

Mémoire de Fin d'Etudes

Licence Sciences et Techniques

Filière : Eau & Environnement

Elaboration de la carte et la dynamique de l'occupation du sol du sous bassin versant de Ghdad (Bassin de Tensift)

Réalisé par :

Jammat Khaoula, Hilmy Mouna et Krissou Amina

Soutenu le 20 / 06 /2023

Encadrant interne : **Pr. Daoudi Lahcen** (Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech)

Co encadrante interne : **Ben Daoud Najat** (Doctorante au laboratoire L3G)

Encadrante externe : **Abounki Intissar** (Agence de Bassin Hydraulique du Tensift)

Remerciements :

C'est avec plaisir que nous réservons cette page en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidé tout au long de ce stage.

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu de nous avoir donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien dans la réalisation de ce projet que ce soit au sein du Département des Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech ou à l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift.

Nous voudrions, en premier lieu remercier chaleureusement notre encadrant Mr Lahcen Daoudi professeur au sein de la faculté pour sa disponibilité, ses judicieux conseils qui ont contribué à améliorer nos idées.

Nos remerciements vont également à notre encadrante à l'ABHT Mme Intissar Abounki de nous avoir épaulé et encouragé et d'avoir répondu à nos innombrables questions.

Sans oublier, notre sœur Mlle Najat Bendaoud doctorante au Laboratoire L3G pour l'intérêt soutenu qu'elle a réservé à notre travail, nous sommes tellement impressionnées par ses conseils, la manière avec laquelle elle résout nos problèmes. Nous ne trouverons jamais les mots justes pour exprimer notre grande estime et admiration envers elle.

Enfin, nous voulons exprimer notre sincère gratitude envers nos proches et nos familles qui ont constamment été là pour nous soutenir, nous encourager et nous donner la motivation nécessaire. Leur soutien inconditionnel a été une véritable source de force pendant les périodes les plus éprouvantes.

Sommaire :

<u>Remerciements</u> :	2
<u>Listes des figures</u> :	5
<u>Listes des tableaux</u> :	6
<u>Présentation de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift</u> :	7
<u>Introduction</u> :	8
<u>Chapitre I: Cadre général de la zone d'étude</u>	10
I-Situation géographique :	10
II-Contexte climatique :	11
III-Réseau hydrographique :	12
IV-Topographie :	14
IV-1-Altitude :	14
IV-2-Pente :	15
V-Cadre géologique :	17
VI-Sol et couverture végétale :	18
VII-Actions anthropiques :	19
<u>Chapitre II : Méthodologie et outils</u>	21
I -Télédétection :	21
I-1-Définition et principe :	21
I-2-Satellites et capteurs :	23
I-2-1-Satellites et images satellitaires :	23
I -2-1-1- Satellites :	23
I-2-1-2- Images satellitaires :	26
I-2-2-Capteurs :.....	26
I-3-Télédétection dans l'occupation du sol:.....	27
II-Outil du traitement des données : SIG.....	28
<u>Chapitre III : Cartographie de l'occupation du sol</u>	31
I-Généralité :.....	31
II-choix des images satellitaires et leurs traitements :	35

II-1 : choix et dates :	35
II-2 : Prétraitement :	35
II-3 : Traitement :	36
II-4 : Problème trouvé et solution :	38
<u>Chapitre IV: résultats et interprétations</u>	42
I- Description et analyse des cartes d'occupation du sol.....	42
II-Distribution spatiale :	47
III-Evolution temporelle :	48
<u>Conclusion</u> :	50
<u>Liste bibliographique</u> :	51

Listes des figures :

Figure 1 : Localisation du Bassin versant de Tensift	10
Figure 2 : Pluviométrie moyenne annuelle de SIDI RAHAL 1995-2021.....	11
Figure 3 : Pluviométrie moyenne mensuelle (2020/2021) de Sidi Rahal.....	12
Figure 4 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Ghdat.....	13
Figure 5 : Carte d'altitude du bassin versant de Ghdat.....	15
Figure 6 : Carte des pentes du bassin versant Ghdat.....	16
Figure 7 : Carte géologique du bassin versant de Ghdat	17
Figure 8 : Carte de végétation du bassin Ghdat 2022.....	18
Figure 9 : Schéma général du principe de la télédétection	21
Figure 10 : Différents capteurs utilisés en télédétection	27
Figure 11 : Format et données utilisés dans un SIG	28
Figure 12 : Schéma récapitulatif de la méthodologie	30
Figure 13 : Schémas simplifiés des apprentissages supervisés et non-supervisé pour la cartographie de l'occupation des sols.....	33
Figure 14 : Schéma illustrant le protocole adopté dans cette étude	34
Figure 15 : Schéma explicatif du protocole suivi.....	37
Figure 16 : Schéma montrant la différence entre la carte avant et après résolution du problème.....	39
Figure 17 : Image à fausses couleurs et à vrai couleurs.....	41
Figure 18 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 1996	43
Figure 19 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 2003.....	43
Figure 20 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 2015.....	44
Figure 21 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 2022.....	44
Figure 22 : Diagramme circulaire des proportions des quatre classes.....	45
Figure 23 : Evolution des changements en occupation des terres des année 1996 , 2003 , 2015 et 2022.....	47

Listes des tableaux :

Tableau 1 : Opérateurs institutionnels intervenant au niveau du sous-bassin de Ghdat.....	20
Tableau 2 : Différents produits satellitaires.....	24
Tableau 3 : Principales métadonnées des images Landsat utilisées.....	35
Tableau 4 : Occupation des sols du bassin versant Ghdat entre 1996 et 2022.....	46

Présentation de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift :

Le décret n° 2-00-479 du 14 novembre 2000 a établi l'ABHT conformément à l'article 20 de la loi sur l'eau. Sa mission consiste à évaluer, planifier, développer et gérer les ressources en eau dans sa zone d'intervention. Cette zone couvre une superficie totale d'environ 24 800 km², comprenant deux ensembles hydrauliques : les bassins du Tensift (18 800 km²) et les bassins du Ksob-Igouzoulen (5 000 km²).

Elle compte administrativement :

- La totalité de la préfecture de Marrakech et des provinces d'Essaouira et de Youssoufia.
- La majeure partie des provinces d'Al Haouz et de Chichaoua.
- Une partie des provinces de Kelaa des Sraghnas, de Rhamna et de Safi

L'Agence de Bassin Hydraulique du Tensift est chargée de :

- Réaliser toutes les mesures piézométriques et de jaugeage ainsi que les études Hydrologiques, hydrogéologiques, de planification et de gestion de l'eau tant au plan quantitatif que qualitatif.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations en collaboration avec les Collectivités locales.
- Tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvements d'eau accordées.
- Réaliser toutes les mesures de qualité et appliquer les dispositions de la loi 10-95 et des lois en vigueur relatives à la protection des ressources en eau et à la restauration de leur qualité en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement.
- Proposer et exécuter les mesures adéquates pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondations.

Extrait de la loi 10/95

Introduction

Les cartes d'occupation des sols représentent la couverture(bio)physique observée sur la surface de la zone étudiée, elles sont confinées à décrire la végétation et les aménagements humains. Ces cartes sont d'une grande utilité dans le contexte d'étude de la dynamique des paysages et d'établissement d'un diagnostic et à mieux comprendre les causes de la modification du couvert végétal et ses conséquences.

Autrefois, la carte d'occupation des sols était établie principalement à partir des données et des observations de terrain. Plus récemment, elle représente une image des occupations du sol (land cover) qui s'élabore à la base d'une spatiocarte (document cartographique ayant pour fond des images satellites combinées éventuellement à des informations supplémentaires) ou d'une image brute, qui est un puissant outil scientifique et décisionnel dont l'importance conduit à l'émergence de plusieurs initiatives visant à produire des cartes d'occupation et de changement des sols.

Il existe plusieurs projets et méthodes pour le suivi d'occupation du sol parmi lesquelles on a :

-Ter-Uti : est une enquête statistique par points, reconduite tous les ans. Cet outil donne des informations sur l'occupation et l'utilisation des sols avec une grande précision des données en chaque point d'étude.

-Le MOS : il s'agit d'une représentation exhaustive du territoire utilisé essentiellement en terme d'aménagement régional à partir des photographies aériennes.

-La télédétection : comprend l'ensemble des procédés et techniques qui permettent d'acquérir-à-distance des informations sur les objets terrestres.

Les nouvelles images satellites ont en effet une très bonne résolution et permettent une utilisation des données dans leur continuité, cela permet de mettre en cohérence les résultats des deux méthodes : Ter-Uti et MOS.

Ter-Uti présente essentiellement des zones d'étude homogènes alors que la télédétection et surtout le MOS ont un grand nombre de zones d'occupation du sol peu homogènes voire hétérogènes.

Les occupations de grande surface sont d'avantage prises en compte par la télédétection mieux que Ter-uti et MOS, c'est la raison pour laquelle la télédétection fait l'objet de notre étude pour l'occupation du sol du sous bassin Ghdat qui est un affluent de l'Oued Tensift et qui a connu plusieurs changements environnementaux d'origine naturels et anthropiques dans le temps, notamment la déforestation, le surpâturage, et la survenue de catastrophes naturelles.

Afin de réaliser une telle étude d'une manière efficace, il est essentiel d'utiliser des données quantitatives et qualitatives fiables. Dans cette perspective, l'utilisation de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques (SIG) se présente comme une excellente opportunité. L'imagerie satellitaire, grâce à sa perspective globale, offre la possibilité de comprendre et de cartographier des phénomènes dynamiques tels que l'occupation des terres.

Les études au niveau du bassin de Ghdat sont surtout focalisées sur des études hydrologiques, très peu consacrées à l'occupation des sols. En plus de sa géographie montagneuse, ses vallées encaissées, sa biodiversité spécifique et son rôle clé dans l'agriculture locale, cette zone fait l'objet de notre étude dont le but d'avoir une idée sur son évolution spatiotemporelle.

A cet effet nous avons adopté une démarche articulée autour de 4 axes :

- Cadre générale de la zone d'étude
- Méthodologie et outils utilisés
- La cartographie d'occupation du sol
- Résultats et interprétation

Chapitre I : Cadre général de la zone d'étude

I-Situation géographique :

Le secteur qui fait l'objet de cette étude est le bassin de Ghdat qui est un affluent situé sur la rive gauche atlasique du Tensift (Figure 1). Il est situé au sud-est du Marrakech, et il appartient au versant Nord de la chaîne du Haut Atlas, entre les latitudes 31°16' et 31°38' Nord et les longitudes 7°12' et 7°29' Ouest.

Le bassin de Ghdat (sidi Rahal) s'étend sur une superficie de 551Km², une longueur de 50km et un périmètre de 128km. Il est délimité au Nord par la plaine du Haouz, au Sud par l'axe de la Chaîne du Haut Atlas, à l'Est par le bassin versant de Tessaout, à l'Ouest par le bassin Versant de Zat.

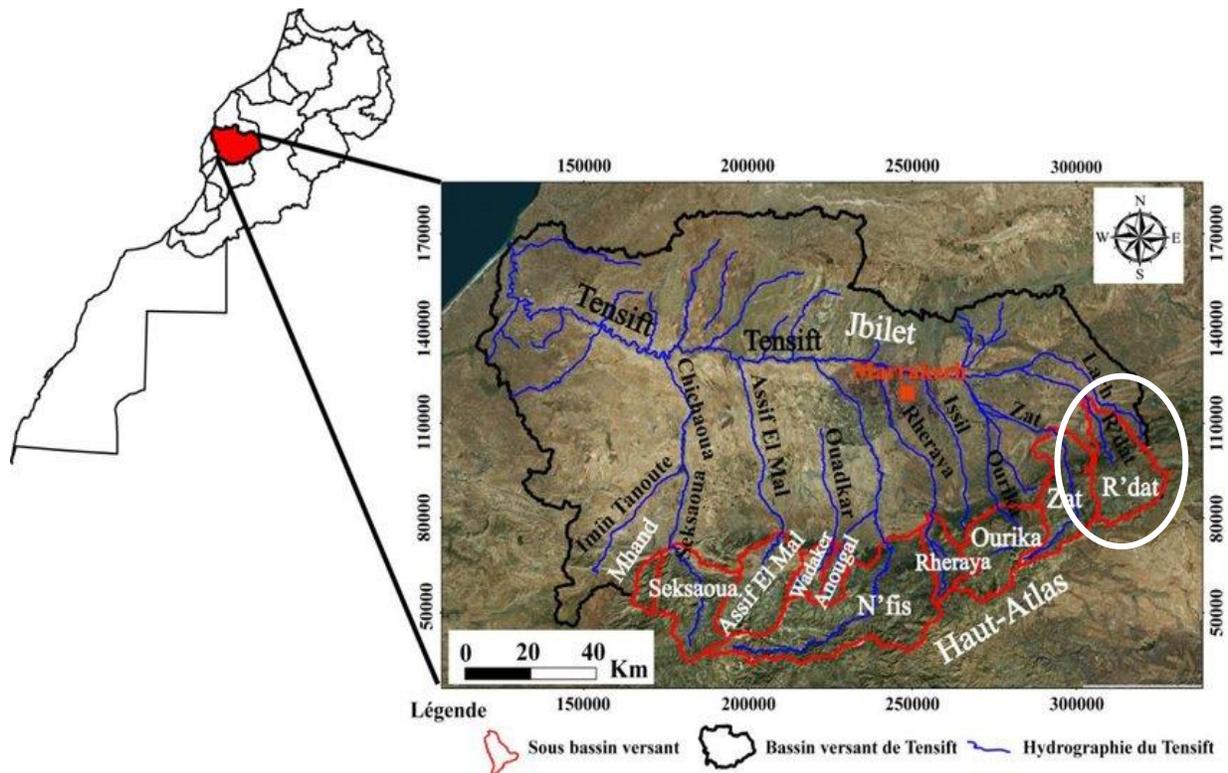


Figure 1 : Localisation du Bassin versant de Tensift (Hajhouji,2018(modifiée))

II-Contexte climatique :

Le climat du bassin versant du Ghdat est influencé par deux facteurs principaux : tout d'abord, la continentalité qui se traduit par des températures estivales élevées et des températures hivernales basses, ensuite le relief montagneux, principalement le Haut Atlas qui entraîne une augmentation de la pluviométrie, une intensification des hivers et une atténuation des étés avec l'altitude.

Ces deux facteurs placent le bassin du Ghdat dans une zone climatique de type continentale, qui est aride à semi-aride. Les températures moyennes mensuelles se situent entre 12,3 et 28,2 °C. La région du Tensift, comprenant le bassin du Ghdat, présente des variations spatiales et temporelles en termes de précipitations. La période pluvieuse va d'octobre à avril, tandis que la période sèche s'étend de mai à septembre. La moyenne annuelle des précipitations dans le Haut Atlas se situe entre 600 et 800 mm, alors qu'elle varie entre 300 et 400 mm dans la zone entre le piémont du Haut Atlas et la plaine du Haouz. Dans la station de Sidi Rahal, la moyenne est de 346,1 mm, dont environ 80% à 90% tombe pendant la saison des pluies. Le vent prédominant vient de l'ouest ou du nord-ouest, avec une vitesse moyenne variant de 1,5 à 3,4 m/s à Marrakech. La figure 2 montre la variation de la pluviométrie moyenne de la station Sidi Rahal alors que la figure 3 illustre la variation mensuelle de l'année hydrologique 2021/2022 ; dont les données utilisées sont issues du rapport de l'ABHT.

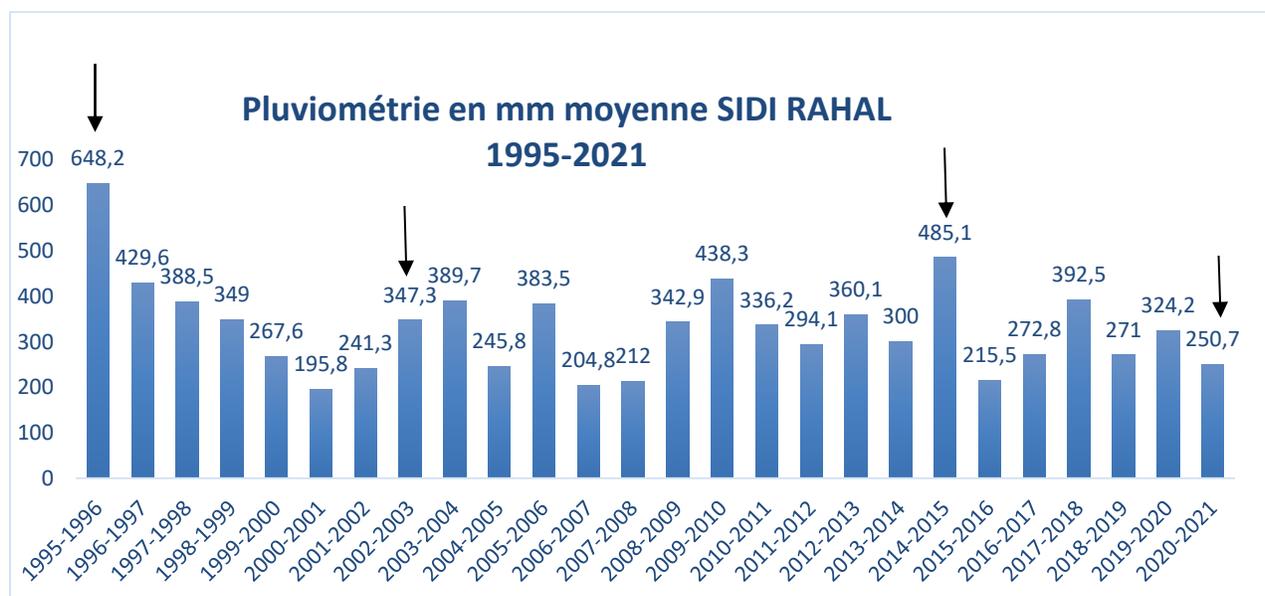


Figure 2 : Pluviométrie moyenne annuelle de SIDI RAHAL 1995-2021

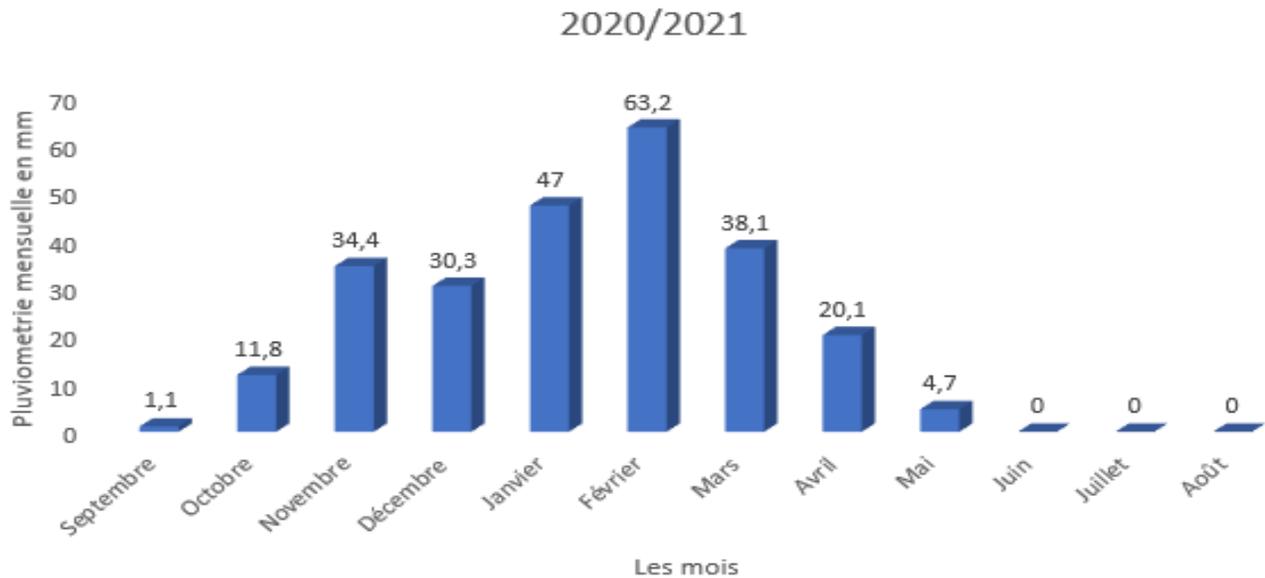


Figure 3 : Pluviométrie moyenne mensuelle de l'année hydrologique 2020/2021 de Sidi Rahal

III-Réseau hydrographique :

Le terme "réseau hydrographique" fait référence à un système hiérarchisé et organisé de canaux qui assurent l'écoulement permanent ou temporaire des eaux de surface d'un bassin versant. Cette hiérarchie se reflète dans l'importance croissante de ses éléments, allant des ramifications initiales en amont qui n'ont pas de tributaires.

Le bassin hydrographique de l'Oued Ghdat (Figure 5) est alimenté par plusieurs affluents, principalement sur la rive droite. L'Assif-N-Tichka est la source de l'Oued Ghdat, prenant sa source à une altitude d'environ 2200 mètres. L'Oued Imizer est formé par la confluence de l'Oued Imarighne et de l'Oued Tihizat, tandis que l'Assif-N-Ifraden et l'Oued Tissert sont également des affluents importants. Sur la rive gauche, l'Oued Imaghrihne est présent mais moins important. L'Oued Ghdat s'étend sur une distance de 50 km depuis sa source jusqu'à son exutoire à Sidi Rahal, drainant une superficie de 532 km² avec une pente modérée. Bien que les affluents de la rive gauche soient moins importants que ceux de la rive droite, ils contribuent néanmoins à l'écoulement des eaux dans le bassin.

L'oued principal qui coule de la chaîne de montagnes Haut Atlas jusqu'à Sidi Rahal traverse les paysages post-hercyniens. En l'absence de pluies, les affluents de Ghdat sont secs et l'eau est rare. Le débit moyen annuel de l'oued Ghdat à la station de Sidi Rahal est de 2.407 m³/s, ce qui

représente une moyenne annuelle de 76 millions de m³. Le débit maximal moyen annuel enregistré à la station est de 8.356 m³/s en 1970/71, ce qui correspond à une moyenne annuelle maximale de 263,5 millions de m³. En revanche, le débit minimal moyen annuel enregistré à la station est de 0,109 m³/s en 1982/83, soit une moyenne annuelle minimale de 3,4 millions de m³.

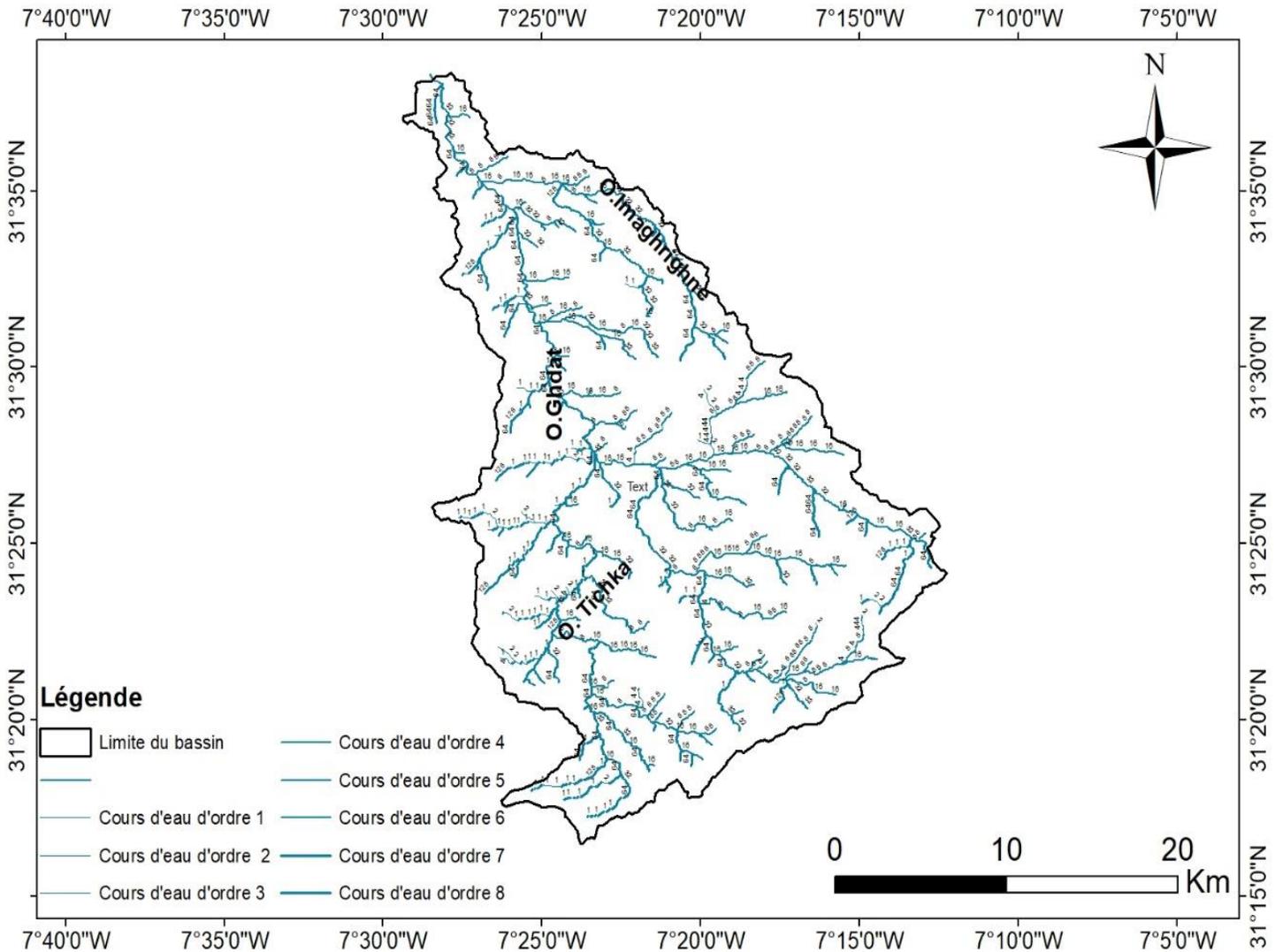


Figure 4 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Ghdat

IV-Topographie :

La topographie de cette zone se compose de montagnes, de collines, de plaines et de plateaux. La chaîne de montagne du Haut Atlas, située au sud-ouest du bassin, contribue à la formation de plusieurs affluents qui se jettent dans l'Oued Ghdat.

IV-1-Altitude :

L'altitude fait référence à la hauteur d'un point ou d'une zone par rapport à un niveau de référence, généralement le niveau de la mer. Elle mesure la distance verticale entre un point donné et le niveau de référence. L'altitude est généralement exprimée en unités de mesure telles que les mètres ou les pieds

La carte hypsométrique donne une idée sur les proportions des tranches d'altitudes. C'est un paramètre important pour les études hydrologiques du fait que la plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont influencés par l'altitude.

Cette carte (figure6) montre une prédominance des altitudes comprises entre 1130 et 2230m avec une diminution du sud vers le nord. On peut distinguer trois grandes zones :

-Zone de montagne : altitude > 1500m, qui coïncide avec la zone de l'alimentation de l'oued Ghdat et ses principaux affluents.

-Zone de piémont : 800m < altitude < 1500m qui correspond à la zone de disponibilité relative des eaux de surface et de l'irrigation traditionnelle, c'est également une zone à agriculture variée.

-Zone de plaine : altitude < 800m qui représente les zones d'agriculture Bour et de développement de pompage à partir de la nappe.

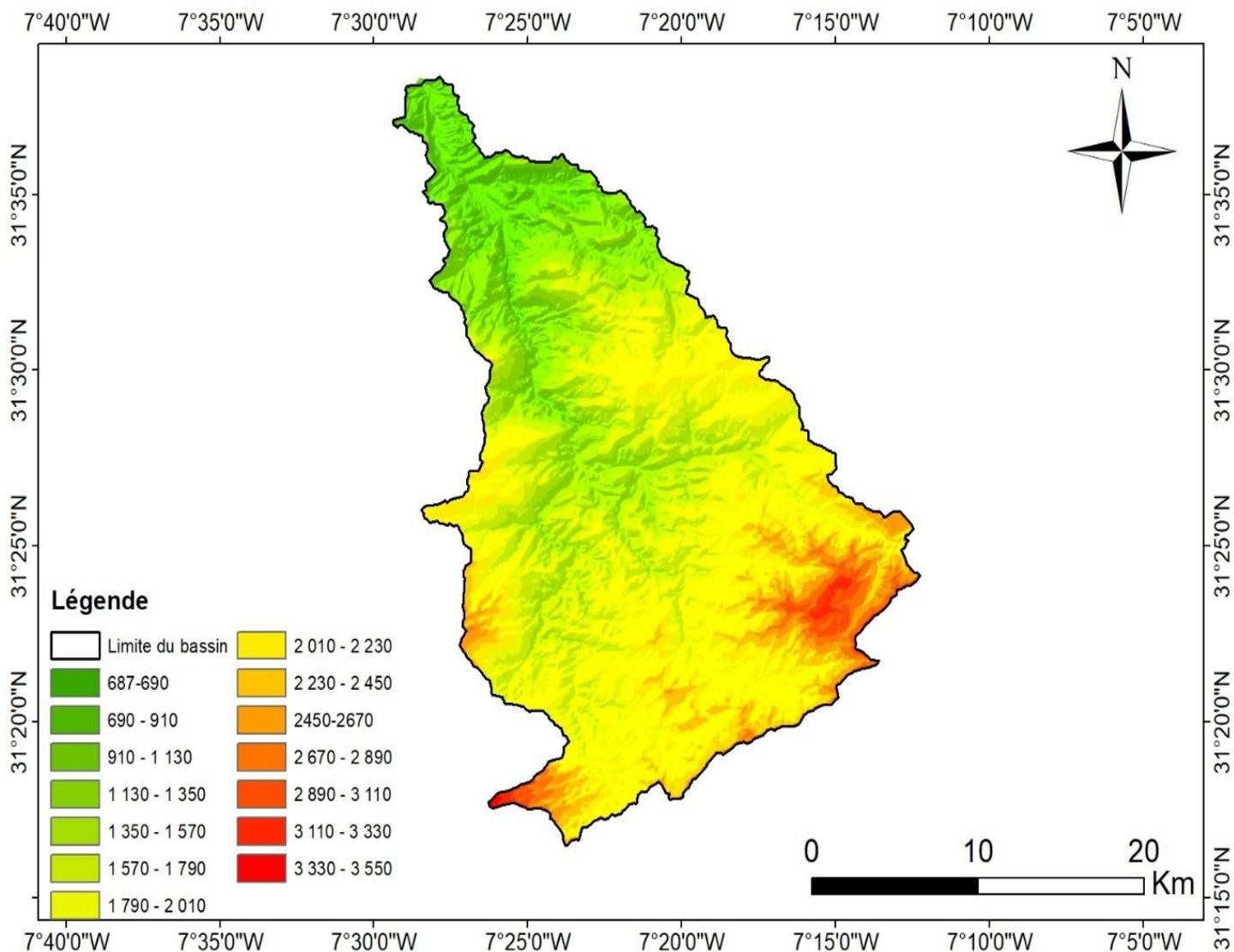


Figure 5 : Carte hypsométrique du bassin versant de Ghdat

IV-2-Pente :

La pente est une mesure de l'inclinaison du terrain, elle représente le rapport entre le changement vertical (différence d'altitude) et le changement horizontal (distance) sur une certaine distance. La pente peut être exprimée en pourcentage, en degrés ou en degré de pente.

La carte des pentes du bassin Ghdat (figure) montre une diminution très nette des pentes du Sud vers le Nord avec une dominance des faibles pentes entre 0 et 35 m.

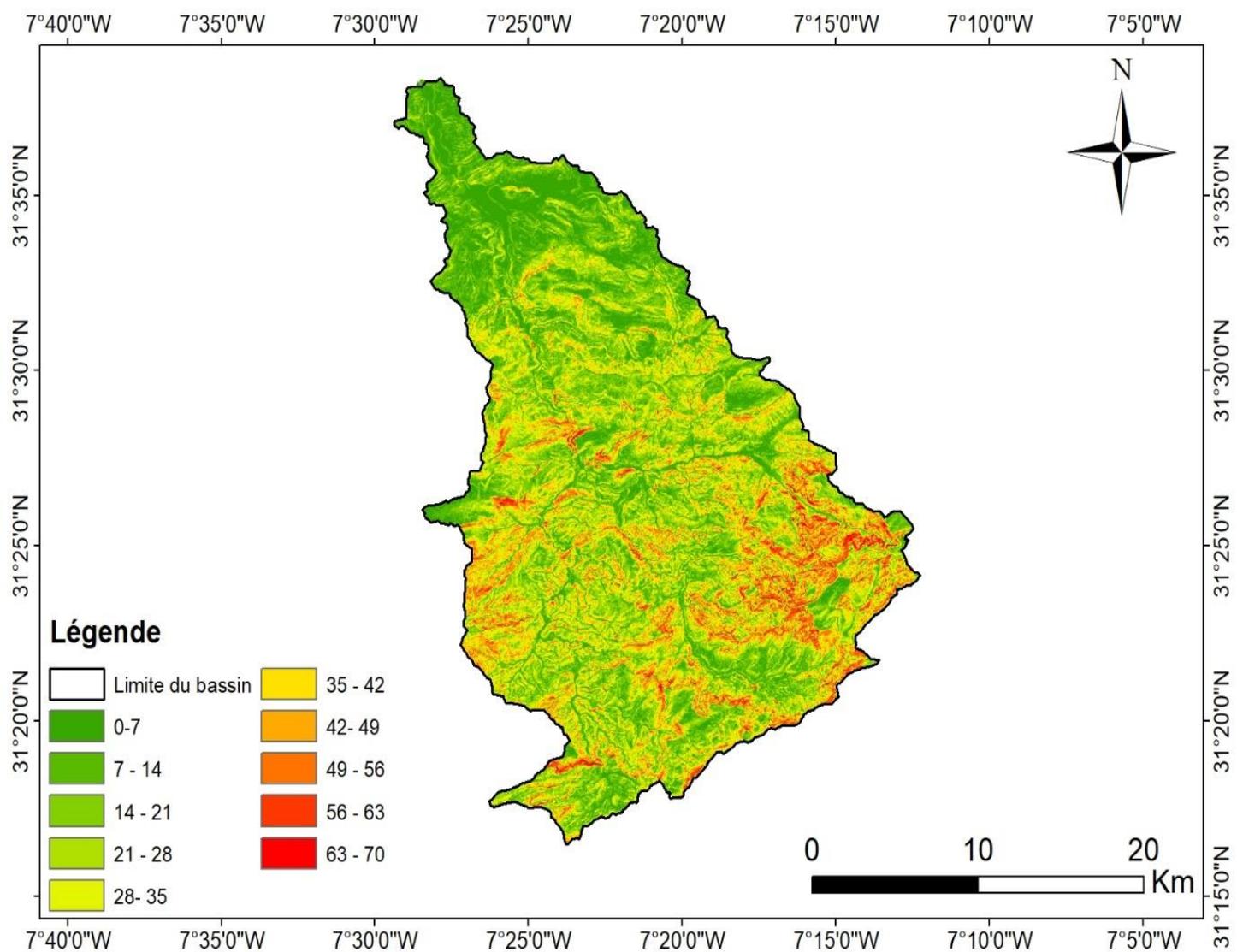


Figure 6 : Carte des pentes du bassin versant Ghdat

V-Cadre géologique :

Le bassin versant Ghdat offre trois grands aspects de faciès :

- 1- Dans la partie Amont on trouve des terrains mésozoïques peu perméables avec des roches éruptives et métamorphiques telles que les granites, les dolérites, les andésites, les rhyolites et les schistes.
- 2- Une zone permo-trias avec des roches schisteuses du Précambrien et l'Ordovicien qui sont représentées principalement par des grès dans lesquels Oued Ghdat a creusé son lit.
- 3- Finalement des formations calcaires primaires et secondaires perméables qu'on rencontre surtout vers l'aval. (Figure 4)

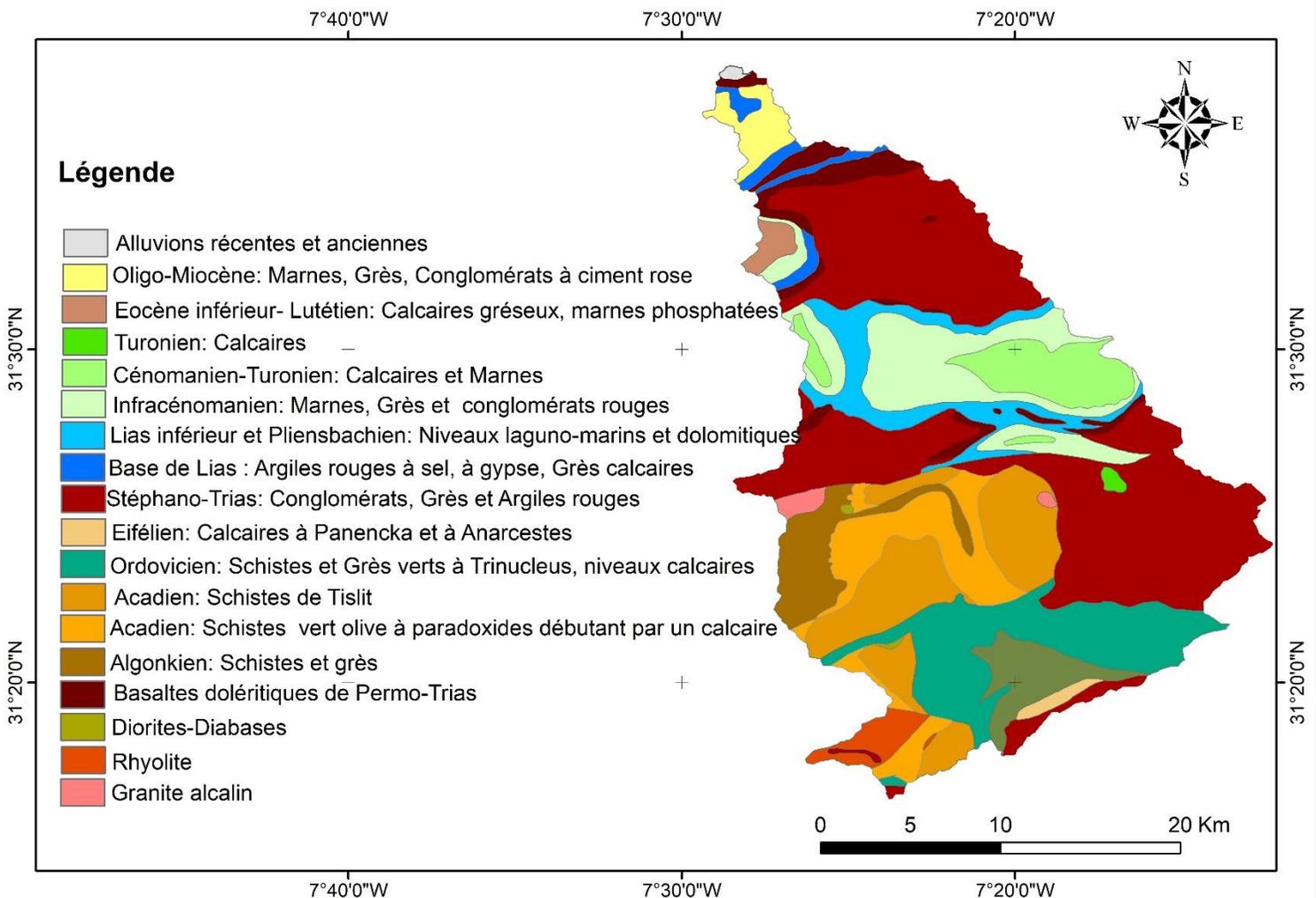


Figure 7 : Carte géologique du bassin versant de Ghdat

Dans l'ensemble, la lithologie du bassin du Ghdat est constituée de 30% de terrains imperméables, 56% de terrains semi-perméables et 14% de terrains perméables (Pascon, 1977 (in Darif, 2013)).

VI-Sol et couverture végétale :

Le bassin du Ghdat présente un climat, une morphologie et des sols favorables à une couverture végétale variée, composée principalement de plantes steppiques, herbacées et ligneuses arborées. L'agriculture dans cette région est diversifiée, avec des cultures de céréales, d'abricotiers, d'agrumes, de pommes de terre, d'oliviers, de rosiers, de fourrage, d'élevage et de production de miel, entre autres. La superficie agricole représente environ 17% de la superficie totale, tandis que la superficie forestière est d'environ 23%. Les vergers, les pâturages, les terrains rocheux et les terrains inconnus occupent le reste des superficies.

La figure 8 représente la carte de végétation réalisée à partir d'une image satellitaire 2022.

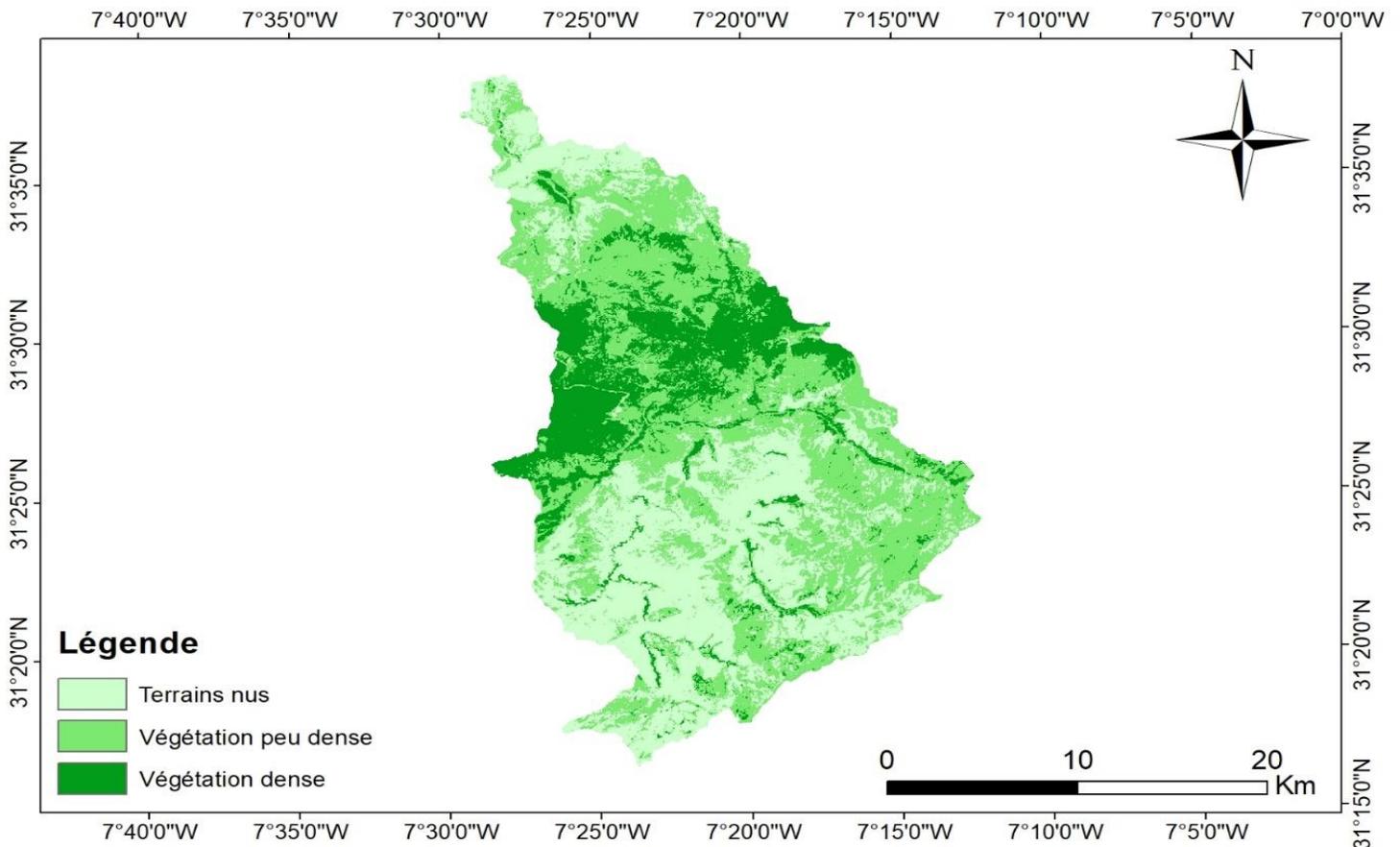


Figure 8 : Carte de végétation du bassin Ghdat 2022

VII-Actions anthropiques :

Les actions anthropiques qualifient tout élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme : érosion des sols, pollution par les pesticides des sols, relief des digues, construction ...

Dans cette région, les activités humaines peuvent s'exprimer de différentes manières sur l'environnement :

Agriculture intensive : elle est pratiquée pour produire des cultures telles que les agrumes, les olives, les céréales et les légumes. Cependant, cette pratique implique souvent l'utilisation excessive d'engrais chimiques et de pesticides, ce qui peut entraîner la contamination des cours d'eau et des sols environnants.

Irrigation : Pour soutenir l'agriculture, de nombreux systèmes d'irrigation sont utilisés dans le bassin Ghdat. Cependant, une mauvaise gestion de l'eau d'irrigation peut entraîner une surexploitation des ressources en eau et une diminution du débit des cours d'eau.

Déforestation : qu'elle soit due à l'expansion agricole, à l'urbanisation ou à l'exploitation du bois, peut avoir un impact significatif sur l'écosystème du bassin Ghdat. La perte de couverture végétale réduit la capacité des sols à retenir l'eau, augmentant ainsi les risques d'inondations et d'érosion.

Reboisement : présente plusieurs impacts qui contribuent à la préservation de l'environnement tel que la conservation des sols, l'amélioration de la qualité de l'air et la régulation du cycle de l'eau.

Différents opérateurs institutionnels agissent dans le territoire du sous bassin de Ghdat (Tableau1)

Tableau 1 : Opérateurs institutionnels intervenant au niveau du sous-bassin de Ghdat (AHT-RESING, 2015)

ORMVA	Le sous-bassin de Ghdat comprend les périmètres de la GH, R1 et R3 et une petite partie du Haouz Central. L'ORMVAH y est fortement présent et est représenté localement par le CMV 422 (Ras El Ain) et le CMV 407 (Sidi Rahal).
DPA	Deux DPA interviennent au niveau du sous-bassin : DPA Marrakech et DPA Kelaa Des Sraghna. L'intervention de la DPA Marrakech concerne davantage les zones de piedmont et de montagne.
ONCA	Nouvellement créé, l'ONCA aura un grand rôle à jouer dans l'encadrement et l'accompagnement des agriculteurs.
ABH	Elle intervient fortement au niveau du sous-bassin, notamment au niveau du DPH et de la gestion des crues.
DREF	Le sous-bassin de Ghdat comprend un grand domaine forestier.
ONEE-Eau	L'ONEE-Eau intervient par les services provinciaux ONEE de Kelaa Des Sraghna et Marrakech Al Haouz.
Service de l'eau	Intervention, au niveau du sous-bassin, des services de l'eau de Kelaa Des Sraghna et de Marrakech
Services Provinciaux	Services provinciaux de la province de Kelaa Des Sraghna et de la province d'Al Haouz.

ORMVA : Office Régional de Mise en Valeur Agricole

DPA : Direction Provinciale de l'Agriculture

ONCA : Office National de Conseil Agricole

ABH : Agence du Bassin Hydraulique

DREF : Direction Régionale des Eaux et Forêts

ONEE : Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable

Chapitre II : Méthodologie et outils

I-Télédétection :

I-1-Définition et principe :

Le terme télédétection (« remotesensing ») désigne, dans son acception générale, un ensemble de techniques permettant de mesurer à distance (c'est-à-dire sans contact) des grandeurs physiques caractéristiques des objets ou des phénomènes étudiés. Toutefois, en pratique, il est surtout utilisé pour les applications spatiales et aéroportées, et concerne essentiellement les techniques mises en œuvre pour l'observation de la surface de la Terre et d'autres planètes. Ces systèmes nécessitent l'utilisation de capteurs qui sont embarqués sur des ballons, des avions, des navettes ou des satellites. Ils exploitent essentiellement la mesure du rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par les objets. Ce rayonnement est analysé soit dans les domaines visible – du bleu au rouge – et infrarouge (les capteurs sont alors dits optiques), soit dans le domaine des micro-ondes millimétriques ou centimétriques (les capteurs sont alors appelés radars).



Figure 9 : Schéma général du principe de la télédétection (Bersi,2018)

Un système de télédétection est formé de cinq éléments essentiels (Figure 9) :

1-La source d'énergie : à l'origine de la majorité des processus de télédétection se trouve une source d'énergie naturelle pour illuminer la cible. Le soleil est considéré comme source d'énergie naturelle, il éclaire la surface de la Terre durant la journée.

2-La cible : la surface éclairée par la source va interagir avec l'énergie (rayonnement) qu'elle reçoit. L'énergie réfléchi par cette surface va être captée par un capteur, donc la surface est considérée comme cible du capteur.

3-Le capteur : un capteur est un appareil qui reçoit l'énergie réfléchi par la surface éclairée, les satellites sont des capteurs permettant de transformer l'énergie captée en informations utiles (signal).

4-Le récepteur : l'information envoyée par un satellite sera reçue par un récepteur « antenne », l'antenne transforme le signal en données sous forme d'images brutes.

5-Station de traitement de données : Une station de traitement de donnée transforme les images et les signaux en images exploitables avec toutes les corrections des erreurs liées au capteur.

La télédétection se base sur l'interaction entre les rayonnements électromagnétiques et les objets situés à distance. Les objets réfléchissent, absorbent, diffusent, transmettent ou réfractent ces rayonnements en fonction de leur taille, texture, couleur, orientation et composition chimique. Les capteurs détectent les longueurs d'onde réfléchies et les ordinateurs les transforment en données qui permettent de collecter des informations sur la surface terrestre (figure 9). Cette méthode ne se limite pas à la simple imagerie et peut fournir des informations sur la température, la composition chimique, la hauteur et la teneur en humidité à grande échelle spatiale. Les données générées sont ensuite traduites en cartes par des experts en télédétection et en cartographie, afin d'être utilisées par des non-experts pour diverses applications, telles que la cartographie participative.

La télédétection est utilisée dans de nombreux domaines, tels que la cartographie, la géologie, la prospection minière, aussi la surveillance de l'environnement, la météorologie, l'agriculture, la gestion des ressources naturelles, la surveillance de la sécurité et de la défense, la surveillance de la santé des écosystèmes et le génie civil.

I-2-Satellites et capteurs :

I-2-1-Les satellites et images satellitaires :

I-2-1-1- Les satellites :

Les satellites sont des dispositifs spatiaux qui sont positionnés en orbite autour de la Terre, généralement sur une trajectoire quasi-circulaire. Leur positionnement affecte la capacité d'observation de la Terre, ainsi que la fréquence à laquelle les données sont collectées. Les satellites sont employés dans divers domaines, tels que la télédétection, les télécommunications et la télémétrie.

Un satellite de télédétection (Tableau 2) est un engin spatial conçu pour effectuer des observations à distance en recevant des ondes électromagnétiques à l'aide de capteurs actifs ou passifs. Les capteurs peuvent être des caméras ou des spectromètres (des instruments passifs) ou des radars (des instruments actifs), entre autres. En comparaison, un satellite qui utilise des instruments pour effectuer des mesures sur place (in situ) pour étudier des éléments tels que le champ magnétique, les champs électriques, la composition de l'exosphère, le plasma, la poussière interplanétaire, etc., est différent d'un satellite de télédétection.

Tableau 2 : Différents produits satellitaires (Neli,2018)

Satellite / Capteur	Année de lancement (et de fin)	Résolution temporelle optimale (en jours)	Résolution spatiale au nadir (en mètres)	Fauchée (en kms)	Bandes
CBERS-4 PANMUX	2014-	26	5	60	Pan/R/V/B/PIR
DMC-3 A-B-C VHRI-100	2015-	1	1	23	Pan/R/V/B/PIR
FORMOSAT-2 RSI	2004-	3	2	24	Pan/R/V/B/PIR
GeoEye-1	2008-	4	0,41	15	Pan/R/V/B/PIR
IKONOS	1999-	3	0,82	11	Pan/R/V/B/PIR
KOMPSAT-2 MSC	2006-	3	1	15	Pan/R/V/B/PIR
Landsat 5 TM	1984-2011	16	30	185	Pan/R/V/B/PIR/SWIR
Landsat 7 ETM+ Landsat 8 OLI	1999- 2013-	16	15	185	Pan/R/V/B/PIR/SWIR
Pléiades 1 A-B HiRI	2011-, 2012-	1	0,7	20	Pan/R/V/B/PIR
Quickbird	2001-2015	7	0,61	16,5	Pan/R/V/B/PIR
Rapideye (5 sats) MSI	2008-	5	6,5	25	R/V/B/RE/PIR
Sentinel-1 A-B	2014-, 2016-	6	5	80	C-band SAR
Sentinel-2 A-B MSI	2014-, 2017-	5	10	290	Pan/R/V/B/RE/PIR/SWIR
SPOT-1-3 HRV	1986-2003, 1990-2009, 1993-1996	3	10	60	Pan/R/V/PIR
SPOT-4 HRVIR	1998-2013	3	10	60	Pan/R/V/PIR/MIR
SPOT-5 HRG	2002-2015	3	2,5	60	Pan/R/V/PIR/MIR
SPOT-6-7 NAOMI	2012-, 2014-	3	1,5	60	Pan/R/V/B/PIR
Terra MODIS	1999-	1	250	2230 km	R/V/B/PIR/SWIR
WorldView-1 WV60	2007-	3	0,5	17,6	Pan/R/V/B/PIR/SWIR
WorldView-2-3 WV110	2009-, 2014-	3	0,46	16,4	Pan/R/V/B/PIR

Le programme spatial d'observation de la Terre pour des fins civils, connu sous le nom de Landsat, a été créé au milieu des années 1960 par la NASA en réponse à l'initiative de l'Institut des études géologiques américain (USGS) et du département de l'agriculture. Il a été le premier programme de ce type et a permis le lancement de sept satellites Landsat entre 1972 et 1999, suivis d'un huitième en 2013. En 2021, un neuvième satellite, Landsat 9, a été lancé pour garantir la

présence de deux satellites opérationnels. Le programme est actuellement géré conjointement par la NASA, qui s'occupe du développement spatial, et l'USGS, qui gère le segment terrestre et l'exploitation des données collectées (Sites officiels de la NASA et USGS).

Le programme Landsat offre de nombreux avantages dans le domaine de l'observation de la Terre, notamment :

1-Une vision globale : les satellites de Landsat fournissent des images couvrant l'ensemble de la planète, permettant ainsi de surveiller les changements à grande échelle.

2-Une longue durée de vie : la durée de vie des satellites Landsat est supérieure à celle de la plupart des autres satellites d'observation de la Terre, ce qui garantit une continuité dans les données collectées sur une longue période.

3-Une haute résolution : la résolution spatiale des images de Landsat est suffisamment élevée pour permettre la détection de détails tels que les frontières des terres, les voies navigables, les lacs et les rivières.

4-Une grande variété de données : le programme Landsat collecte des données dans une large gamme de longueurs d'onde, ce qui permet une variété d'applications allant de la surveillance de l'environnement et des ressources naturelles à la cartographie et la gestion des terres.

5-Une accessibilité des données : les données collectées par Landsat sont disponibles gratuitement pour le public, permettant ainsi à une large communauté d'utilisateurs de bénéficier de ces informations précieuses.

6- Disponible, gratuit, et observe dans 7 bandes spectrales en lumière visible et infrarouge avec résolution optique de 30 mètres (120 m sur la bande 6).

C'est la raison pour laquelle on va travailler dans cette étude avec des satellites Landsat.

I-2-1-2- Images satellitaires :

Une image satellitaire est une représentation plane d'un objet produit par la réfraction ou la réflexion de la lumière, ou simplement une matrice. L'imagerie satellite fait référence aux images de télédétection collectées par des satellites artificiels en orbite autour de la Terre ou d'autres planètes, tels que Spot, Landsat, Ikonos, Terra, etc. Ces images sont capturées à certaines longueurs d'onde (ultraviolet, visible, infrarouge, etc.) qui peuvent être combinées pour différentes interprétations. Le processus de télédétection consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, traiter et analyser l'information sous forme d'image, puis appliquer cette information.

I-2-2-Les capteurs :

Les capteurs sont des appareils capables de recevoir le rayonnement qui vient de la terre et de le transformer en un signal permettant la mémorisation de l'information. Ils se distinguent par leurs types d'acquisitions (passif ou actif), leurs modes d'acquisitions et leurs résolutions.

Type d'acquisition :

- **Les capteurs passifs (Figure 10-a)** : le soleil est la source d'énergie ou de rayonnement utilisé en télédétection. Cette énergie est soit réfléchi (la portion visible) ou absorbée et transmise (fluorescence, infra -rouge thermique) par la cible. Les capteurs passifs sont des dispositifs de télédétection qui mesure l'énergie disponible naturellement. Parmi lesquels on a : les capteurs optiques et les capteurs thermiques.

- **les capteurs actifs (Figure 10-b)** : produisent leur propre énergie pour illuminer la cible, et mesurer le signal rétrodiffusé dans sa direction. Ce sont des radiomètres opérant dans le domaine des hyperfréquences, ils ont l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Ils sont basés par exemple sur la technique du Radio Detection And Ranging (RADAR) ou encore du Light Detection And Ranging (LiDAR).

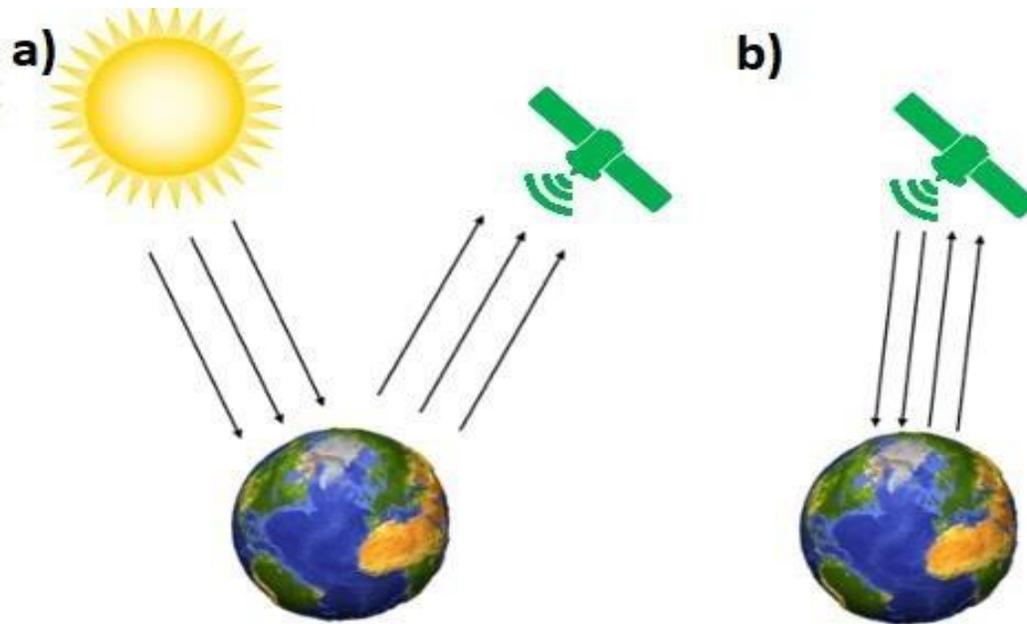


Figure 10 : Différents capteurs utilisés en télédétection (Normandin, 2019)
(a-Capteur passif , b-Capteur actif)

I-3-La télédétection dans l'occupation du sol :

Le besoin en information sur l'agriculture devient de plus en plus important pour évaluer et suivre l'occupation du sol. Le recours aux images satellites, couplées aux données auxiliaires met à la disposition des décideurs et des gestionnaires des informations précises et utiles pour le développement agricole à différentes échelles : locale, régionale et nationale.

Grâce à ses résolutions spatiales et temporelles de plus en plus fines, la télédétection spatiale représente un outil indispensable pour caractériser les écosystèmes en termes d'occupation des sols à différentes échelles du 100.000ème au 10.000ème et générer les statistiques par entité administrative (commune, province).

II-Outil du traitement des données (SIG) :

Le système d'information géographique est capable d'analyser les diverses données numériques disponibles sur un territoire géoréférencé, c'est-à-dire où les informations sont associées à des coordonnées géographiques précises.

Ces données sont stockées sous forme de bases de données et peuvent être triées, traitées et extraites selon les requêtes de l'utilisateur. Ils permettent donc de superposer, de comparer et de simuler ses données sur un espace donné. Ils offrent la possibilité de créer des modèles numériques de terrain (MNT) et de visualiser en 3D la restitution et la simulation paysagère des zones étudiées. De plus, ils sont utiles pour anticiper les transformations d'un paysage en évaluant l'impact visuel de divers projets d'aménagement tels que les autoroutes, les lignes à grande vitesse, les projets immobiliers, les aménagements paysagers ou forestiers.

Selon Fischer (1993), un Système d'Information Géographique (SIG) peut être défini comme un système informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur Terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. Le stockage de l'information géographique se fait sous deux formats de couches de données que sont les formats « vecteur » et « raster ». Les données utilisées dans les SIG proviennent de sources diverses à savoir : les images satellitaires (télédétection), les bases de données géoréférencées (GPS), les données numérisées, etc

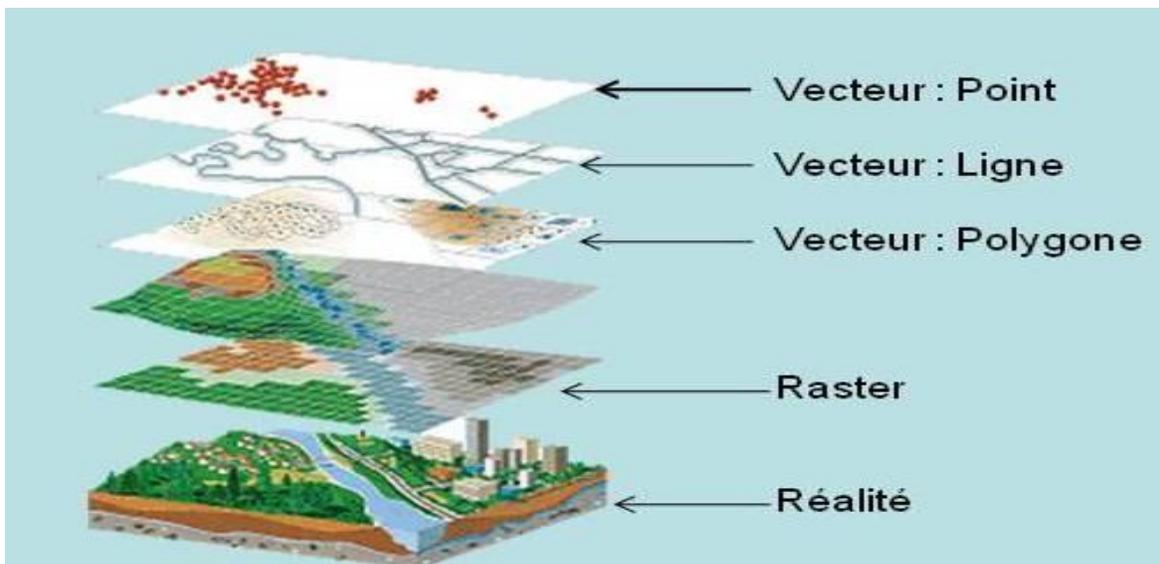


Figure 11 : Format et données utilisés dans un SIG (Broussaud ,2008)

La figure 11 montre les deux modes de représentation :

- vectoriel : les objets sont représentés par des points, des lignes, des polygones ou des polygones à trous.
- matriciel (format raster) : il s'agit d'une image, d'un plan ou d'une photo numérisée et affichée dans le SIG en tant qu'image. (Broussaud ,2008)

Le SIG regroupe dans un même ensemble une base de données et un ou plusieurs logiciels de traitement de l'information dont lesquelles :

- OTB (Orfeo toolbox) (Cnes) : Logiciel libre destiné au traitement des images de télédétection
- NEST (Next ESA SAT Toolbox) (ESA) : Logiciel gratuit de traitement et d'analyse de données spatiales radar et optiques.
- GuidosToolbox : Outil gratuit fournissant une variété de techniques de traitement d'image numérique pour la description et l'analyse d'objets d'image raster
- ERDAS Imagine 9.2 : pour les traitements des images satellitaires
- IDRISI 17.0 : pour la détection des changements et l'implémentation de la modélisation de l'occupation du sol.
- ArcGIS Desktop 10.8 : pour les applications SIG et l'élaboration des cartes.

Dans cette étude, nous avons surtout utiliser ArcGis pour la gestion, l'analyse et la visualisation des données spatiales. Dans le contexte du MNT, il propose des fonctionnalités pour créer, traiter, analyser et visualiser les MNT qui sont une représentation numérique des altitudes du terrain, généralement exprimée en termes de coordonnées XYZ (longitude, latitude et altitude). Elles sont utilisées dans de nombreux domaines, tels que la cartographie, la planification urbaine, la modélisation des eaux, etc. Elles permettent aussi de visualiser le relief du terrain et d'effectuer des analyses topographiques.

En résumé, ArcGIS offre une gamme d'outils pour créer, traiter, analyser et visualiser les Modèles Numériques de Terrain. Il facilite l'exploitation des données topographiques et permet d'effectuer des analyses spatiales avancées pour mieux comprendre et gérer le relief du terrain.

La figure 12 récapitule la méthodologie adoptée dans notre étude.

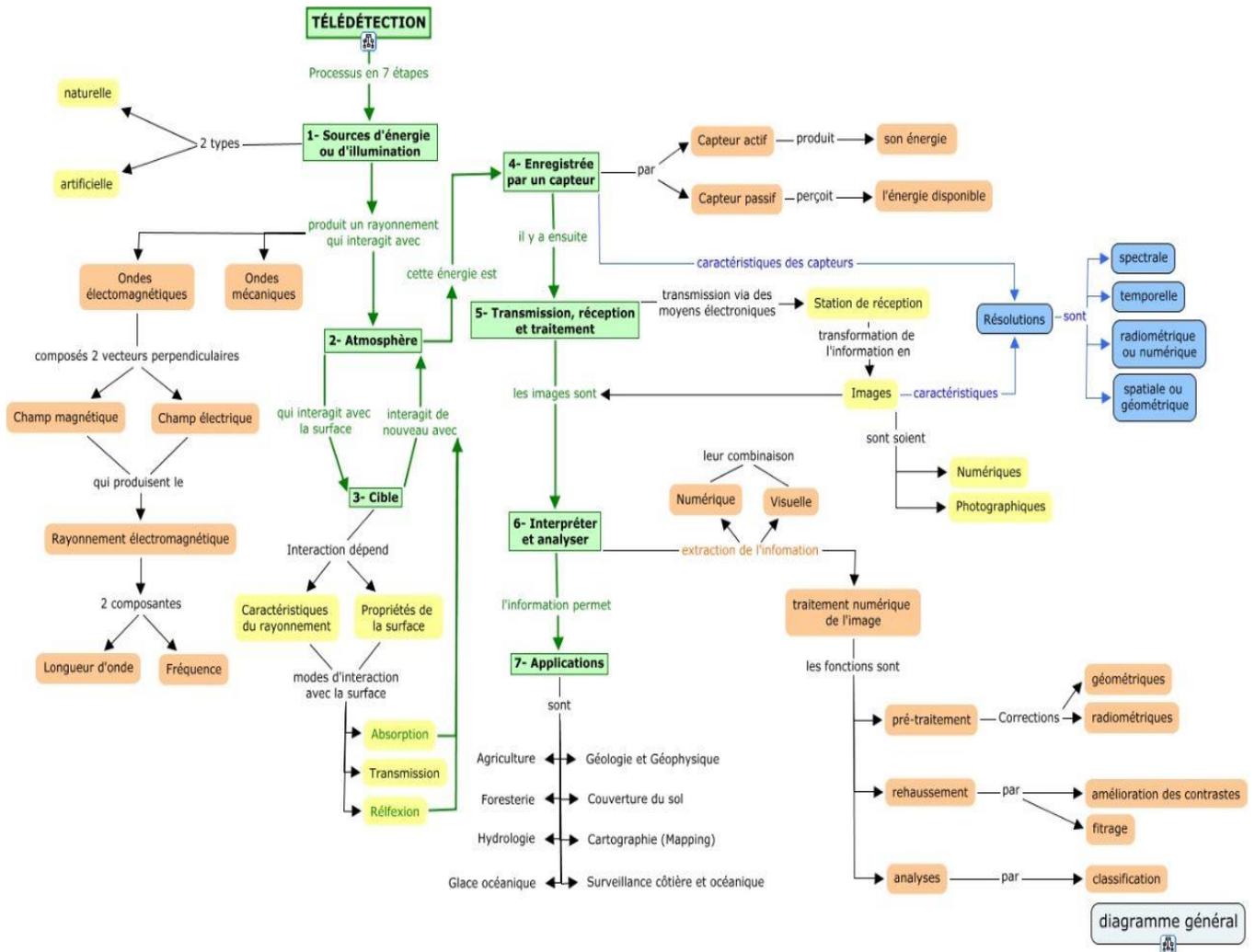


Figure 12 : Schéma récapitulatif de la méthodologie (IHC.Public Cmaps(in El Atillah et al .2018))

Chapitre III : Cartographie De l'occupation du sol

I-Généralités :

Comme mentionné précédemment, l'utilisation des satellites pour acquérir des séries temporelles sur des vastes étendues permet l'étude de l'occupation des sols à une échelle mondiale.

Il est possible d'adopter deux grandes stratégies pour produire une carte d'occupation des sols. La première consiste à mettre à jour d'anciennes cartes d'occupation des sols en identifiant les zones de changement ou les zones incomplètes, tandis que la seconde consiste à créer une nouvelle carte. Bien que la première approche puisse être attrayante d'un point de vue opérationnel et économique lorsqu'il est nécessaire d'analyser uniquement les zones de changement, elle est moins courante. Cependant, il est important de noter que la reconnaissance de ces zones à mettre à jour est une question complexe, en particulier dans des régions très hétérogènes avec des dynamiques temporelles fortes.

- Quelque soit la stratégie choisie (mise à jour ou nouvelle carte), la production peut être réalisée soit manuellement soit automatiquement

Approches manuelles : Les approches manuelles désignent ici toutes les approches nécessitant une forte intervention humaine pour la production des cartes. Trois sous-groupes d'approches sont distingués :

1. La photo-interprétation. Des opérateurs externes, généralement experts en Système d'Information Géographique (SIG) ou du terrain d'étude, identifient les occupations des sols à l'aide d'images aériennes et satellitaires.
2. Les enquêtes terrain. Des experts référencent et complètent les occupations des sols en allant sur le terrain.

3. La production collaborative (crowd-sourcing). Des personnes bénévoles pas nécessairement expertes en géomatique, en cartographie ou du terrain d'étude contribuent à la cartographie de toutes les surfaces émergées à travers notamment les plateformes Internet SIG dédiées à la cartographie.

La photo-interprétation est entièrement basée sur l'utilisation des images satellitaires, tandis que les enquêtes terrain ou les approches collaboratives utilisent souvent l'image satellitaire en support avec d'autres technologies notamment le web-mapping et le GPS. (Pelletier,2017)

Approches automatiques : Contrairement aux méthodes manuelles, les approches automatiques ont pour objectif d'extraire l'information sur l'occupation des sols à partir d'images aéroportées et satellitaires en minimisant l'intervention humaine. Ces approches utilisent des méthodes de classification qui assignent chaque pixel de l'image à une classe spécifique d'occupation des sols. Ces méthodes reposent sur le principe de l'apprentissage automatique, également connu sous le nom de "machine learning". De manière traditionnelle, deux approches sont distinguées : l'approche supervisée et l'approche non-supervisée.

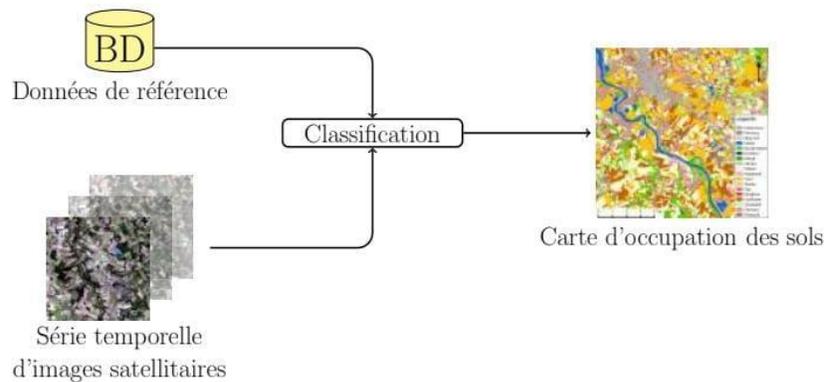
La classification supervisée et non supervisée sont deux approches différentes utilisées dans la télédétection et l'analyse de l'occupation du sol pour classer les différentes classes de couverture terrestre à partir d'images satellitaires ou aériennes.

-Classification supervisée :

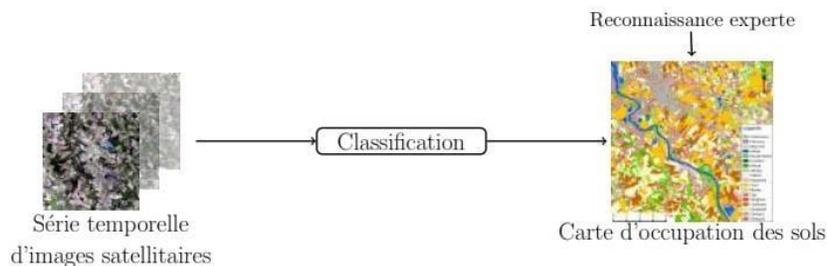
La classification supervisée est une méthode où l'analyste fournit à l'algorithme des échantillons d'entraînement qui sont représentatifs des différentes classes d'occupation du sol. Ces échantillons sont généralement des pixels sélectionnés à la main et étiquetés avec leur classe correspondante. L'algorithme utilise ensuite ces échantillons pour apprendre les caractéristiques spectrales associées à chaque classe et crée un modèle de classification. Ce modèle est ensuite appliqué à l'ensemble de l'image pour attribuer une classe à chaque pixel en se basant sur ses caractéristiques spectrales. La classification supervisée nécessite donc une intervention humaine pour la sélection des échantillons d'entraînement et la validation des résultats.

-Classification non-supervisée :

En revanche, la classification non supervisée est une méthode où l'algorithme recherche automatiquement des structures et des motifs dans les données sans qu'un analyste fournisse des échantillons d'entraînement préétiquetés. L'algorithme regroupe les pixels similaires en utilisant des mesures de similarité spectrale. Ces groupes ou classes résultantes sont ensuite interprétés par l'analyste pour attribuer des étiquettes correspondant à des classes d'occupation du sol spécifiques. La classification non supervisée est utile lorsque l'on ne dispose pas d'informations préalables sur les classes d'occupation du sol ou lorsque l'on souhaite découvrir de nouvelles classes ou des modèles inattendus dans les données.



(a) Apprentissage supervisé



(b) Apprentissage non-supervisé

Figure 13 : Schémas simplifiés des apprentissages supervisés et non-supervisé pour la cartographie de l'occupation des sols. (Pelletier,2017)

La Figure 13 montre la différence entre ses deux approches qui réside principalement dans l'utilisation faite de la donnée de référence.

Schéma suivante (Figure 14) montre le protocole suivit pour arriver à la méthode choisie (Classification non supervisée)

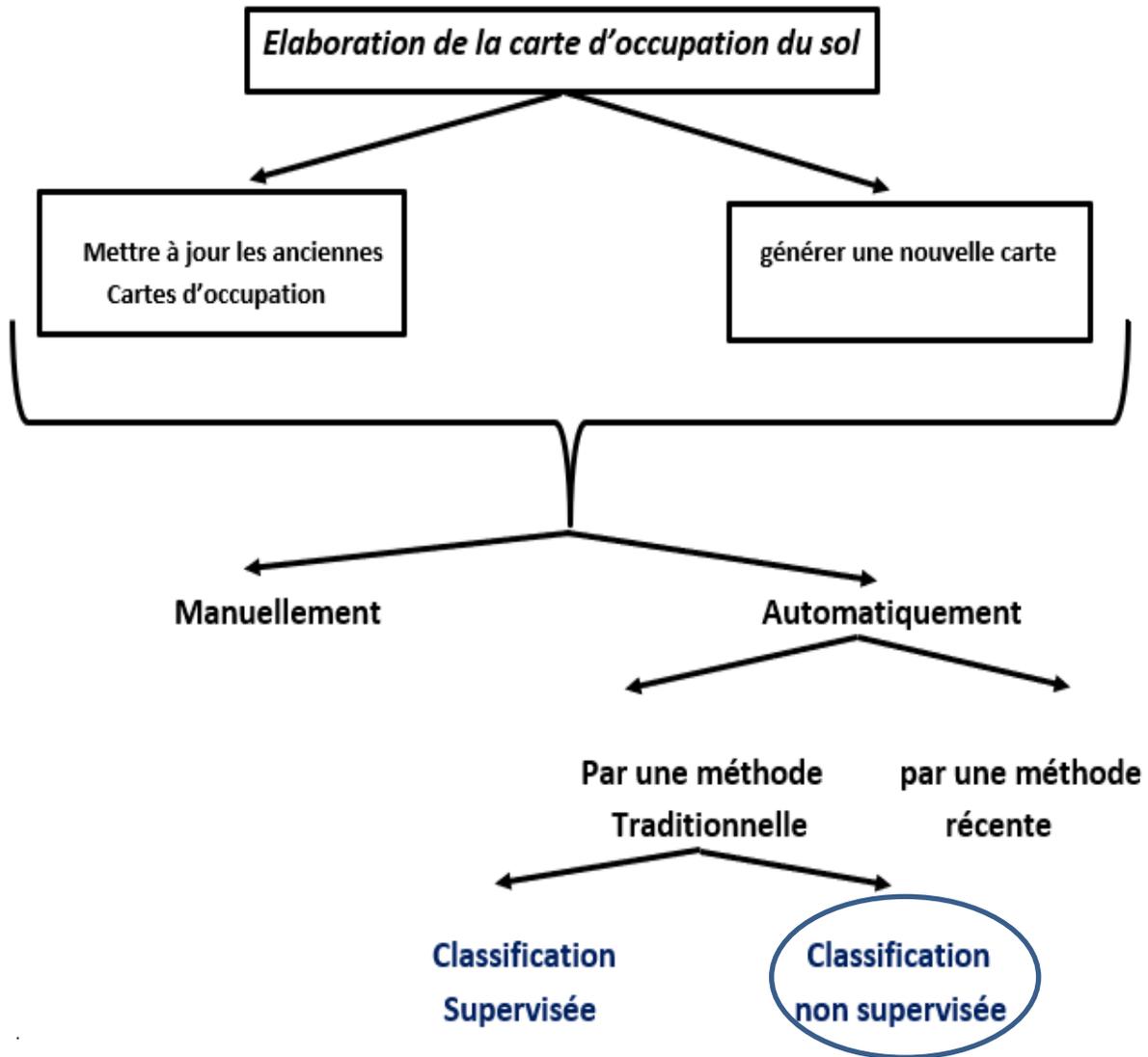


Figure 14 : Schéma illustrant le protocole adopté dans cette étude

II-Choix des images satellitaires et leurs traitements :

II-1-Choix et dates :

Durant la période comprise entre 1996 et 2022, la région du bassin Ghdat a connu des changements environnementaux et économiques importants, tels que les changements climatiques « Une alternance entre les périodes sèches et humides », une croissance démographique importante

c'est-à-dire une activité anthropique plus importante et une expansion économique rapide qui rend le bassin exposé à des problèmes ; ce qui nous mène à choisir ces dates.

Pour la période de l'année, nous avons choisi les mois juin et juillet vu que l'atmosphère reste relativement claire, et que l'observation permet de mettre l'accent sur la végétation qui endure toute l'année.

Pour les images satellitaires, les données que nous avons utilisées sont prises du Landsat 5 et 8 (Tableau 3)

Tableau 3 : Principales métadonnées des images Landsat utilisées

Métadonnées	1996	2003	2015	2022
Capteur	Landsat4-5 TM	Landsat4-5 TM	Landsat 8 OLI	Landsat 8 OLI
Landsat Product Identifier	LT05_L1TP_202038_19960725_20211123_02_T1	LT05_L1TP_202038_20030627_20200904_02_T1	LC08_L1TP_202038_20150714_20200908_02_T1	LC09_L1TP_202038_20220709_20230408_02_T1
Date d'acquisition	1995-07-25	2003-06-27	2015-07-14	2022-07-09

II-2-Prétraitement :

Les images Landsat 8 acquises en Juillet 2015 et 2022 sont corrigées automatiquement, contrairement aux images Landsat 4-5(TM) acquises en Juillet 1996 et Juin 2003 qui sont corrigées atmosphériquement et radiométriquement en appliquant plusieurs formules sur chaque bande (3 bandes pour chaque image) pour obtenir des résultats précis et plus correctes.

Correction atmosphérique : $pA' = Mp * Qcal + Ap$

Où :

pA' = réflectance TOA, non corrigée de l'angle d'incidence solaire.

Mp = Facteur de redimensionnement multiplicatif spécifique à la bande à partir des métadonnées : REFLECTANCE_MULT_BAND_x, où X est le numéro de bande.

Ap = Facteur de redimensionnement additif spécifique à la bande à partir des métadonnées : REFLECTANCE_ADD_BAND_x, où X est le numéro de bande. $Qcal$ = valeur fournie dans la bande X du pixel.

Correction radiométrique : $pA = pA' / \sin(\theta_{se})$

Où:

pA est la réflectance TOA corrigée de l'incidence solaire θ_{se} angle d'élévation du soleil au centre de l'image, fourni 56 dans les métadonnées: SUN ELEVATION.

Les métadonnées de nos images satellitaires sont contenues dans un fichier texte NTL obtenue après téléchargement de l'image

II-3-Traitement :

Aujourd'hui, grâce aux technologies de pointe, la plupart des données de télédétection sont stockées sous forme numérique. Par conséquent, lorsqu'il s'agit d'interpréter et d'analyser ces images, le traitement numérique joue un rôle essentiel. Il existe diverses approches qui peuvent être utilisées dans le traitement numérique des images, telles que la visualisation en niveaux de gris ou en couleur, les opérations mathématiques, l'analyse en composantes principales, ainsi que plusieurs autres techniques (*Figure 15*).

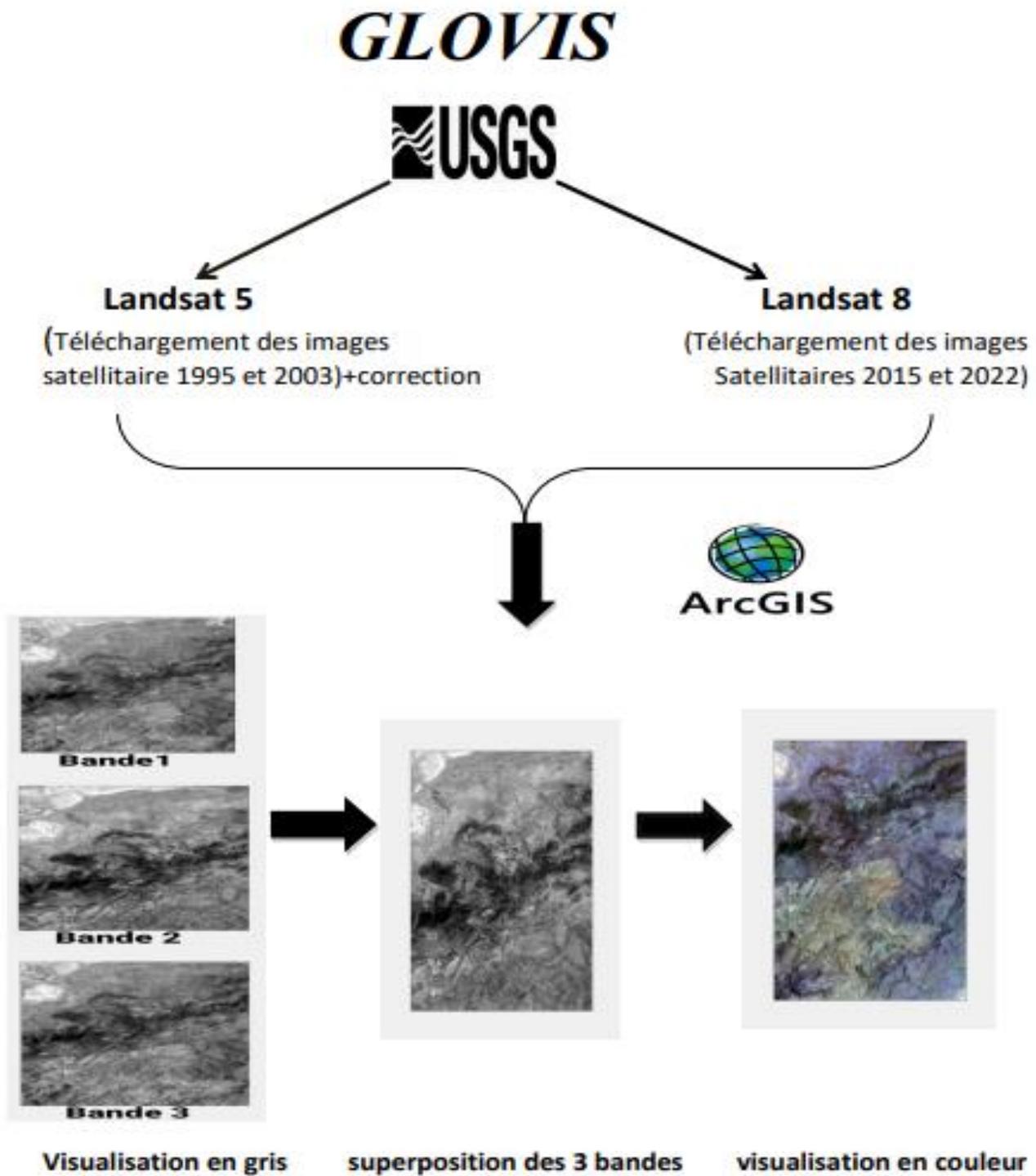


Figure 15 : Schéma explicatif du protocole suivi

II-4-Problème trouvé et solutions :

Après téléchargement, prétraitement, et traitement des images satellitaires ; on passe à l'étape de production des cartes d'occupation. Cette étape qui nous a pris beaucoup de temps dans sa réalisation car à chaque fois on trouve des contradictions avec la réalité engendrée par l'ombre de la végétation qui est considéré par le logiciel comme une végétation dense.

Pour résoudre ce problème nous avons appliqué la méthode des fausses couleurs qui a pour but de distinguer entre la végétation et son ombre, tout en augmentant le nombre des classes jusqu'à 15 pour obtenir des résultats plus précis et beaucoup plus proches de la réalité.

La figure 16 représente la même carte (2015) avant et après résolution du problème. Cette procédure a été appliquée sur les autres cartes (1996, 2003 et 2022).

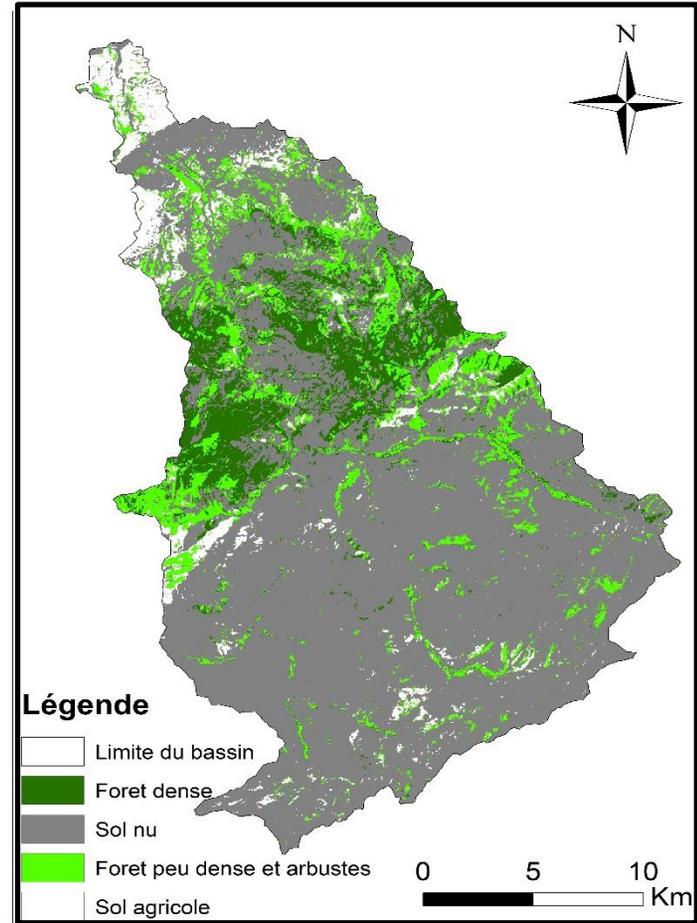
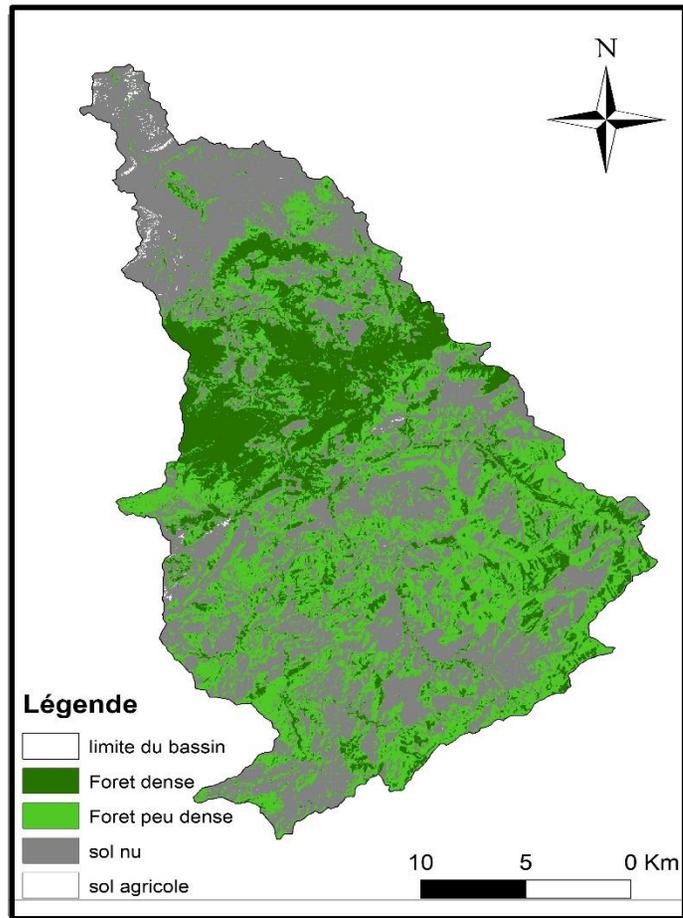


Figure 16 : Schéma montrant la différence entre la carte avant et après résolution du problème

Les techniques de fausse couleur sont couramment utilisées dans divers domaines de l'imagerie technique tels que l'astronomie, l'imagerie satellite, l'imagerie médicale et la prospection minière. Elles offrent deux possibilités principales :

- 1- Tout d'abord, il est possible de mettre en évidence de légères variations de luminosité en remplaçant ces changements par des variations de couleur.
- 2- Par ailleurs, il est possible de représenter une image avec des couleurs différentes de celles réellement perçues, ce qui permet de visualiser des variations de luminosité dans des longueurs d'onde généralement invisibles, notamment dans le proche infrarouge.

Landsat offre 9 bandes spectrales dont trois sont dans le domaine visible, qui sont superposées pour obtenir une image à vrai couleur (Bande 2,3 et 4 pour Landsat 7, et 1,2 et 3 pour Landsat5). Alors la superposition avec une bande de l'infra-rouge donne une image à fausses couleurs. La figure 17 montre la visualisation en vrai et en fausses couleurs des images obtenues par superposition des trois bandes spectrales.

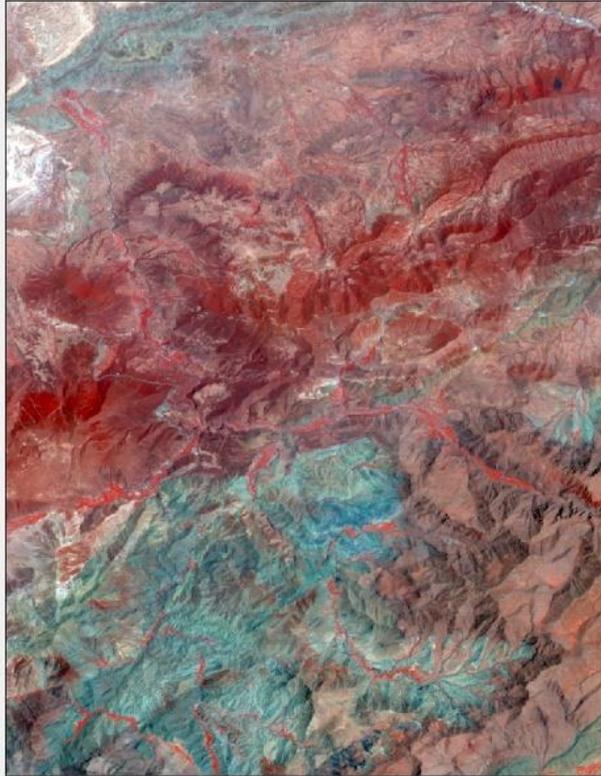


Image à fausses couleurs



Image à vrai couleurs

Figure 17 : Image à fausses couleurs et à vrai couleurs

Chapitre IV : Résultats et interprétation

I- Description et analyse des cartes d'occupation du sol :

Dans le but de suivre l'évolution de l'occupation des sols du bassin versant Ghdat, on a procédé à la comparaison post classificatoire de quatre cartes d'occupation des sols. La production de ces cartes a été faite à travers la classification non supervisée de quatre image satellitaires prises en : 1996, 2003, 2015 et 2022.

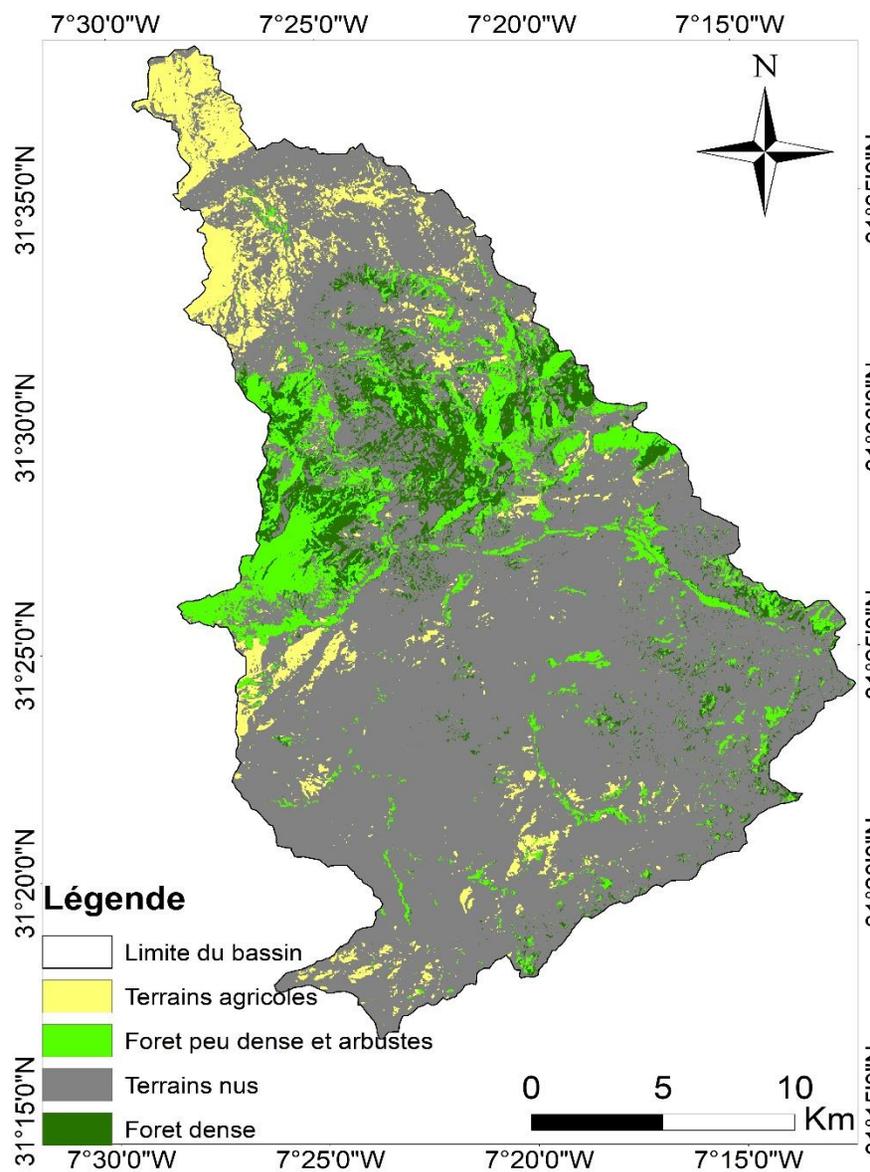


Figure 18 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 1996

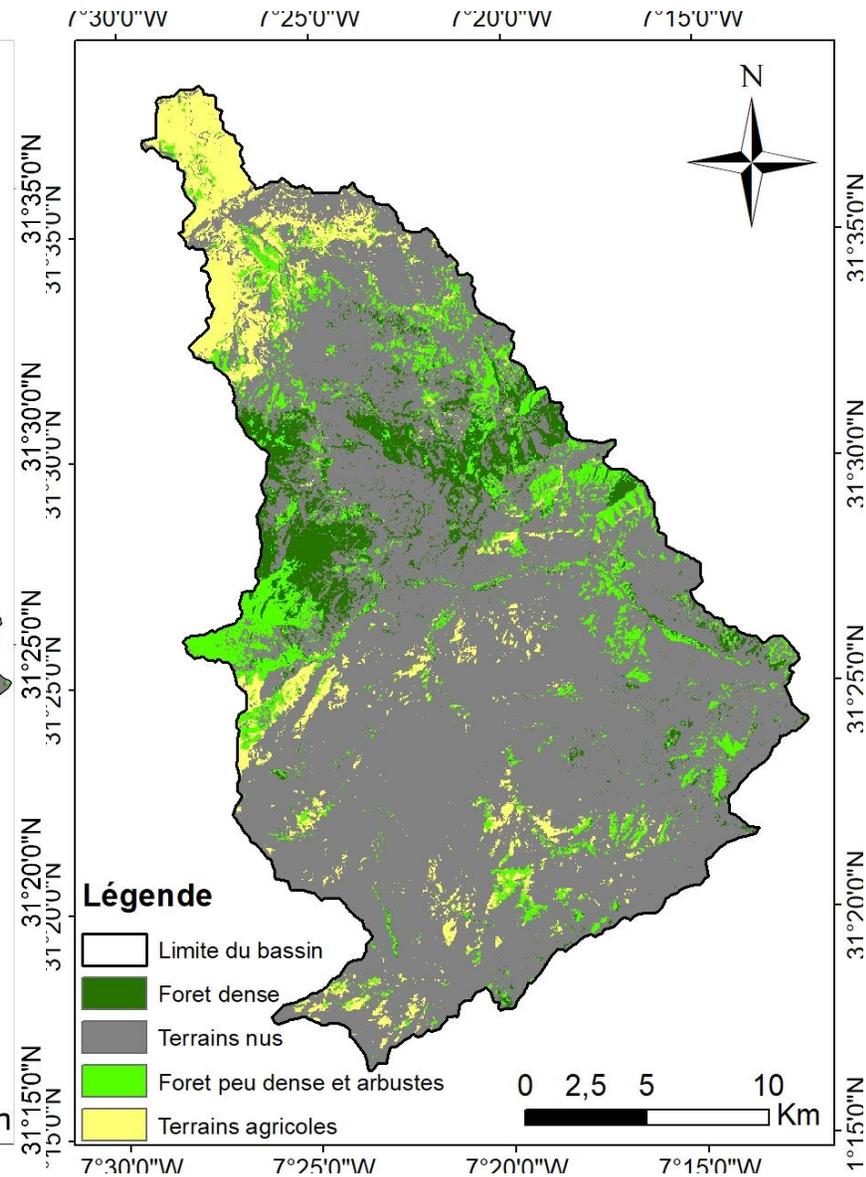


Figure 19 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 2003

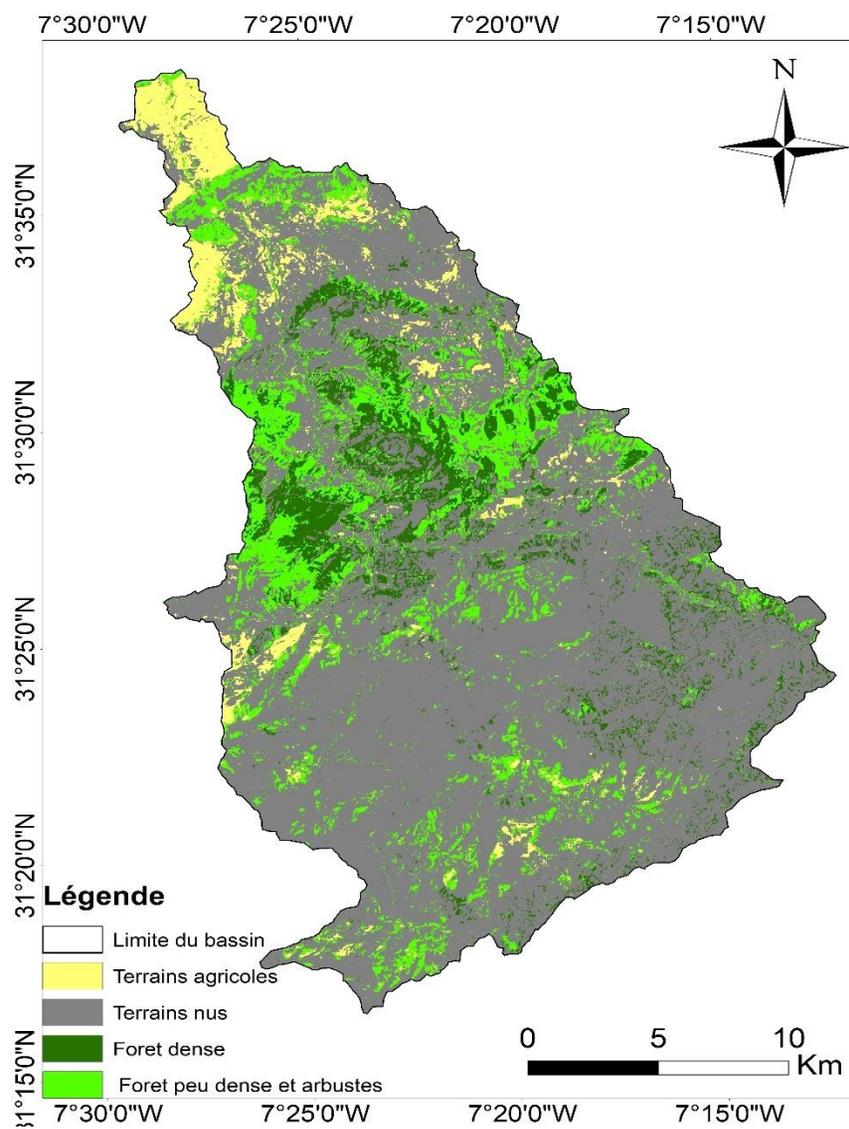


Figure 20 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 2015

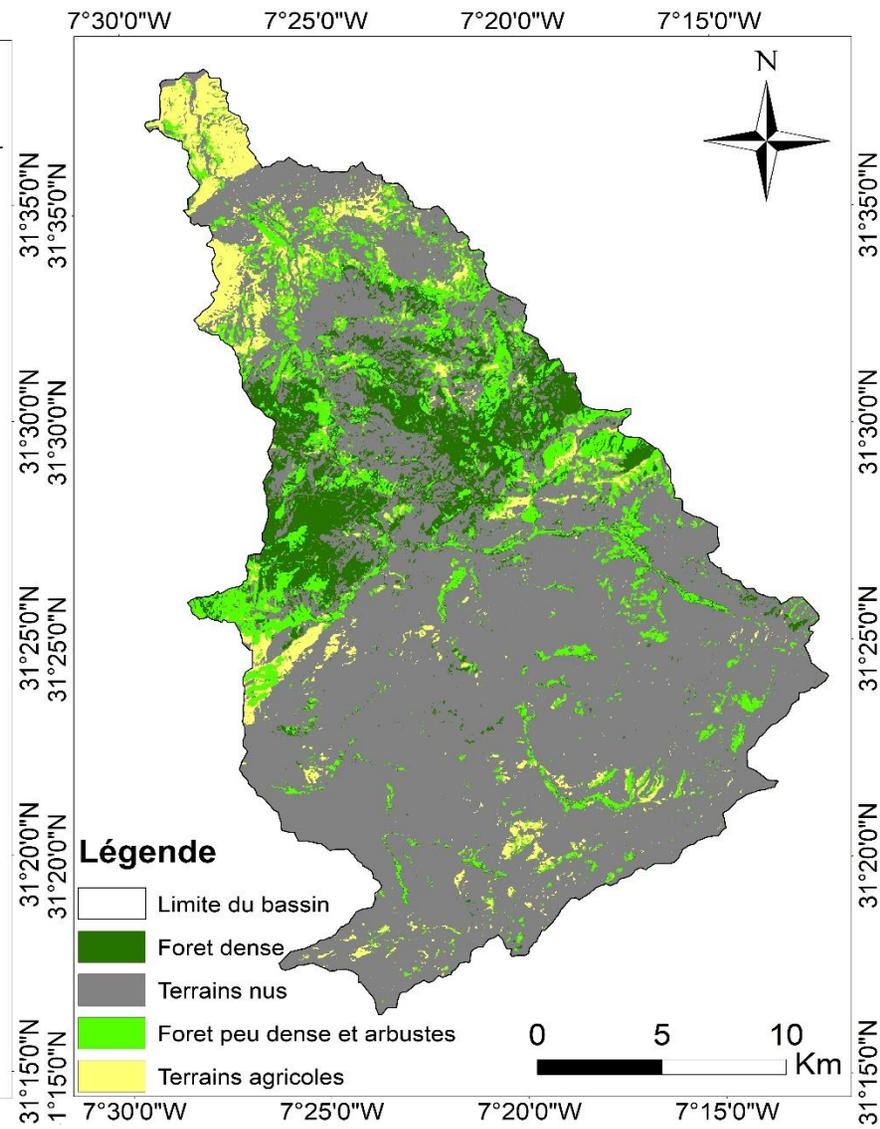


Figure 21 : Carte d'occupation du bassin Ghdat en 2022

D'après ces cartes (Figures 18, 19,20 et 21) ; on distingue quatre unités cartographiques d'une manière grossière :

- **Forêt dense** : Comprend les formations végétales à base de chêne vert, genévriers, et des reboisements de pin d'Alep, dont la moyenne d'occupation est de 9%.
- **Forêt peu dense et arbustes**: représentant les stades de dégradation de la forêt naturelle dont le recouvrement moyen est environ 12,23%, allant du matorral bas et clair issu de la dégradation de l'ancienne chênaie et de l'ancienne junipiraie, jusqu'à l'erme.
- **Terrains agricoles** : Représentent les 7,3% et comprennent les terrains occupés par les cultures et mis en jachère
- **Terrains nus**: Correspondent à 71,47% de la surface totale du bassin et qui regroupent les affleurements rocheux et les espaces bétonnés (agglomérations, usines et carrières).

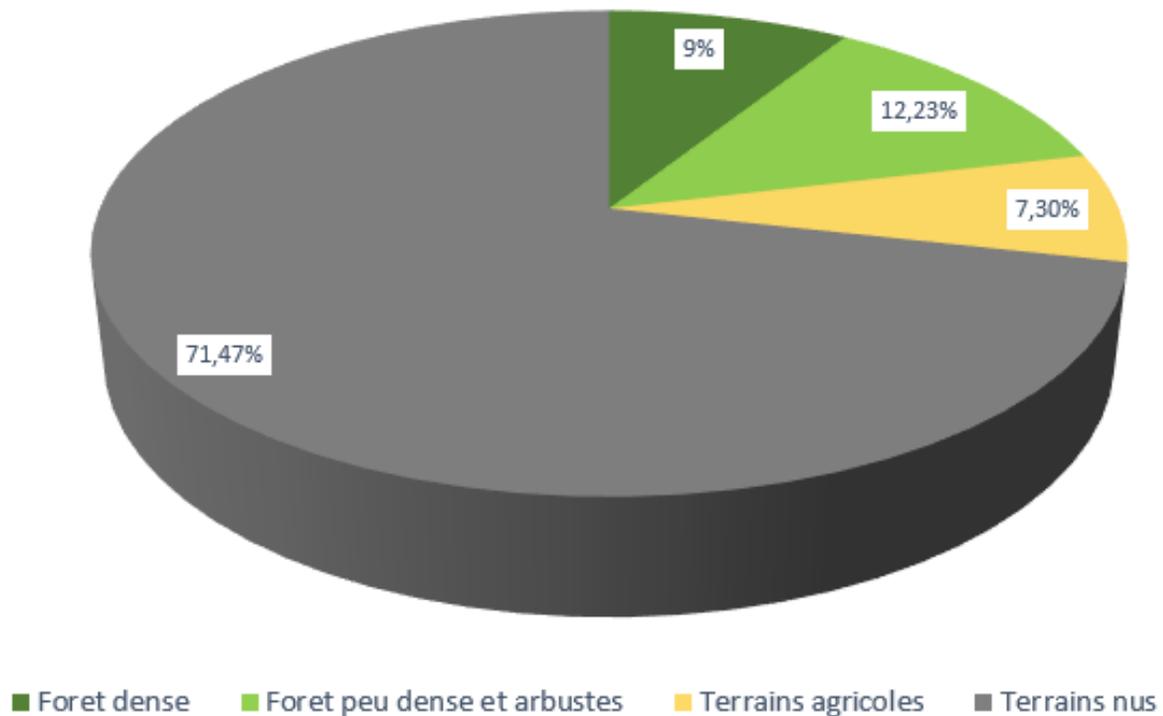


Figure 22 : Diagramme circulaire des proportions des quatre classes

Comme expliqué précédemment dans la partie méthodologie, les sites d'entraînement requis pour la classification ont été sélectionnés en utilisant une approche visuelle qui se concentre sur la composition colorée de chaque image, en tenant compte également des images Google Earth qui donnent des représentations 3D de la terre en se basant sur des images satellitaires, et qui ont permis de distinguer entre quatre classes principales, chacune occupant une surface bien spécifique, qu'on l'obtient à partir du calcul de la moyenne entre les quatre années (Tableau 4).

Nous avons remarqué que les terrains nus occupent le pourcentage le plus élevé, environ 71,47% de la surface moyenne du bassin, suivis des forêts peu denses et des arbustes avec une moyenne de 12,23%, puis les forêts denses 9% et enfin les terrains agricoles 7,30% (Figure 21).

Ces quatre classes changent d'occupation dans le temps (Tableau 4 et Figure 22) et ce qui nous intéresse le plus dans notre étude, c'est la variation dans l'intervalle [1996, 2022] qui peut être expliquée par plusieurs facteurs.

Tableau 4 : Occupation des sols du bassin versant Ghdat entre 1996 et 2022

<i>Années</i> <i>Classes</i>	1996		2003		2015		2022	
	surface (km ²)	%						
Forêt dense	39,44859	8,2	40,53386	7,49	58,47586	10,8	47,6693	8,82
Forêt peu dense et arbustes	60,28028	12,5	53,57996	9,9	64,68419	11,96	78,99924	14,54
Terrains agricoles	41,7948	8,7	45,71893	8,45	34,04949	6,3	31,01941	5,74
Terrains nus	339,4252	70,58	401,1161	74,15	383,68419	70,94	383,2609	70,85

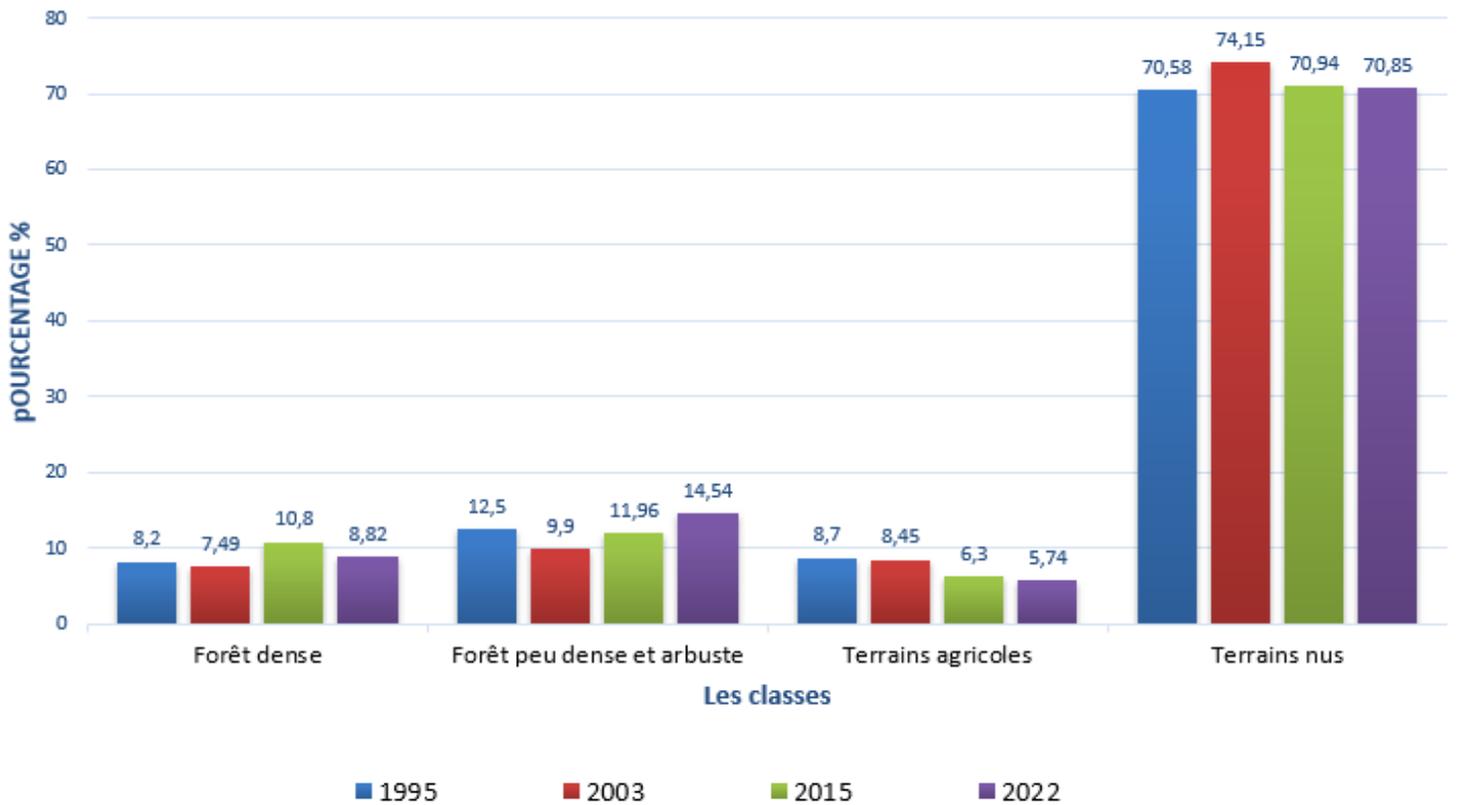


Figure 23 : Evolution des changements en occupation des terres des année 1996 , 2003 , 2015 et 2022

Le bassin versant est un objet complexe qui englobe plusieurs caractéristiques telles que la géométrie, la géologie et la topographie. Ces caractéristiques jouent un rôle crucial non seulement dans la réponse hydrologique du bassin lorsqu'il est exposé à des précipitations (régime d'écoulement), mais également dans le processus de formation de la pluie, notamment pour les caractéristiques en amont telles que l'altitude et l'exposition.

II-Distribution spatiale :

L'analyse visuelle des cartes d'occupation du sol nous permet de constater que les quatre classes sont caractérisées par une distribution spatiale bien spécifique :

Dans l'ensemble du bassin on a une dominance des terrains nus et spécifiquement dans la partie amont qui se caractérise par un climat aride , une pente élevée et une lithologie qui est marquée par la présence des terrains mésozoïques peu perméables avec des roches éruptives et métamorphiques ,empêchent le développement de la végétation et rendent ces terrains plus

abondants. Tandis que les terrains agricoles sont très répandus dans la plaine en raison du climat semi-aride et la nature des terrains perméables, en plus de l'activité humaine qui favorise la production agricole qui est basée surtout sur la céréaliculture et l'arboriculture, principalement l'olivier et les agrumes. Alors que les forêts sont développées dans la zone de montagne qui est marquée par un climat subhumide et une lithologie tendre c'est-à-dire un bon sol pour leurs allongement même si la pente est élevée.

III-Evolution temporelle :

Afin de suivre l'évolution de chaque classe d'occupation du sol au cours du temps, nous avons opté pour une analyse du diagramme du changement des résultats (Figure22) qui a permis de constater que :

-Les terrains nus : sont caractérisés par une stabilité temporelle puisqu'ils représentent en moyenne 70% de la superficie du bassin, à l'exception de l'année 2003 qui ont connu une légère augmentation de 4% puis ils reviennent à leur dimension en 2015 à la faveur du développement des forêts qui peut être expliqué par l'intervention de la Direction Régionale Eaux et Forêts (DREF) qui est chargée de la protection et de la gestion des écosystèmes forestiers de la région ; cela comprend la mise en place de mesures de conservation, de reboisement, de lutte contre la déforestation et de prévention des incendies forestiers.

-Les terrains agricoles : Ont connus une progression entre 1996 et 2003 due aux apports liquides obtenus après les fortes précipitations dans cette période, notant aussi le rôle du Recensement Général de l'Agriculture (RGA) de 1996, le sous-bassin de Ghdat comprend 9 151 exploitations agricoles. L'activité agricole procure de l'emploi permanent à 15 199 personnes dont 228 en tant que main-d'œuvre salariale et 14 971 en tant que main-d'œuvre familiale (Diagnostic du sous-bassin de Ghdat 2016), suivie d'une régression qui est très marquée en 2022 après l'événement de sécheresse qui est connue par « la sécheresse historique » qui fut l'une des plus longues et des plus étendues dans l'espace et dans le temps ; cela a eu pour effet de les empêcher paradoxalement d'absorber le peu de précipitations qui tombaient en les rendant moins fertiles. Ajoutons l'impact du plan Maroc vert qui élabore des projets d'irrigation qui ont mis en place pour améliorer l'accès à l'eau dans la région qui prévoit intensifier la production agricole.

-Les forêts denses, peu denses et arbustes : montrent à chaque fois une variation dans le temps ; dont l'augmentation est marquée entre 2003 et 2015 et qui peut être expliquée par le programme décennal 2005-2014 adopté par le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) qui est consacré à la préservation et la valorisation des écosystèmes forestiers et à la lutte contre la désertification. Aussi bien le rôle du Plan Maroc Vert qui prévoit une gestion forestière durable en promouvant de bonnes pratiques de gestion des forêts, il compte aussi sur la valorisation économique des ressources forestières et la lutte contre la désertification en plantant des arbres dans les zones menacées et en mettant en œuvre des projets de conservation des sols pour prévenir l'érosion.

Conclusion :

Le bassin versant du Ghdat présente un environnement climatique et morphologique favorisant les écoulements d'eau en surface et l'apparition de crues soudaines et violentes. Il se caractérise par une végétation clairsemée, des sols peu perméables en amont et plus perméables en aval, ainsi qu'une densité relativement élevée du réseau hydrographique, atteignant environ 2,5 kilomètres de cours d'eau par kilomètre carré. Ces conditions confèrent aux écoulements dans le bassin versant un aspect tumultueux et boueux. Tout cela fait-en un sujet de discussion dont l'idée est de ne pas se limiter à une simple superposition de couches représentant les états successifs du territoire. Il s'agit plutôt de concevoir une organisation des données qui permettent de décrire les entités spatiales d'une part ; de caractériser les événements et les processus responsables de leurs changements et d'intégrer une compréhension des mécanismes d'évolution, des causes et des explications d'autre part. Afin d'accomplir ceci on a fait recours aux images satellitaires, ces dernières sont des outils géographiques qui se composent de pixels présentant différentes signatures spectrales, formant ainsi les informations représentées sur l'image. Le traitement des images satellitaires permet d'obtenir des résultats efficaces utilisés notamment pour créer des cartes d'occupation du sol. Ces résultats sont obtenus à l'aide du logiciel "ArcGIS (10.8)", qui permet de réaliser des classifications supervisées et non supervisées afin de détecter les changements de végétation dans l'espace et dans le temps, en utilisant les données des satellites Landsat OLI et Landsat TM pour les années 1996 à 2022.

Par ailleurs, le travail présenté n'est qu'un maillon qui peut servir de base pour d'autres développements comme le suivi des occupations des sols afin de comprendre le comportement de chaque occupation et sa réponse vis-à-vis des conditions qui changent, et savoir les différents aménagements qu'on peut faire en tenant compte de ces réponses.

Liste bibliographique :

AHT Group AG Resing(Avril 2016).Diagnostic du sous bassin de Ghdat 11p.

Bersi M. (2018).Cours de télédétection principes et Applications en Géosciences d'université Ferhat Abbas,Campus El Bez,sétif 2p.

Broussaud J. (25 Mars 2008) Qu'est-ce qu'un système d'information Géoscientifique.

Cebrian Abellán F. et al.(2018).Observe la terre pour appréhender spécialement les inégalités de santé:regard historique et prospectif sur l'utilisation de la télédétection dans le domaine de la santé,Revue FRANCO BRESELIENNE DE GEOGRAFIA 11p.

Hajhouji Y. (2018).Modélisation hydrologique du bassin versant de Oued Rheraya et sa contribution à la recharge de la nappe du Haouz (Bassin du Tansift,Maroc) 13p.

IHMC Public Cmaps [in El Atillah A. et al. (2018). Utilisation de l'image multispectrale pour l'exploration et la recherche des ressources minérales:État des connaissances et proposition d'un modèle de traitement 35p.]

Normandin C. (17 septembre 2018).Apport de la télédétection spatiale à haute résolution pour l'étude des cycles des eaux de surface et des matières particulières en suspension le long du continuum bassin versant océan côtier 35p.

Pascon P. (1997).[in Darif O.(2013).Le fonctionnement hydrologique du bassin versant de Ghdat (Haut Atlas de Marrakech)et conséquences environnementales de crues de l'Oued 11p.

Pelletier C. (11 Décembre 2017). Cartographie de l'occupation des sols à partir des séries temporelles d'images satellitaires à hautes résolutions (Identification et traitement des données mal étiquetées) 15pet19p.

Rapport ABHT