spatiale (0,98 m/pixel).

III.1.1.3. Google Earth Pro 2026 (version 7.3) : L'intégration de cet outil répond à un besoin de double contrôle géospatial (fig. III. 04), permettant d'auditer la conformité de chaque entité numérisée avant sa validation définitive. Bien que l'imagerie issue de SAS.Planet offre une très haute résolution spatiale submétrique (0,98 m/pixel), l'interprétation visuelle en mode bidimensionnel (2D) comporte des limites inhérentes à la nature même des couverts végétaux.

En zone couverte de végétation, des confusions spectrales ou texturales surgissent fréquemment lors de la distinction entre certaines classes paysagères, telles que les sols nus d'origine anthropique et les parcelles agricoles en phase de jachère ou post-récolte. Pour surmonter ces ambiguïtés et sécuriser la nomenclature de notre typologie cartographique, le logiciel Google Earth Pro a été introduit au cœur de la chaîne de traitement comme une plateforme de validation croisée et de « vérité-terrain virtuelle » (*virtual ground-truthing*).

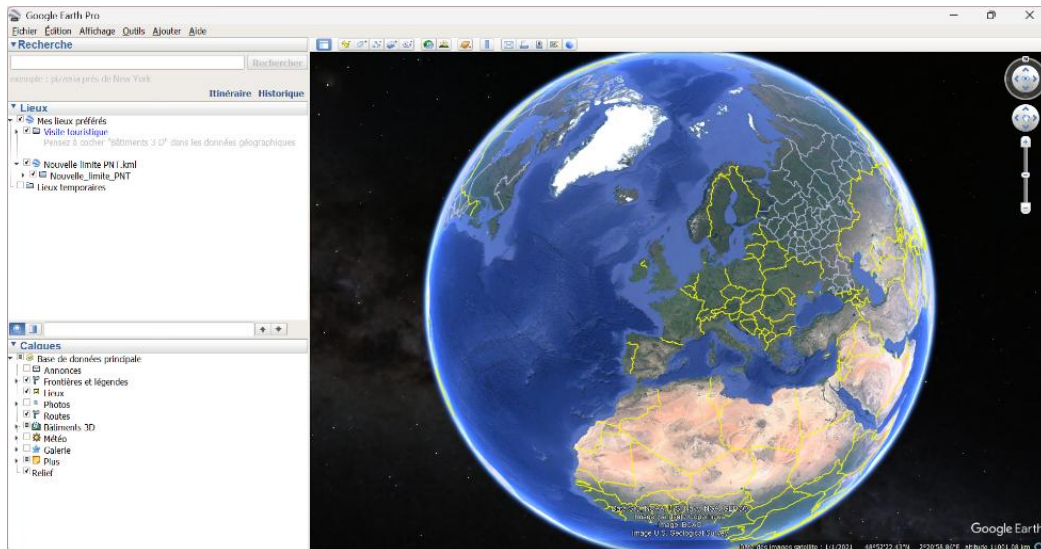


Figure III. 04: Google Earth Pro

III.1.1.4. NASA POWER 2026 : L'utilisation de cette plateforme (<https://power.larc.nasa.gov/>) a été rendue nécessaire par les difficultés d'accès et d'obtention de séries de données complètes auprès des stations météorologiques locales (ONM). Ce site de la NASA fournit des données météorologiques mondiales gratuites grâce aux observations des satellites. L'accès à cette base de données a permis de surmonter le manque d'informations physiques en fournissant un historique continu des températures et des précipitations sur une large période de 44 ans, allant de 1981 jusqu'à 2025. Cette longue série temporelle est idéale pour réaliser une synthèse climatique fiable et représentative du Parc National de Tlemcen (fig. III.05).

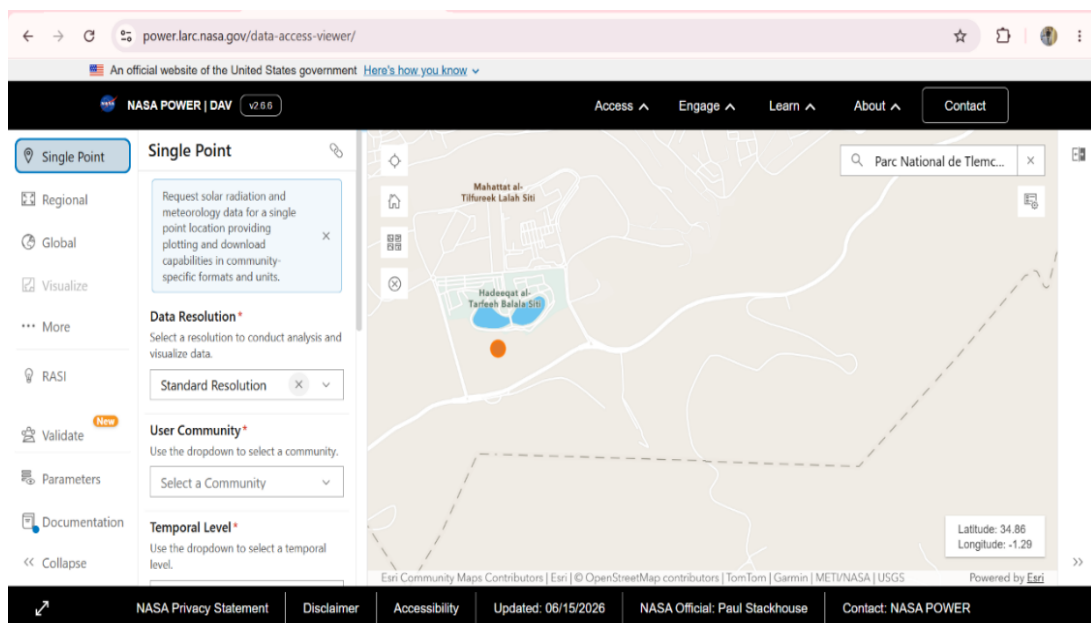


Figure III. 05 : NASA POWER 2026

III.1.1.5. Microsoft Excel 2021 : Microsoft Excel est un logiciel propriétaire de type tableur-grapheur développé et édité par Microsoft. Intégré à la suite bureautique Microsoft Office, il s'est imposé comme le standard mondial pour la gestion, la manipulation et l'analyse de données quantitatives et qualitatives.

Ce logiciel a été utilisé pour centraliser, structurer et traiter l'ensemble des données météorologiques brutes de la zone d'étude. Cet outil a permis de réaliser les calculs statistiques nécessaires et de générer les supports visuels essentiels à l'analyse climatique, notamment des tableaux de synthèse, des graphiques évolutifs et des histogrammes (tels que le diagramme ombrothermique). Ces éléments graphiques ont facilité l'interprétation des variations thermiques et pluviométriques indispensables à la compréhension de la dynamique du milieu forestier (fig. III. 06).

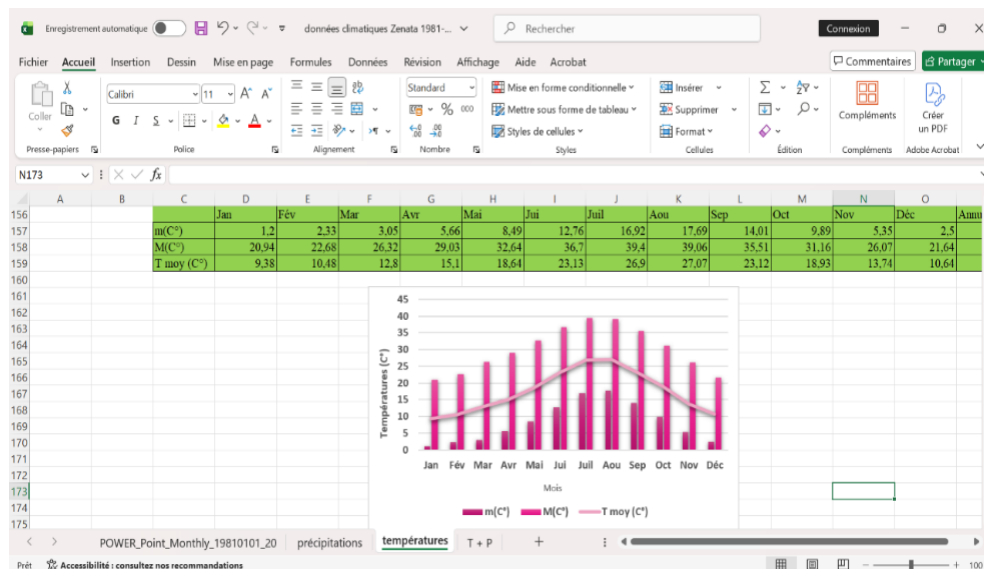


Figure III. 06 : Microsoft Excel 2021

III.1.2. Matériel utilisé

III.1.2.1. G.P.S « Global Positioning System » : Il constitue l'outil de liaison fondamental entre l'environnement cartographique virtuel (SAS.Planet et MapInfo) et la réalité biophysique du terrain (photo. III. 01). Dans le cadre d'un inventaire précis de l'occupation du sol et de la mise en place d'une stratégie de protection, la précision géométrique des limites cartographiques est une exigence scientifique absolue. C'est pourquoi ce matériel est spécifiquement utilisé pour la validation des classes d'occupation du sol préalablement définies et numérisées.



Photo III. 01 : G.P.S utilisé (photo originale)

III.1.2.2. Cartes topographiques : Elles constituent un document de référence indispensable en cartographie de l'occupation du sol pour apprécier le relief, le réseau hydrographique et la toponymie. Cependant, la constitution de ce fond de plan a été confrontée à une contrainte logistique et documentaire majeure : la difficulté critique de trouver une carte topographique unique et complète englobant la totalité du territoire du Parc National de Tlemcen.

Pour pallier cette absence, des investigations au sein de la bibliothèque du Parc National de Tlemcen ont permis d'identifier et de sélectionner deux cartes topographiques distinctes (fig. III. 07), couvrant le territoire d'étude, à une échelle : 1/50.000).

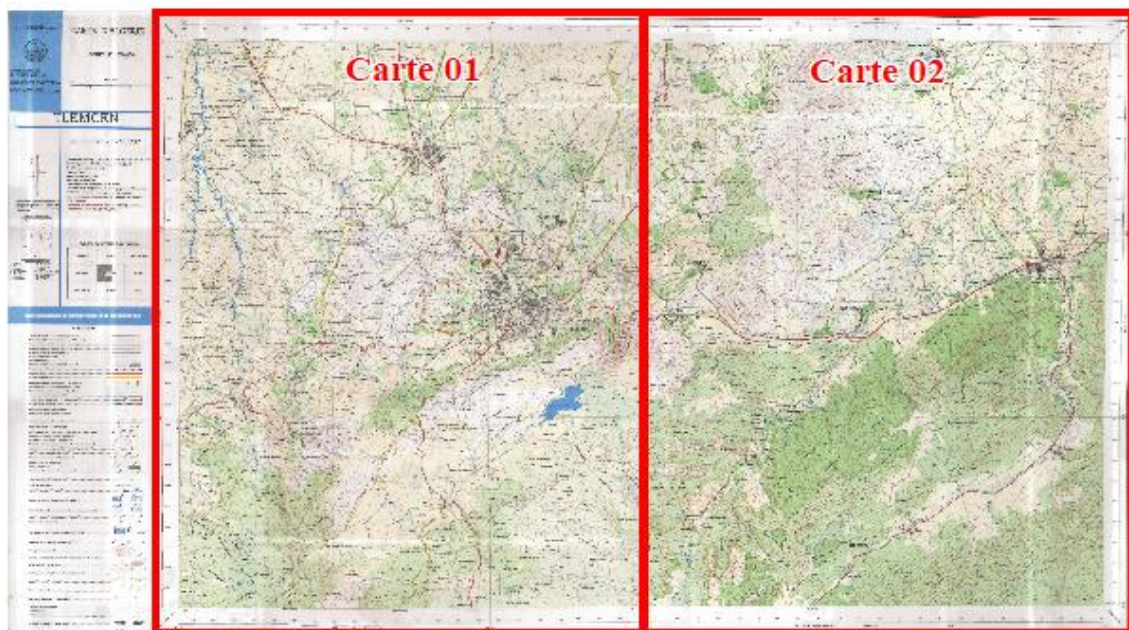


Figure III. 07 : Cartes topographiques couvrant le PNT

III.1.2.3. Appareil photos numérique : C'est un outil d'appui important et indispensable lors des prospections de terrain. Son utilisation avait pour objectif unique de documenter visuellement chaque point de contrôle de manière objective (photo. III. 02).

Concrètement, à chaque fois que le récepteur GPS enregistrait les coordonnées géographiques d'un point, une série de clichés photographiques était immédiatement prise sur place. Ces photos ont permis de capturer l'état réel observé à cet instant précis. Cette base d'images a ainsi servi de preuve visuelle incontestable pour mémoriser avec certitude la classe d'occupation du sol associée à chaque position cartographique, facilitant grandement la vérification finale des données.



Photo III. 02 : Appareil photos numérique utilisé

III.1.2.4. Ordinateur portable : Le traitement des données géospaciales, l'assemblage d'imageries raster à très haute résolution et les opérations de digitalisation vectorielle ont été entièrement exécutés sur un ordinateur portable performant de marque Lenovo ThinkPad T480s, fonctionnant sous le système d'exploitation Windows 11 Professionnel. Cet équipement informatique intègre un processeur Intel® Core™ i5 vPro de 8^{ème} génération, couplé à 8 Go de mémoire vive (RAM) et à un disque de stockage SSD de 256 Go, offrant ainsi la puissance de calcul, la rapidité de lecture et la stabilité matérielle indispensables pour manipuler la base de données géographique et assurer la fluidité de l'ensemble de la chaîne de traitement cartographique.

En somme, l'ensemble de ce matériel a constitué une chaîne technologique indissociable et performante. La complémentarité entre les outils de collecte de données (GPS, appareil photo, ...) et la robustesse des solutions de traitement (ordinateur portable, logiciels et outils de

bureautique...) a véritablement été le pilier central permettant de surmonter les contraintes techniques et de mener à bien l'intégralité de ce travail de recherche cartographique.

III.2. Méthodologie du travail

La démarche méthodologique mise en œuvre dans le cadre de ce travail s'appuie sur les outils de la géomatique, dans l'objectif principal d'élaborer une cartographie précise de l'occupation du sol. Le protocole expérimental s'articule de manière complémentaire autour de trois phases successives : une phase préparatoire dédiée à l'acquisition et au prétraitement des données satellitaires, une phase de traitement numérique et de vectorisation assistée par ordinateur, et enfin, une phase de validation par des campagnes de vérité-terrain.

L'approche méthodologique est synthétisée dans l'organigramme suivant (fig. III. 08) :



Figure III. 08 : Organigramme méthodologique

III.2.1. Acquisition des données (Sur SAS.Planet)

III.2.1.1. Choix de la source des données

La première phase du travail consiste à préparer l'environnement numérique dans SAS.Planet pour localiser des GeoTIFFs de haute précision. Dans ce but, le serveur *Esri ArcGIS Imagery* a été sélectionné pour la netteté et l'actualisation de ses données. En parallèle, la délimitation officielle de notre zone d'étude a été récupérée sous forme de couche vectorielle (lors d'un stage pratique au sein du PNT, effectué du 8 mars au 31 mai 2026). Ce tracé a ensuite été converti au format KML puis importé dans SAS.Planet (fig. III.09), afin de procéder au découpage et à l'extraction des GeoTIFFs couvrant toute la zone d'étude.

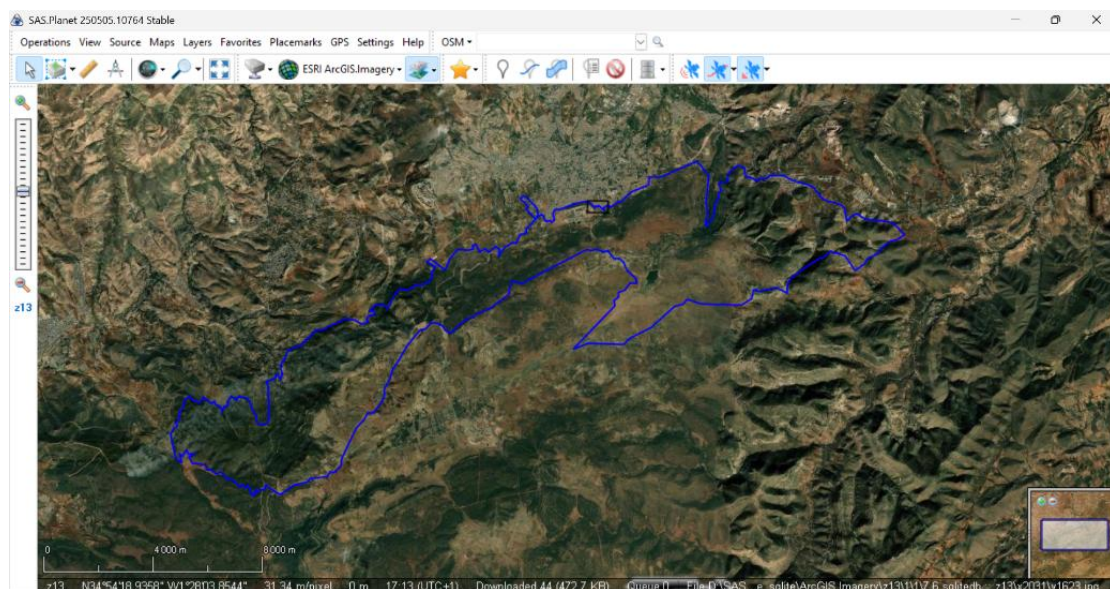


Figure III. 09 : Délimitation du PNT (SAS.Planet)

III.2.1.2 Extraction et téléchargement des GéoTIFFs

Après la superposition de la délimitation du PNT avec la couverture de SAS.Planet (*Esri ArcGIS Imagery*), 237 GeoTIFFs ont été extraits puis téléchargés, couvrant toute la surface du parc. Pour chaque capture, un zoom de niveau 18 a été appliqué, afin d'obtenir un niveau de détail élevé, offrant une résolution spatiale fine de 0,98 m/pixel (fig. III.10).

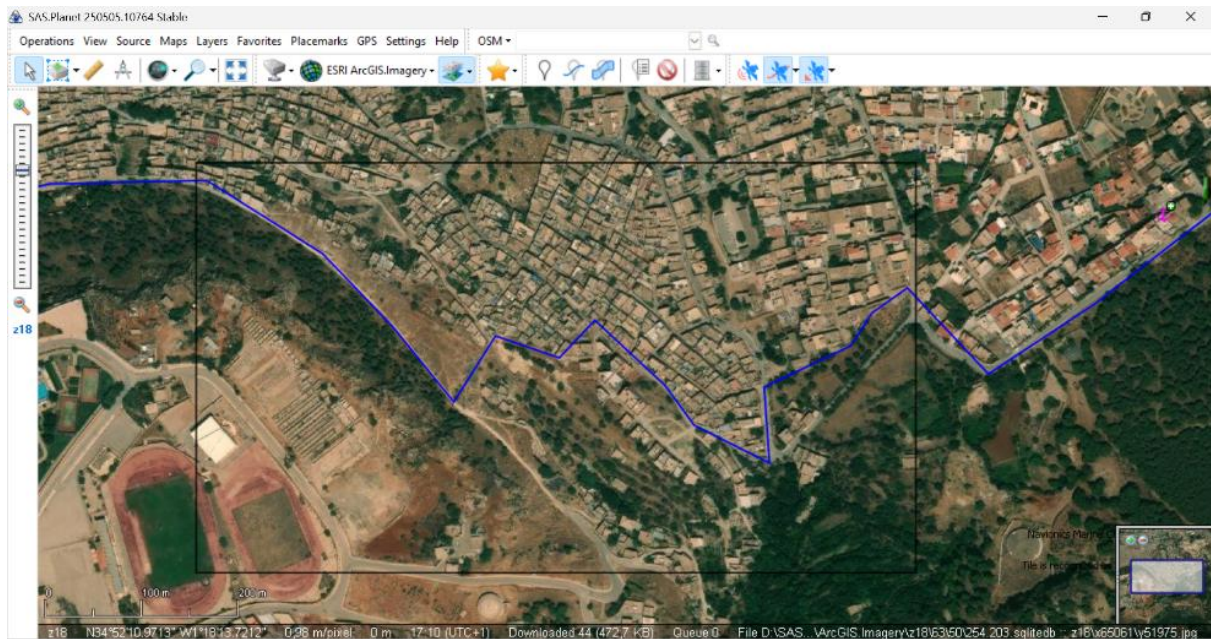


Figure III. 10 : Extraction des GéoTIFF

Une attention particulière a été accordée à la juxtaposition des captures. Lors de l'extraction, une zone de recouvrement spatial a systématiquement été intégrée entre chaque image successive (fig. III. 11) . Cette précaution est indispensable en cartographie numérique pour garantir la continuité parfaite des données et éviter l'apparition de vides ou de coupures lors de l'assemblage final. Cette démarche a permis d'obtenir une base d'images continue, complète et parfaitement calibrée pour l'analyse de l'occupation du sol.

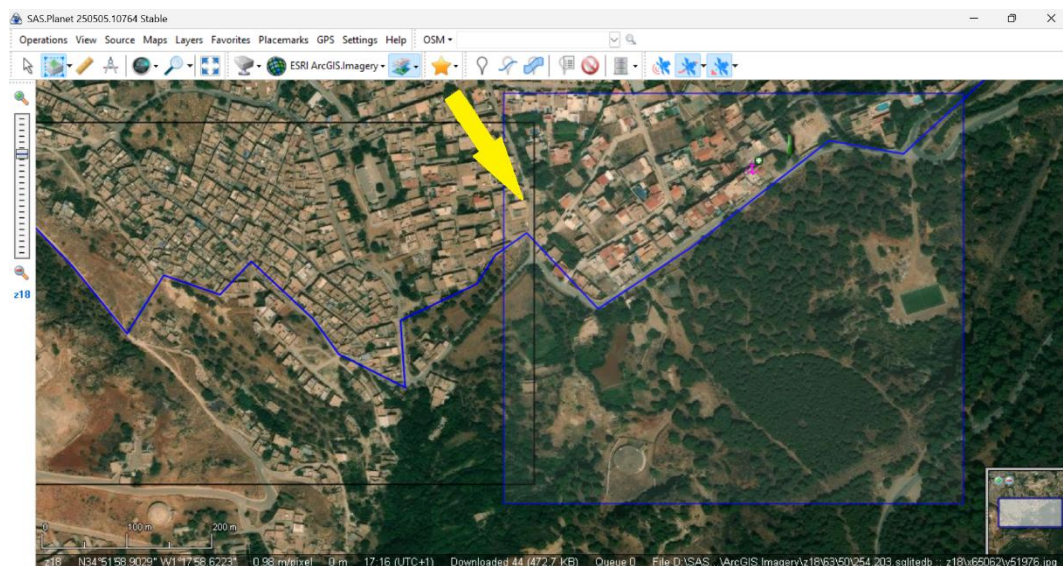


Figure III. 11 : Zone de transition entre GéoTIFFs

III.2.1.3. Exportation des GéoTIFFs

Une fois le territoire est couvert par les GéoTIFFs, l'exportation a été configurée dans SAS.Planet (fig. III.12). Un fichier de collecte des données a été créer. En particulier, l'option de création du fichier de géoréférencement au format « *.Tab » a été activée. Cela permet de générer pour chaque scène un fichier image et sa table calée, assurant une ouverture immédiate en parfaite compatibilité avec le logiciel MapInfo. Le processus a été lancé en cliquant sur la commande « Start » pour enregistrer automatiquement chaque fichier.

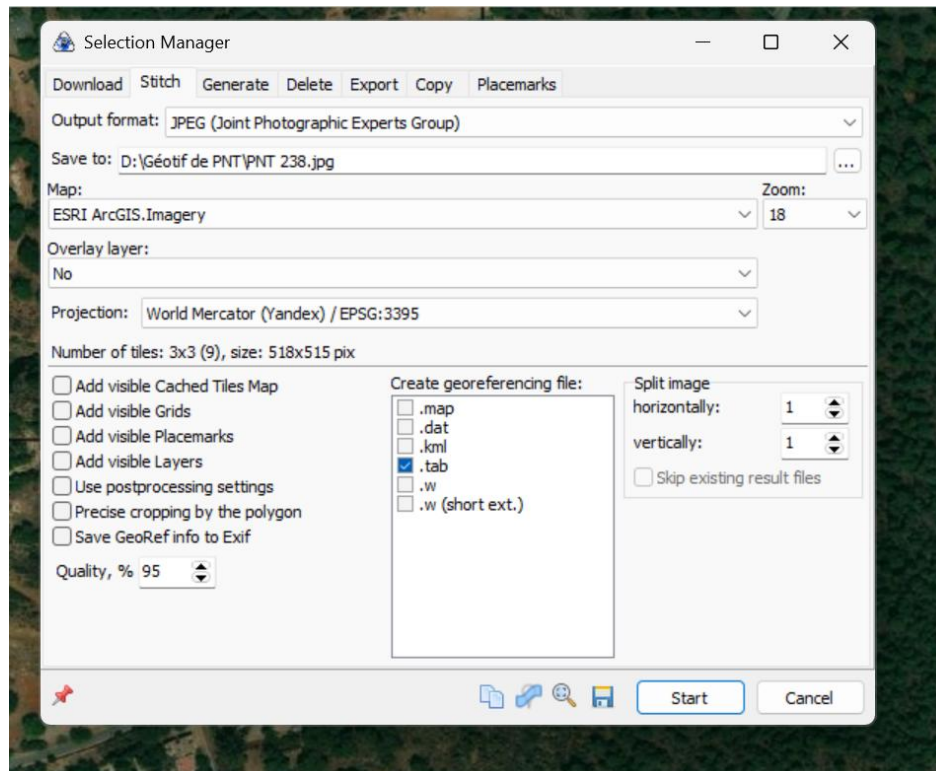


Figure III. 12 : Exportation des données

Pour valider la délimitation du PNT, les deux cartes topographiques citées précédemment (format papier) ont été numérisé à l'aide d'un scanner A0, calé puis intégré dans MapInfo.

III.2.2. Traitement numérique (MapInfo)

II.2.2.1. Intégration et affichage des GéoTIFFs

Cette phase de traitement numérique s'est poursuivie sous l'environnement du logiciel MapInfo Professional. Cette étape marque le passage de la collecte de données brutes à l'organisation de l'espace de travail cartographique.

La couche vectorielle matérialisant les limites officielles du PNT a été intégrée comme référentiel spatial permanent. Compte tenu de l'étendue de la zone d'étude, couvrant une superficie totale de 8 225,04 ha, 237 tables (préalablement générées via SAS.Planet) ont ainsi été importées et injectées de manière systématique dans le projet sous MapInfo (fig. III. 13).

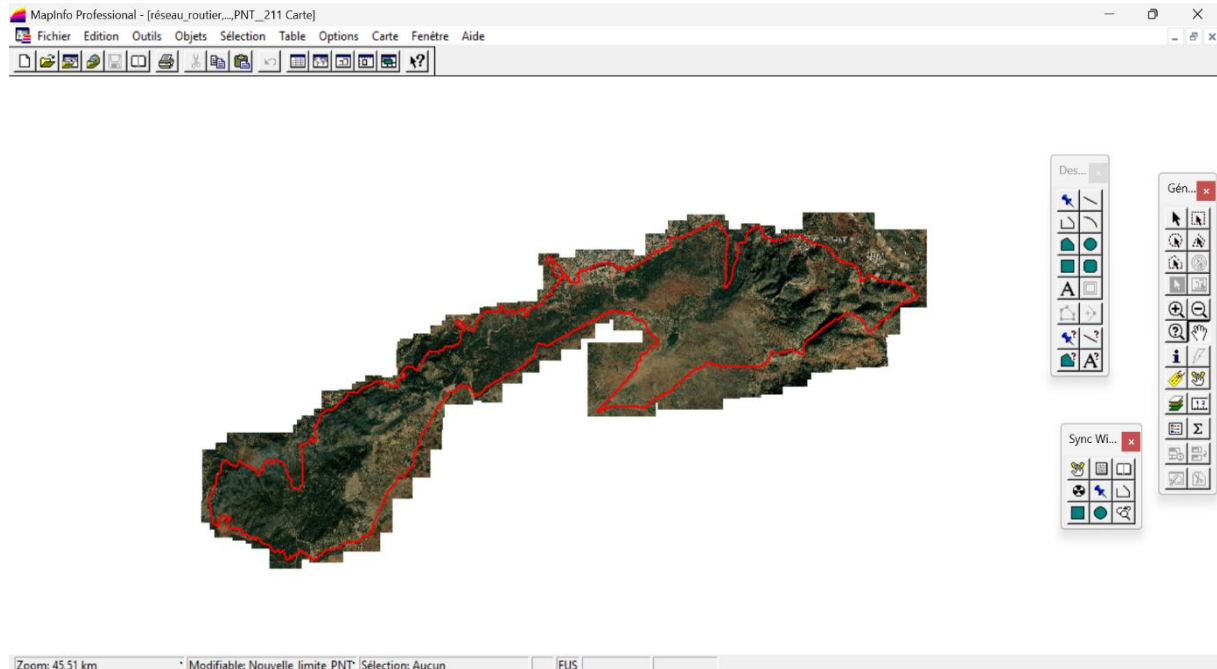


Figure III. 13 : Mosaïque des tables sous MapInfo.

II.2.2.2. Définition des classes d'occupation du sol et digitalisation

Cette étape de précision nécessite de définir une nomenclature claire afin de classer rigoureusement les différentes entités du PNT. Pour cela, une typologie standardisée de neuf classes d'occupation du sol a été retenue (fig. III. 14), à savoir : Forêt, maquis, agriculture, sols nus, surfaces d'eau, bâtis, TPF, voie ferroviaire et le réseau routier.

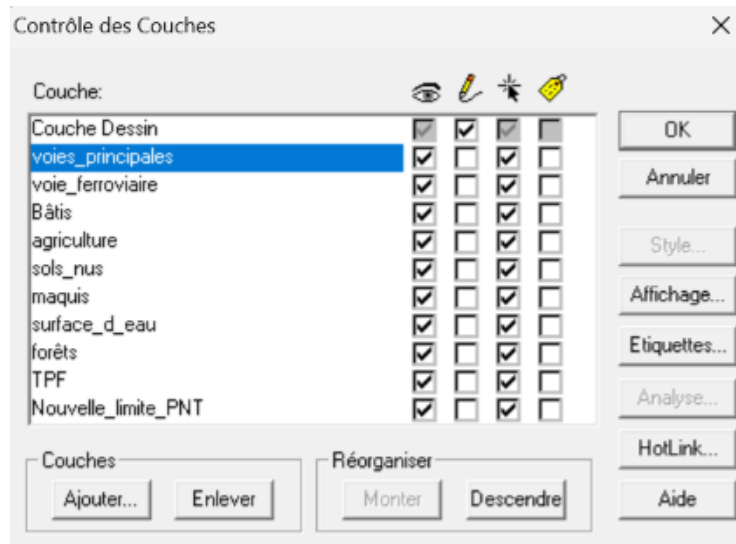


Figure III. 14 : Classes d’occupation du sol (couches vecteurs)

Une fois les classes définies, les vecteurs créés, la digitalisation commence, le choix de la typologie géométrique dépend de la classe à numériser (fig. III. 15).

La phase de numérisation (digitalisation) constitue le cœur de notre approche géomatique pour réaliser l'inventaire cartographique. Tout au long du processus, chaque table finie a été immédiatement verrouillée, avant de passer à la suivante, afin d'éviter toute erreur ou modification accidentelle.



Figure III. 15 : Digitalisation de la classe agriculture sous MapInfo

Pour lever les doutes sur certaines zones ambiguës, un protocole de validation croisée a été mis en place avec Google Earth Pro (fig. III. 16). Cette comparaison en mode tridimensionnel et l'accès à l'historique des images ont permis de confirmer la nature exacte des surfaces incertaines et de garantir une bonne précision de la digitalisation finale.

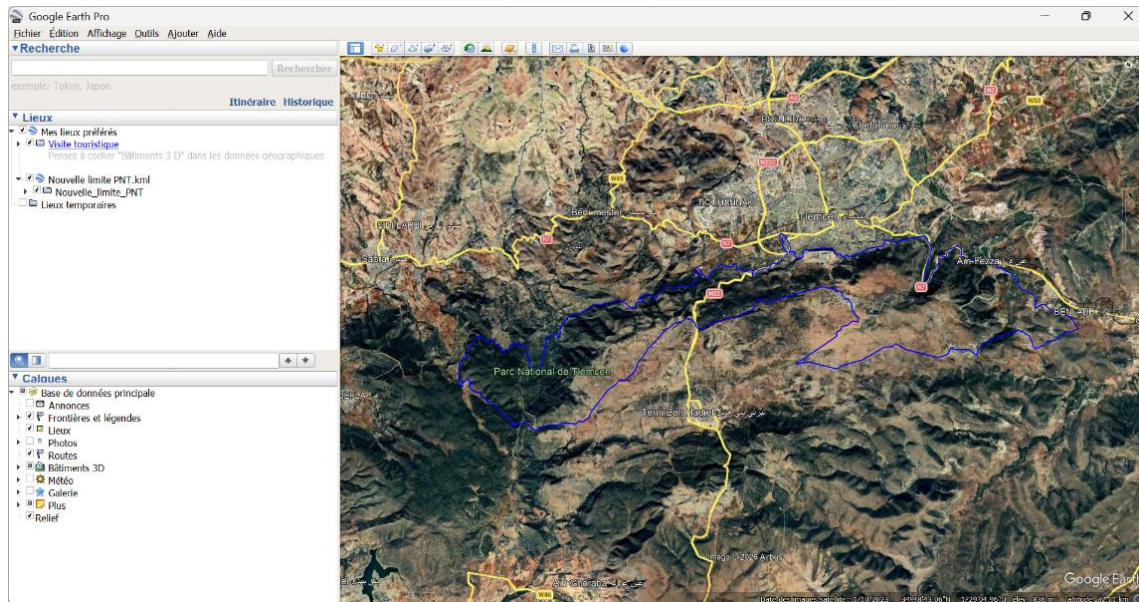


Figure III. 16 : Visualisation tridimensionnelle du PNT sous Google Earth Pro.

Une couverture vectorielle continue et finalisée de l'ensemble du PNT a été effectuée (fig. III. 17), ce qui offre une représentation spatiale fidèle et entièrement actualisée de la mosaïque des paysages. Ce travail cartographique fournit un état des lieux contemporain et global de l'occupation du parc.

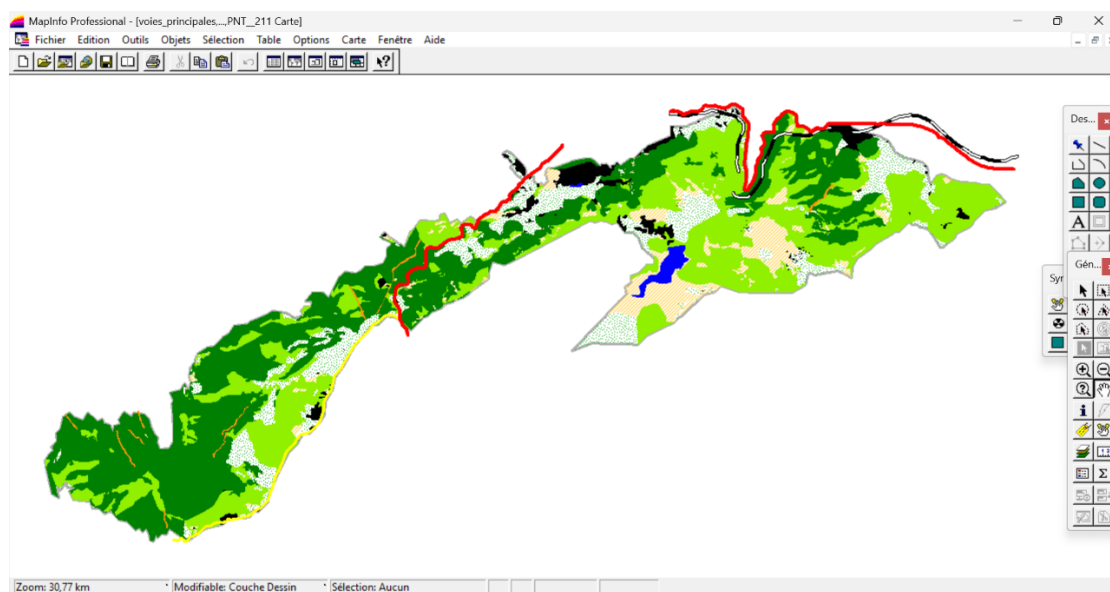


Figure III. 17 : Couverture vectorielle du PNT

III.2.2.3. Chargement de la base des données

Après la phase de classification et de digitalisation des entités, selon les neuf classes d'occupation du sol retenues, la structuration de la base de données géographique sous l'environnement SIG a été procédé. Cette étape essentielle consiste à associer des informations géométriques et thématiques aux objets cartographiques.

III.2.3. Validation, calculs et mise en page finale

II.2.3.1. Campagne de vérification sur le terrain

Bien que la digitalisation sur écran offre une excellente précision, la confrontation avec la réalité du terrain reste indispensable pour valider scientifiquement l'inventaire cartographique. À cet effet, une campagne de vérité-terrain rigoureuse a été planifiée, via deux sorties sur terrain, au sein du Parc National de Tlemcen :

- **Station 01 : Forêt de Hafir** : Menée en mai 2026, l'objectif principal de cette mission était de vérifier la correspondance exacte entre les signatures visuelles interprétées sous le logiciel SIG et les couvertures réelles sur le terrain. Pour se faire, des points d'observation clés, répartis de manière homogène à travers la forêt de Hafir, ont été localisés. Des relevés de positionnement spatial ont été effectués (Annex. III.01), pour capturer avec précision les coordonnées planimétriques (X, Y) ainsi que l'altitude (Z). Cette validation permet de garantir un degré de fiabilité optimal à la cartographie finale de l'occupation du sol ;
- **Station 02 : Canton d'Oued Tlet** : Ce choix répond à une logique de diversification thématique. La démarche est identique (Annex. III.02). L'intégration de cette campagne de vérité-terrain répond à un objectif méthodologique fondamental : confronter la nomenclature cartographique préalablement établie sous environnement SIG aux réalités biophysiques et anthropiques directement observables sur le territoire d'étude.

II.2.3.2. Analyse des données et calcul des superficies

Une fois les contours vectoriels définitivement validés et la base de données géographique consolidée, l'étape suivante consiste à procéder à l'évaluation quantitative de l'occupation du sol. Cette démarche vise à mesurer avec précision l'étendue spatiale de chaque entité cartographiée afin de dresser un bilan surfacique de la zone d'étude en hectares.

II.2.3.3. Mise en page de la carte

La phase ultime du traitement géomatique est consacrée à la mise en page et à l'édition cartographique. Après la validation sur le terrain et le calcul des superficies, cette étape vise à structurer l'information visuelle selon les règles de la sémiologie graphique pour rendre la carte immédiatement compréhensible. Le processus, réalisé sous MapInfo, consiste à assembler tous les éléments d'habillage indispensables : une légende claire, l'échelle, l'orientation (flèche du Nord) et les coordonnées de projection (fig. III. 18). Cette structuration permet d'aboutir au produit final de notre étude : la carte officielle de l'occupation du sol du PNT, qui sera présentée et analysée dans le chapitre IV (résultats et discussions).

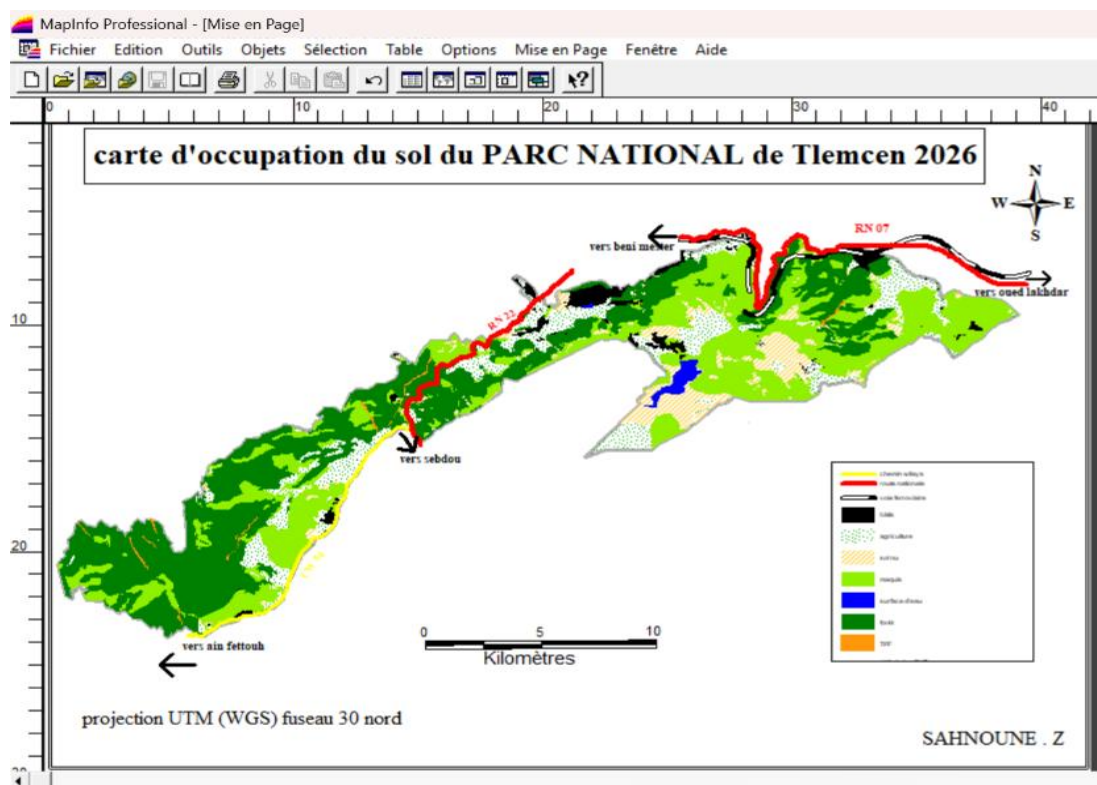


Figure III. 18 : Mise en page de la carte d'occupation du sol sous MapInfo

Chapitre IV :
Résultats et discussions

Après avoir exposé les caractéristiques de la zone d'étude et les fondements méthodologique, il convient de présenter, d'analyser et de confronter les résultats obtenus afin de formuler une stratégie de protection adaptée. Ce chapitre constitue le cœur de notre étude, où les outils géomatiques mis en œuvre trouvent leur application concrète.

Dans cette partie, l'accent sera mis sur la présentation des résultats cartographiques et des données statistiques qui en découlent, permettant ainsi d'établir un état des lieux rigoureux et quantifié de l'occupation du sol.

IV.1. Analyse de l'occupation du sol par classe

L'analyse qualitative des entités spatialisées au sein du PNT permet d'identifier neuf classes d'usage majeures, regroupées en quatre grandes catégories thématiques, à savoir :

IV.1.1. Formations végétales

Forêt : En tant qu'écosystème caractérisé par un couvert forestier, elle représente le réservoir de biodiversité prioritaire du parc. Cependant, elle constitue également la strate de combustible la plus lourde face aux risques d'incendie (photo. IV. 01).



Photo IV. 01 : Classe « Forêt »

- **Maquis** : Il correspond aux formations arbustives et buissonnantes, souvent issues de la dégradation des forêts anciennes sous l'action du feu ou du surpâturage. Il crée une continuité de la végétation au ras du sol qui favorise la propagation rapide des feux de surface (photo. IV. 02).



Photo IV. 02 : Classe « Maquis »

IV.1.2. Espaces anthropisés et de production

- **Agriculture** : Cette classe englobe les terres cultivées, les vergers, les serres et les zones de jachère... L'espace agricole matérialise la modification des sols à des fins de production. Sa présence au contact direct des milieux naturels crée des lisières dynamiques où les activités humaines augmentent la vulnérabilité de la lisière forestière (photo. IV. 03).



Photo IV. 03 : Classe « Agriculture »

- **Bâtis** : Cette classe regroupe le tissu bâti, l'habitat groupé ou éparé, ainsi que les infrastructures associées. Caractérisée par une concentration de l'activité humaine, elle matérialise le point de départ de la pression anthropique et constitue l'enjeu majeur à sécuriser lors de l'analyse des risques (photo. IV. 04).



Photo IV. 04 : Classe « Bâtis »

IV.1.3. Réseaux de transport

- **Réseau routier** : Cette classe intègre tous les types de voies traversant le PNT (routes, pistes...). S'il est indispensable pour la circulation et l'accès des secours, le réseau routier constitue géomatiquement le principal vecteur d'introduction du risque anthropique au cœur du parc, notamment par les départs de feux accidentels en bord de voie (photo. IV. 05).



Photo IV. 05 : Classe « réseau routier »

- **Voie Ferroviaire** : Elle correspond à l'emprise de la ligne de chemin de fer. Tout comme les routes, elle crée une coupure artificielle dans le paysage forestier et représente une infrastructure linéaire pouvant générer des foyers potentiels d'incendies à proximité immédiate de la végétation sèche.

IV.1.4. Infrastructures de défense et les éléments physiques

- **Tranchées Pare-Feu (TPF)** : Il s'agit des bandes de terrain déboisées et entretenues stratégiquement. Conçues comme des aménagements de prévention, les TPF créent une discontinuité dans le couvert végétal afin de freiner la propagation du front de flamme et de faciliter l'intervention des équipes de lutte.
- **Sols Nus** : Cette classe désigne les surfaces dépourvues de couverture végétale, telles que les affleurements rocheux ou les zones fortement érodées. L'absence de protection biologique y favorise le ruissellement, mais ces espaces représentent aussi des barrières naturelles contre la progression des incendies (photo. IV. 06).



Photo IV. 06 : Classe « Sol nu »

- **Surface d'eau** : Elle comprend le barrage d'El Mefrouche, et le lac de Lala Setti présents dans le PNT. En gestion forestière, ces hydrosystèmes constituent des points d'eau stratégiques pour la défense des forêts contre les incendies (DFCI) et des refuges écologiques pour la faune, tout en offrant un espace de récréation et de détente pour les visiteurs du parc.

IV.2. Calcul des surfaces par classe d'occupation

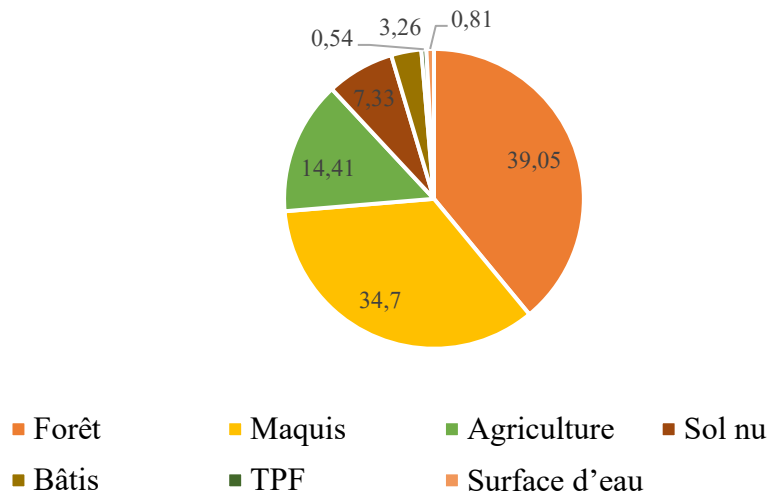
La digitalisation des différentes classes d'occupation du sol et le calcul précis de leurs superficies constituent un point focal indispensable pour établir un état des lieux réel et chiffré du PNT. En transformant les images satellites en données métriques (surfaces et périmètres), cette approche géomatique permet d'obtenir une idée exacte du territoire, mettant en évidence l'étendue des massifs forestiers face aux zones dégradées ou anthropisées. Ces statistiques fiables dépassent le simple cadre cartographique : elles offrent aux gestionnaires du parc un outil d'aide à la décision opérationnel pour cibler les zones prioritaires, planifier efficacement les actions de reboisement ou de protection, et suivre l'évolution future des écosystèmes.

Les résultats quantitatifs issus de cette digitalisation et le bilan des superficies de chaque classe d'occupation du sol sont synthétisés dans le tableau IV.01 & la figure IV. 01) :

Tableau IV.01 : Superficies et pourcentages des classes d'occupation du sol.

Classes d'occupation du sol	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
Forêt	3 211,87 ha	39,05
Maquis	2 854,08 ha	34,70
Agriculture	1 185,22 ha	14,41
Sol nu	602,89 ha	07,33
Bâtis	268,13 ha	03,26
TPF	44,41 ha	0,54
Surface d'eau	66,62 ha	0,81
Total	8 233,22 ha	100

Occupation du sol du PNT en pourcentage (%)

**Figure IV. 01** : Occupation du sol du PNT en pourcentage (%)

Les résultats mettent en évidence la nette dominance du couvert végétal naturel, principalement représenté par la classe « Forêt », suivie de près par le « Maquis ». L'activité agricole occupe également une place significative, couvrant 14,41 % du territoire.

En revanche, les autres classes s'avèrent nettement plus minoritaires, le « Sol nu » représentant 07,33 %, suivi du « Bâtis » 03,26 %, des « TPF » avec 0,81 %, enfin, les « Surfaces d'eau » qui ne recouvrent que 0,54 %.

IV.3. Validation terrain des classes d'occupation du sol

Afin de garantir la précision et la fiabilité de la cartographie thématique, une phase de validation sur le terrain, suite à 02 sorties au PNT, a été indispensable. La démarche a consisté, dans un premier temps, à extraire un ensemble de points de contrôle (X,Y et Z) échantillonnés et géoréférencés directement depuis MapInfo. Munis de ces coordonnées prédéfinies, des prospections sur le terrain ont été menées afin de vérifier la correspondance réelle entre les observations de surface et les classes d'occupation du sol initialement identifiées. Cette confrontation directe avec la réalité de terrain a permis d'ajuster les contours cartographiques, de corriger les éventuelles confusions thématiques et de valider définitivement la typologie retenue pour la zone d'étude.

IV.4. Mise en page de la carte finale de l'occupation du sol

La validation des données thématiques est complétée par une phase de mise en page cartographique, étape indispensable pour garantir la lisibilité, la clarté et l'exploitation scientifique des résultats.

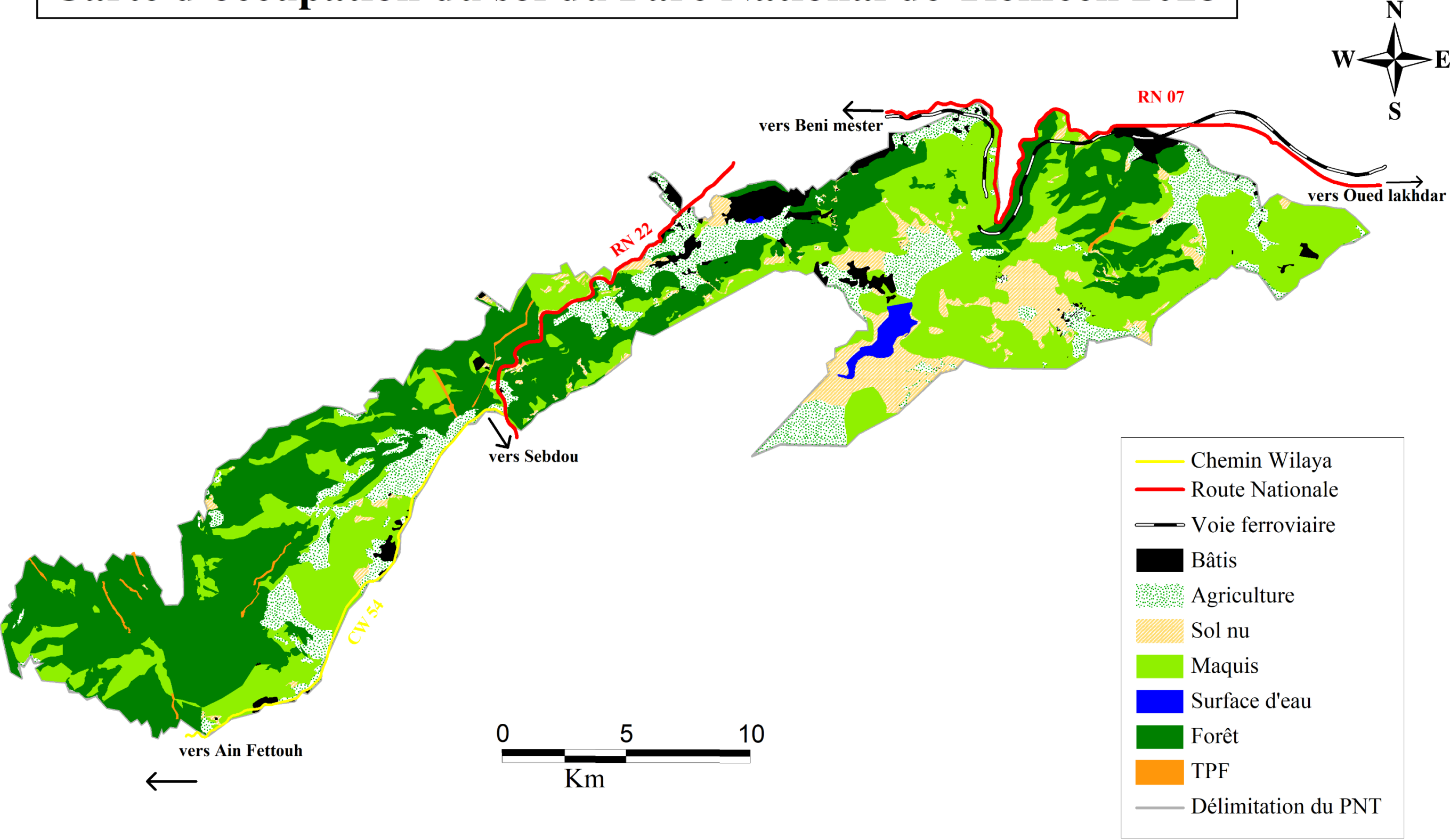
Afin de transformer l'analyse spatiale en un outil d'aide à la décision efficace pour le PNT, la carte finale d'occupation du sol a été structurée selon les normes de la sémiologie graphique. Les éléments essentiels à savoir : l'échelle graphique, l'orientation (la flèche Nord), la projection et une légende normalisée ont été rigoureusement agencés.

Une attention particulière a été portée au choix de la palette de couleurs afin d'assurer une distinction immédiate et intuitive entre les différentes classes d'occupation du sol. Ce document cartographique de synthèse, qui illustre la répartition spatiale des différentes entités paysagères, est exposé ci-dessous .

La carte d'occupation du sol du PNT de Tlemcen pour le mois de mai de l'année 2025, met en évidence un net gradient de préservation environnementale structuré d'ouest en est : Alors que la partie occidentale du parc conserve un massif forestier dense et continu, la moitié orientale apparaît plus fragmentée et soumise à une forte pression anthropique. Cette dynamique humaine se traduit par l'avancée des zones agricoles et du bâti, particulièrement concentrés le long des axes routiers majeurs (RN 22 et RN 07) et autour de la principale surface d'eau (barrage).

Au final, cette cartographie s'impose comme un outil d'aide à la décision indispensable pour concilier la protection des milieux naturels (forêts et maquis) et le développement des activités socio-économiques périphériques.

Carte d'occupation du sol du Parc National de Tlemcen 2025



Projection : UTM (WGS 84), Fuseau 30 Nord

SAHNOUNE . Z

Discussion générale

L'inventaire cartographique de l'occupation du sol du PNT, réalisé à travers une approche géomatique, dépasse la simple description statistique pour devenir un véritable outil de diagnostic biophysique et de planification environnementale. L'individualisation de 9 classes d'occupation du sol met en évidence un territoire principalement caractérisé par l'importance des formations végétales naturelles et semi-naturelles. En effet, la forêt et le maquis couvrent à eux seuls plus de 73 % de la superficie totale étudiée (8233,22 ha).

Le paysage est largement dominé par les forêts (39,05 %, soit 3211,87 ha) et les maquis (34,70%, soit 2854,08 ha). Cette forte représentativité des strates arborées et arbustives confère au territoire une valeur écologique majeure, essentielle pour la conservation de la biodiversité, la régulation climatique locale et la protection des sols contre l'érosion. La part importante occupée par le maquis peut refléter un stade de dégradation secondaire de la forêt induit par des pressions anthropiques ou naturelles passées (telles que les incendies répétés ou le surpâturage), ou correspondre à une dynamique de reconquête végétale résiliente.

L'impact des activités humaines se traduit principalement par l'importance de l'agriculture, qui occupe 14,41 % du territoire (1185,22 ha). Elle constitue ainsi la troisième classe d'occupation du sol, soulignant la vocation socio-économique rurale de la zone d'étude.

En revanche, le tissu urbain ou artificialisé (bâti) ne représente qu'une faible proportion de la surface totale avec 03,26 % (268,13 ha). Ce faible taux d'artificialisation indique un milieu encore préservé de l'étalement urbain massif, bien qu'il nécessite une planification spatiale rigoureuse afin d'éviter une future fragmentation des terres agricoles fertiles ou des massifs forestiers limitrophes.

Avec 07,33 % (602,89 ha), la présence des sols nus signale des zones potentiellement vulnérables à l'érosion hydrique ou à des processus de dégradation. Selon le contexte saisonnier de l'acquisition des données, cette classe peut également correspondre à des terres agricoles en jachère ou à des espaces en attente d'aménagement. Les surfaces en eau (0,81 %) et les TPF (0,54 %) représentent des portions mineures mais indispensables à l'équilibre hydrologique, pastoral et paysager de la région.

En somme, la matrice paysagère de la zone d'étude demeure à forte valeur environnementale. Le défi majeur de gestion réside dans le maintien de l'équilibre entre le développement agricole, l'extension potentielle des infrastructures (03,26 %) et la préservation de l'intégrité des forêts et maquis face aux risques environnementaux. Une analyse multi-temporelle comparative

permettrait de préciser les trajectoires d'évolution de ces dynamiques et d'anticiper les mutations futures du territoire.

*Conclusion
générale*

Face aux enjeux croissants de dégradation des écosystèmes forestiers et aux impératifs de conservation, la télédétection et les SIG se sont en effet révélés être des instruments d'aide à la décision indispensables pour spatialiser et caractériser avec précision l'état des milieux naturels. La présente étude s'est fixée pour objectif la réalisation d'un inventaire cartographique de l'occupation du sol au sein du Parc National de Tlemcen, en s'appuyant sur l'efficacité de ces outils géomatiques. À cet égard, le recours à des solutions open source a offert une grande flexibilité d'analyse, tout en démontrant l'accessibilité et la reproductibilité de cette méthodologie pour la gestion des espaces protégés.

C'est précisément la mise en œuvre de cette démarche méthodologique, consolidée par une validation sur le terrain, qui a permis d'aboutir à une cartographie thématique fiable et actuelle de la zone d'étude. Les résultats ainsi obtenus mettent en évidence la répartition des principales classes d'occupation du sol et soulignent la vulnérabilité face aux pressions anthropiques.

L'analyse quantitative a permis de structurer une base de données géospatiale complète, ayant servi de support à la production de la carte finale d'occupation du sol. Les résultats issus de cette cartographie mettent en évidence la répartition et la superficie de chaque classe d'occupation du sol, tout en localisant avec précision les "hotspots" ou zones critiques de dégradation et de risque. La confrontation de ces données spatiales met en exergue la fragmentation du couvert végétal et les secteurs prioritaires nécessitant des actions de protection urgentes.

Au-delà de ce simple constat cartographique, les données ainsi générées constituent désormais une base de référence spatiale essentielle pour le Parc National de Tlemcen. L'intégration de ces informations dans un environnement géomatique offre une vision globale et centralisée, indispensable à l'élaboration de stratégies de protection et de gestion durable à long terme.

C'est dans cette perspective de gestion durable qu'il devient capital de pérenniser ce travail en ouvrant la recherche sur de nouveaux axes stratégiques :

- *Application opérationnelle et aide à la décision* : Transférer l'ensemble des couches d'informations géographiques générées aux instances de gestion du parc, convertissant ainsi ce travail de recherche en un outil concret pour orienter les futurs plans de reboisement et d'aménagement forestier ;

- *Mise en place d'une veille dynamique permanente* : Implémenter un suivi régulier par imagerie spatiale à haute résolution pour assurer une mise à jour continue des données et garantir la sauvegarde à long terme des écosystèmes forestiers ;
- *Évolution vers une modélisation prédictive des risques* : Intégrer des variables multicritères telles que la pente, le climat et l'indice de pression humaine au sein du SIG, afin de dépasser la cartographie descriptive et d'anticiper les menaces d'incendies et de dégradation accélérée des milieux ;
- *Intégration de la dimension socio-économique et participative* : Intégrer des données cartographiques participatives (recueillies auprès des populations locales et des usagers de la forêt) pour mieux comprendre les dynamiques de surpâturage ou de prélèvements et concevoir des plans de protection concertés ;
- *Couplage avec des inventaires écologiques et floristiques* : Superposer cette base de données cartographique à des inventaires phyto-sociologiques de terrain pour évaluer la corrélation entre la structure de la biomasse (visible par télédétection) et la biodiversité réelle des peuplements naturels ;
- *Suivi de l'impact du changement climatique* : Croiser les cartes actuelles de l'occupation du sol avec des scénarios climatiques futurs pour modéliser la migration potentielle ou le dépérissement de certaines essences forestières clés (comme le chêne liège ou le pin d'Alep).

Références bibliographiques

B

- **Benaïssa, H. (2020).** *Diagnostic Phytoécologique du Parc National de Tlemcen et Développement Durable* (Thèse de doctorat). Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen.
- **Benaïssa, H., & Benabdeli, K. (2019).** Évaluation de l'impact du parcours sur la végétation du Parc national de Tlemcen (Algérie nord-occidentale). *Geo-Eco-Trop*, 43(1), 129–136.
- **Benest, M. (1985).** Évolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire (fascicule 1). *Documents des Laboratoires de Géologie, Lyon*, 95(1), 3–367.
- **Bensaid, A. (2006).** Outils géomatiques et gestion des ressources naturelles en milieu semi-aride. *Écosystèmes Forestiers Algériens*, 8(1), 14-25.
- **Bernier, S., Duthoit, S., Ladet, S., & Baudet, D. (2014).** Les concepts de base des systèmes d'information géographique (SIG) : les données et les fonctions générales. *Cahiers des Techniques de l'INRA*, (82), 1–9.
- **Bonn, F., & Rochon, G. (1992).** *Précis de télédétection : Principes et méthodes* (Vol. 1). Presses de l'Université du Québec.
- **Boukli Hacene, C., & Rabah Fissa, A. (2021).** *Systèmes d'information géographique : Cours et travaux pratiques* [Polycopié de cours]. Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie, Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen.
- **Bouhraoua, R. T. (2013).** État des lieux et vulnérabilité des écosystèmes forestiers de l'Ouest algérien. *Revue Forestière Algérienne*, 3(1), 45-54.

C

- **Claverie, M., Demarez, V., Duchemin, B., Hagolle, O., Ducrot, D., Marais Sicre, C., Dejoux, J.-F., Huc, M., Keravec, P., Béziat, P., Fieuzal, R., Ceschia, E., & Dedieu, G. (2012).** Maize and sunflower biomass estimation in southwest France using high spatial and temporal resolution remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 124, 844–857.

- **Collet, C. (2004).** Analyse spatiale, géomatique et systèmes d'information géographique. *Revue Internationale de Géomatique*, 14(1), 1–18.

D

- **Deshayes, M., & Chery, J.-P. (2000).** SIG, définitions et contraintes de mise en place. *Forêt Méditerranéenne*, 21(1), 67–69.
- **Direction Générale des Forêts [DGF]. (2017).** *Stratégie nationale et plan d'action pour la biodiversité 2016-2030*. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche.

E

- **Élie, F. (2010).** *Physique des nuages et des précipitations – Thermodynamique de l'atmosphère* (Édition en ligne), 51 p.
- **Eugenio González, F., Marcello Ruiz, J., & Marqués Acosta, F. (2010).** *Manuel de télédétection spatiale : TELECAN*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria ; Université Polytechnique de Catalogne.

F

- **Food and Agriculture Organization [FAO]. (2020).** *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. FAO.
- **Freycon, V., Bernard, C., Fauvet, N., & Laclau, J.-P. (1996).** Les SIG appliqués à la forêt. *Bois et Forêts des Tropiques*, (250), 71–78.

G

- **GCOS. (2016).** *The global observing system for climate: Implementation needs* (Global Climate Observing System Implementation Plan 2016).
- **Genevois, S. (2008).** *Quand la géomatique rentre en classe. Usages cartographiques et nouvelle éducation géographique dans l'enseignement secondaire* (Thèse de doctorat). Université Jean Monnet - Saint-Étienne.
- **Gilliot, J.-M. (2000).** *Introduction & information spatiale*. Département AGER – Agronomie-Environnement, Institut National Agronomique Paris-Grignon.

- **Girard, M. C., & Girard, C. M. (2010).** *Traitement des données de télédétection : Outils géomatiques pour l'analyse spatiale* (2e éd.). Dunod.

J

- **Joly, F. (1976).** *La cartographie*. Presses universitaires de France.

K

- **Koehl, M. (2004).** SIG, une histoire de définitions... *Revue XYZ*, 101(4), 61–66.

M

- **Maljean-Dubois, S. (2018).** Climat. Dans *Dictionnaire des transitions écologiques* (p. 197-204). Institut Universitaire Varenne.
- **Meddour-Sahar, O. (2014).** Analyse des politiques de gestion des incendies de forêts en Algérie : Historique, bilan et perspectives. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 14(3).
- **Mériaux, P., & Frayssinet, C. (2019).** *Une carte, c'est quoi ?* (Version 1.0). Dane Lyon.

P

- **Parc National de Tlemcen. (2006).** *Plan de gestion du Parc National de Tlemcen* [Document interne non publié]. Archives du Parc National de Tlemcen.
- **Parc National de Tlemcen. (2020).** *Plan de gestion du Parc National de Tlemcen* [Document interne non publié]. Archives du Parc National de Tlemcen.
- **Parc National de Tlemcen. (2025).** *Plan de gestion du Parc National de Tlemcen* [Document interne non publié]. Archives du Parc National de Tlemcen.
- **Poidevin, D. (2007).** *Manuel de cartographie*. Artique.

S

- **Sekkoum, S., & Maachou, H. M. (2018).** Le parc national de Tlemcen (Algérie) : un potentiel touristique sous-exploité. *Études caribéennes*, (39-40).
- **Soltner, D. (1987).** *Les bases de la protection végétale* (Tome II, 4ème édition). Collection Sciences et Techniques Agricoles.

Webographie

- <https://power.larc.nasa.gov/>
- <https://doi.org/10.4060/ca9825en>

Annexes

Annexe III. 01 : Coordonnées géographiques et vérité-terrain des points échantillonnés à Hafir.

N°	Latitude (N)	Longitude (W)	Altitude (m)	Type d'occupation du sol constaté	Classe SIG validée	Observation / Infrastructure
01	34° 46' 32,8"	001° 25' 44,6"	1298	Céréaliculture	Agriculture	Exploitation agraire
02	34° 46' 31,4"	001° 25' 54,5"	1295	Groupe ment forestier	Forêt	Couvert arboré
03	34° 46' 31,7"	001° 25' 54,9"	1295	Piste	Voie de communication	Réseau routier interne
04	34° 46' 27,9"	001° 25' 59,9"	1275	Zone forestière dense	Forêt	Continuité du couvert
05	34° 46' 46,5"	001° 25' 39,2"	1230	Formation forestière	Forêt	Contrôle d'homogénéité
06	34° 46' 48,4"	001° 25' 23,8"	1216	bâtis / Habitation	Bâtis	Lisière du massif
07	34° 46' 49,8"	001° 25' 12,4"	1201	Infrastructure bâtie	Bâtis	Dispensaire

Annexe III. 02 : Coordonnées géographiques et vérité-terrain des points échantillonnés à Canton d'Oued Tlet

N°	Latitude (N)	Longitude (W)	Altitude (m)	Type d'occupation du sol constaté	Classe SIG validée	Observation / Infrastructure
01	34° 46' 04,4"	001° 25' 10,9"	1173	Route / Infrastructure routière	Voie de communication	Réseau routier
02	34° 46' 12,5"	001° 25' 02,2"	1186	Formation forestière	Forêt	Couvert arboré
03	34° 46' 14,3"	001° 25' 03,0"	1178	Surface dénudée / Sol nu	Sol nu	Zone d'érosion / Faible couvert
04	34° 46' 27,46"	001° 25' 50,6"	1187	bâtis / Habitation	Bâtis	Tissu bâti / Infrastructure

Annexe III. 03 : les précipitations mensuelles et annuelle de la période (1981-2025)

moi/année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	Juillet	Août	septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuelle
1981	58,34	55,87	47,63	69,76	19,73	69,71	0,39	12,91	8,5	5,63	0,16	39,8	388,43
1982	72,22	65,69	17,8	84,17	69,66	6,27	1,59	11,69	11,97	34,54	115,19	76,26	567,05
1983	0,06	38,07	20,3	8,5	27,93	6,54	1,28	8,37	0,41	3,4	30,51	56,66	202,03
1984	48,24	23,45	46,76	9,59	119,98	12,71	0,1	9,94	11,6	8,94	117,67	12,1	421,08
1985	38,67	21,18	46,65	29,92	53,24	0,47	2,59	2,34	14,69	11,99	71,86	48,01	341,61
1986	85,16	120,7	70,75	41,47	30,88	11,54	2,3	9,21	52,23	81,8	115,88	38,58	660,5
1987	58,39	117,66	8,97	7,52	9,26	2,73	26,32	5,23	22,03	72,66	57,5	13,63	401,9
1988	95,4	41,06	16,43	30,79	28,7	16,88	0,81	1,17	32,13	27,51	24,1	19,65	334,63
1989	35,25	32,08	156,03	51,16	27,08	15,83	2,36	10,69	37,39	32,33	36,44	29,52	466,16
1990	116,45	2,09	30,03	85,29	73,68	5,71	5,37	1,77	41,41	15,43	60,22	62,61	500,06
1991	49,21	85,83	199,24	16,99	21,27	17,7	3,81	8,11	36,77	41,55	31,35	26,93	538,76
1992	17,78	19,74	95,76	77,38	83,61	74,66	7,37	2,11	5,07	28,96	29,82	24,62	466,88
1993	5,14	91,08	47,88	69,41	86,73	6,8	1,16	2,54	26,9	55,29	98,23	19,59	510,75
1994	53,1	85,74	18,33	31,09	16,71	0,45	3,09	4,84	29,86	61,69	38,78	17,16	360,84
1995	20,71	38,51	166,97	18,04	3,37	29,15	8,63	11,3	24,63	26,32	13,67	74,63	435,93
1996	95,62	103,74	99,41	57,75	37,71	12,45	10,66	5,81	51,47	21,38	10,16	58,27	564,43
1997	89,92	0,61	2,18	57,09	21,94	3,17	4,26	23,39	53,84	32,93	45,08	59,73	394,14
1998	30,2	48,46	17,81	20,59	42,73	5,6	1,53	17,57	17,78	16,61	42,11	23,03	284,02
1999	104,15	53,73	75,4	2,4	2,81	1,86	1,68	5,64	42,92	34,07	80,95	79,07	484,68
2000	3,62	0	6,81	26,93	40,51	2,89	1,01	7,48	33,62	72,92	84,98	48,96	329,73
2001	70,61	61,88	16,62	10,16	13,72	0,43	1,23	5,97	46,94	28,35	137,72	55,08	448,71
2002	2,13	7,45	49,05	80,9	52,14	2,95	0,41	51,24	6,43	34,6	105	27,42	419,72
2003	125,42	91,47	37,91	46,39	28,16	12,42	3,23	7,48	13,89	85,89	76,61	92,18	621,05
2004	51,68	34,56	106,28	63,92	97,17	19,07	1,7	11,56	16,62	59,37	53,37	72,65	587,95
2005	50,01	51,41	57,98	17,88	3,68	11,26	2,21	9,68	35,38	59,34	73,15	20,5	392,48
2006	80,49	64,03	33,43	54,35	75,36	12,9	6,91	4,95	18,16	8,45	19,39	57,11	435,53

2007	15,82	32,86	61,99	134,08	14,26	0,15	4,17	20,77	41,88	146,12	76,35	18,97	567,42
2008	34,44	21,24	21,76	11,46	58,29	14,51	21,18	10,84	77,66	156,68	108,15	130,03	666,24
2009	114,47	49,32	41,2	60,23	22,51	1,19	2,38	9,22	110,93	3,53	34,14	62,97	512,09
2010	101,9	80,13	85,71	82,09	29,16	24,21	4,67	38,38	31,93	71,57	41,27	31,26	622,28
2011	36,05	36,09	24,5	71,99	96,17	45,69	4,85	13,09	27,11	56,92	132,87	33,36	578,69
2012	41,48	39,24	56,93	65,32	9,12	3,89	2,56	4,84	35,45	70,85	218,28	48,45	596,41
2013	106,67	60	63,24	96,69	48,78	0,78	13,71	14,55	43,17	13,51	56,67	123,41	641,18
2014	71,11	61,8	39,07	15,42	34,09	27,27	1,33	1,85	37,03	27,15	79,01	87,77	482,9
2015	96	72,06	31,53	10,59	36,5	16,52	0,96	56,93	22,41	67,28	34,48	0,03	445,29
2016	21,46	81,49	61,06	55,66	33,36	9,62	3,17	6,04	32,18	14,38	72,89	75,53	466,84
2017	149,26	24,72	21,73	17,71	11,04	3,28	1,39	32,27	4,48	37,75	40,47	49,13	393,23
2018	67,52	51,38	147,09	121,58	41,57	14,44	0,78	19,19	39,71	103,14	67,65	5,98	680,03
2019	68,24	13,59	18,35	63,27	10,76	1,71	10,59	28,9	20,77	54,69	84,11	57,69	432,67
2020	29,82	0,57	21,12	104,83	50,8	0,74	7,45	3,28	10,13	4,1	15,13	84,01	331,98
2021	44,76	4,69	45,11	47,98	25,41	13,04	40,6	4,37	10,39	6,69	49,55	27,21	319,8
2022	24,99	15,46	113,29	54,2	109,21	6,93	8,23	4,72	11,12	21,65	14,9	45,74	430,44
2023	49,86	49,39	5,11	1,91	34,22	17,23	0,54	0,05	50,88	14,94	4,87	14,15	243,15
2024	22,17	46,01	34,02	8,84	8,42	8,92	0,12	6,71	33,95	27,91	3,81	7,52	208,4
2025	48,12	28,52	51,96	22,46	28,8	8,42	2,75	4,56	24,65	10,61	11,6	77,33	319,78
total	57,8246 667	47,2144 444	54,1595 556	47,0166 667	39,7828 889	12,9042 222	5,18733 333	11,8566 667	30,1882 222	41,5871 111	60,3577 778	47,4286 667	455,508 222

Annexe III. 04 : les températures moyenne mensuelles et annuelle

moi/ann ée	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	septemb re	octobre	novembr e	decembr e	Annuell e
1981	7,14	8,97	13,87	13,91	17,11	22,5	23,9	24,77	22,74	19,68	15,04	11,48	16,8
1982	10,2	10,27	12,77	14,61	17,89	23,63	26,48	25,47	22,63	16,03	12,61	8,31	16,78
1983	9	9,2	13,4	15,06	17,43	23,75	26,06	24,65	24,66	20,24	15,59	10,37	17,49
1984	8,94	8,91	10,48	16,26	14,38	21,56	27,68	25,4	23,25	16,51	13,63	10	16,43
1985	7,95	13,1	10,39	15,68	16,71	22,97	27,11	26,98	24,52	19,51	14,38	10,63	17,51
1986	8,75	9,94	11,25	12,16	20,08	22,15	26,42	26,95	23,04	18,42	12,75	9,11	16,8
1987	9,11	10,32	13,19	17,06	18,26	22,58	24,91	26,91	25,23	18,88	13,15	12,5	17,72
1988	10,41	10,41	12,75	15,58	17,67	21,36	26,9	28,48	23,33	19,61	14,89	8,96	17,55
1989	8,81	10,53	13,52	13,32	18,45	22,91	27,5	27,68	22,88	19,72	15,28	13,25	17,87
1990	8,56	13,02	14,16	13,92	18,53	23,27	26,59	26,98	25,35	18,3	13,41	9,24	17,63
1991	8,72	8,61	11,65	12,8	16,29	22,34	26,29	27,63	23,69	16,05	12,33	10,26	16,44
1992	8,13	10,42	11,27	14,41	18,39	18,28	24,69	26,32	23,28	16,06	13,39	10,8	16,31
1993	9,1	9,22	12,35	14,02	17,21	21,52	25,76	26,49	20,03	16,15	12,27	10,6	16,28
1994	9,01	10,24	13,49	13,51	19,38	23,38	29,11	28,45	21,84	18,09	14,92	10,81	17,74
1995	9,49	11,99	12,57	14,14	19,68	21,51	25,38	26,22	20	19,18	15,4	12,14	17,35
1996	11,31	9,15	12,21	14,71	17,43	22,36	24,67	24,76	20,13	16,94	13,52	11,29	16,57
1997	10,69	12,12	14,02	16,17	18,55	22,05	24,04	25,59	23,04	19,47	14,41	11,14	17,64
1998	10,43	12,15	13,77	13,89	16,9	23,47	27,08	27,12	23,34	17,29	13,49	9,5	17,4
1999	9,15	8,13	12,47	15,53	20,65	23,59	26,86	27,58	22,49	20,04	11,9	9,47	17,39
2000	7,98	12,02	13,61	14,63	19,72	24,53	27,03	27,75	22,85	16,57	12,96	11,68	17,63
2001	10,01	10,44	15,01	15,35	17,81	25,08	26,53	27,39	22,92	21,29	11,96	9,98	17,86
2002	9,77	11,43	13,08	14,55	18,32	24,67	25,41	25,01	22,36	18,95	13,76	11,61	17,44
2003	8,33	9,17	13,73	14,83	18,99	25,47	28,08	27,92	23,27	18,62	13,19	9,83	17,67
2004	9,84	11,49	12,03	14,21	15,79	23,45	26,48	27,27	24,16	20,07	12,25	9,08	17,19
2005	7,44	7,18	12,69	15,01	20,98	24,12	27,1	26,61	21,86	19,27	12,58	9,43	17,09

2006	7,82	8,97	13,39	17,13	20,78	23	28,04	26,06	22,74	20,54	15,25	9,68	17,84
2007	10,24	11,72	11,39	13,87	18,16	21,68	26,92	26,54	22,97	17,52	12,46	9,11	16,91
2008	9,89	11,65	12,51	16,05	16,98	22,73	27,03	27,28	22,44	17,44	10,67	8,54	16,95
2009	8,3	9,42	13,02	12,94	19,18	23,71	27,88	26,47	20,93	19,58	15,35	12,02	17,46
2010	10,48	11,98	12,51	15,6	17,22	21,46	27,6	27,08	22,91	17,67	12,84	11,55	17,44
2011	9,88	9,09	12,28	17,43	19,55	23,2	26,37	27,97	23,23	18,46	13,41	9,49	17,58
2012	8,39	6,61	11,92	13,18	20,2	24,93	27,06	29,02	23,36	19,22	14,04	10,42	17,4
2013	9,59	8,55	12,4	14,45	16,24	20,76	25,22	26,29	22,08	20,54	11,79	9,19	16,48
2014	9,62	10,16	11,3	16,86	19,09	22,04	25,36	26,63	24,35	20,48	14,39	9,3	17,5
2015	8,93	8,41	12,26	17,24	21,05	22,79	28,95	26,59	22,52	19,27	13,94	12,62	17,95
2016	11,58	11,04	10,94	15,14	18,78	23,67	27,37	26,75	23,57	20,65	13,45	10,5	17,81
2017	8,02	11,49	13,44	16,4	20,88	25,49	27,99	27,5	23,17	19,82	13,88	9,35	18,16
2018	9,57	8,56	12,11	14,6	16,66	21,29	25,86	26,85	24,18	17,83	12,92	11,97	16,92
2019	9	10,5	13,08	14,48	19,54	22,79	26,98	27,25	23,61	19,16	12,76	12	17,65
2020	9,27	13,58	13,58	15,71	20,6	23	28,53	28,49	23,74	18,32	15,49	11,31	18,48
2021	10,22	13,19	12,81	16,19	20,23	23,3	27,83	28,31	24,74	19,47	12,41	11,89	18,42
2022	9,72	12,45	12,87	14,11	21,18	25,46	28,65	29,18	24,5	22,64	16,64	13,97	19,33
2023	9,47	10,67	15,29	18,81	19,17	24,86	30,71	29,18	23,72	21,3	15,71	12,38	19,33
2024	13,11	13,1	15,64	16,88	20,54	24,14	29,68	29,61	24,18	20,18	17,2	11,49	19,67
2025	10,79	12,21	13,79	17,54	20,55	28,34	28,8	28,94	24,64	21,22	14,67	10,72	19,39
total	9,38133	10,484	12,8057	15,1095	18,6484	23,1364	26,9086	27,0748	23,1215	18,9388	13,7406	10,6437	17,5388
	333		778	556	444	444	667	889	556	889	667	778	889

Annexe III. 05 : les températures maximales de la période (1981-2025)

Moi/année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	Annuel
1981	16,74	20,02	27,21	26,55	31,8	36,55	38,33	35,36	37,66	33,37	26,08	20,56	38,33
1982	23,61	20,89	24,68	29,47	32,25	36,9	38,99	38,36	32,74	28,88	24,77	16,82	38,99
1983	21,41	22,04	26,53	31,19	30,61	36,12	38,81	36,21	35,1	31,05	26,71	24,09	38,81
1984	20,17	19,6	25,6	30,2	25,28	38,24	40,03	36,88	35,39	28,73	25,65	20,67	40,03
1985	20,28	27,2	23,44	28,47	33,25	36,39	38,65	39,57	35,99	32,35	30,79	23,48	39,57
1986	18,18	24,12	22,88	25,3	33,88	35,88	39,16	37,47	34,95	29,71	23,59	18,49	39,16
1987	20,91	22,67	24,94	32,51	30,92	34,33	35,77	40,17	34,84	29,91	27,29	23,88	40,17
1988	19,82	22,57	26,62	29,52	32,01	34,54	39,11	42,08	38,47	32,88	26,56	22,16	42,08
1989	19,97	24,11	26,48	27,22	30,79	37,13	39,02	40,79	34,21	31,1	26,04	26,1	40,79
1990	20,15	24,02	26,79	26,46	32,35	36,08	37,07	37,13	35,33	31,13	27,05	19,55	37,13
1991	19,78	20,53	23,96	26,17	29,7	35,44	37,99	38,92	34,91	28,6	24,58	20,67	38,92
1992	17,31	21,84	22,14	28,55	31,27	31,23	36,92	38,6	34,66	29	24,02	20,38	38,6
1993	20,5	19,71	26,01	26,39	31,47	34,12	38,49	40,2	32,89	27,32	22,27	20,31	40,2
1994	20,06	25,26	27,43	25,07	38,62	41,01	40,89	41,25	35,31	29,03	24,22	21,29	41,25
1995	21,43	23,74	24,21	27,72	30,72	34,36	38,17	37,2	31,94	30,06	27,32	21,03	38,17
1996	22,33	21,16	28,35	27,15	30,71	34,33	37,47	36,29	30,38	26,86	24,86	21,16	37,47
1997	22,18	24,1	26,06	30,09	31,49	35,24	38,22	36,87	35,07	29,84	26,59	20,05	38,22
1998	20,02	22,48	26,39	29,53	30,95	36,96	39,55	38,99	36,15	28,77	25,59	22,12	39,55
1999	22,46	20,76	26,04	26,74	36,84	37,76	39,7	42,24	38,29	33,16	26,14	20,26	42,24
2000	22,35	21,7	26,4	28,49	34,16	36,67	40,6	40,8	34,88	29,2	26,41	22,38	40,8
2001	22,42	22,09	30,71	27,02	33,67	41,17	43,88	39,23	37,13	33,96	25,32	21,21	43,88
2002	22,18	24	26,55	28,82	35,95	39,68	38,7	38,02	32,41	31,52	24,76	23,34	39,68
2003	22,04	22,59	26,15	32,47	31,36	37,32	40,51	39,79	37,06	31,12	23,69	20,85	40,51
2004	21,96	23,07	23,54	29,41	29,53	36,62	39,24	41,03	38,37	33,41	23,32	19,37	41,03
2005	20,19	17,96	27,14	28,57	33,37	36,58	39,15	40,32	34,42	30,52	28,6	19,08	40,32
2006	17,75	20,12	30,79	30,39	36,72	35,52	37,97	36,74	37	35,48	27	20,54	37,97
2007	22,3	27,75	26,03	25,81	31,54	34,78	38,88	39,21	35,31	30,09	24,14	18,39	39,21

2008	20,82	22,04	27,03	29,81	28,23	37,55	37,92	38,08	35,29	28,01	22,09	18,09	38,08
2009	20,4	19,32	26,1	29,33	35,56	36,85	40,55	36,97	35,01	32,98	27,16	24,81	40,55
2010	22,24	28,94	26,78	28,66	30,52	34,44	40,85	37,98	33,61	32,93	22,87	26,02	40,85
2011	20,58	19,98	23,11	30,01	31,55	35,72	39,25	39,46	34,28	29,16	25,49	19,01	39,46
2012	18,09	19,09	26,79	28,52	32,63	37,72	39,32	42,66	36,16	32,08	29,04	23,84	42,66
2013	21,68	20,42	23,72	28,89	29,23	36,48	36,44	37,39	33,91	34,43	26,3	17,5	37,39
2014	21,04	23,76	22,79	28,74	32,17	34,73	39,72	36,72	37,88	31,96	27,05	20,3	39,72
2015	20,67	17,82	26,41	29,78	36,71	38,64	40,45	38,32	34,05	32,13	29,49	23,43	40,45
2016	21,46	22,71	29,56	28,2	34,5	37,44	40,07	37,89	38,97	33,45	27,75	19,81	40,07
2017	19,5	22,05	27,62	28,22	34,2	39,17	41,86	39,94	34,78	31,43	27,95	21,11	41,86
2018	21,11	24,13	25,68	29,48	30,63	34,51	37,4	37,92	35,65	29,28	25,53	24,99	37,92
2019	18,37	20,52	24,79	30,89	31,33	38,24	40,25	38,91	34,65	31,95	23,44	24,25	40,25
2020	20,83	26,03	27,89	27,62	36,05	38,19	40,44	39,56	34,75	31,56	28,34	21,94	40,44
2021	23,97	25,89	28,07	31,02	33,57	34,23	43,16	43,46	38,26	30,45	25,42	24,7	43,46
2022	22,39	24,84	26	30,25	36,78	37,47	39,41	40,68	39,16	33,72	28,76	23,68	40,68
2023	20,9	24	29,39	35,8	32,25	40,22	44,03	41,16	35,96	32,99	27,21	26,2	44,03
2024	26,61	28,03	32,82	33,15	36,3	39,48	42,13	41,44	36,41	33,4	27,08	23,79	42,13
2025	23,41	25,12	27,18	32,71	35,74	39,82	38,52	39,78	38,6	33,36	29,13	22,23	39,82
total	20,946	22,6842	26,3288	29,0302	32,648	36,7077	39,4008	39,0675	35,5164	31,1626	26,0768	21,6428	40,0644
		222	889	222		778	889	556	444	667	889	889	444

Annexe III. 06 : les températures minimales de la période (1981-2025)

moi/année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	Annuel
1981	-2,47	-0,01	5,38	5,62	6,64	11,55	13,97	14,67	12,37	9,15	6,6	1,05	-2,47
1982	1,72	3,59	3,14	6,87	7,56	13,24	15,23	16,61	14,57	7,31	4,76	2,51	1,72
1983	-0,02	-0,35	2,26	5,34	7,32	12,38	16,61	16,78	13,35	11,45	8,81	2,26	-0,35
1984	-0,23	1,02	0,24	7,86	7,49	9,71	17,1	16,49	12,95	7,8	7,03	1,5	-0,23
1985	-2,1	5,06	2,76	4,93	6,48	13,51	15,55	16,64	14,46	10,45	4,3	2,39	-2,1
1986	-0,03	2,64	2,86	3,44	6,57	13,17	16,6	18,33	14,44	9,42	5,31	0,76	-0,03
1987	-1,51	2,21	3,72	4,68	7,45	13,04	16,4	17,66	17,74	10,24	3,43	4,73	-1,51
1988	5,05	2,01	1,93	5,61	8,13	13,38	16,22	19,8	11,54	11,49	4,03	0,87	0,87
1989	1,89	1,69	5,82	4,81	7,35	11,38	16,66	18,36	15,37	11,79	7,5	4,97	1,69
1990	1,48	5,51	4,06	4,68	10,6	14,29	17,64	19,25	17,86	10,51	4,43	2,12	1,48
1991	1,66	1,25	4,78	4,56	6,66	11,86	14,33	17,12	12,1	6,67	3	2,02	1,25
1992	2,16	2,87	3,39	4,54	7,93	10,01	15,24	13,89	11,48	7,74	5,49	-0,1	-0,1
1993	1,11	1,65	-0,71	4,1	8,45	12,7	15,74	14,3	11,28	7,25	5,3	3,9	-0,71
1994	2,29	1,49	6,28	2,99	7,95	12,15	18,96	17,42	11,51	11,77	8,58	0,7	0,7
1995	1,48	3,83	4,79	3,41	9,66	12,59	15,02	16,99	10,91	10,88	5,85	5,68	1,48
1996	3,02	0,41	3,49	6,33	7,6	11,43	14,95	16,02	11,84	8,54	6,03	1,79	0,41
1997	3,64	3,01	5,25	7,47	9,58	11,79	13,98	16,39	15,12	6,86	6,4	3,81	3,01
1998	3,24	2,21	2,78	4,97	6,99	12,84	16,89	16,27	15,11	8,18	4,28	0,38	0,38
1999	0,75	-0,85	3,12	6,54	9,12	13,7	16,79	18,99	12	12,5	2,13	0,65	-0,85
2000	0,57	5,03	4,64	5,89	10,05	12,59	17,06	18,04	13,56	9,03	4,69	4,64	0,57
2001	2,1	3,41	6,43	6,3	6,39	15,11	14,76	17,48	14,83	13,48	2,09	1,76	1,76
2002	1,87	3,18	4,49	6,37	7,36	10,71	14,75	15,73	14,63	10,3	7,52	1,77	1,77
2003	0,88	-1,53	4,16	3,54	9,54	14,13	18,08	17,95	14,55	9,27	6,42	1,21	-1,53
2004	1,7	2,33	0,84	2,54	7,39	12,8	16,11	19,22	14,09	9,39	4,23	-0,39	-0,39
2005	-2,43	-1,45	-1,45	4,41	10,67	14,33	18,17	18,24	12,6	12	3,17	1,31	-2,43
2006	0,65	2,07	3,43	8,88	11,98	12,27	18,56	16,42	12,42	11,44	7,86	3,62	0,65
2007	0,49	3,92	0,1	5,41	9,09	13,44	18,27	17,54	14,34	8,09	4,31	0,93	0,1

2008	0,4	3,72	0,81	4,74	8,72	10,98	18,55	19,22	14,36	4,68	3,94	3,27	0,4
2009	1,01	2,71	4,52	5,28	7,7	13,05	17,62	19,32	13,25	11,04	8,06	4,44	1,01
2010	0,89	3,47	1,72	5,73	6,67	11,8	19,81	19,24	12,93	8,08	4,85	-1,37	-1,37
2011	2,1	0,85	0,84	7,78	8,8	11,05	17,81	19,78	15,29	10,03	5,83	3,39	0,84
2012	-0,13	-2,32	1,01	4,71	8,52	14,74	17,27	19,29	12,99	8,41	5,64	2,84	-2,32
2013	3,32	-0,91	1,1	4,72	6,5	10,51	15,55	17,67	15,22	9,23	1,72	0,94	-0,91
2014	2,91	2,8	3,1	7,17	10,69	11,24	14,73	17,23	15,9	12,6	5,72	0,1	0,1
2015	1,37	0,71	1,86	9,04	10,32	12,88	20,72	16,95	14,69	11,13	3,49	6,17	0,71
2016	0,52	2,18	2,47	4,48	7,54	12,42	17,91	17,48	13,74	10,35	6,22	2,26	0,52
2017	1,35	5,38	2,7	5,51	9,57	14,33	13,78	19,01	14,06	11,67	5,67	1,42	1,35
2018	1,89	1,27	3,27	5,04	7,44	10,44	16,51	18,98	16,64	7,19	5,89	4,61	1,27
2019	-0,09	1,89	4,11	5,96	11,12	11,99	17,44	18,72	12,47	8,88	5,07	3,37	-0,09
2020	1,2	6,42	4,95	6,98	9,83	12,56	19,21	18,56	14,26	9,18	5,07	1,53	1,2
2021	1,29	5,5	2,26	7,29	9,2	14,83	18,02	18,43	17,33	11,38	6,04	3,89	1,29
2022	1,2	4,31	3,42	6,05	8,78	15,83	18,91	18,25	13,9	11,83	5,58	7,01	1,2
2023	0,09	2,17	1,12	7,74	9,46	14,1	20,3	18,59	15,8	12,67	5,15	3,58	0,09
2024	3,74	5,25	5,04	7,37	9,86	15,42	18,35	19,98	15,27	9,62	9,56	3,56	3,56
2025	2,15	3,5	5,26	7,1	9,64	16,1	19,68	16,83	15,38	14,09	3,71	4,82	2,15
total	1,20377 778	2,33555 556	3,05644 444	5,66177 778	8,49688 889	12,7637 778	16,9291 111	17,6917 778	14,0111 111	9,89022 222	5,35022 222	2,50377 778	0,35866 667