Liste des figures

Figure № 01: Triangle du feu ……... 02
Figure № 02 : Les différentes formes des feux de forêts ……. 09
Figure № 03 : Différentes parties d'un feu de forêt ……. 11
Figure № 04 : Les étapes de la télédétection …… 13
Figure № 05 : Représentation de l'onde électromagnétique simple ……. 15
Figure № 06 : Représentation du spectre électromagnétique ……... 15
Figure № 07: Illustration des signatures spectrales de quelque objet …….. 16
Figure № 08 : Modes de représentation vecteur et raster ……. 18
Figure № 09 : Structure de l'information géographique dans un SIG ……. 19
Figure № 10 : Situation géographique de la zone d'étude ……...…… 23
Figure № 11: Géologie de la zone d'étude ……... 24
Figure № 12 : Evolution des moyennes des précipitations annuelles ……..... 29
Figure № 13 : Carte pluviométrique de la Wilaya de Tissemsilt ……. 29
Figure № 14 : Diagramme représentatif des précipitations mensuelles ….. 30
Figure № 15 : Diagramme ombrothermique de la station de référence ……... 32
Figure № 16 : Climagramme d'Emberger pour la période 1976-2006 …… 33
Figure № 17 : Organigramme de la méthodologie adoptée ……. 38
Figure № 18 : Les causes de la distorsion géométrique des images ……. 39
Figure № 19 : Image Landsat 7 du 12- 09-2012 ……... 42
Figure № 20: Représentation graphique de la superficie des classes d'altitudes …. 44
Figure № 21 : Carte des altitudes de la commune de Lardjem …… 45
Figure № 22 : Représentation graphique de la superficie des classes de pente …... 46
Figure № 23 : Carte des pentes de la commune de Lardjem …… 47
Figure № 24 : Représentation graphique de la superficie des classes d'exposition.. 48
Figure № 25 : Carte des expositions de la commune de Lardjem …… 49
Figure № 26 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 1987 ……... 50
Figure № 27 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 1987 …… 51
Figure № 28 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2000 ……..... 52
Figure № 29 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 2000 …… 53

Figure № 30 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2012 ……..... 54
Figure № 31 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 2012 …… 55
Figure № 32 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2014 ……..... 56
Figure № 33 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 2014 …… 57
Figure № 34 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation de la zone incendie en 2012 ……... 58
Figure № 35 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation de la zone incendie après deux ans …… 59
Figure № 36 : Indice de végétation de la zone incendie en 2012 ……. 60
Figure № 37 : Indice de végétation de la zone incendie après deux ans ……. 60

Rapport-Gratuit.com

Liste des tableaux

Tableau № 01 : Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité ……..... 06

Tableau № 02 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 5 TM ……... 21

Tableau № 03 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 7 ETM+ …….. 21

Tableau № 04 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 8 OLI/TIRS…. 22

Tableau № 05 : Répartition mensuelle de la température ……... 30

Tableau № 06 : Répartition mensuelle des vitesses du vent …… 31

Tableau № 07 : Humidité relative moyenne mensuelle ……... 31

Tableau № 08 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimat correspondant ……. 34

Tableau № 09 : Les caractéristiques des images satellitaires utilisées …… 35

Tableau № 10 : Les statistiques des classes d'altitude ……. 43

Tableau № 11 : Les statistiques des classes de pente ……... 46

Tableau № 12 : les statistiques des classes des expositions ……. 48

Tableau № 13 : Les statistiques des classes de végétation en 1987 ……. 50

Tableau № 14 : Les statistiques des classes de végétation en 2000 ……. 52

Tableau № 15 : Les statistiques des classes de végétation en 2012 ……. 54

Tableau № 16 : Les statistiques des classes de végétation en 2014 ……. 56

Tableau № 17 : Les statistiques des classes de végétation de la zone incendie en 2012 ……... 58

Tableau № 18 : Les statistiques des classes de végétation de la zone incendie après deux ans de l'incendie …….. 59

Liste des acronymes

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ;

BNEDER : Bureau National des Etudes et d'Expertise Rural ;

CFT : Conservation des Forêts de Tissemsilt ;

DPAT : Direction de Planification et d'Aménagement des Territoires ;

DRE : Direction des Ressources en Eau ;

ENVI : Environnement for Visualing Images ;

ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus ;

ITTVIS : ITT Visual Information Solutions ;

Landsat : Land Satellite ;

LLHM : Local Linear Histogram Matching ;

MNT : Modèle Numérique de Terrain ;

NASA : National Aeronautics and Space Administration ;

NDVI : Normalized Differenced Vegetation Index ;

OLI : Operational Land Imager ;

PER2 : Deuxième Projet Emploi Rural ;

PNDA : Programme National de Développement Agricole ;

PPDRI : Projet de Proximité de Développement Rural Intégré ;

SLC : Scan Line Corrector ;

TM : Thematic Mapper ;

TPF : Tranché Par Feu ;

USGS : United States Geological Survey ;

UTM : Universal Transverse Mercator.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des acronymes.

SOMMAIRE

Introduction

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES FEUX DES FORETS

1. Définition …… 02
2. La naissance du feu ……. 02
2.1. Le combustible …… 02
2.2. Le comburant …….. 02
2.3. La chaleur …… 03
3. Modes de propagation de la combustion …… 03
3.1. La propagation par transmission de chaleur …… 03
3.1.1. Transmission par conduction …… 03
3.1.2. Transmission par rayonnement thermique ……... 03
3.1.3. Transmission par convection …… 04
3.2. La propagation par déplacement des substances en combustion ……. 04
3.2.1. Par les gaz ……. 04
3.2.2. Par les liquides …….. 04
3.2.3. Par les solides ……... 05
4. Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts …….. 05
4.1. Les combustibles ……. 05
4.1.1. Teneur en eau …… 05
4.1.2. Composition chimique …….. 05
4.2. Les facteurs atmosphériques …… 06
4.2.1. Les précipitations …….. 06
4.2.2. L'humidité relative …… 06
4.2.3. Le vent …….. 07
4.2.4. La température …….. 07
4.3. Les facteurs topographiques …… 07
4.3.1. L'inclinaison de la pente ……... 07
4.3.2. Exposition des pentes ……... 08
4.3.3. Elévation du terrain …….. 08

5. Les différents types de feu …….. 08
5.1. Les feux de sols ……... 08
5.2. Les feux de surface …….. 08
5.3. Les feux de cime …….. 09
6. Formes et parties d'un feu de forêt ……. 09
6.1. Formes des feux de forêts …… 09
6.2. Différentes parties d'un feu de forêt …… 10
7. Facteurs influençant la régénération végétale post-incendie …….. 11
7.1. Fréquence du feu ……. 11
7.2. Intensité du feu …… 12
7.3. Taille de l'incendie …….. 12

CHAPITRE II : TELEDETECTION ET SIG

I. La télédétection ……... 13
I.1. Définition de la télédétection ……... 13
I.2. Les principales étapes de la télédétection …… 13
I.3. Principes de base de la télédétection …… 14
I.3.1. Le rayonnement électromagnétique …….. 14
I.3.2. Le spectre électromagnétique …… 15
I.3.3. Interactions rayonnement et surfaces terrestres …… 16
I.4. Les domaines d'application de la télédétection …… 17
II. Système d'information géographique …… 17
II.1. Définition …… 17
II.2. Nature des donnés dans un SIG …….. 18
II.3. Modes de représentation de l'information géographique dans un SIG …….. 18
II.4. Structure de l'information géographique dans un SIG ……... 18
II.5. Domaine d'application des SIG …….. 19
II.6. Les rôles de SIG …….. 20
II.7. Télédétection et SIG ……... 20
III- Généralités sur les satellites Landsat et leur capteurs …….. 20

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Situation géographique ……... 23
2. Description du milieu physique …….. 24
2.1. Reliefs …….. 24

2.2. Géologie ……... 24
2.3. Hydrologie ……... 25
2.4. Couvert végétal …… 25
3. Etude socio-économique ……. 26
4. Les infrastructures forestières ……. 26
4.1. Réseau des pistes ……. 26
4.2. Tranchés pare-feux …….. 27
4.3. Postes vigies …… 27
4.4. Ressources hydriques mobilisables ……... 28
5. Caractéristiques climatiques ……... 28
5.1. Précipitations ……... 28
5.2. Températures ……... 30
5.3. Le vent ……. 31
5.4. Humidité relative de l'air ……. 31
5.5. Synthèse climatique ……. 31
5.5.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN ……. 31
5.5.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER ……... 32
5.5.3. Indice xérothermique d'EMBERGER …….. 33
5.5.4. Indice d'aridité de De Martonne ……... 34

CHAPITRE IV : METHODOLOGIE DE TRAVAIL

1. Matériels utilisés ……. 35
1.1. Les images satellitaires …… 35
1.2. Model Numérique de Terrain …….. 36
1.3. Les logiciels de traitement ……... 36
1.3.1. ENVI 4.5 ……... 36
1.3.2. Global Mapper 13 ……. 37
1.3.3 ARCGIS 10.2 ……. 37
2. Approches méthodologiques …….. 37
2.1. Prétraitements …….. 39
2.2. Traitement et analyses ……. 39
2.3. Traitement des données topographiques …….. 40
2.3.1. Carte des altitudes ……. 40
2.3.2. Carte des pentes …… 41

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2.3.3. Carte des expositions …… 41
2.4. Conteurs des feux …… 41
2.5. Intégration dans un Système d'Information Géographique …… 42

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats des paramètres topographiques ……... 43
1.1. Carte des altitudes …… 43
1.2. Cartes des pentes ……. 46
1.3. Carte des expositions ……... 48
2. Résultats des indices de végétation …… 50
2.1. Indice de végétation en 1987 ……... 50
2.2. Indice de végétation en 2000 ……... 52
2.3. Indice de végétation en 2012 ……... 54
2.4. Indice de végétation en 2014 ……... 56
3. Résultats de la régénération dans la zone incendie en 2012 ……... 58
3.1. État de la zone incendie en 2012 ……. 58
3.1. État de la zone incendie après deux ans …….. 59
Conclusion générale ……... 61
Références bibliographiques

Introduction

Introduction

Parmi toutes les agressions que subit la forêt méditerranéenne en général et la forêt algérienne en particulier, l'incendie est le plus dévastateur. Par sa destruction massive des peuplements, il dégrade les sols, déforme les paysages et compromet la pérennité de la forêt.

La région méditerranéenne est exposée à ce danger en raison des conditions climatiques difficiles à supporter pour la végétation, mais également de la forte pression anthropique **(Moro, 2006)**. Les incendies de forêts représentent une véritable calamité pour les forêts méditerranéennes. Chaque année, on estime jusqu'à 50 000 incendies dans la région méditerranéenne et plus de 600.000 hectares rasés par les flammes **(Colin et *al*., 2001)**

En Algérie, La surface parcourue annuellement par le feu varie entre 20 000 et 30 000 hectares. Il en résulte de très lourdes charges pour la société toute entière, pour l'Etat et les collectivités locales en particulier **(Missoumi et Tadjerouni., 2003).**

La régénération de la végétation forestière et pré-forestière dans certaines régions du pays a été pratiquement nulle, notamment dans les régions occidentales du pays, où les conditions sont moins favorables à une régénération naturelle de la forêt **(Haddouche et *al*., 2006)**, par contre dans d'autres régions, elle été très forte. Ainsi cette étude a pour objectif principale l'évaluation de l'état après feu de la région forestière de la wilaya de Tissemsilt. Comme objectif spécifique, cette étude met en évidence, à travers une analyse spatiale et diachronique, l'importance de l'utilisation de l'outil télédétection et l'intégration des données aérospatiales et cartographiques dans un système d'information géographique (SIG).

Le présent document se structure en cinq chapitres. Un premier représente des généralités sur les feux des forêts. Le deuxième chapitre est consacré pour les SIG (Système d'Informations Géographiques) et la télédétection ;

Le chapitre trois est consacré à la présentation de la zone d'étude, dans laquelle nous avons fait la description de la commune de Lardjem, (Wilaya de Tissemsilt) et une synthèse climatique des paramètres météorologiques ;

Le quatrième chapitre présente la description de la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail ;

Le dernier chapitre (cinq) représente l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

Chapitre I :

Généralités sur les feux des forets

1. Définition

L'incendie est une réaction de combustion non maîtrisée dans le temps et dans l'espace **(Khalid, 2008 ; CEMAGREF, 1994 ; Jappiot et *al*., 2002)**. On parle d'un incendie de forêt lorsqu'un feu concerne une surface minimale d'un hectare, d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés (partie haute) est détruite **(Ammari, 2011)**.

2. La naissance du feu

Pour qu'un feu de forêt se déclenche, il faut que trois paramètres fondamentaux soient en présence : le combustible, le comburant et la chaleur **(Carbonnell et *al*., 2004)**. Ces trois paramètres sont représentés dans le triangle du feu (fig. 01).

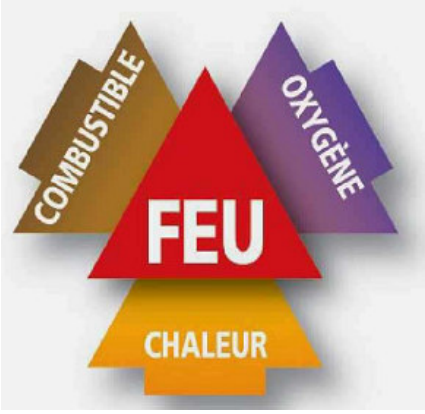

Figure № 01: Triangle du feu **(Medd, 2002 *in* Ammari, 2011).**

2.1. Le combustible

Toute substance susceptible de brûler, c'est-à-dire pouvant être partiellement ou totalement détruite par le feu, est considérée comme combustible. Les solides et les liquides ne brûlent pas en tant que tels. Ce sont les gaz et les vapeurs qu'ils émettent qui brûlent. L'aptitude d'un combustible à s'enflammer et à entrer en combustion dépend de la teneur en eau, de la température du combustible mais aussi de son type et de sa densité **(Carbonnell et *al*., 2004 ; Ammari, 2011).**

2.2. Le comburant

Un comburant est le corps qui provoque et entretient la combustion du combustible. Le plus souvent, le comburant est constitué par l'oxygène présent dans l'air ambiant, la réaction de combustion est alors une oxydation **(Carbonnell et *al*., 2004)**.

2.3. La chaleur

C'est la quantité d'énergie requise pour porter la température du combustible à son point d'inflammation, Cette température est appelée « point d'inflammation », elle est située entre 400 et 425 °C **(Rebai, 1983)**. Avec les combustibles forestiers, un apport extérieur de chaleur n'est nécessaire que pour amorcer le phénomène de combustion, une fois les matériaux en inflammation, on observe un grand dégagement de chaleur et une forte température qui peut atteindre jusqu'à 1250°C, température enregistrée à un mètre du sol **(Trabaud, 1979).**

3. Modes de propagation de la combustion

Il est important de connaître les moyens par lesquels se propage la combustion, car ils expliquent dans une large mesure le développement des incendies forestiers. En général, la combustion peut se propager de deux façons différentes : par transmission de chaleur ou bien par déplacement des substances en combustion.

3.1. La propagation par transmission de chaleur

La chaleur se propage par trois processus distincts : la conduction, la convection et le rayonnement **(Carbonnell et *al.*, 2004).**

3.1.1. Transmission par conduction

La conduction est issue de l'agitation moléculaire, qui est liée à la constitution et à la température du milieu, se produisant seulement dans un support matériel qu'il soit solide, liquide ou gazeux. La chaleur se diffuse du corps chaud vers le corps froid.

En pratique, la conduction est négligeable au cours de la propagation des incendies de végétation, puisqu'elle ne représente environ que 5 % des transferts de chaleur, à l'exception des feux de sol ou de tourbières, pour lesquels elle est le processus de chaleur prépondérant **(Colin et *al.*, 2001).**

3.1.2. Transmission par rayonnement thermique

Le rayonnement est un mode de transfert de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques, se propageant avec ou sans support matériel. Tout corps dont la température absolue est supérieur à 0°K, émet un rayonnement électromagnétique dont la fréquence est fonction de cette température. La quantité d'énergie transférée d'un corps à un

autre par rayonnement augmente avec l'accroissement de la différence de température entre ces deux corps **(Colin et *al*., 2001)**.

3.1.3. Transmission par convection

La convection est un transfert de chaleur par mouvements macroscopiques d'un fluide (le gaz dans le cas d'un feu) dont la masse transporte la chaleur qu'elle contient.

Dans les feux de végétation, la combustion produit des gaz chauds qui se mélangent à l'air ambiant chauffé également. Ces gaz chauds sont plus légers et montent rapidement. Ils apportent une grande quantité de chaleur aux combustibles situés au-dessus (houppier), les dessèchent et élèvent leur température jusqu'au point d'inflammation.

La convection est le processus de transfert de chaleur prépondérant dans la propagation des incendies de forêt. Liée aux mouvements d'air chaud, dont l'importance augmente avec le vent et la pente, ces mouvements peuvent, en outre, contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flammes. Ce processus est à l'origine de déclenchement de foyers secondaires **(Khalid, 2008 ; Ammari, 2011).**

3.2. La propagation par déplacement des substances en combustion

Le déplacement des matériaux en combustion peut s'effectuer de différentes manières selon la nature du matériel ou de la substance.

3.2.1. Par les gaz

Dans un feu où la combustion est souvent incomplète, il subsiste des nappes de gaz non brûlées. La combustion de ces nappes peut se poursuivre sur une distance notable avec parfois une rupture de flammes, puis réinflammation à une distance variable par un nouvel appel d'air **(Arfa, 2003).**

3.2.2. Par les liquides

C'est le transfert le plus direct est de plus en plus limité, les cuvettes de rétention permettent d'éviter ce problème **(Arfa, 2003)**.

3.2.3. Par les solides

La propagation se fait par brandons (fragments de solides en ignition pouvant franchir des distances importantes) et par escarbilles (petites particules incandescentes qui se déplacent sur quelques mètres) **(Arfa, 2003)**.

4. Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts

Le comportement ou la propagation d'un incendie est régi par un certain nombre de facteurs dont les influences s'opposent ou s'additionnent. Parmi ces facteurs on note : les combustibles, les éléments atmosphériques et la topographie.

4.1. Les combustibles

Les combustibles interviennent dans la propagation des incendies par leur nature, leur grosseur, leur disposition, leur quantité, leur distribution, mais surtout par leur composition chimique ainsi que leur teneur en humidité.

4.1.1. Teneur en eau

La présence d'humidité exerce une influence considérable sur l'inflammation et ensuite le développement des feux **(Trabaud, 1989)**. Chauffée jusqu'au point d'ébullition, l'eau est vaporisée avant que les combustibles atteignent leur température d'inflammation. Cette eau augmente la quantité de chaleur nécessaire à la pyrolyse et à l'inflammation et réduit la vitesse de la combustion. Si la teneur en eau des végétaux est faible, ils s'enflamment à des températures relativement basses. La température d'inflammation varie entre 260 °C et 450° C **(Jappiot et *al*., 2002)**. Alors qu'une humidité trop importante empêche la propagation du feu. Des études ont démontré que l'inflammation ne peut avoir lieu que si la teneur en eau est inférieure à 7 % **(Margerit, 1998).**

4.1.2. Composition chimique

L'inflammabilité des espèces végétales varie selon leur teneur en essences volatiles où en résine. La présence de cire et de résine pour certaines espèces ralentirait leur vitesse de desséchement et donc leur inflammation. Ainsi, plus un végétal est riche en minéraux, moins son pouvoir calorifique théorique est élevé, moins il est combustible **(Colin et *al*., 2001).**

4.2. Les facteurs atmosphériques

4.2.1. Les précipitations

Présentant un rôle prédominant dans la teneur en eau des végétaux, leur effet varie de façon significative en fonction de leur durée, de leur période, de leur quantité, ainsi que des types de combustibles. Seulement une petite quantité d'eau suffit pour ralentir l'inflammabilité des graminées. Il peut être rendu caduc par 2 où 3 heures d'ensoleillement. En revanche, il faut de fortes pluies pour réduire l'inflammabilité de combustibles plus important tels que les grosses branches tombées à terre. L'effet bénéfique de fortes précipitations hivernales peut ainsi être annulé pour un printemps et un été longs et secs **(Khalid, 2008).**

4.2.2. L'humidité relative

Les modifications que connaît la teneur en humidité relative, exercent des effets importants sur les matériaux combustibles. Si le contenu de l'air en humidité est élevé, les combustibles s'humidifient et deviennent difficilement inflammables. Par contre, si l'air est sec, le taux d'évaporation de l'humidité des combustibles sera plus élevé ce qui augmentera l'inflammabilité de la forêt.

L'état hydrique des formations végétales qui constituent le couvert végétal, en relation avec le niveau des réserves en eau des sols, est évidemment le premier facteur de risque pour les incendies de forêts sous l'angle de l'influence des facteurs climatiques **(Seguin, 1990).**

D'après **Margerit (1998)**, l'humidité relative influe sur l'inflammabilité des combustibles. Comme le présente le tableau suivant:

Tableau 1 : Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité.

Humidité relative	**(%) Inflammabilité**
> 70	Peu de risque
46 – 70	Risque faible
26 – 45	Risque fort
< 25	Risque élevé

Source **: (Margerit, 1998).**

4.2.3. Le vent

Le vent est sûrement le facteur atmosphérique le plus affectant d'un incendie de forêt. Ses effets sont très variés selon trois facteurs : la vitesse, la circulation et l'orientation. Si la circulation est continue, l'évaporation de l'humidité des combustibles est accélérée et ceci augmentera les risques de prendre le feu. De plus, le vent alimente le feu en oxygène puisque ce dernier est un élément indispensable à la combustion. L'air se renouvelle en même temps que se produit la combustion mais de façon plus ou moins rapide. Le vent transporte même à distance des étincelles et des corps enflammés, accélérant ainsi la propagation de l'incendie (sautes de feu). Si la vitesse du vent est accélérée, la vitesse de propagation du feu est accélérée à son tour. Si le vent souffle fort, la colonne de convection peut être déviée et agit sur les combustibles placés en avant du feu en les desséchant et les chauffant. Par son orientation, le vent peut être à l'origine de la direction générale du feu **(Frederic, 1992).**

4.2.4. La température

La température de l'air varie tout au long de la journée en fonction de l'intensité de l'insolation. Elle exerce un effet soit indirect en dominant l'humidité relative de l'atmosphère et par conséquent en dominant celle des combustibles, soit direct par le réchauffement ou le refroidissement des matériaux. Autrement, plus la température ambiante est élevée, plus la température du combustible végétal mort ou vivant l'est, et moins la chaleur nécessaire à son inflammation est importante **(Trabaud, 1989).**

4.3. Les facteurs topographiques

La topographie joue elle aussi un rôle de premier plan dans le comportement des feux de forêts en influençant la morphologie et la vitesse de propagation des incendies. En général, l'influence de la topographie varie suivant l'inclinaison des pentes, leur exposition et aussi selon l'élévation du terrain. Contrairement aux agents atmosphériques, la topographie est un facteur constant dont il est possible de déterminer et surtout de prévoir l'influence.

4.3.1. L'inclinaison de la pente

L'inclinaison des pentes agit sur la colonne de convection. Plus la pente est abrupte, plus la colonne de convection est proche des combustibles situés en amont du feu. Ceux-ci se dessèchent alors plus facilement et prennent feu rapidement sous l'action de la chaleur émise par convection et par radiation. Le feu donc se propage plus vite et brûle avec plus de

violence vers le haut des pentes abruptes que sur les terrains plats. Aussi, quand la pente est très escarpée, les particules incandescentes peuvent basculer vers le bas et entraîner de nouveaux incendies. Dans le cas des feux descendants, la position des flammes par rapport au support est comparable à celle qu'elle occupe lorsque le vent freine la progression du front de feu **(Frederic, 1992).**

4.3.2. Exposition des pentes

L'exposition des matériaux combustibles aux vents et au soleil accélère grandement leur vitesse de dessèchement. On a constaté que le feu prend naissance et se propage plus vite sur les expositions sud-ouest qu'il ne le fait sur les terrains exposés au nord ou à l'est. Notons aussi que l'intensité du rayonnement solaire dépend pour sa part de l'angle d'horaire du soleil, de sa déclinaison, de la latitude, de l'inclinaison de la pente, de la nébulosité et de la densité du couvert des arbres de la forêt. Donc, la durée de l'insolation joue aussi un rôle important dans la propagation des feux de forêts au cours de la journée **(M.T.F., 1973).**

4.3.3. Elévation du terrain

L'élévation du terrain influe sur la composition de la végétation, sa teneur en humidité et son exposition aux vents. Plus le terrain est élevé, plus les combustibles sont exposés au soleil et aux vents intenses, donc plus ils sont secs et les feux brûlent alors plus rapidement.

5. Les différents types de feu

Selon **Margerit (1998),** une fois éclos, un feu peut prendre différentes formes, chacune étant conditionnée par les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques dans lesquelles il se développe. Les feux de forêts peuvent être de trois types.

5.1. Les feux de sols

Ce sont des feux qui brûlent sous la surface du sol, le combustible qui l'alimente est composé de matières organiques partiellement décomposées. Ces feux se propagent lentement, en raison du manque d'oxygène. Leur présence est souvent difficile à déceler, car même s'ils dégagent beaucoup de chaleur, ils diffusent en général que très peu de fumée.

5.2. Les feux de surface

Dit aussi feux courants, se propageant dans les sous-bois des forêts. Ils brûlent l'herbe et les broussailles. Ils peuvent être de faible, de moyenne ou de forte intensité selon la

quantité de combustible disponible. Ils peuvent avoir comme origine un feu de sol ou se terminer en un feu de sol susceptible de se transformer en un nouveau feu de surface.

5.3. Les feux de cime

On qualifie les feux de cime lorsqu'ils sont localisés au niveau des arbres et qu'ils brûlent plus de 90 % de celles-ci. Ils se développent généralement au sol, montent le long des arbres en brûlant sur leur passage feuilles, aiguilles et même certaines branches.

Indépendants où dépendants des feux de surface, ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et ont une vitesse de propagation très élevée. Ce sont les ligneux hautes qui assurent la propagation verticale en direction des cimes.

6. Formes et parties d'un feu de forêt

Il est important de connaître les formes et les parties d'un feu de forêt. Ceci permettra d'étudier et de bien déterminer les moyens de lutte contre les incendies de forêts.

6.1. Formes des feux de forêts

La forme d'un feu de forêt varie en fonction de la direction et de l'intensité du vent, de la topographie et de la nature des combustibles. Sur un terrain plat, par temps calme et dans un peuplement homogène, le feu prend une forme circulaire (Fig. 02.a) et progresse dans toutes les directions. Dans les mêmes conditions de terrain et de végétation mais subissant l'action du vent, le feu prend la forme d'une ellipse allongée (Fig. 02.b) mais progresse dans la direction contraire d'où souffle le vent. Le feu prend une forme irrégulière (Fig. 02.c) en montagne et dans les pentes **(Ammari, 2011)**.

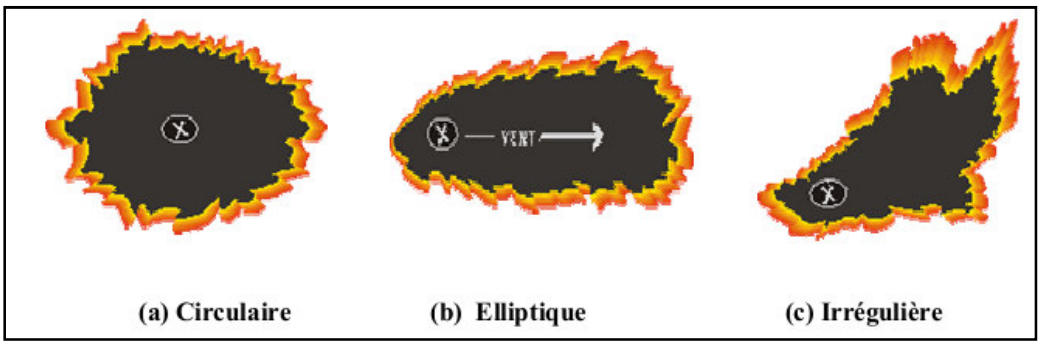

Figure № 02 : Les différentes formes des feux de forêts **(Ammari, 2011).**

6.2. Différentes parties d'un feu de forêt

Selon **Ammari (2011)** les parties d'un feu de forêt sont les suivantes :

- **Bordure d'un feu :** elle désigne la ligne normalement irrégulière et jusqu'où le feu a brûlé à un moment donné.

- **Périmètre d'un feu :** il identifie la longueur de la bordure du feu.

- **Foyer :** masse de matière en complète ignition où se propage l'incendie.

- **Fumée :** située sur la bordure du feu ou à l'intérieur de celle-ci. Ce terme est utilisé pour désigner tout foyer qui n'a pas été éteint et qui produit de la fumée.

- **Tête :** partie de la bordure d'un incendie où la vitesse de propagation est la plus grande. La tête ou front est toujours située du côté opposé à la direction d'où souffle le vent.

- **Arrière :** partie de la bordure d'un incendie qui est exposée au côté où la propagation du feu est la plus rapide. Le feu s'y développe lentement et avec plus d'intensité.

- **Flancs :** parties de la bordure d'un incendie situées entre la tête et l'arrière. On les appelle aussi côtés de l'incendie. On regarde vers la tête de l'incendie, on peut distinguer le flanc gauche et le flanc droit.

- **Doigts :** parties de la bordure de l'incendie qui se développent en langues de feu longues et étroites, s'avançant en saillie du corps principal.

- **Baies :** parties de la bordure d'un incendie qui se développent plus lentement à cause de la présence de combustibles ou de pentes défavorables.

- **Feu disséminé :** feu allumé à l'extrémité de la bordure du foyer principal d'un incendie par des étincelles ou tisons transportées par le vent ou les courants d'air.

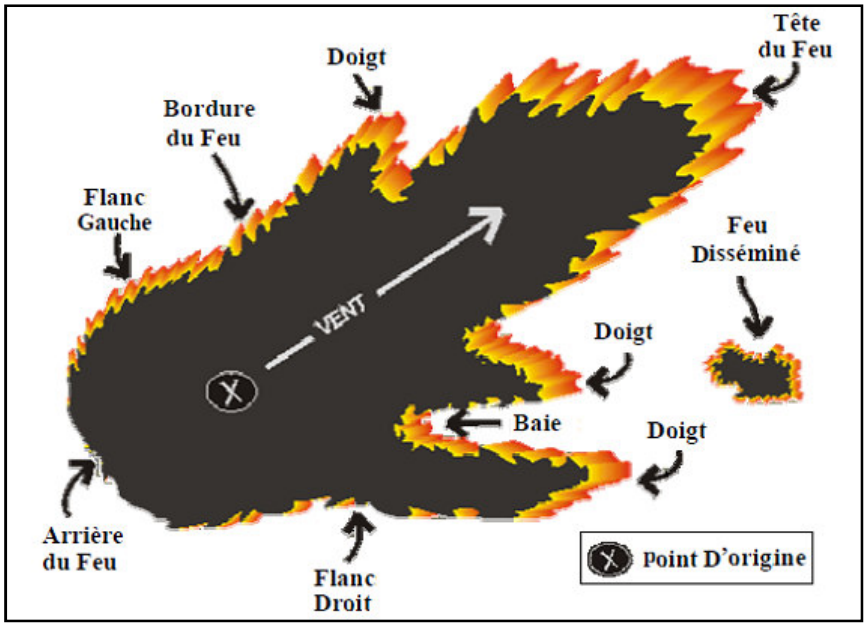

Figure № 03 : Différentes parties d'un feu de forêt **(Ammari, 2011).**

7. Facteurs influençant la régénération végétale post-incendie

D'après les recherches de ces dernières décennies, le feu n'apparaît plus comme un phénomène totalement négatif, mais comme une perturbation ayant un impact fugace sur les composantes des écosystèmes. Dans la plupart des études considérant l'action du feu sur la végétation, les caractères de survie utilisés par les végétaux sont envisagés en liaison avec l'apparition d'un seul incendie, bien que la plante individuellement puisse être soumise à plusieurs feux. Les effets du feu, doivent donc être évalués en termes de régime des incendies : type, intensité et fréquence **(Trabaud, 1991 ; Paussas et *al*., 2008 ; Keeley, 2009).**

7.1. Fréquence du feu

Les espèces tuées par le feu, et se reproduisant par germination de la graine dépendent de la fréquence des feux pour persister dans les communautés incendiées. En effet, pour ces espèces, l'espacement entre les feux successifs doit être suffisant pour permettre aux individus de produire des graines et d'alimenter la banque de semences du sol. Ce pas de temps varie selon les espèces : la première année pour les herbacées annuelles, entre la deuxième et la troisième année pour les espèces du genre *Cistus* **(Trabaud et Oustric, 1982; Roy et Sonié, 1992; Tavşanoğlu et Gurkan, 2005; Duguy et Vallejo, 2008)** et entre six à huit ans pour les espèces du genre *Pinus* **(Daskalakou et Thanos, 2004; Rigolot, 2004; Eugenio et *al*., 2006)**. Si un autre feu survient avant que ces espèces aient atteint leur maturité sexuelle, des changements dramatiques dans la composition et la physionomie de la végétation peuvent se

produire **(Arianoutsou, 1999)**. La répétition des incendies à des intervalles de temps très courts, peut entraîner une réduction de la germination des espèces ligneuses, en raison probablement, de la diminution de la banque de semences du sol et offrir ainsi plus d'opportunités à l'établissement des herbacées **(Duguy et Vallejo, 2008)**.

7.2. Intensité du feu

L'intensité du feu est exprimée par la chaleur libérée lors de la combustion de la végétation. Elle est liée à plusieurs facteurs parmi lesquels : la quantité, l'humidité et la distribution du combustible **(Keeley, 2009)**. Les feux de forêts peuvent réduire en cendre les communautés brûlées et la régénération dépend alors de l'état de ses organes souterrains de survie après le passage de la flamme **(Arianoutsou, 1999)**. Les organes souterrains de survie (racines, rhizomes, bulbes, tubercules et graines) sont situés à différents niveaux de profondeur du sol. Dans le cas d'un feu de forte intensité, les effets du feu peuvent atteindre les couches profondes, par contre dans le cas de feux de faible intensité, les organes souterrains de survie sont épargnés, l'impact de l'incendie se limite à la couche superficielle et la cicatrisation du milieu est quasi immédiate **(Trabaud, 1989)**. Les incendies de faible intensité stimulent principalement la germination des graines à proximité de la surface du sol **(De Luis et *al*., 2008)**. L'intensité élevée de l'incendie occasionne une mortalité importante des graines réparties au niveau superficiel **(De Luis et *al*., 2008)**. **Rivas et *al*., (2006)** notent que les graines s'y trouvant étant soumises à des températures extrêmes, elle peuvent être endommagées ou carrément détruites, compromettant ainsi leurs germinations et réduisant la banque de graines du sol. L'essentiel de la germination dans un tel cas est assurée par la banque de graines des couches profondes.

7.3. Taille de l'incendie

La superficie brûlée est aussi un facteur écologique important influençant la recolonisation par les espèces. Ainsi, de nombreux végétaux ne peuvent pas se régénérer par rejets et sont tributaires d'apport de diaspores par les différents modes de dissémination et plus particulièrement le vent (pour les graines anémochores) et les animaux (pour les graines zoochores). Dans le cas de grands incendies, l'étendue de la superficie brûlée est importante, reléguant les portes graines à de très longues distances, les apports et l'installation des espèces sont alors très réduits. La reconstitution des communautés peut accuser un retard, de même le poids et les propriétés aérodynamiques des propagules jouent un rôle déterminant **(Trabaud, 1989)**.

Chapitre II:

Télédétection et SIG

I. La télédétection

I.1. Définition de la télédétection

« Ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.» **(Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988. *In* Kergomard, 2004).**

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre. Elle englobe tout le processus qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculés par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire,…), etc... **(Soudani, 2005 ; Centre Canadien de Télédétection, 2007).**

I.2. Les principales étapes de la télédétection

Selon **le Centre Canadien de Télédétection (2007),** Il est possible de schématiser la télédétection comme un ensemble de sept étapes clé (Fig. 04).

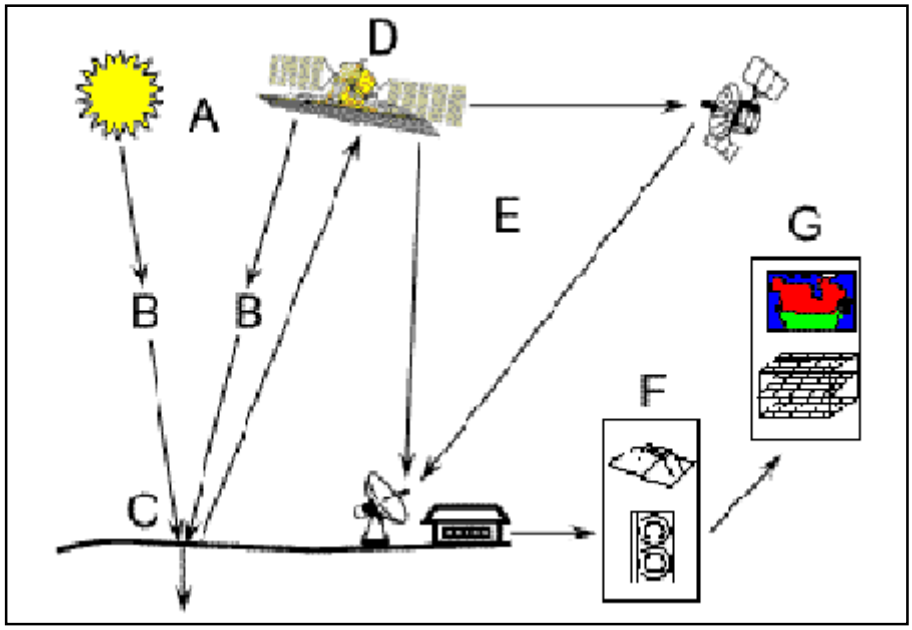

Figure № 04 : Les étapes de la télédétection. **(Source : www.ccrs.nrcan.gc.ca).**

A) Production du rayonnement par une source d'énergie : une source d'énergie est nécessaire pour illuminer la cible. Dans la majorité des cas la source d'énergie est le soleil (télédétection passive), mais elle peut être produite par le vecteur (télédétection dite active).

B) Interaction du rayonnement avec l'atmosphère : durant son parcours « aller » comme « retour », le rayonnement interagit avec l'atmosphère, la prise en compte de cette phase, qui « perturbe » le rayon, peut nécessiter de nombreux traitements.

C) Interaction du rayonnement avec la cible : l'énergie de la source interagit avec la cible, la nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface (le comportement spectral), on suppose que tout objet ou classe d'objet sur la surface terrestre possède sa propre « empreinte digitale » dans le spectre électromagnétique (la signature spectrale), en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émis par lui-même c'est cette empreinte (cette signature) que capte le porteur permettant ainsi de distinguer les éléments observés.

D) L'enregistrement de l'énergie par le capteur : une fois l'énergie émise par la cible, elle doit être captée sous un format numérique.

E) Transmission et traitement : l'information enregistrée par le capteur est transmise à une station de réception généralement située au sol, où l'information est transformée en images.

F) Interprétation et analyse : une interprétation visuelle et/ou numérique est ensuite nécessaire pour extraire l'information.

G) Application : la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible.

I.3. Principes de base de la télédétection

La télédétection utilise les propriétés du rayonnement électromagnétique pour analyser à distance la cible, donc une bonne connaissance de la physique élémentaire du rayonnement est indispensable à l'interprétation des résultats de la télédétection.

I.3.1. Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est une forme de propagation de l'énergie dans la nature. Il peut être considéré comme étant un flux de particules élémentaires appelés photons.

Selon la théorie ondulatoire, le rayonnement électromagnétique est composé de deux vecteurs champs électriques et magnétiques, perpendiculaires et se déplaçant à la vitesse de la lumière (3.10^8 $m.s^{-1}$ dans le vide). Deux propriétés principales caractérisent une onde électromagnétique : sa longueur et sa fréquence (**Soudani, 2005).**

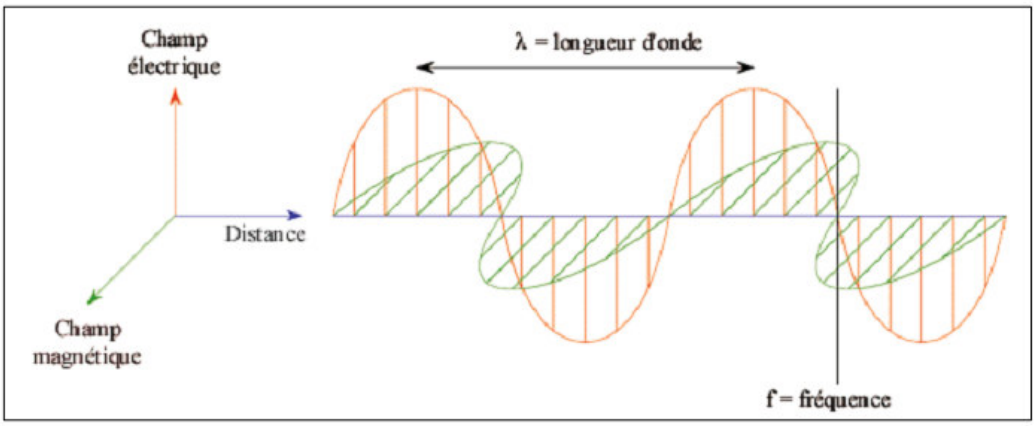

Figure № 05 : Représentation de l'onde électromagnétique simple (**Soudani, 2005**).

I.3.2. Le spectre électromagnétique

C'est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Il s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio).

L'ensemble des fenêtres de toutes les longueurs d'ondes est appelé « spectre électromagnétique » (Fig. 06).

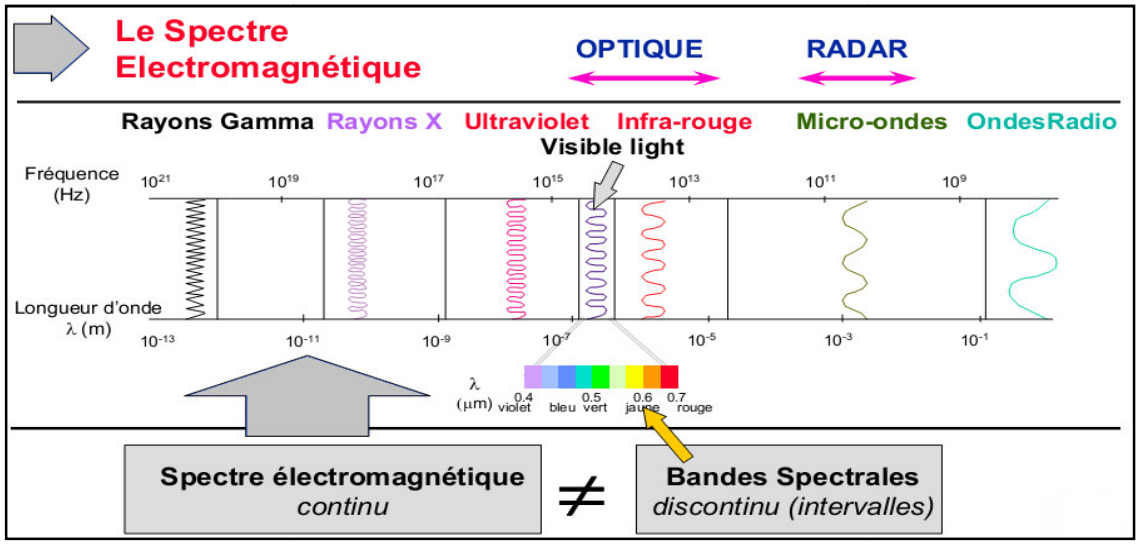

Figure № 06 : Représentation du spectre électromagnétique (**Tonon, 2005).**

Les capteurs utilisés en télédétection sont des radiomètres imageurs. En effet, ils mesurent des rayonnements électromagnétiques renvoyés par une portion d'espace terrestre, et organisent ces mesures sous forme d'images. Les capteurs embarqués sur les satellites peuvent enregistrer les ultraviolets (rares), le visible, le proche-infrarouge, l'infrarouge moyen, l'infrarouge thermique, l'infrarouge lointain et les hyperfréquences (**Polidori, 2002**).

I.3.3. Interactions rayonnement et surfaces terrestres

Au niveau de la cible, le rayonnement électromagnétique est réfléchi, absorbé et transmis dans des proportions variables. Lorsqu'on s'intéresse à une longueur d'onde spécifique, le rapport du rayonnement réfléchit au rayonnement incident est appelé reflectance (ρ_λ). De la même manière, on définit l'absorption (α_λ) et la transmittance (τ_λ). Les capteurs utilisés en télédétection mesurent le rayonnement réfléchi et donc on s'intéresse à la reflectance des objets. La réflexion d'une onde incidente sur la surface terrestre dépend des caractéristiques de l'onde (longueur d'onde, polarisation, angle d'incidence, etc.) et des caractéristiques de la surface (matériau, pente, rugosité, humidité, etc.) (**Polidori, 2002)**. La variation de la reflectance en fonction de la longueur d'onde est appelée signature spectrale.

Chaque type d'objets possède alors une signature spectrale plus ou moins caractéristique. On utilise alors les différences de signatures spectrales pour différencier les objets situés au sol (**Lhomme, 2013**). La figure № 07 : représente les signatures spectrales de quelque objet.

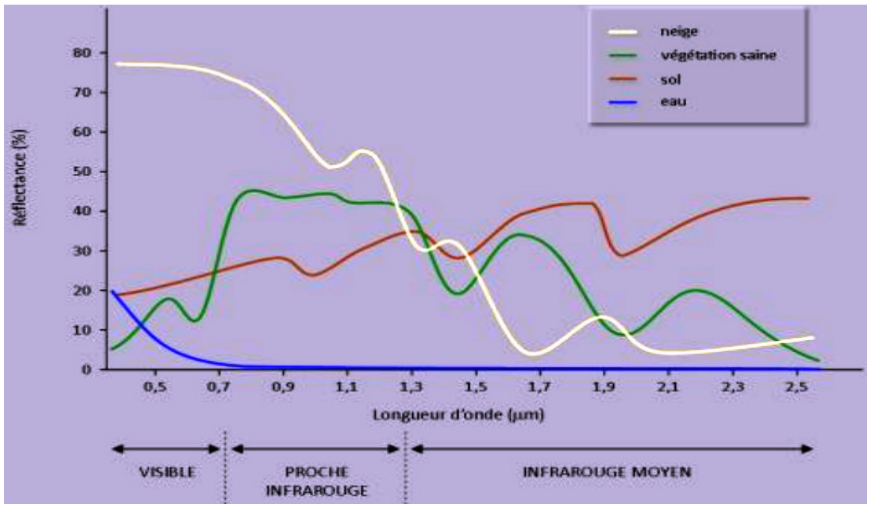

Figure № 07: Illustration des signatures spectrales de quelque objet (**Lhomme, 2013**).

I.4. Les domaines d'application de la télédétection

Selon **Kergomard (2004)** Trois grands domaines ont bénéficié de la télédétection :

- Le premier grand domaine d'application de la télédétection a été l'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie). L'intérêt de la télédétection dans ce domaine est d'assurer une couverture globale et très fréquemment répétée de la planète entière ; par contre la résolution spatiale n'est pas primordiale pour les applications météorologiques ;
- En océanographie, la télédétection offre l'avantage de permettre une vision synoptique de vastes régions qu'il est impossible d'obtenir par les moyens traditionnels (bateaux). Pour certaines études à petite échelle, les données des satellites météorologiques sont largement utilisées en océanographie (températures de surface de l'océan) ;
- Les applications terrestres de la télédétection sont extrêmement variées, et le champ des utilisations ne cesse de s'élargir : cartographie, géologie et prospection minière, mais aussi surveillance des cultures ou du couvert forestier, urbanisme, aménagement, génie civil, etc... Le traitement de l'imagerie satellitaire numérique est une discipline en constant développement, et la baisse du coût des matériels informatiques a entraîné une augmentation rapide du nombre des utilisateurs.

II. Système d'information géographique

II.1. Définition

Plusieurs définitions ont été proposés par les défirent auteurs et spécialistes, et qui convergent vers un même objectif : la possibilité de numériser l'information géographique et d'en confier la gestion à l'ordinateur.

La société française de photogrammétrie et télédétection **(1989)** a défini un SIG comme étant un système informatique permettant, 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.

Un système d'information géographique 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 **(Gillet, 2000).**

II.2. Nature des donnés dans un SIG

D'après **Fauconnier (1994),** un SIG comprend deux types de bases de données :

- La base des données spatiales qui décrit les coordonnées et la forme géographiques des éléments de la base ;

- La base de données attributs, qui comprend les caractéristiques divers de ces éléments.

Ces deux bases peuvent être distinctes, ou intégrées dans une même entité.

II.3. Modes de représentation de l'information géographique dans un SIG

Deux modes de représentation spatiale des données sont majoritairement utilisés : le mode vectoriel et le mode matriciel ou mode raster **(FAO, 1998).** En mode vectoriel, chaque objet est représenté par un point ou une série de points reliés entre eux pour former trois types d'objets : un point, une ligne, ou un polygone (surface). En mode raster, la représentation se fait par un quadrillage dont chaque carré (appelé pixel) arbore une intensité de gris ou une couleur différente, ce qui forme une image. (**Krafft et *al.,* 2005).**

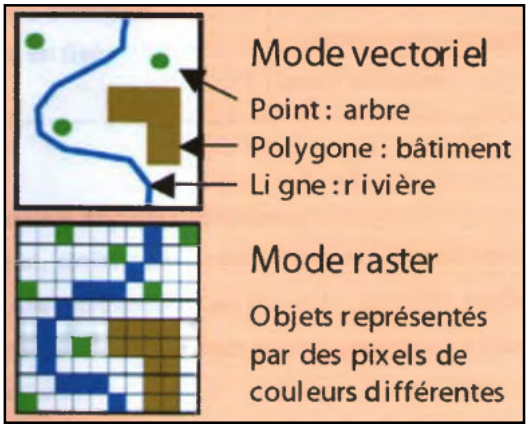

Figure № 08 : Modes de représentation vecteur et raster **(Krafft et *al*., 2005).**

II.4. Structure de l'information géographique dans un SIG

La structuration des données SIG se fait par couches, qui sont des ensembles d'éléments géoréférencés (données géomatiques et attributaires). Ainsi, une image raster, ou un ensemble d'objets vectoriels peuvent constituer une couche. Généralement, on assemblera dans une couche les objets faisant partie d'une même thématique. On rassemblera par exemple dans une couche nommée « Voirie » les objets de type « ligne » correspondant aux

routes, aux sentiers,... Alors que d'autres objets linéaires (fleuves, canaux,...) seront regroupés dans une couche distincte (dans ce cas, la couche « Hydrologie »).

Si l'affichage d'une couche permet déjà la réalisation d'analyses intra couches, la grande force des SIG est de permettre la visualisation simultanée de différentes données par superposition de couches. La superposition à volonté de couches de thèmes différents permet d'obtenir une représentation des données adaptée aux besoins d'analyse, complexe et riche en information, notamment au niveau des interactions spatiales et thématiques. a partir de là, tout ou presque est possible, grâce aux analyses multicritères et multicouches **(Krafft et *al*., 2005).**

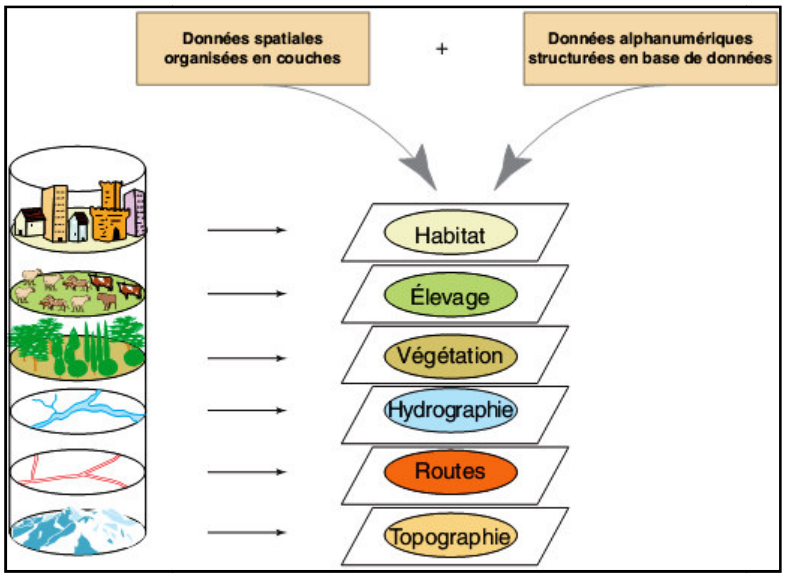

Figure № 09 : Structure de l'information géographique dans un SIG **(Habert, 2000).**

II.5. Domaine d'application des SIG

Selon **Steinberg *in* Badaoui (2007)**, il est possible de les regrouper en trois groupes non exclusifs:

- Le premier groupe : intègre les projets de gestion des réseaux. Ce sont des projets de cartographie, de planification ou de gestion (énergie, télécommunication, voirie, distribution d'eau potable, transports, etc.) ;

- Le second groupe : est celui des projets d'informations territoriales. Ce sont les projets d'aménagement régional ou urbain du territoire, les systèmes d'informations territoriales pour les collectivités locales ;

- Le troisième groupe : concerne les projets pour la planification et la protection de l'environnement, les projets de gestion des ressources naturelles.

II.6. Les rôles de SIG

Selon **Ashok (2008)** Les rôles de SIG sont :

-Abstraction: Modélisation de la base de données en définissant les objets, leurs attributs et leurs relations ;

-Acquisition : Alimentation du SIG en données, il faut d'une part définir la forme des objets géographiques et d'autre part leurs attributs et relations ;

-Archivage : Transfert des données de l'espace de travail vers l'espace d'archivage (disque dur) ;

-Analyse : Réponse aux questions posées ;

-Affichage : Production des cartes de façon automatique.

II.7. Télédétection et SIG

La Télédétection spatiale, s'appuyant sur des mesures au sol et combinée aux systèmes d'informations géographique, apporte aujourd'hui une contribution décisive aux diverses questions qui se posent en matière d'environnement, de santé, d'aménagement du territoire, d'exploitation rationnelle des ressources naturelles **(Labed et *al*., 2009).**

La Télédétection et les SIG peuvent être des outils très complémentaires avec les méthodes conventionnelles utilisées dans la prévention et la gestion des catastrophes.

Ces technologies sont d'autant plus utiles lorsqu'on dispose d'une connaissance détaillée du risque, la fréquence attendue, le caractère et l'intensité des évènements dans une région, les images satellitaires donnent une vue globale et fournissent des informations très utiles sur l'environnement, pour une grande gamme d'échelles, de continents entiers aux détails de quelques mètres **(Belhadj-Aissa et *al*., 2003).**

III- Généralités sur les satellites Landsat et leurs capteurs

Les images satellites utilisées dans ce travail proviennent du satellite (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ et Landsat 8 OLI/TIRS). Le choix de ces données est dicté par le fait qu'elles sont une source d'informations importantes et par le fait que ces images soient téléchargeables gratuitement sur le site de la NASA.

- Landsat 5 TM (Thematic Mapper) : dans ce cas l'image est constitué de sept bandes spectrales (tab 02) avec une résolution spatiale de 30 mètre pour les bandes 1 à 5 et 7, la résolution spatiale pour la bande 6 (infrarouge thermique) est de 120 mètre ;

Tableau № 02 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 5 TM**.**

Bandes	**Domaine Spectral (µm)**	**Résolution**	**Application**
TM1	0,45 - 0,52 (bleu)	30 m	Différenciation sol/végétaux, zones côtières
TM2	0,52 - 0,60 (vert)	30 m	Végétation
TM3	0,63 - 0,69 (rouge)	30 m	Différenciation des espèces végétales
TM4	0,76 - 0,90 (proche IR)	30 m	Biomasse
TM5	1,55 - 1,75	30 m	Différenciation neige/nuage
TM6	10,4 - 12,5	120 m	Thermique
TM7	2,08 - 2,35	30 m	Lithologie

Source : (Emran, 2005).

- Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) : Le capteur ETM+ est une version amélioré de capteur TM précédent. Il comporte en plus une bande panchromatique à haute résolution (15 m de résolution). La résolution de la bande thermique passe à 60 m. Le tableau №: 03 résume les principales caractéristiques des bandes issues de ce capteur.

Tableau № 03 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 7 ETM+.

Bandes	**Domaine Spectral (µm)**	**Résolution**	**Application**
01	0,45 - 0,515 (bleu)	30 m	Différenciation sol/végétaux, zones côtières
02	0,525 - 0,605 (vert)	30 m	Pigment, zones côtières, végétation
03	0,63 - 0,69 (rouge)	30 m	Pigment, zones côtières, végétation
04	0,75 - 0,90 (proche IR)	30 m	Feuillages, Biomasse
05	1,55 - 1,75	30 m	Différenciation neige/nuage
06	10,4 - 12,5	60 m	Thermique
07	2,09 - 2,35	30 m	Lithologie, Minéralogie
PAN	0.50 - 0.90	15 m	Panchromatique

Source: (**Emran, 2005., http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php).**

- **Landsat 8 OLI/TIRS** : Landsat 8 est équipé de deux types de capteurs OLI et TIRS.

Le capteur OLI (Operational Land Imager) offre une image de neuf bandes spectrales (tab 04) avec une résolution spatiale de 30 mètre pour les bandes de 1 à 7 et 9, la bande 8 (panchromatique) à une résolution spatiale de 15 mètre. Deux nouvelles bandes sont offertes par le capteur OLI, la bande 1 (ultra-bleu) utile pour les études des aérosols et la cartographie côtière. Et la bande 09 utile pour les études des cirrus et des nuages.

Le capteur TIRS (Thermal Infrared Sensor) offre plus de précision dans la détection des surfaces tempérées et cela grâce à deux nouvelles bandes 10 et 11 qui ont une résolution spatiale de 100 mètre et qui était absent dans les versions précédentes de Landsat.

Tableau № 04 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 8 OLI/TIRS.

Bandes	**Domaine Spectral (µm)**	**Résolution**	**Application**
01	0.433 – 0.453	30 m	Aérosols, zones côtières
02	0,45 - 0,515 (bleu)	30 m	Pigment, Différenciation sol/végétaux, zones côtières
03	0,525 - 0,600 (vert)	30 m	Pigment, zones côtières
04	0,630 - 0,680 (rouge)	30 m	Pigment, zones côtières
05	0,845 - 0,885 (proche IR)	30 m	Feuillages, zones côtières
06	1,560 - 1,660	30 m	Feuillages
07	2,100 - 2,300	30 m	Minéral, lithologie
08	0,500 - 0,680	15 m	Panchromatique
09	1,360 – 1,390	30 m	Cirrus et nuages
10	10,6 – 11,2	100 m	Thermique
11	11,5 – 12,5	100 m	Thermique

Source : (**http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=5377).**

Chapitre III :

Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

La présente étude a été menée dans la commune de Lardjem à l'Ouest de la wilaya de Tissemsilt, cette commune s'étend sur une superficie totale de 26600 ha. Elle se trouve entre les coordonnées 35° 53' 55", 35° 40' 25" latitude Nord et 1° 22' 43.24", 1° 36' 33.35" longitude Est. Elle est limitée au nord par la commune de Larbaa, au sud par les communes de Sidi Lantri et Maacem, à l'Est par les communes de Bourdj Bounaama, Sidi Abed et Tamellahet, à l'Ouest par la wilaya de Relizane et au Sud-ouest par la commune de Melaab. La superficie forestière dans cette commune est 17683,6605 ha soit un taux de boisement de 66,48%.

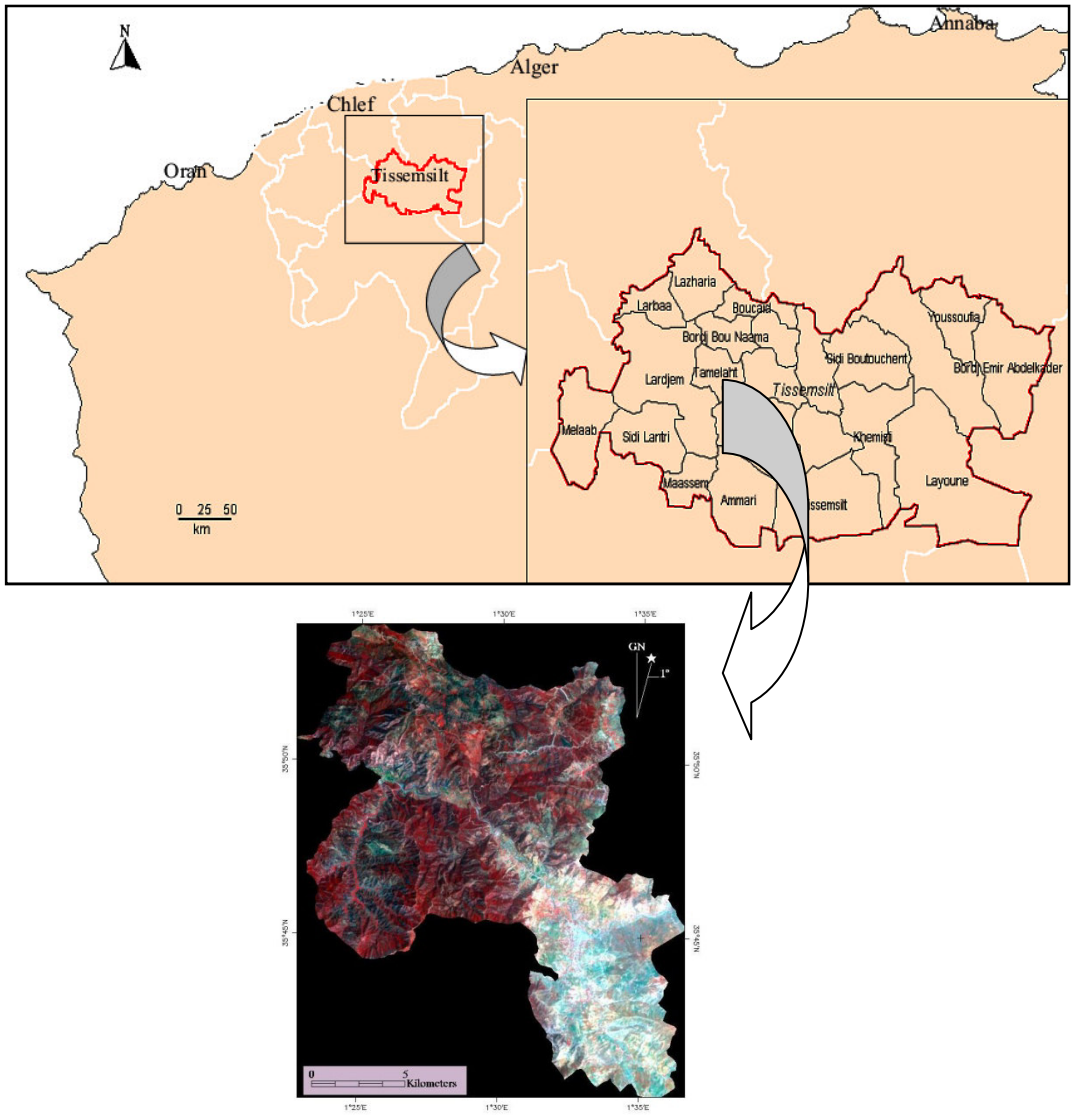

Figure № 10 : Situation géographique de la zone d'étude.

2. Description du milieu physique

2.1. Reliefs

La zone d'étude est constituée par un alignement de collines d'altitude moyenne de 737 m, le point culminant est à 1155 m alors que le point le plus bas est à 420 m, les sommets assez plats et érodés prennent la direction Ouest-Est.

Le relief est accidenté avec des versants raides et entaillés par des ravins, les pentes sont généralement supérieures à 10 %.

Cette zone se caractérise par des escarpements, lesquelles organisent le paysage en escaliers, chose qui pose le problème d'érosion hydrique qui est considérable en hiver.

2.2. Géologie

La région d'étude se caractérise par des formations géologiques variées correspondant à des faciès géologiques différents appartenant aux secondaires jurassique et crétacée en général, les terrains sont de formation carbonatée dans l'ensemble reposant souvent en discordance sur les argiles.

Au nord des formations géologiques de crétacé et juracé à alternance des couches calcaires et marnes crayeux et dégrie tendre et argile dolomite.

Au sud la région se caractérise par une série de formation géologique de crétacé, juracé, miocène et des alluvions modernes à alternance des membres du calcaires et des conglomérats, et des gris argileux du miocène. Les dépôts alluvionnaires sont très importants au bas des versants.

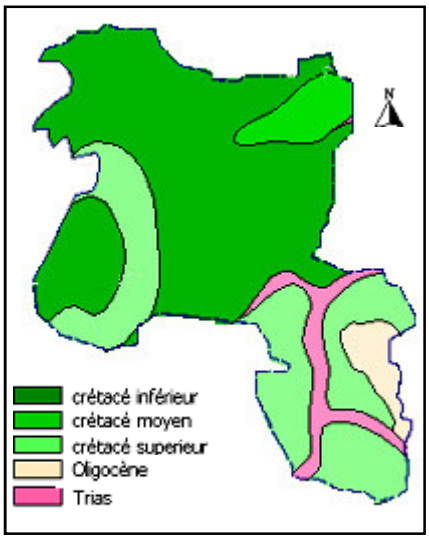

Figure № 11: Géologie de la zone d'étude (extrait de la carte géologique de Tiseemsilt).

2.3. Hydrologie

De par la position de la commune de Lardjem dominée par les monts de l'Ouarsenis, la majeure partie est caractérisée par des terrains accidentés.

L'ensemble de la superficie du territoire de la commune de Lardjem est drainé par les versants longeant Oued Tamallaht au nord et Oued Malah au sud qui se déverse dans l'oued Lardjem.

L'érosion est accentuée sur le versant nord (ou la pente excède les 20 %). Pendant la saison estivale et suite à la contrainte climatique de la région (forte évaporation et faible précipitation) le débit des cours d'eau devient insignifiant mais les crus d'hivers donnent un débit acceptable pris en considération.

2.4. Couvert végétal

Le milieu floristique de la zone d'étude est constitué par des formations forestières variés, on trouve principalement le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) qui est l'espèce la plus dominant avec 7185,5 ha. Sur les versants avec des conditions favorables de sol et d'humidité, cette essence forme un peuplement dense (photo 01). Il ya aussi le thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) qui couvre avec l'olivier sauvage (*Olea europea*) une superficie de 285 ha (photo 02), le chêne vert (*Quercus ilex*) avec 23 ha. D'autres espèces arbustives s'y trouvent aussi comme l'Arbousier commun (*Arbustus unedo*), Genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), Lentisque (*Pistacia lentiscus*).

Dans les zones où les conditions sont moins favorables, la forêt est transformée en un maquis clair (5975,485 ha) composé d'une strate buissonnante et herbacée constituée de formations mixtes ou individualisées dont le calycotome (*Calycotum spinosa*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*), l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) et le Diss (*Ampelodesma mauritanica*).

Photo № 01 : Peuplement naturel de pin d'Alep.
Photo prise en Mai 2015.

Photo № 02 : Thuya de Berbérie en association avec l'olivier sauvage.
Photo prise en Mai 2015.

3. Etude socio-économique

Selon les services de DPAT (Direction de Planification et d'Aménagement des Territoires), La commune de Lardjem compte 26266 Habitants dont 14436 Habitants se trouvent en chef lieu de commune, 5523 Habitants dans les agglomérations secondaires et 6307 Habitants dans les zones éparses.

D'après les services de DPAT (Direction de Planification et d'Aménagement des Territoires), la population a connu un retour progressif vers les zonez rurales ces dernières années par rapport aux années 90. Ceci est dû aux programmes de développement rural local (PER2, PNDA, PPDRI), qui visent dans leur totalité la revitalisation du monde rural et la stabilisation de la population rurale des zones éparses.

4. Les infrastructures forestières

4.1. Réseau des pistes

Une piste forestière est une route constituée de terre damée et/ou empierrée qui traverse une forêt ou au moins un espace naturel boisé.

Les pistes constituent un équipement très important pour la protection des forêts contre les incendies. Reliées au réseau routier, elles doivent permettre les déplacements et la lutte à l'intérieur d'un massif forestier ou en périphérie, et cela en toute sécurité.

Notre zone d'étude est dotée d'un réseau de pistes de l'ordre de 154.5 km pour une superficie forestière totale de 17683,6605 ha, soit une densité moyenne de 0.87 km pour 100 ha. On est loin de la norme théorique de 02 km pour 100 ha **(BNEDER, 2009)**, et même les pistes existantes nécessitent un aménagement. Donc il est nécessaire de réaliser le reste du volume qui est de l'ordre de 199.17 km, et les pistes existants doivent subis un aménagement et entretien.

4.2. Tranchés pare-feux

Les tranchés pare-feu (TPF) au sens strict sont des discontinuités linéaires destinées à compartimenter l'espace forestier et à contenir l'incendie dans les massifs isolés ainsi créés. La végétation y est absente ou réduite à une strate herbacée rase. Ces pare-feux sont établis au bulldozer ou de façon manuelle et possèdent une largeur de 50 m pour permettre les déplacements et les interventions des équipes de lutte, tout en assurant leur sécurité.

La superficie du réseau pare-feu dans la commune de Lardjem est de 493 ha pour une superficie forestière totale de 17683,6605 ha, soit une densité moyenne de 2.78 ha par 100 ha de forêt. Cette valeur répond effectivement à la norme théorique de 2,5 ha pour 100 ha de forêt **(BNEDER, 2009)**, mais depuis la réalisation de ces tranchés aucune intervention d'aménagement n'a été effectuée jusqu'à ce jour, ce qui diminue considérablement leur efficacité.

4.3. Postes vigies

Les postes de vigies (tours de guet) sont des tours utilisées pour la surveillance des forêts, prioritairement durant la période de risque maximal (entre juillet et fin octobre). Ils constituent le premier et le principal moyen de détection et d'alerte en cas d'incendie. Selon **Meddour-Sahar (2014),** la première alerte est donnée effectivement par les guetteurs des postes de vigie (41,31 % des feux).

Les postes de vigies doivent être situés sur des points hauts dégagés, permettant d'avoir une bonne visibilité de l'ensemble du territoire. Leur nombre peut être variable, notamment en fonction du relief qui peut limiter fortement la visibilité, mais l'essentiel est d'assurer la meilleure couverture possible du territoire. Ces postes vigies doivent être protégés du feu (débroussaillement, système d'arrosage).

La zone d'étude dispose de deux postes vigies pour une superficie forestière de 17683,6605 ha, soit un poste de vigie pour 8841.83 ha de forêt. On n'est pas loin de la norme théorique qui est de un poste de vigie pour 7000 ha de forêt **(BNEDER, 2009).**

4.4. Ressources hydriques mobilisables

La conservation des forêts de Tissemsilt indique l'existence de 10 points d'eau au niveau de la commune Lardjem, soit une densité de 0,57 point d'eau pour 1000 ha de forêt. Cette valeur est en deçà de la norme théorique d'un point d'eau (citerne en béton d'une capacité minimale de 50 m^3) pour 1000 ha de forêt **(BNEDER, 2009)**.

5. Caractéristiques climatiques

Le climat, par ses différents facteurs (température, pluviométrie, vent ……), joue un rôle déterminant et intervient d'une façon décisive dans la régénération, le développement et la répartition géographique des végétaux.

Pour identifier le climat de la zone d'étude, et comme elle est dépourvue de station météorologique, l'analyse des facteurs climatiques est basée sur les données de la station pluviométrique de Tissemsilt, gérer par les services de l'ANRH, elle porte le code (01.10.06), et se trouve dans les environs immédiats de la zone d'étude. Ce poste pluviométrique présente les caractéristiques suivantes :

Code de poste pluviométrique	Nom de poste pluviométrique	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		X (m)	Y (m)	
01.10.06	TISSEMSILT	419900	256800	858

5.1. Précipitations

L'analyse des précipitations et leur répartition dans le temps et dans l'espace sont utiles. Ces précipitations constituent un facteur abiotique d'importance significative sur la régénération des plantes.

La zone d'étude se caractérise principalement par un climat continental à hiver froid humide et à été chaud et sec. La moyenne pluviométrique calculée sur une période de 31 ans (1976 à 2006) est égale à 379,84 mm. Les valeurs de la pluviométrie pendant ces années ont

oscillé entre un minimum de 182 mm enregistré en 1982 et un maximum de 768,7 mm en 2003 (Fig. 12).

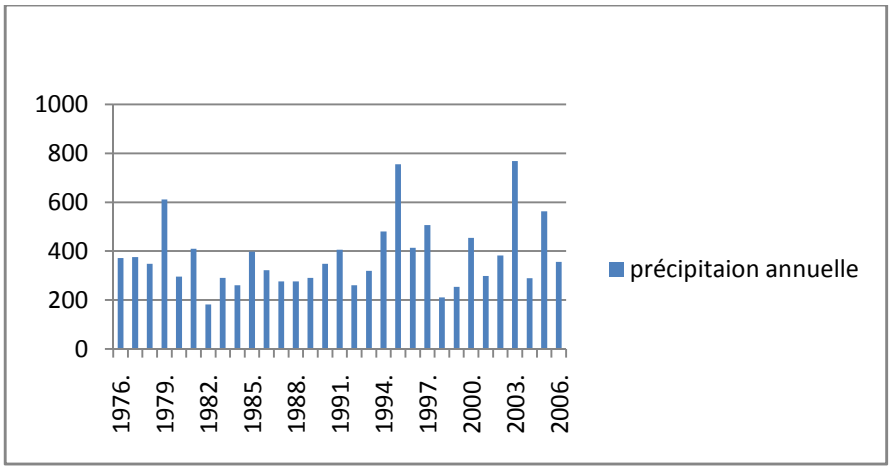

Figure № 12 : Evolution des moyennes des précipitations annuelles (1976-2006).

L'analyse de ces données confirme la position de la zone d'étude sur la carte pluviométrique de la Wilaya de Tissemsilt (Fig. 13).

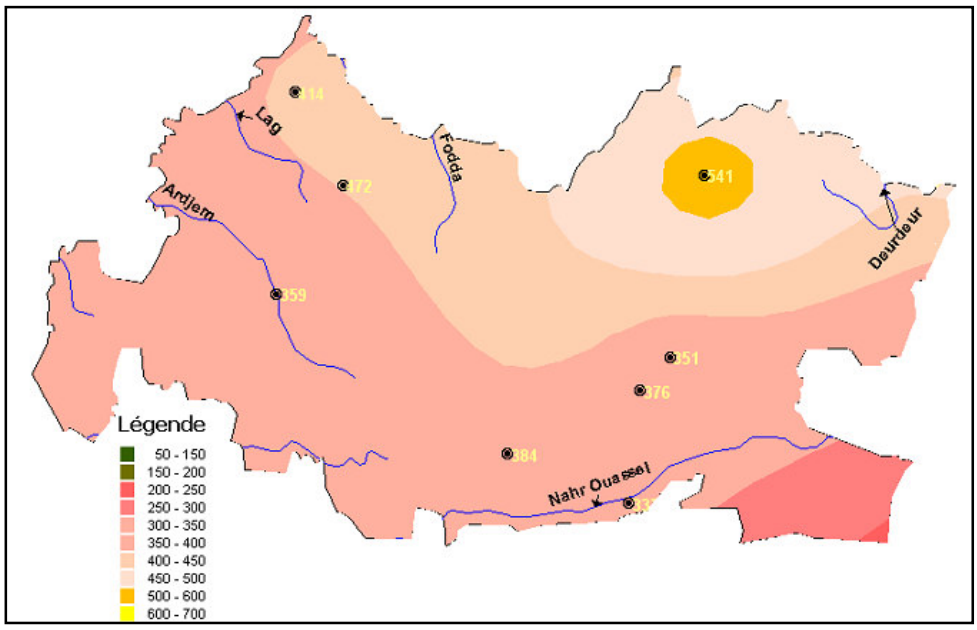

Figure № 13 : Carte pluviométrique de la Wilaya de Tissemsilt (**DRE, 2008**).

L'analyse des moyennes de précipitations mensuelles présentées dans la figure 14, montre une moyenne de 32,03 mm/mois. Selon cette moyenne, l'année hydrologique est caractérisé par deux périodes distinctes :

- Une période humide et pluvieuse, repartie sur sept mois à partir d'octobre jusqu'au mois d'avril, en atteignant son maximum en mois de janvier (48,3 mm), totalisant 294 mm, soit 76,48% des précipitations de toute l'année.

- Une période sèche de cinq mois, de mai jusqu'à septembre, où la zone d'étude ne reçoit en moyenne que 90,4 mm, soit 23,52% de la pluie moyenne annuelle, avec un minimum enregistré au mois de juillet (5,3 mm).

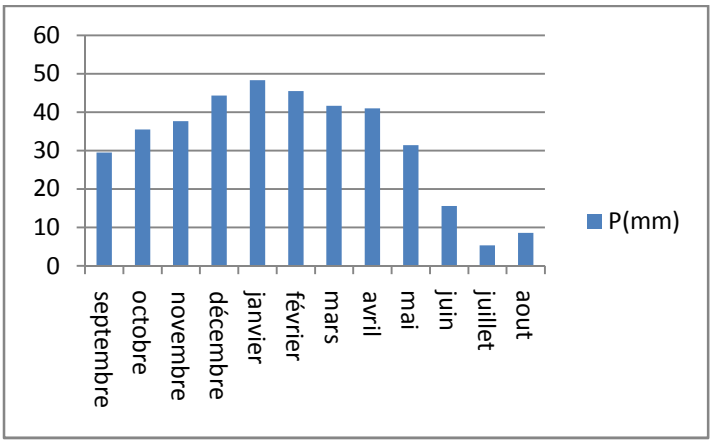

Figure № 14 : Diagramme représentatif des précipitations mensuelles (1976-2006).

5.2. Températures

La température est un des éléments fondamentaux dans la détermination du caractère climatique d'une région, et aussi un facteur nécessaire à l'apport de l'énergie pour les plantes. Il affectant directement les processus biologiques et chimiques dans la biosphère. Les données existantes sont celles de P. SELTZER et celles qui ont été utilisées dans l'étude BNEDER.

Tableau № 05 : Répartition mensuelle de la température.

mois / T°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Moyenne interannuelle
T.max	12.1	12.8	15.3	17.7	21	27.5	32.2	31.1	27.7	21.7	16.0	12.8	20.7
T.min	5.4	6	7.2	9.3	11.8	17.2	21.2	20.2	17.4	13	8.7	6.8	12
T.moy	8.3	9	10.8	13	15.9	22	26.3	25.1	21.7	16.7	11.9	9.2	15.8

Les températures moyennes mensuelles sont, de novembre à avril, inférieures à la moyenne annuelle et sont supérieures à cette moyenne de mai à octobre, divisant ainsi l'année en deux saisons : l'une froide et l'autre chaude.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Au cours de la saison froide, on relève les moyennes les plus basses pendant les trois mois de décembre, janvier et février, avec un minimum en janvier.

Au cours de la saison chaude, on relève les moyennes les plus élevées avec un maximum enregistré en juillet.

5.3. Le vent

Les vents dominants chargés d'humidité soufflent dans la direction Ouest, Nord-Ouest dans la période allant du mois d'Octobre au mois de Mai, et Est, Sud-Est de Juin à Septembre. Ces vents généralement modérés, leur vitesse moyenne mensuelle variant entre 2,5 à 3,6m/s.

Tableau № 06 : Répartition mensuelle des vitesses du vent.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	année
Vent m/s	2,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,7	3,7	3,4	3,2	3,2	3,5	3,6	3,5

5.4. Humidité relative de l'air

Il s'agit de l'humidité de l'air, mesurée par hygromètre placé dans un abri. Le tableau 07 donne les moyennes mensuelles de l'humidité relative.

Tableau № 07 : Humidité relative moyenne mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	année
Hum moy %	67	55	54	47	44	39	29	37	44	53	62	68	50

La moyenne annuelle de l'humidité relative est de 50%, elle atteint son minimum en mois de juillet (inférieure à 30%).Tandis que son maximum est enregistré durant le mois de Décembre et de Janvier avec une moyenne supérieur à 65%.

5.5. Synthèse climatique

5.5.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Selon **Ozenda (1982)**, c'est un diagramme qui permet d'avoir une idée sur les périodes sèches et humides d'une région donnée. Un mois est sec lorsque sa pluviométrie totale en mm égale ou inférieure au double de sa température moyenne en °C.

Selon le diagramme ombrothermique, la période sèche s'étale sur 5 mois qui va de mi-mai jusqu'au fin de septembre et la période humide du mois de octobre jusqu'à avril.

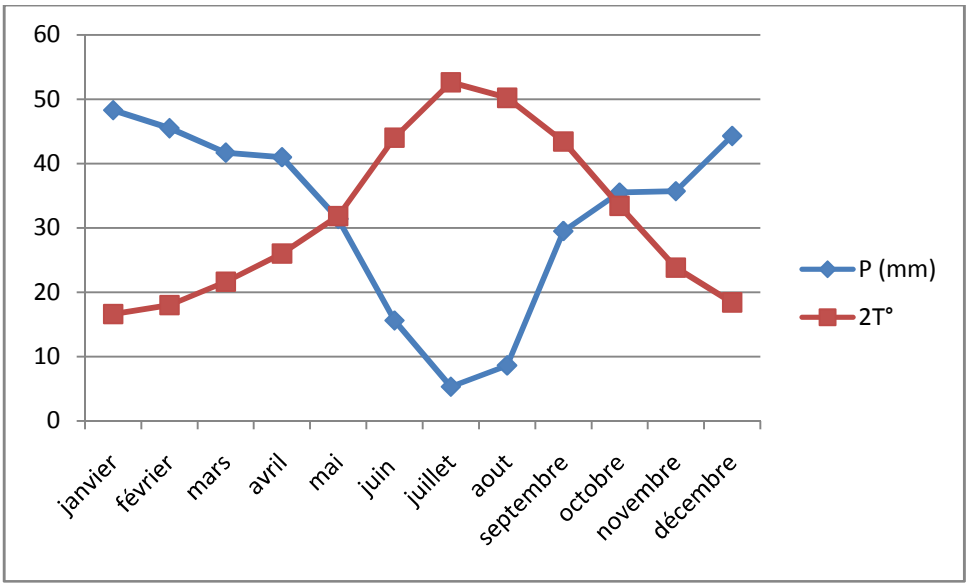

Figure № 15 : Diagramme ombrothermique de la station de référence (1976-2006).

5.5.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat. Les limites de séparation entre les différents étages climatiques restent encore imprécises. Il est intéressant de signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transition mixtes. À ce titre, EMBERGER a bien précisé que, sur le diagramme, les limites sont tracées là où le changement de la végétation est observé (**De Granville**, **1978**).

Pour déterminer l'étage bioclimatique de notre zone d'étude, nous avons utilisé le climagramme pluviométrique de **Sauvage (1963).** Le quotient d'EMBERGER (1939) est spécifique du climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Le quotient $\mathbf{Q_2}$ a été formulé de la façon suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{(M^2 - m^2)}$$

M : moyenne du maxima du mois le plus chaud en degré absolu °K.

m : moyenne du minima du mois le plus froid en degré absolu °K.

P : précipitation annuelle en mm.

Le Q_2 calculé pour la période (1976-2006) est équivalent à 49,15 et donc la zone d'étude se trouve dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hiver tempéré, doux.

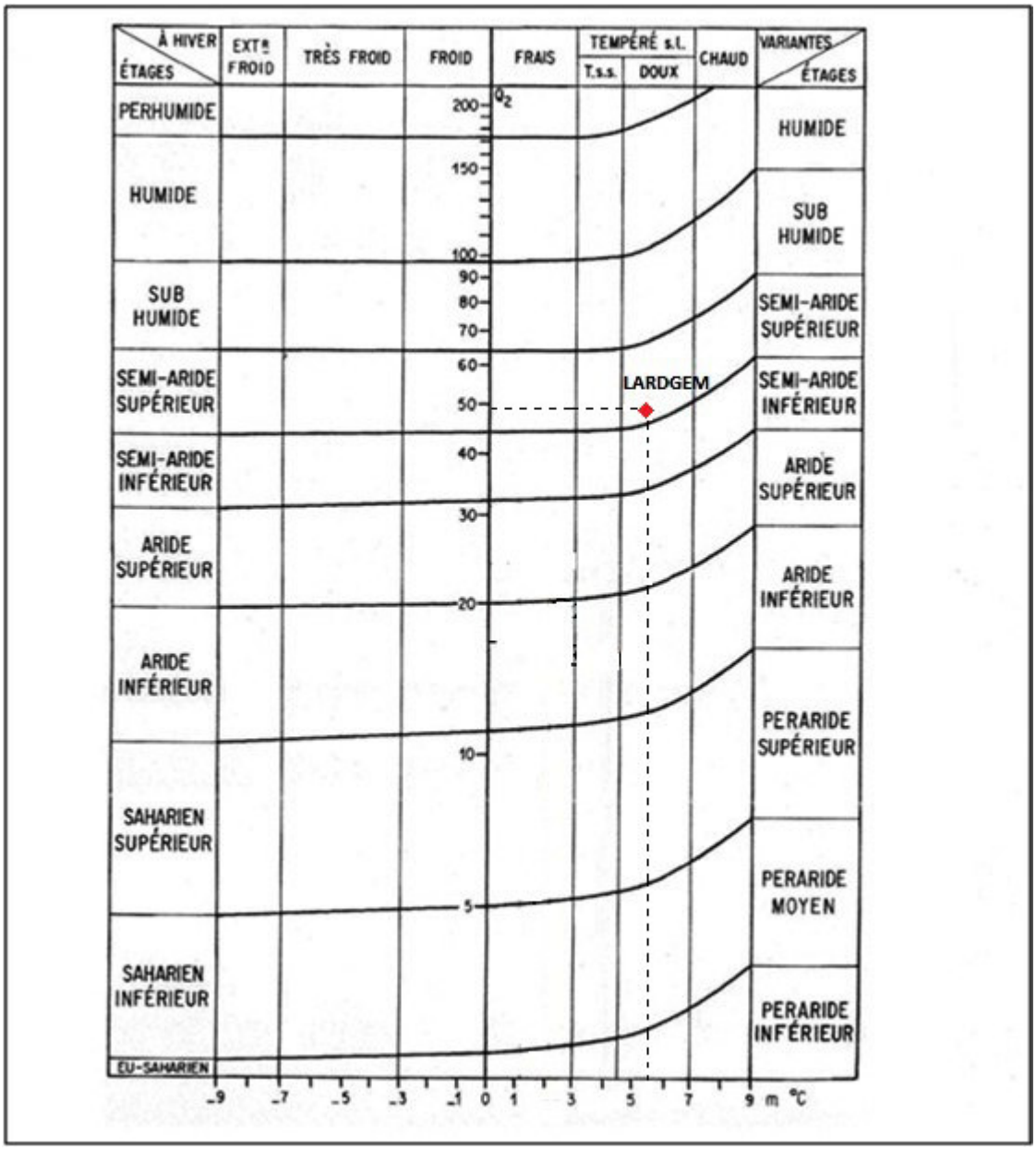

Figure № 16 : Climagramme d'Emberger pour la période 1976-2006.

5.5.3. Indice xérothermique d'EMBERGER

Les climatologues définissent l'indice xérothermique comme étant l'indice de sécheresse par rapport aux critères thermiques. Cet indice (Is) permet en complément du régime pluviométrique, de mieux caractériser le climat méditerranéen. Il est exprimé par la formule suivante : $IS = \frac{P}{M}$

P : Total des moyennes des précipitations estivales (en mm).

M : Moyenne des maxima thermiques de la période estivale (°C).

L'indice xérothermique d'Emberger est estimé à 0.65 pour la zone d'étude.

Plus cet indice est inferieur à 1, plus il représente un facteur limitant pour le développement de la végétation. Ainsi, nous constatons une période estivale très chaude dans la zone d'étude.

5.5.4. Indice d'aridité de De Martonne

DE Martonne (1926) a défini un indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprimé par la relation suivante : I = P/ (T+10)

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

Il est d'autant plus grand que le climat est humide.

Pour notre station, cet indice est égal à 14,90.

Le tableau № 08 montre la classification des étages bioclimatiques en fonction de la valeur d'indice d'aridité.

Tableau № 08 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimat correspondant (**De Martonne *in* Meddour, 2010**).

Valeur de l'indice	Type de bioclimat		Valeur de l'indice	Type de bioclimat
0 – 5	Hyperaride		20 - 30	Subhumide
5 - 10	Aride		30 - 55	Humide
10 - 20	Semi-aride		> 55	Perhumide

D'après le tableau 08, la zone d'étude se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride. Ce qui confirme cette situation dans le climagramme d'Emberger.

Chapitre IV : Matériels & Méthodes

Rapport-Gratuit.com

1. Matériels utilisés

1.1. Les images satellitaires

L'image satellitaire est un document contenant diverses informations relatives à des objets tels que le sol et la végétation, dans ce sens le traitement effectué est tell que l'information propre à l'occupation des sols et à la végétation puisse être mise en évidence.

Lors de cette étude, nous avons travaillé avec des images satellitaires différentes (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI/TIRS) issues des satellites Landsat.

La saison à laquelle les images satellites ont été prises n'est pas trop éloignée dans le temps. Elle remonte à la période de l'automne (septembre-octobre). Le choix de l'acquisition des images en cette période est mieux adapté à la démarche envisagée. Cette démarche se fonde essentiellement sur l'analyse de l'indice de végétation sensible à la présence de la végétation annuelle. Selon **Haddouche (2009)**, le contraste entre végétation annuelle et végétation pérenne et sempervirente, en saison sèche, est le plus fort et donc le plus détectable.

La résolution spatiale des images utilisé est 30 m. En effet cette résolution est jugée acceptable pour la méthodologie adoptée dans cette étude.

Le tableau suivant résume l'ensemble des caractéristiques de chaque image Landsat utilisée lors de ce travail.

Tableau № 09 : Les caractéristiques des images satellitaires utilisées.

ID image	Capteur	Date d'acquisition	Résolution	Nombre de bande	Taille de l'image (Km)
LT51970351987291XXX03	Landsat 5 TM	18-10-1987	30m	07	185*185
LE71970352000255EDC00	Landsat 7 ETM+	11-09-2000	30m	08	185*185
LE71970352012256EDC00	Landsat 7 ETM+	12-09-2012	30m	08	185*185
LC81970352014253LGN00	Landsat 8 OLI/TIRS	10-09-2014	30m	11	185*185

Remarque : Il faut noter que la qualité des images Landsat 7 ETM+ devenue médiocre sur le plan radiométrique, et ce depuis le 31 Mai 2003, date de son échec dans son mécanisme de balayage correcteur de ligne (Scan Line Corrector ou SLC) (**Barsi, 2005**). En conséquence, des trous linéaires apparaissent en provoquant une perte de 22 % des données de chaque image reçue (**Yanggen et *al*., 2010**).

La NASA, USGS et ITTVIS ont mis en place une extension qui permet de corriger ce problème par la méthode LLHM (Local Linear Histogram Matching) qui a pour but de remplacer les trous linéaires par une autre scène de date antérieure (**Boloorani et *al*., 2008**). Cette méthode est déconseillée pour étudier la cartographie des espèces forestières et l'évolution de l'occupation du sol (**Dewitz, 2004**), car les données sont faussées.

1.2. Model Numérique de Terrain

Un modèle numérique de terrain (MNT), est une carte indiquant la forme brute du terrain, sans construction ni végétation. Il correspond donc à une schématisation de la région étudiée. Autrement dit, un MNT est une représentation imagée de l'aspect topographique d'une zone, en fonction des différentes classes d'altitudes.

Le MNT permet une description de la topographie du terrain et constitue une base de donnée altimétrique à partir de laquelle on peut dériver une multitude de produits : les courbes de niveau, les cartes de pentes, d'exposition ou d'inter visibilité, les vues en perspective (3D)…etc.

Le MNT est soit téléchargeable ou reconstitué à partir de la digitalisation des courbes de niveau. Dans ce travail nous avons utilisé un MNT obtenu par stéréoscopie radar du satellite Terra Aster (Japon-Nasa) d'une résolution spatiale de 30 m, ce produit numérique a été téléchargé a partir du site : https://reverb.echo.nasa.gov.

Le MNT est utilisé pour l'extraction des paramètres géomorphologiques de la zone d'étude (altitudes, pentes et expositions).

1.3. Les logiciels de traitement

1.3.1. ENVI 4.5

ENVI (Environnement For Visualing Images) est un logiciel permettant la lecture et le traitement des images et données numériques et plus précisément les images satellitaires.

Celui-ci dispose, en effet, en un seul package d'un ensemble d'outils particulièrement avancés, faciles d'utilisation et interactifs: analyse spectrale, correction géométrique et géo-référencement, analyse topographique …etc. Ce logiciel a la particularité d'être le plus utilisé est recommandé grâce notamment au fait qu'il supporte un grand nombre de formats de fichier, de toutes tailles. Il dispose aussi de son propre format, mais le plus important est que le résultat du travail sous ENVI facilite le travail sous d'autres logiciels de cartographie par la suite.

1.3.2. Global Mapper 13

Global Mapper est tout d'abord un visualiseur des plus populaires formats Rasters, Vecteurs et MNT, mais il possède aussi des outils très pratiques et performants pour la conversion, l'édition, l'impression et le suivi GPS.

1.3.3 ARCGIS 10.2

ARCGIS reste incontestablement, le logiciel référence en matière de cartographie. En effet, celui-ci permet de travailler aisément, d'effectuer diverses opérations, l'accès à des données externes de divers formats. Il propose une large panoplie de fonctionnalités permettant à l'utilisateur de visualiser, d'éditer et même de comparer des données de cartographie.

2. Approches méthodologiques

La démarche adoptée pour répondre aux objectifs arrêtés, afin de mettre en évidence l'évaluation de l'état de la forêt après le passage du feu en utilisant les techniques de la télédétection, se résume en trois principales phases (Fig. 17) :

- Préparation et prétraitement des données ;
- Traitement et analyses (cartographie) ;
- Intégration dans un système d'information.

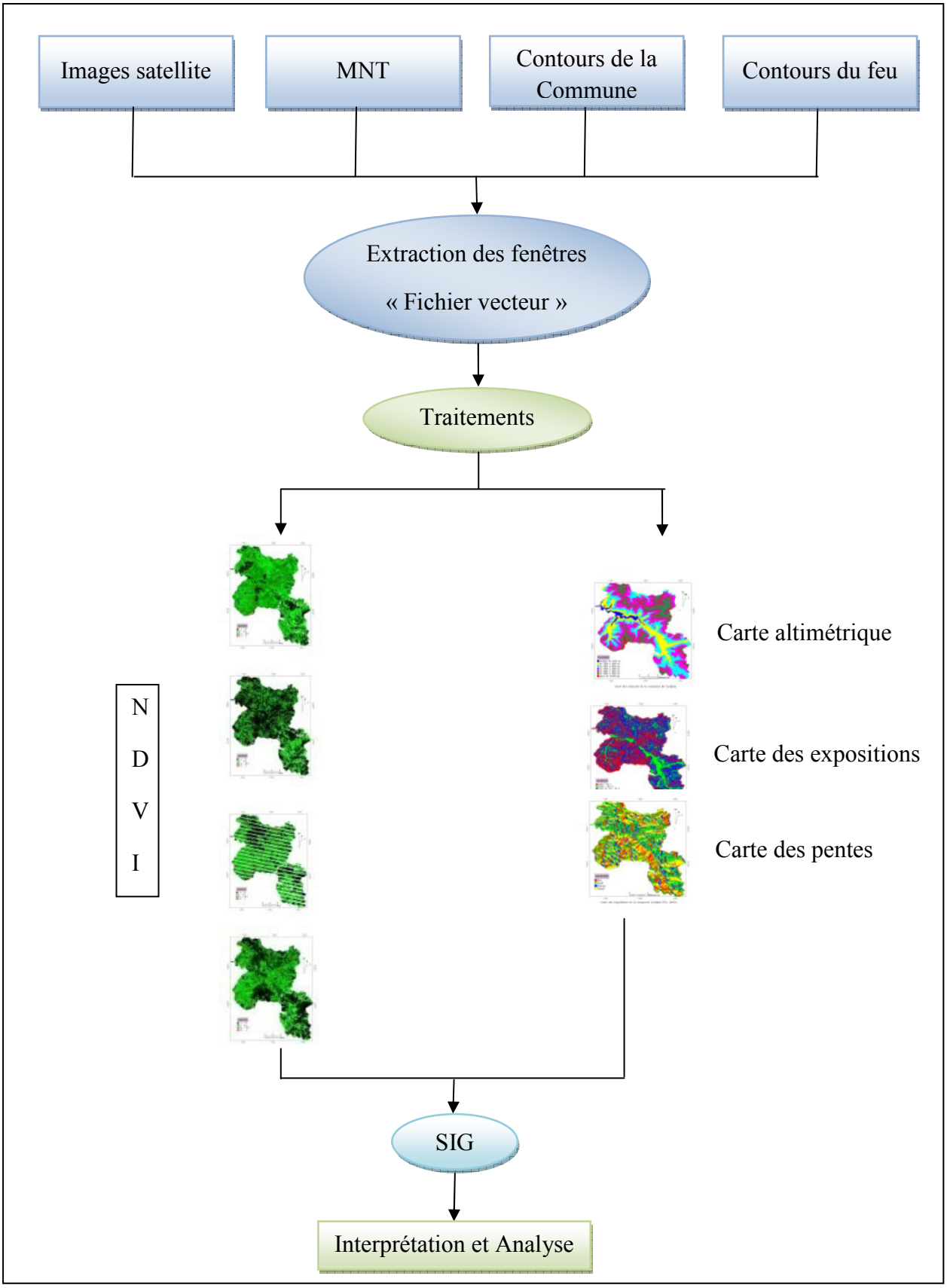

Figure № 17 : Organigramme de la méthodologie adoptée.

2.1. Prétraitements

Il permet de préparer les images pour l'analyse principale et l'extraction de l'information. Les opérations de prétraitement se divisent en une correction géométrique (Orthorectification) qui permet la correction des distorsions géométriques de l'image dues aux variations de la géométrie Terre-Capteur, et transformer les données en vraies coordonnées géographiques, et une correction radiométrique qui permet de réduire les bruits d'images dus au capteur ou à l'atmosphère (Nuages, poussière atmosphérique, vent de sable, etc.)

Le schéma ci-dessous (Fig. 18) montre les différentes causes de distorsions géométriques présentes dans les images au format brut :

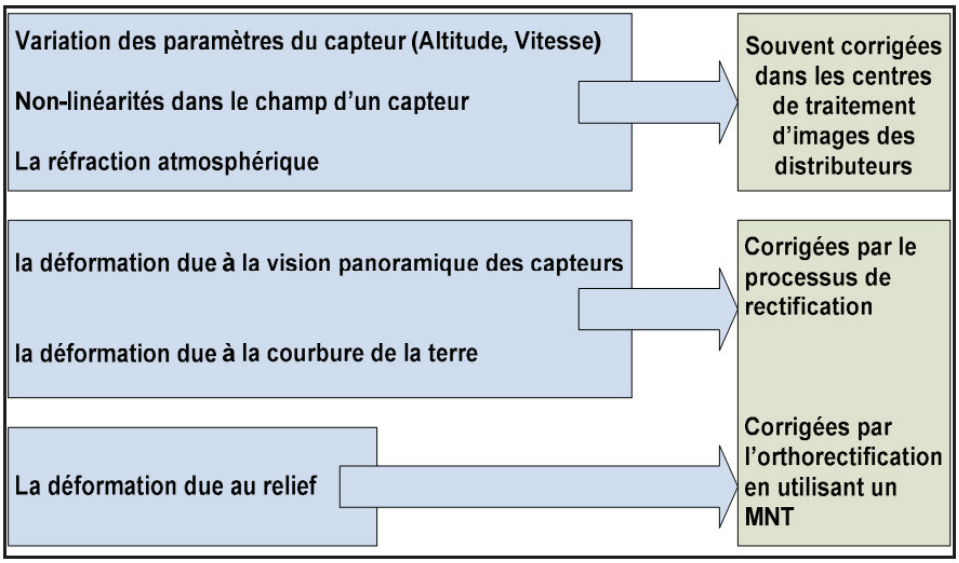

Figure № 18 : Les causes de la distorsion géométrique des images (**Lillesand et *al*., 2007**).

Les images LANDSAT (Path : 197, Row : 35) utilisés dans notre étude sont géoréférencées (Projection UTM, fuseau 31N), rectifiées et orthorectifiées par le distributeur USGS (United States Geological Survey).

2.2. Traitements et analyses

Dans cette étude, l'objectif principal défini est d'évaluer l'état de la couverture végétale dans l'ensemble de la forêt de la commune de Lardjem en général et spécifiquement dans les zones parcourues par les feux. Pour cela, nous avons utilisé un fichier vecteur pour l'extraction des fenêtres de la zone d'étude pour l'ensemble des scènes images (1987, 2000, 2012 et 2014) ainsi que pour le MNT (Aster). La démarche méthodologique adoptée repose essentiellement sur l'analyse et l'interprétation du NDVI qui est le rapport de la différence

entre la reflectance dans le proche infrarouge et dans le rouge, sur la somme des deux. Il est donné par la formulation suivante :

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

PIR : La reflectance dans le canal proche infrarouge.

R : La reflectance dans le canal rouge.

Cet indice met en évidence l'activité chlorophyllienne de la végétation, car il utilise la bande infrarouge du spectre électromagnétique où la végétation réfléchit l'énergie incidente qui est par la suite enregistrée par le capteur du satellite (**Martin et Chuvieco, 1993**).

Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement supérieures a 0,1. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Dans cette étude, le NDVI est généré pour chaque date de prise de vue (1987, 2000, 2012 et 2014).

2.3. Traitement des données topographiques

Le MNT a fait l'objet d'un traitement approprié afin d'avoir une description topographique détaillé de la zone d'étude.

Des produits topographiques représentant la carte des altitudes, la carte des pentes et la carte des expositions sont calculés à partir du MNT (Aster) en utilisant un logiciel approprié (Envi 4.5, ©ITT).

2.3.1. Carte des altitudes

L'altitude, troisième coordonnée de la position d'un lieu, n'est pas représentée directement sur la carte à deux dimensions car une projection cartographique ne traduit pas

l'altitude. La représentation de l'altitude sur la carte nécessite l'utilisation de signes conventionnels spécifiques (**Delvaux et Nys, 2002**). Les altitudes de la surface terrestre permettent de déterminer ses formes de reliefs. La carte des altitudes de la zone d'étude est produite à partir du MNT puis vectorisé pour calculer la superficie de chaque classe.

2.3.2. Carte des pentes

La pente est l'inclinaison d'une surface exprimée en degrés ou en pourcentage par rapport au plan de l'horizon. Le changement de pente est une réalité terrain qui a une grande importance surtout pour les études écologiques. La carte des pentes de la zone d'étude est produite à partir du MNT puis vectorisée pour ressortir la superficie de chaque classe.

Les pentes sont regroupées en trois grandes classes selon la topographie de la zone d'étude :

- Pentes faibles (0-12,5 %) ;
- Pentes moyennes (12,5-25 %) ;
- Pentes fortes (> 25 %).

2.3.3. Carte des expositions

Les cartes d'aspects ou d'exposition ont neuf (09) classes (N, NE, E, SE, S, SW, W et NW en plus d'une classe pour le relief plat.). Mais pour des raisons d'illustration et de commodité, la classe des régions plates (très insignifiante) sans orientation est incluse dans la classe Nord.

La carte des expositions de la commune de Lardjem est produite à partir du MNT puis vectorisée pour estimer la superficie de chaque classe. Les classes des expositions ont été fusionnées en quatre principales directions : orientations Nord, Est, Sud et Ouest par rapport à la direction du Nord géographique.

2.4. Contours des feux

Afin de délimiter les zones cibles, nous avons utilisé une image satellite Landsat 7 prise juste après l'incendie (12 septembre 2012) et nous avons tracé manuellement un masque représentant les contours de l'incendie (apparait en brun dans la figure 19), ces vecteurs sont

ensuite appliqués sur les produits cartographiques pour éliminer les autres régions non concernées. Ceci nous permet d'évaluer l'état de la reprise végétale post-incendie.

Figure № 19 : Image Landsat 7 du 12- 09-2012 couvrant la commune Lardjem et les traces du feu dans la forêt, zone brun foncé avec un contour blanc.

2.5. Intégration dans un Système d'Information Géographique

L'intégration de différents produits cartographiques dans un SIG, nous permet d'évaluer l'état de la forêt dans différents dates, ainsi que le degré de reprise de couverture végétale après deux ans du passage de feux.

Chapitre V :

Résultats et Discussions

1. Résultats des paramètres topographiques

1.1. Carte des altitudes

La vectorisation des classes d'altitude pour calculer leurs superficies a permis d'avoir les résultats présentés dans le tableau № 10, et illustrée sous forme graphique dans la figure № 20.

D'après ce tableau № 10 et la figure № 20, on constate que plus de 52% de la superficie globale de la zone d'étude, se trouvent dans la plage d'altitude comprise entre 600 et 799 m, tans dis que les valeurs extrêmes (moins de 500 et plus de 1000 m) ne représentent que 4,23%, et donc plus de 95% de la superficie de la commune de Lardjem à une altitude de 500 à 999 m.

Tableau № 10 : Les statistiques des classes d'altitude.

Classes des altitudes (m)	Superficie (Ha)	Pourcentage
Classe < 500	798,036	2,893184845
Classe 500-599	4301,437	15,59434955
Classe 600-699	7281,378	26,39777213
Classe 700-799	7148,192	25,91492209
Classe 800-899	5240,552	18,99899958
Classe 900-999	2442,707	8,855744444
Plus de 1000	371,003	1,345027363
Totale	27583,305	100

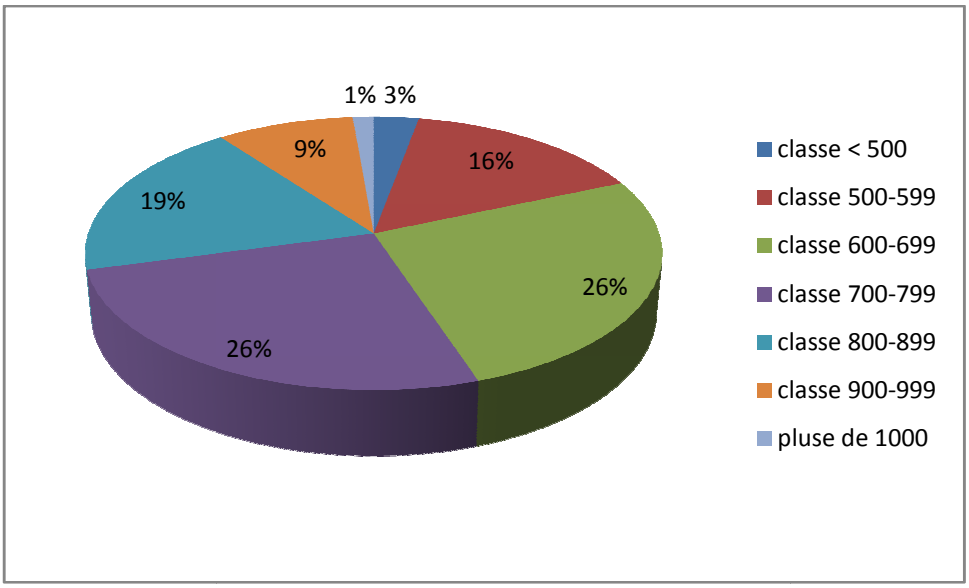

Figure № 20: Représentation graphique de la superficie des classes d'altitudes.

La carte des altitudes de la zone d'étude produite à partir du MNT est représentée par la figure № 21.

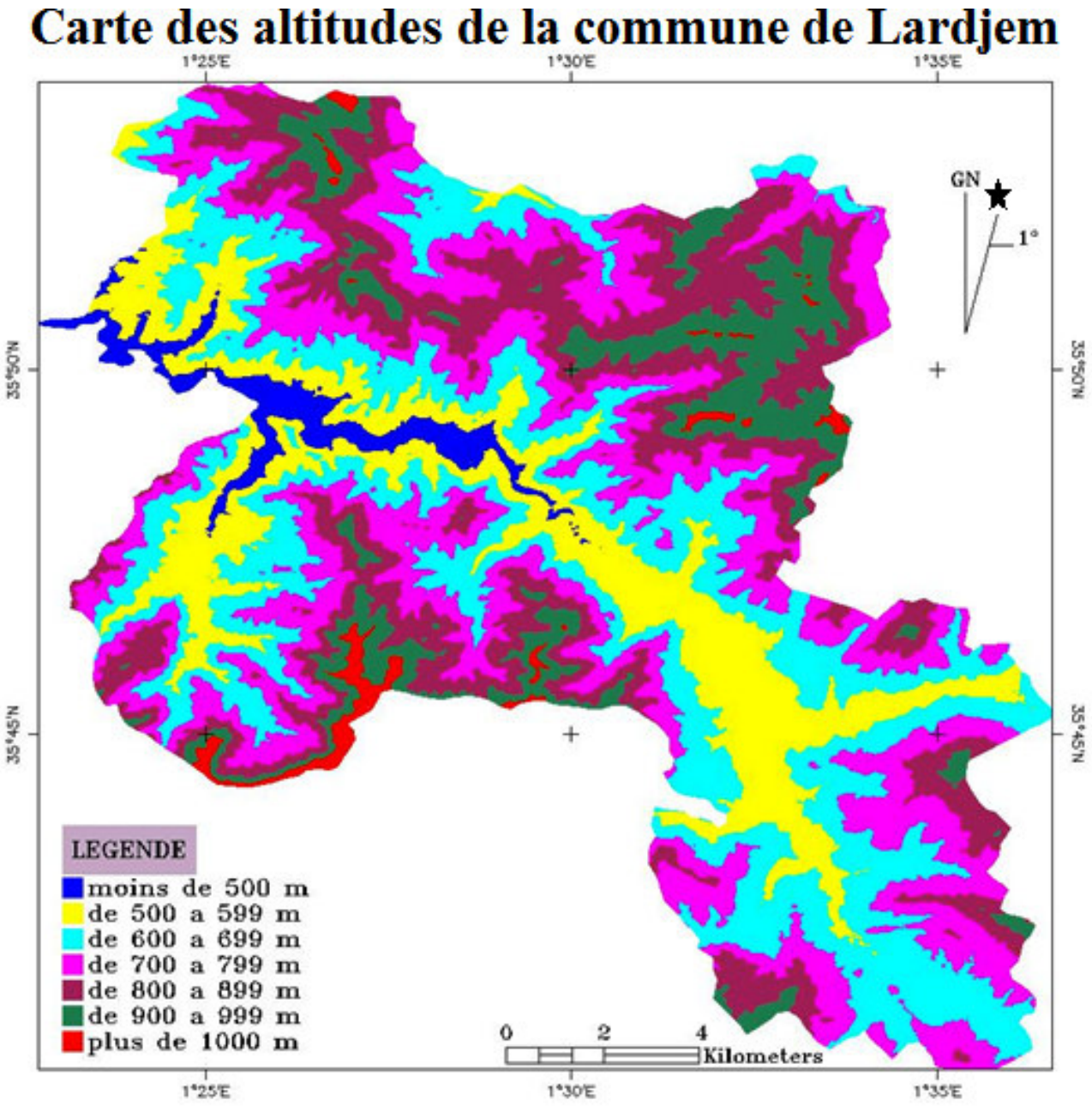

Figure № 21 : Carte des altitudes de la commune de Lardjem.

1.2. Cartes des pentes

La vectorisation des classes des pentes pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau 11.

D'après le tableau 11, on remarque que la majeure partie de la zone d'étude (plus de 43%) est de pente moyenne (12,5% – 25%). Les terrains accidentés où la pente excède les 25% viennent en deuxième place avec 31%. Alors que les terrains horizontaux ou à pente faible (moins de 12,5%) représentent 25,13% (Fig. 22).

Tableau № 11 : Les statistiques des classes de pente.

Classes de pente	Superficie (ha)	Pourcentage
< 12,5%	6932,818	25,13426411
de 12,5% à 25%	12060,305	43,72347451
> 25%	8590,012	31,14226139
totale	27583,135	100

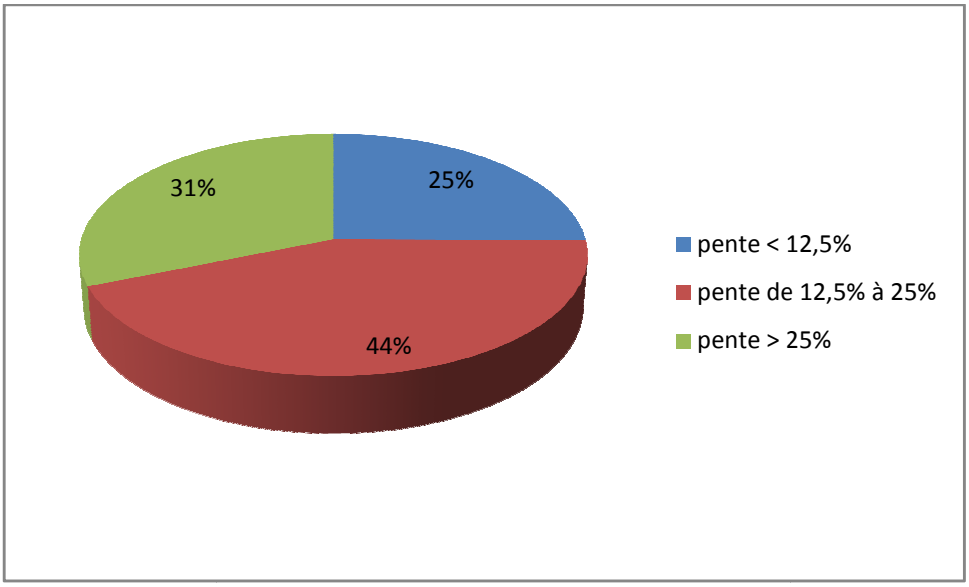

Figure № 22 : Représentation graphique de la superficie des classes de pente.

La carte des pentes de la zone d'étude produite à partir du MNT est représentée par la figure № 23.

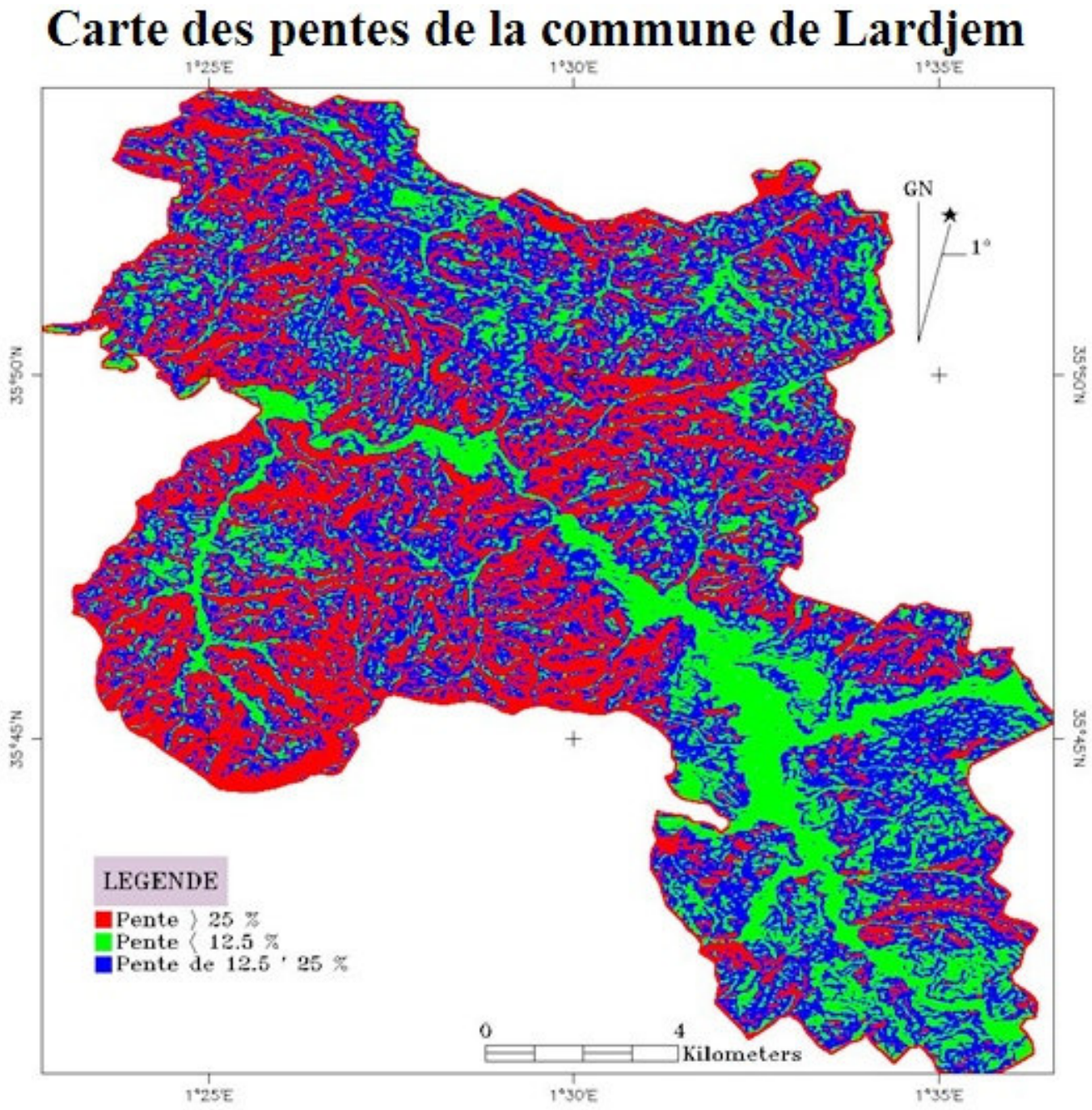

Figure № 23 : Carte des pentes de la commune de Lardjem.

1.3. Carte des expositions

La vectorisation des classes des pentes pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau № 12 et illustré par la figure № 24.

D'après la figure № 24 et le tableau № 12 , on constate que 32,7% de la superficie de la zone d'étude à une exposition Nord, suivi par l'exposition Sud qui représente 31,33%, puis l'exposition Ouest avec 18,55%, alors que l'exposition Est ne représente que 17,4%. Donc et d'une façon globale la zone d'étude à un alignement Est-Ouest.

Tableau № 12 : Les statistiques des classes des expositions.

Orientation	Superficie (ha)	Pourcentage
Nord	9020,387	32,70177981
Est	4801,757	17,40790059
Sud	8644,751	31,33997951
Ouest	5116,885	18,55034009
Totale	27583,78	100

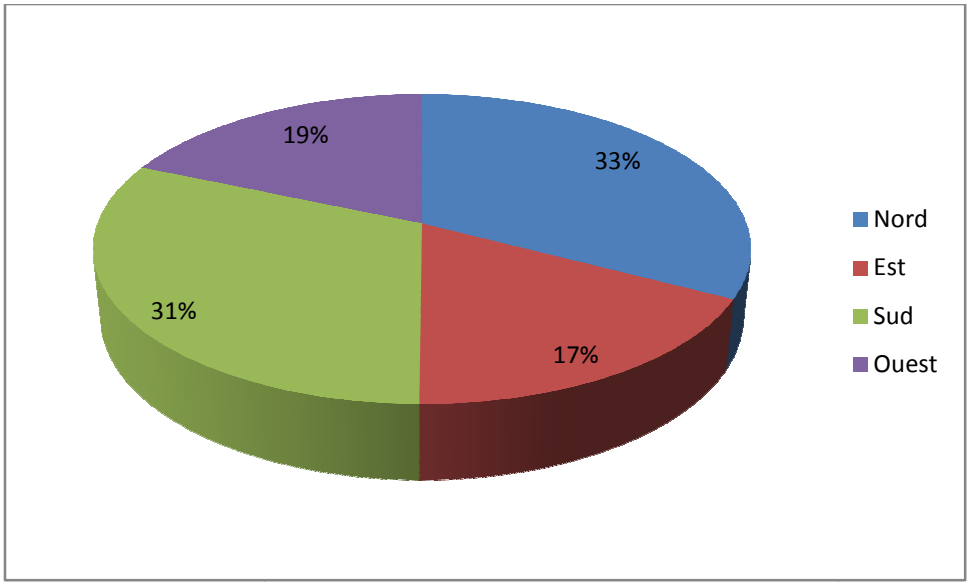

Figure № 24 : Représentation graphique de la superficie des classes d'exposition.

La carte des expositions de la zone d'étude produite à partir du MNT est représentée par la figure № 25.

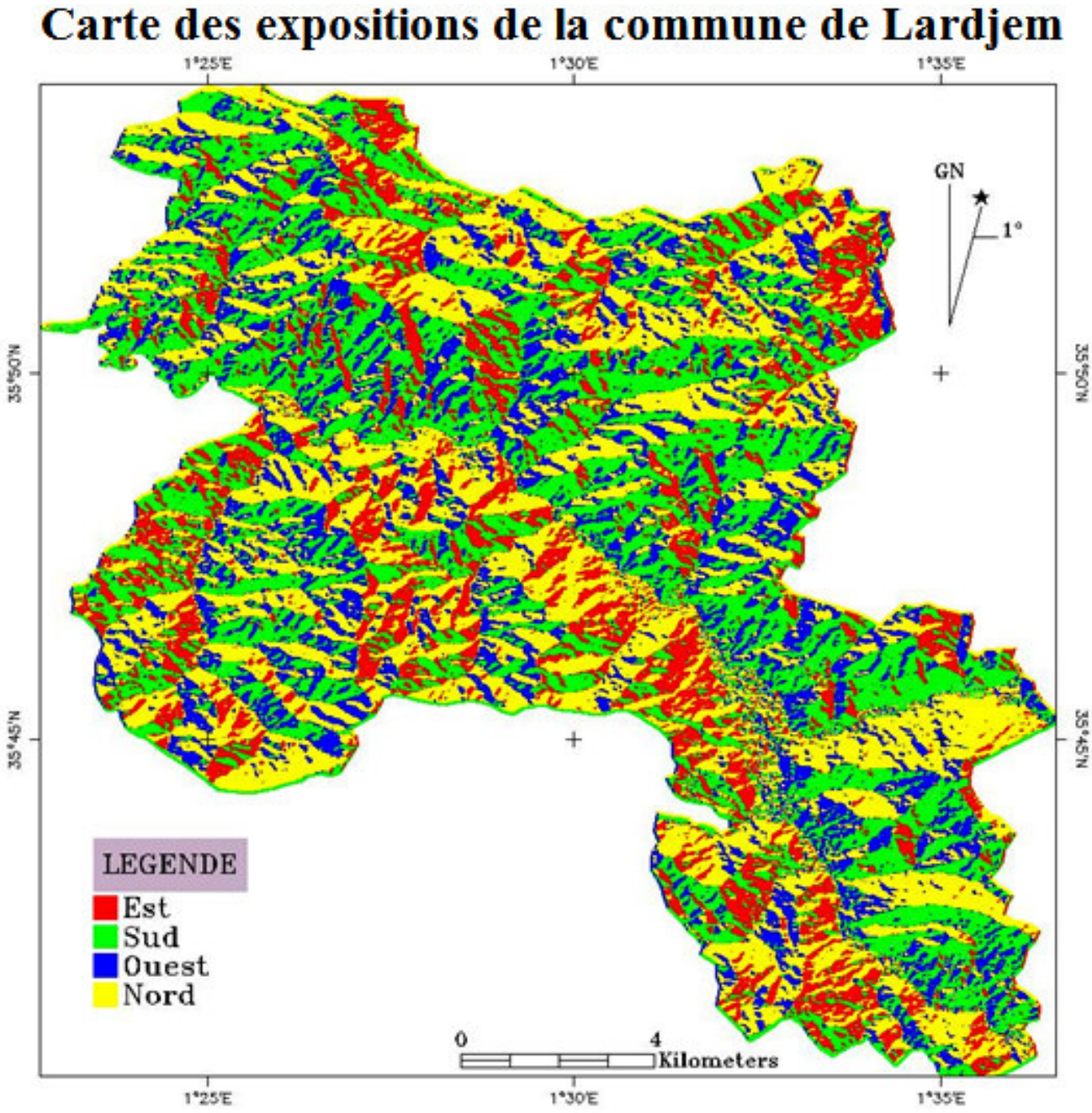

Figure № 25 : Carte des expositions de la commune de Lardjem.

2. Résultats des indices de végétation

2.1. Indice de végétation en 1987

La vectorisation des classes de l'indice de végétation pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau № 13 et la figure № 26.

D'après la figure № 26 et le tableau № 13, on constate que 43,03% de la superficie de la zone d'étude en 1987 étant des forêts dégradés, les forêts et forêts denses représentent respectivement 23,85% et 1,05%, alors que les vides constituent plus de 32%.

Tableau № 13 : Les statistiques des classes de végétation en 1987.

Classe	Superficie	pourcentage
vide	8839,5	32,04661088
Forêts dégradés	11870,82	43,03631985
Forêts	6580,8	23,85794863
Forêts denses	292,14	1,059120641
Totale	27583,26	100

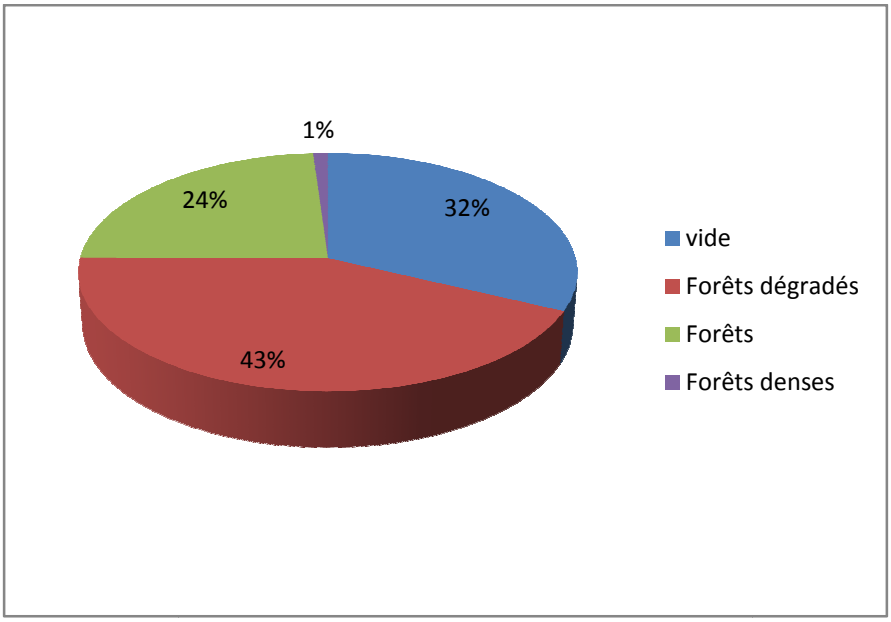

Figure № 26 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 1987.

L'indice de végétation de la zone d'étude en 1987 produit à partir d'une image Landsat 5 TM est présenté dans la figure № 27.

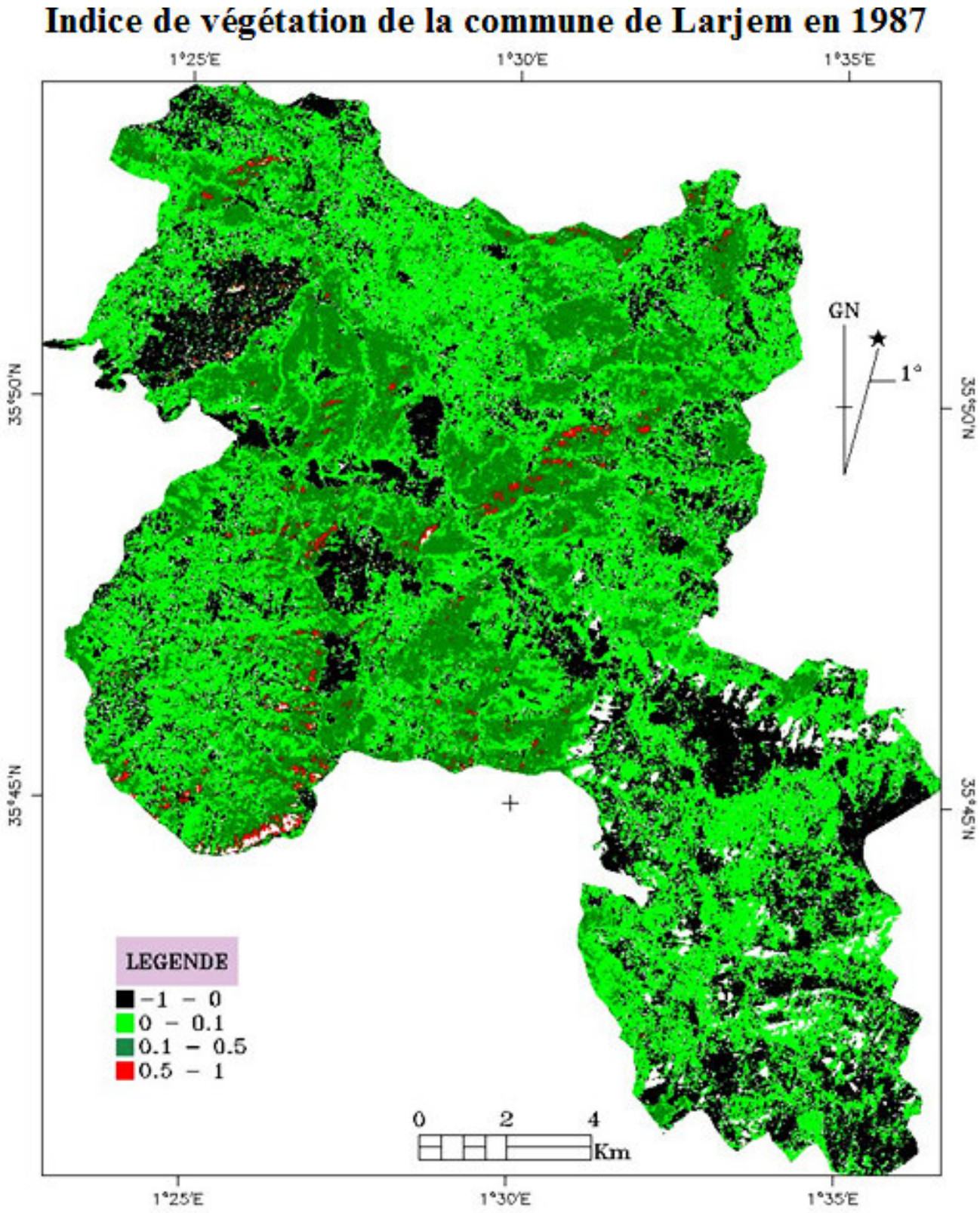

Figure № 27 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 1987.

2.2. Indice de végétation en 2000

La vectorisation des classes de l'indice de végétation pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau № 14 et la figure № 28.

D'après cette figure № 28 et le tableau № 14, on constate une grande diminution de la végétation forestière par rapport à l'année 1987. Le pourcentage de forêts dégradées devient 25,94% de la superficie de la zone d'étude au lieu de 43.03% en 1987, les forêts et les forêts denses représentent respectivement 2.99% et 0.35% au lieu de 23.85% et 1.05%, alors que la portion des vides a augmenté pour atteindre 70,70%.

Tableau № 14 : Les statistiques des classes de végétation en 2000.

Classe	Superficie	pourcentage
vide	19504	70,70939974
Forêts dégradés	7155,9	25,94285242
Forêts	825,93	2,994309605
Forêts denses	97,49	0,353438237
Totale	27583,32	100

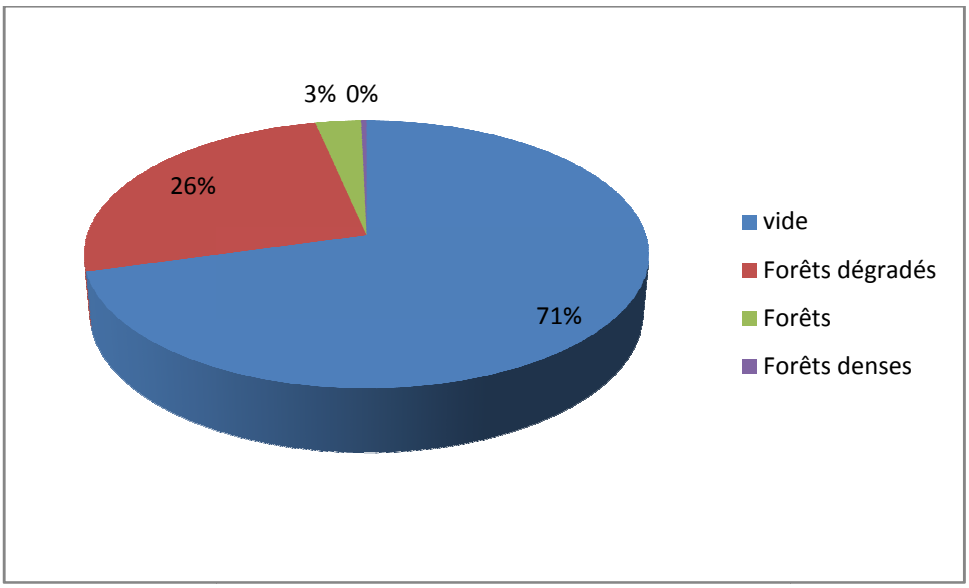

Figure № 28 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2000.

L'indice de végétation de la zone d'étude en 2000 produit à partir d'une image Landsat 7 ETM+ est présenté dans la figure № 29.

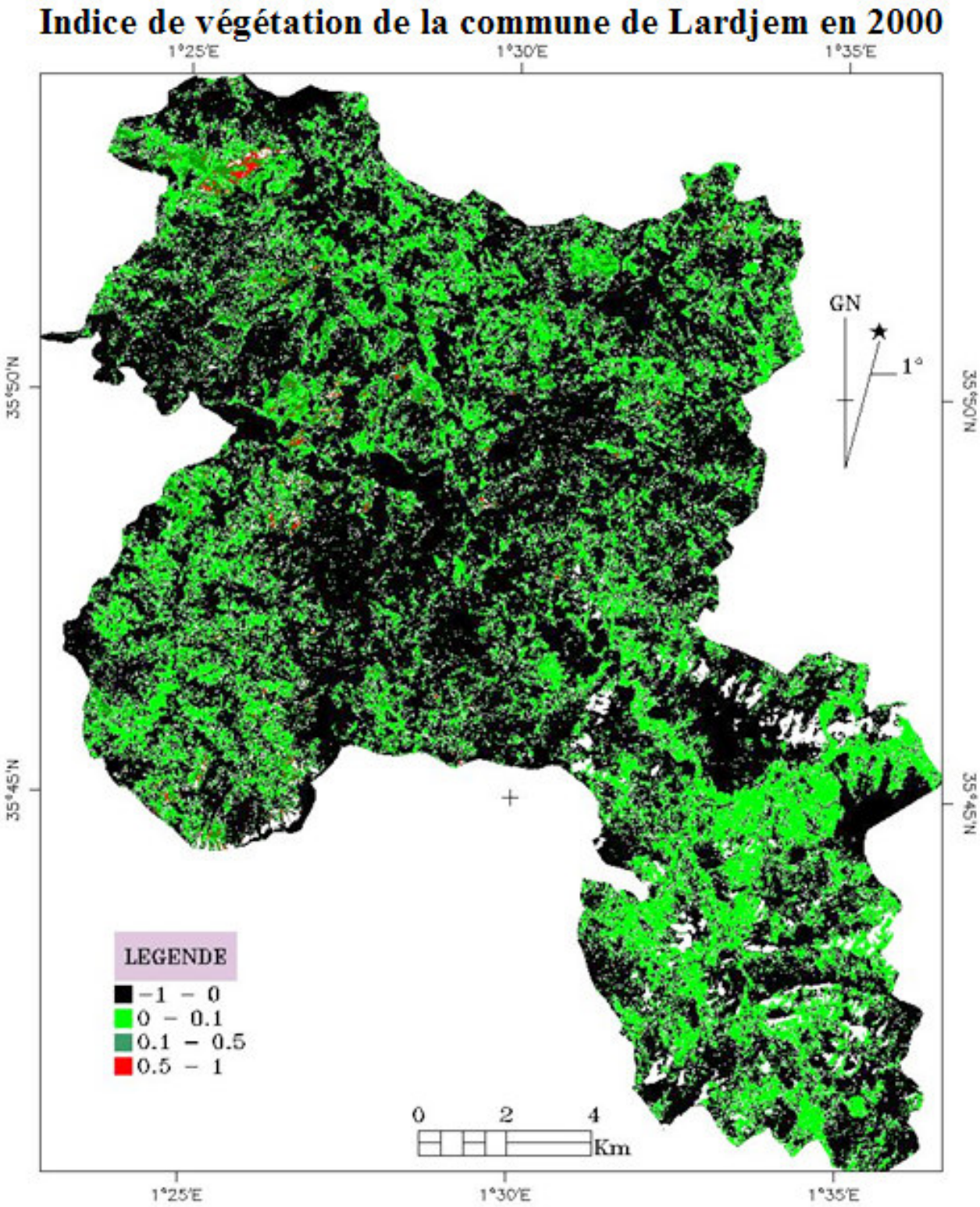

Figure № 29 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 2000.

2.3. Indice de végétation en 2012

La vectorisation des classes de l'indice de végétation pour calculer leurs superficies a permet d'obtenir les résultats présentés dans le tableau № 15.

D'après ce tableau № 15, on remarque une légère amélioration de la végétation par rapport à l'année 2000. Le pourcentage de forêts dégradées devient 30,6% de la superficie de la zone d'étude au lieu de 25,94% en 2000, les forêts et les forêts denses représentent respectivement 10,87% et 0.87% au lieu de 2.99% et 0.35%, alors que le pourcentage des vides a diminué pour atteindre 57,63%. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure № 30.

Tableau № 15 : Les statistiques des classes de végétation en 2012.

Classe	Superficie (ha)	pourcentage
vide	15898,32	57,63618804
Forêts dégradés	8442,72	30,60739735
Forêts	3000,51	10,87775052
Forêts denses	242,37	0,878664091
Totale	27583,92	100

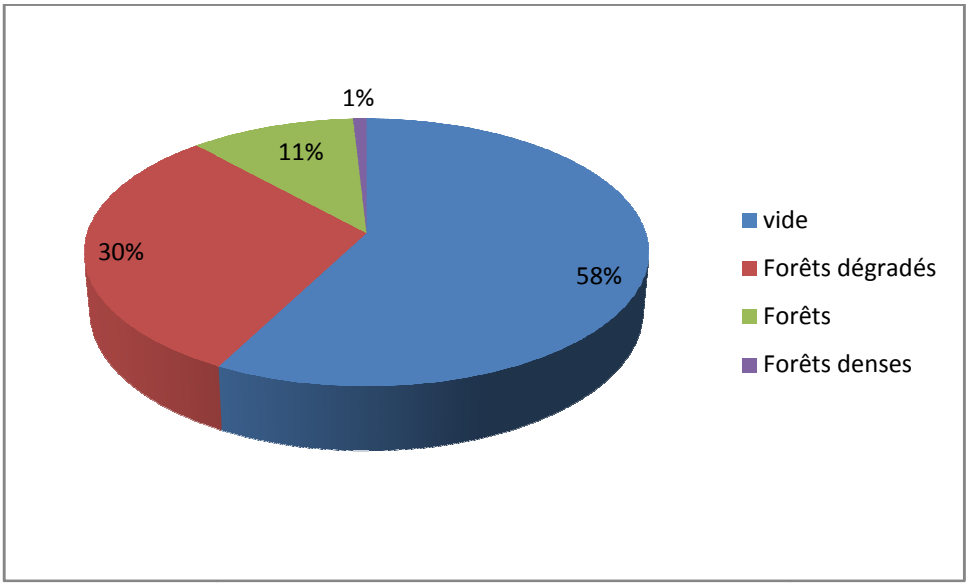

Figure № 30 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2012.

L'indice de végétation de la zone d'étude en 2012 produit à partir de l'image Landsat 7 ETM+ est présenté dans la figure № 31.

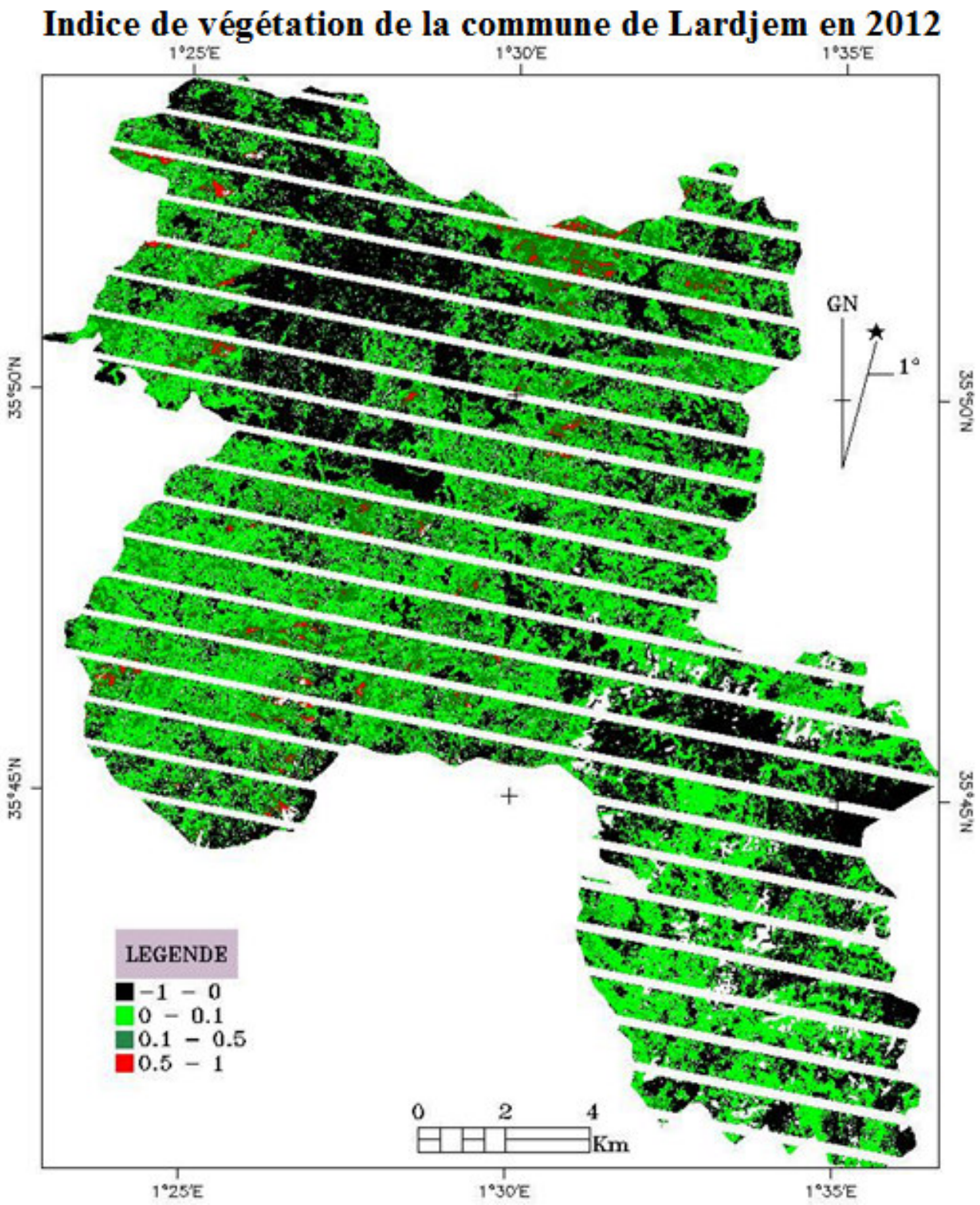

Figure № 31 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 2012.

2.4. Indice de végétation en 2014

La vectorisation des classes de l'indice de végétation pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau № 16.

D'après le tableau № 16, on remarque une autre légère amélioration de la végétation forestière par rapport à l'année 2012. Le pourcentage de forêts dégradées devient 36,14% de la superficie de la zone d'étude au lieu de 30,6% en 2012, les forêts et les forêts denses représentent respectivement 11,99% et 1,05% au lieu de 10,87% et 0.87%, alors que le pourcentage des vides a diminué pour atteindre 50,8%. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure № 32.

Tableau № 16 : Les statistiques des classes de végétation en 2014.

Classe	Superficie	pourcentage
vide	14012,87	50,8014545
Forêts dégradés	9970,91	36,1479647
Forêts	3309,66	11,9986514
Forêts denses	290,16	1,05192941
Totale	27583,6	100

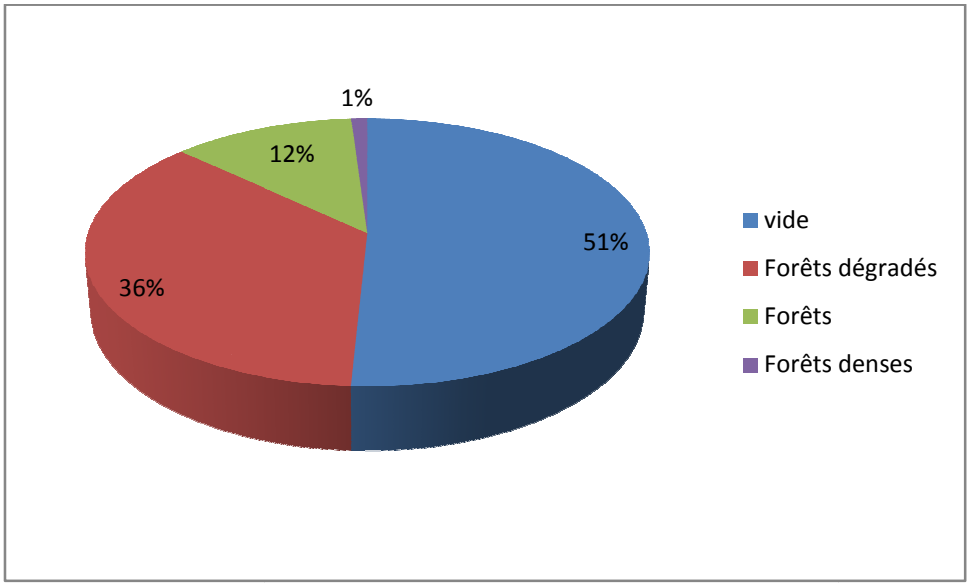

Figure № 32 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2014.

L'indice de végétation de la zone d'étude en 2014 produit à partir de l'image Landsat 8 OLI est présenté dans la figure № 33.

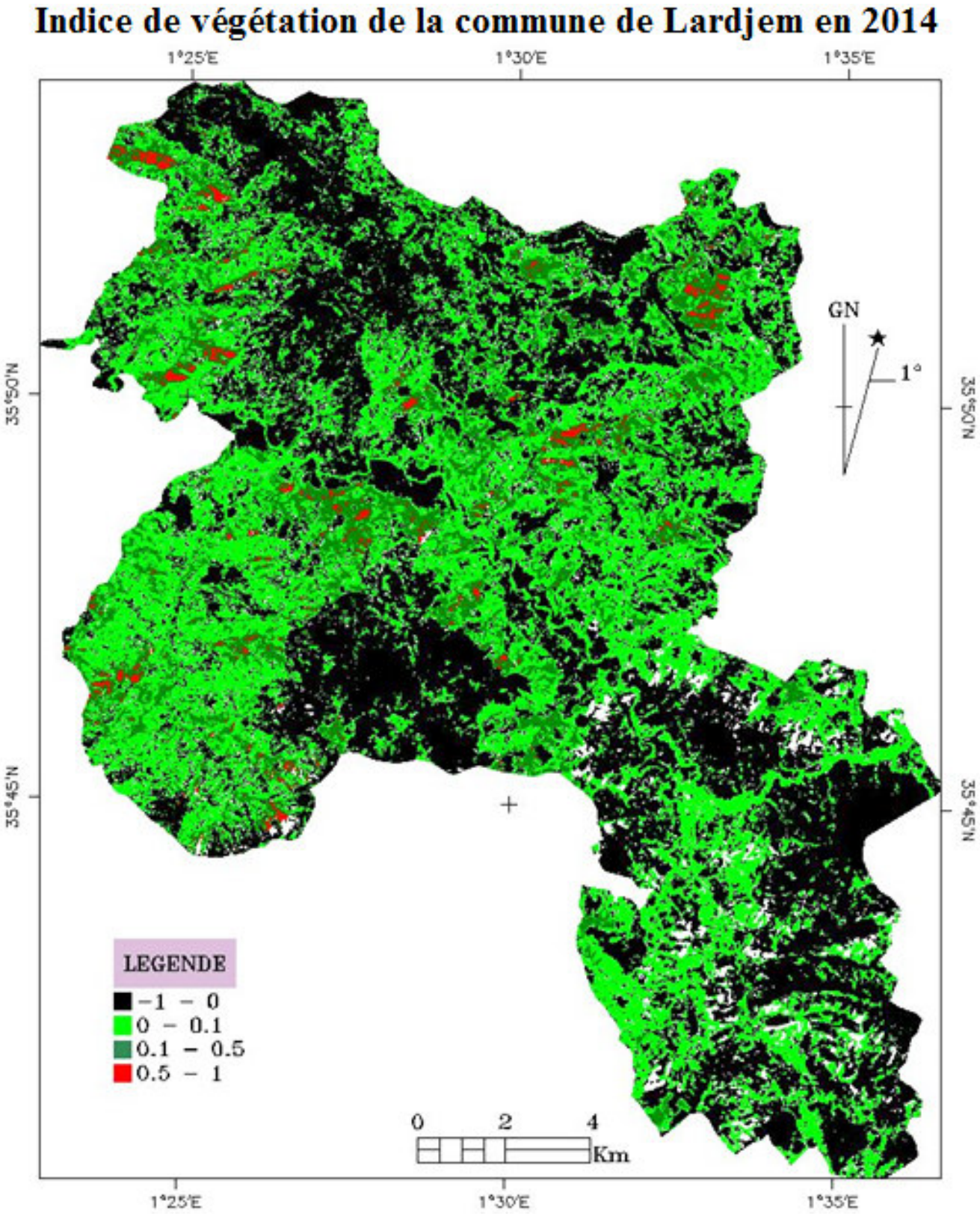

Figure № 33 : Indice de végétation de la commune de Lardjem en 2014.

3. Résultats de la régénération forestière dans la zone incendie en 2012

3.1. État de la zone en 2012

La vectorisation des classes de l'indice de végétation pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau № 17.

D'après le tableau № 17, on constate que 11,43% de la superficie de la zone était des forêts dégradés, les classes « forêts » et « forêts denses » représentent respectivement 1.6% et 0.09%, alors que les vides constituent plus de 86.86%. Les résultats obtenus juste après l'incendie (image 2012) sont bien illustrés par la figure № 34.

Tableau № 17 : Les statistiques des classes de végétation en 2012.

Classe	Superficie	pourcentage
vide	2084,76	86,8671717
Forêts dégradés	274,32	11,4302858
Forêts	38,52	1,60504013
Forêts denses	2,34	0,09750244
Totale	2399,94	100

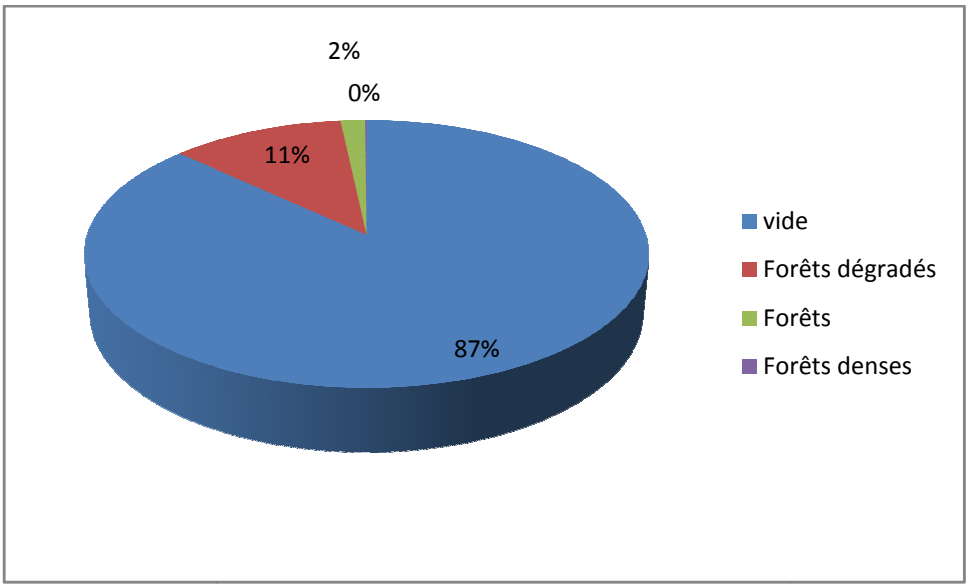

Figure № 34 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2012.

L'indice de végétation de la zone prise comme référence en 2012 produite à partir d'une image Landsat 7 ETM+ prise juste après l'incendie est présenté dans la figure № 36.

3.1. État de la zone en 2014

La vectorisation des classes de l'indice de végétation pour calculer leurs superficies a permis d'obtenir les résultats présentés dans le tableau № 18.

D'après ce tableau № 18, on remarque une amélioration très claire de la végétation forestière par rapport à l'année 2012. Le pourcentage de forêts dégradées devient 23,42% de la superficie de la zone au lieu de 11.43% en 2012, les forêts et les forêts denses représentent respectivement 4,64% et 0.17% au lieu de 1.60% et 0.09%, alors que le pourcentage des vides à diminuer pour atteindre 71.75%. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure № 35.

Tableau № 18 : Les statistiques des classes de végétation en 2014

Classe	Superficie	pourcentage
vide	1722,01	71,7537054
Forêts dégradés	562,14	23,4235736
Forêts	111,51	4,64646296
Forêts denses	4,23	0,17625808
Totale	2399,89	100

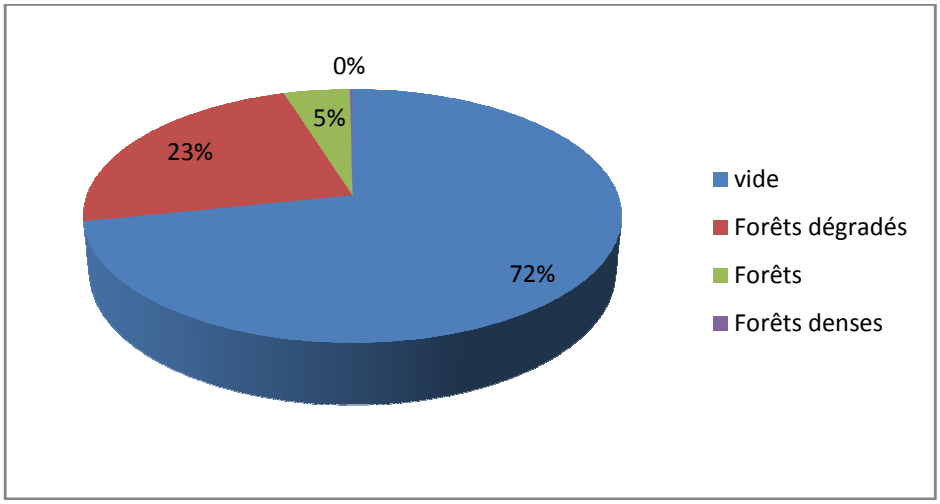

Figure № 35 : Représentation graphique de la superficie des classes de végétation en 2014.

L'indice de végétation de la zone prise comme référence en 2014 produit à partir de l'image Landsat 8 OLI est présenté dans la figure № 37.

Sur le terrain on a remarqué que la régénération de l'espèce « thuya de Berbérie » est nettement meilleure par rapport aux autres espèces forestières (Photos 03, 04, 05 et 06), notamment sur les versants orientés vers le Nord.

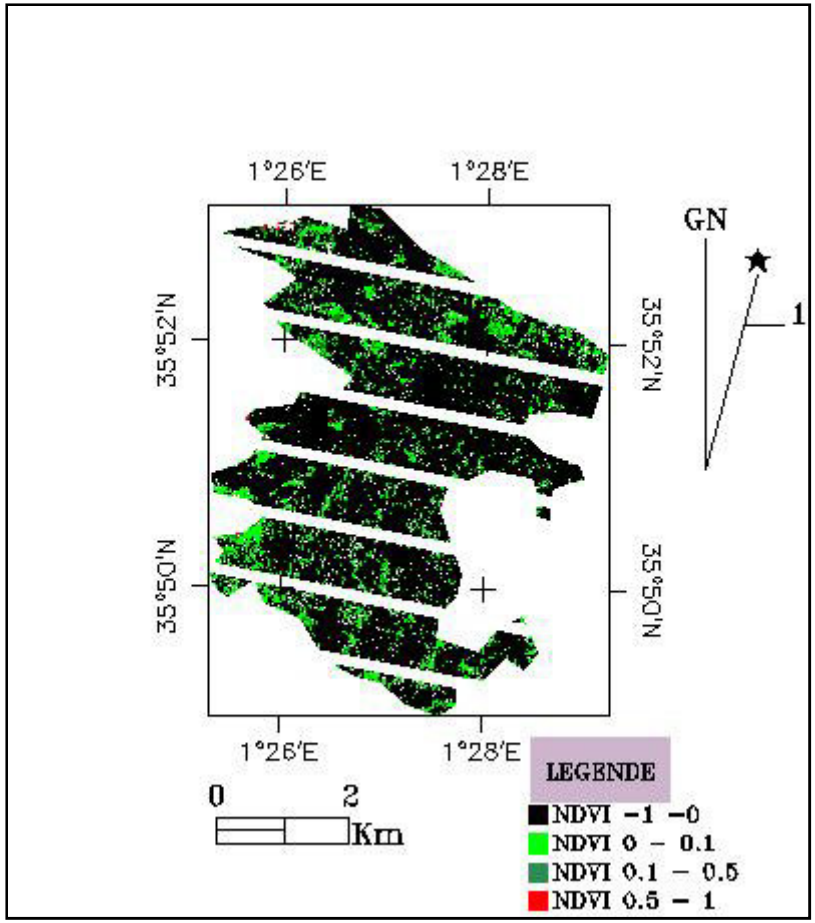

Figure № 36 : Indice de végétation de la zone incendie en 2012.

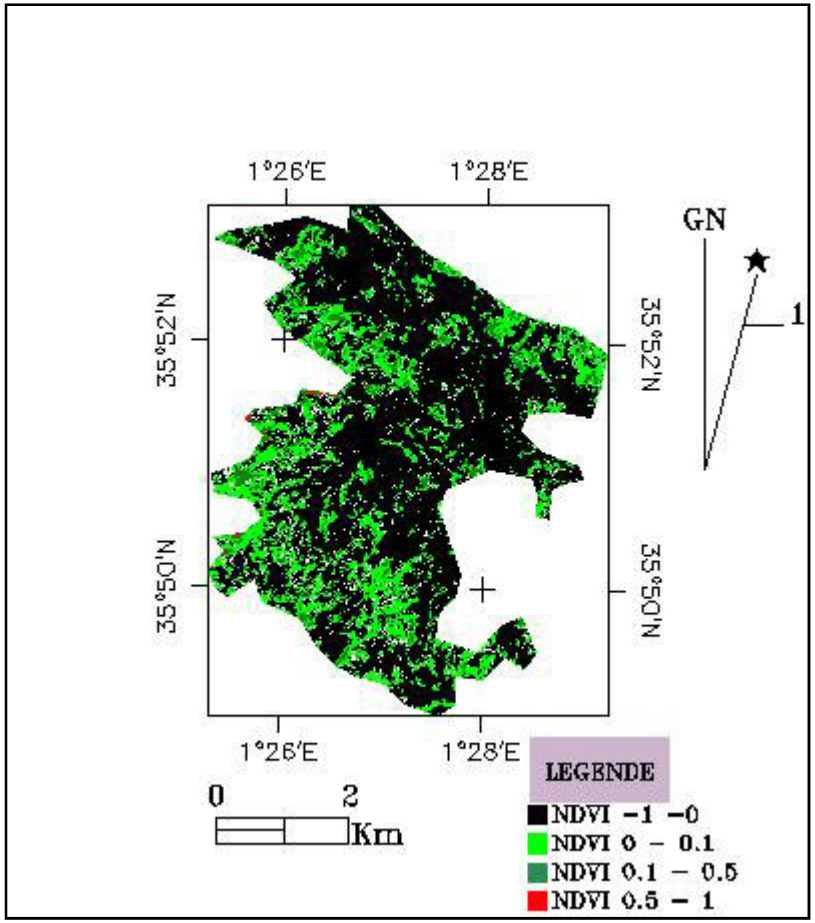

Figure № 37 : Indice de végétation de la zone incendie après deux ans.

Photo№ 03 : Une belle reprise du Thuya de Berbérie.
Photo prise le 07 Mai 2015.

Photo № 04 : Une belle régénération du Thuya de Berbérie.
Photo prise le 07 Mai 2015.

Photo№ 05 : Meilleure reprise sur le versant Nord.
Photo prise le 05 Mai 2015 par TIR ELhadj.

Photo № 06 : Meilleure régénération du Thuya de Berbérie.
Photo prise le 05 Mai 2015 par TIR ELhadj.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans cette étude nous avons établi les différentes cartes des paramètres topographiques (altitude, pente, exposition) de la zone d'étude, et nous avons établi les cartes de végétation à différents dates, en utilisant l'indice de végétation (NDVI).

Les résultats obtenus montrent une dominance de la plage d'altitude allons de 600 à 800 m, avec plus de 52% de la superficie globale de la zone d'étude, et plus de 95% de cette superficie allons de 500 à 999 m d'altitude. La zone d'étude est dotée d'une pente moyenne (12,5 – 25%) qui constitue plus de 43%, alors que la pente forte (excèdent 25%) constitue 31%. L'exposition la plus dominante est celle du nord (32,7%), suivi par l'exposition sud (31,33%), tandis que l'exposition ouest et l'exposition est représentent respectivement 18,55% et 17,4%.

La présente étude, basée sur l'utilisation de l'outil géomatique a permis d'avoir une vision sur l'état de la forêt de la commune de Lardjem (Wilaya de Tissemsilt) entre 1987 et 2014.

Les indices de végétation montrent que la forêt a subi un grand changement régressife durant la décennie 90. En 1987, les vides ne constitués que 32% de la superficie totale de la Zone d'étude, le reste est couvert par les végétations forestières. Tandis qu'en 2000 le pourcentage des vides a augmenté pour atteindre 70,70%. Par ailleurs, la superficie des végétations a diminué pour arriver à 29.3%, dont 25,94% sont des forêts dégradées.

L'image de 2012 montre une légère amélioration de la végétation par rapport à l'année 2000. Le pourcentage de forêts dégradées devient 30,6% de la superficie de la zone d'étude au lieu de 25,94% en 2000. Les forêts et les forêts denses représentent respectivement 10,87% et 0.87% au lieu de 2.99% et 0.35%, alors que le pourcentage des vides a diminué pour atteindre 57,63%.

Même constat pour l'image de 2014 où une légère amélioration de la végétation forestière par rapport à l'année 2012 est constatée. Le pourcentage des forêts dégradées devient 36,14% de la superficie de la zone d'étude au lieu de 30,6% en 2012. Les classes « forêts » et « forêts denses » représentent respectivement 11,99% et 1,05% au lieu de 10,87% et 0.87%, alors que le pourcentage des vides a diminué encore plus pour atteindre 50,8%.

Concernant la partie la plus touchée par les feux (incendie en 2012) et prise comme zone référence, on a constaté une régénération importante du couvert végétal forestier en 2014. Le pourcentage de la classe « forêts dégradées » devient 23,42% de la superficie de la zone au lieu de 11.43% en 2012. Les classes « forêts » et « forêts denses » représentent respectivement 4,64% et 0.17% au lieu de 1.60% et 0.09%, alors que le pourcentage des vides a diminué pour atteindre 71.75% au lieu de 86,86%.

Cette régénération n'était pas homogène pour toute la zone prise comme référence. On a remarqué que certains endroits présentent une forte régénération, alors que pour d'autres la reprise végétale était faible. L'outil de la télédétection nous a permis de balayer toute la zone et de détecter ces différents endroits avec leur taux de régénération.

Sur le terrain nous avons constaté que le thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) présente une meilleure régénération par rapport aux autres espèces, ce qui traduit un bon indice de végétation dans les zones couvertes par cette espèce.

Les SIG et la télédétection peuvent fournir des renseignements utiles, et une aide aux responsables à la prise de décision dans la gestion des écosystèmes. La perspective est de généraliser l'utilisation de l'outil géomatique, car il permet de suivi les changements environnementaux, notamment pour des grandes superficies.

Ce travail quoi que important doit être complété et enrichit par des études futures plus approfondies, englobant toute la zone forestière de la Wilaya de Tissemsilt, tout en précisant les obstacles de la régénération naturelle et en proposant les aménagements a faire.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Ammari M., 2011.** Etude de la dimension fractale du front dans un système désordonné binaire. Application aux feux de forêt. Thèse Magister. *Univ* Oran. Algérie, 90 p.
- **Arfa A., 2003.** Les incendies de forêts dans l'extrême Nord-Est algérien : cas des wilayas de Skikda, Annaba et Tarf, période 1990-2000. *Mém ing* d'Etat. *Univ* Constantine. 82p.
- **Arianoutsou M., 1999**. Aspects of demography in post-fire mediterranean plant communities of Greece. Ecological studies 136. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. 273 – 295.
- **Ashok K M., 2008.** Information to Geographical Information system. Concept publishing campany. First published., New Delhi., 37 p.
- **Badaoui K., 2007.** Etude phytosociologique et phytoécologique de la forêt de djebel nador par utilisation d'un système d'informations géographiques. Mémoir *ing.* Univ. Tiaret., 73 p.
- **Barsi J., 2005.** Landsat 7 Scan Line Corrector-off Gap-filled Product Development. Global Priorities in Land Remote Sensing. Pecora (16). Landsat Team Science Introduction. [En ligne] http://landsat.usgs.gov/science_LST_Introduction.php (dernière visite Janvier, 2015)
- **Belhadj-Aissa M., Belhadj-Aissa A. et Smara Y., 2003.** Application du SIG et de Télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie. 2nd *FIG* regional conference., Marrakech., 2 p.
- **BNEDER., 2009**. Plan national de développement forestier (PNDF). Rapport de synthèse nationale, Alger. 85p.
- **Boloorani A. D., Erasmi S., & Kappas M., 2008.** Multi-Source Remotely Sensed Data Combination: Projection Transformation Gap-Fill Procedure. Sensors, (8) : 4429-4440.
- **Carbonell G., Dusserre G. & Sauvagnargues S., 2004.** Embrasement généralisé éclair en feu de forêt. Le sage Lieutenant-colonel J.P. Monet.
- **CEMAGREF., 1994.** Plans de prévention des risques naturels, risques d'incendies de forêt. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. France. 81p.

- **Centre Canadien de Télédétection**., **2007**. Notions fondamentales de télédétection. 266p.
- **Colin P.Y., Jappiot M., Mariel A., Lampin C. & Veillon S., 2001.** Protection des forêts contre l'incendie. Edit. FAO/C.E.M.A.G.R.E.F. *Cahier* FAO Conservation n°36. 149 p.
- **Daskalakou E.N. & Thanos C.A., 2004**. Post-fire regeneration of Aleppo pine – the temporal pattern of seedling recruitment. *Plant Ecol*., 171: 81 - 89.
- **De Granville J.J.**, **1978.** Forest flora and xeric flora refuges in French Guyane during the late Pleistocene and the Holocene. Communication, *5th Internat. Sympos. Assoc. Trop. Biol. Caracas*, 45p.
- **De Luis M., Raventos J., Wiegand T. & González-Hidalgo J.C., 2008**. Temporal and spatial differentiation in seedling emergence may promote species coexistence in Mediterranean fire-prone ecosystems. *Ecography*., 31: 620 – 629.
- **Delvaux M. & Nys C., 2002.** Géographie : Lire le monde. De Boeck Edition, Bruxelles. 296 p. ISBN : 2-8041-4075-X.
- **Dewitz J., 2004.** Assessment of Landsat 7 ETM+ SLC-off Gap-filled Data for Impervious Surface and Canopy Cover Estimation. USGS EROS Data Center. [En ligne] http://landsat.usgs.gov/ (dernière visite Fevrier, 2015).
- **DRE., 2008**. Schéma Directeur de la wilaya de Tissemsilt., Mission 1., Etat des lieux., 79 p.
- **Duguy B & Vallejo V.R., 2008.** Land-use and fire history effects on post-fire vegetation dynamics in eastern Spain. *J. Veg. Sci*., 19: 97 - 108.
- **Emran A., 2005.** Données Landsat mises à disposition pour le développement durable en Afrique. Institut Scientifique UMVA Rabat- Maroc. 52p.
- **Eugenio M., Verkaik I., Lloret F. & Espelta J.M., 2006**. Recruitment and growth decline in *Pinus halepensis* populations after recurrent wildfires in Catalogna (NE Iberian Peninsula). Forest. *Ecol. Manag*., 231: 47 - 54.
- **FAO., 1998**. Utilisation des systèmes d'information géographique dans le développement durable. 25p.
- **Fauconnier G., 1994.** Le système d'information géographique de santé., volume 7 Ed springer-verlag., Paris., 7p.
- **Frederic J**., **1992**. Modélisation du comportement du feu, influence de la pente et de la charge d'une litière d'aiguilles de pin maritime., Document PIF9205. Avignon. 29p.

- **Gillet F., 2000**. La phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologique. *Doc.Labo.Ecol.Vég* ; *Univ* de neuchâtel - Institut de Botanique. 68p.
- **Habert E.,** Qu'est ce qu'un système d'information géographique?., Laboratoire de cartographie appliquée., Institut de recherche pour le développement., France., 13p.
- **Haddouche D., 2009.** La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride et semi-aride en Algérie : cas de la région de Nâama. Thèse *doc.*, *Univ* Tlemcen., Algérie., 259 p.
- **Haddouche D., Benhanifia K et Gacemi M., 2011.** Analyse spatiale de la régénération forestière post-incendie de la forêt de Fergoug à Mascara, Algérie. *Rev* BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES., 2011., N° 307 (1) : 23-31.
- **Haddouche D., Benhanifia K et Hellal B., 2006**. Utilisation de la télédétection pour l'étude de la déforestation. Cas de la région de Djelfa (Algérie). *Rev* Écologie-Environnement, 2 : 1-14. ISSN : 1112-5888.
- **Jappiot M., Blanchi R., & Alexandrian D., 2002.** Cartographie du risque : recherche méthodologique pour la mise en adéquation des besoins, des données et des méthodes. CEMAGREF. ENSMP-ARMINES. Agence MTDA., Colloque de restitution des travaux de recherche du SIG Incendies de forêt. 4 Décembre 2002. Marseille (France).
- **Keeley J.E., 2009**. Fire intensity, fire severity and burn severity : a brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire*., 18: 116 - 126.
- **Kergomard C., 2004**. LA TÉLÉDÉTECTION AÉRO-SPA TIALE : une introduction., Cours de l'Ecole Normale Supérieure Paris. 74p.
- **Khalid F., 2008.** Contribution à l'élaboration d'un plan de prévention des risques incendie de forêt. Thèse Magister. *Univ* de Tlemcen, *Fac* des Sciences, département de forêt. Algérie, 162 p.
- **Krafft., Curnel. et Minne., 2005**. BULLETIN, (04-2005)., Association Royale des Ingénieurs issus de la FUSAGX., 32 P.
- **Labed K., Hamdadou D. et Fizuzi H., 2009.** Proposition d'un processus décisionnel pour l'aménagement du territoire. PRODUSMAGT, Journées d'animation scientifique, Alger, 1p.
- **Lhomme S., 2013**. Introduction à la géomatique (Complément de cours). 90p.
- **M.T.F., 1973**. Manuel de lutte contre les feux de forêts. Ministère des Terres et Forêts. Pierre Lefebvre. Québec. Canada. *Inc*. Sillery. 437p.

Rapport-Gratuit.com

- **Margerit J., 1998**. Modélisation et simulations numériques de la propagation de feux de forêts. Thèse *Doct*. *Inst*. National polytechnique de lorraine. Nancy. France. 260p.
- **Martin M. P et Chuvieco E., 1993.** Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images. Proceedings of International Workshop on Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management, Tessaloniki, Greece, 4-6 November 1993: 71-83
- **Meddour-Sahar O., 2014**., Les feux de forêts en Algérie : Analyse du risque, étude des causes, évaluation du dispositif de défense et des politiques de gestion. Thèse *Doc*. *Univ* Tizi Ouzou. 256 p.
- **Moro C. 2006**., Inflammabilité et siccité de la bruyère arborescente et de l'arbousier, risque spatiale de la bruyère. Institut nationale de la recherche Agronomique. 53 p.
- **Pausas J.G., Llovet J., Rodrigo A. & Vallejo V.R., 2008**. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? -A review. *In.l J. Wildland Fire*., 17: 713 - 723.
- **Polidori L**., **2002**. Introduction à la télédétection spatiale., Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes. Laboratoire Régional de Télédétection (Cayenne, Guyane Française). 60p.
- **Rebai A., 1983**. Les incendies de forêts dans la wilaya de Mostaganem (Algérie). Etude écologique et proposition d'aménagement. Thèse *Doct*. *Univ*. *Sci*. Marseille. France. 130 p.
- **Rigolot E., 2004.** Predicting post-fire mortality of *Pinus halepensis* Mill and *Pinus pinea* L. *Plant Ecol*., 171: 139 - 151.
- **Rivas M., Reyes O. & Casal M., 2006**. Influence of heat and smoke treatments on the germination of six leguminous shrubby species. *Int. J. Wildland Fire*., 15: 73 - 80.
- **Roy J. & Sonié L., 1992**. Germination and population dynamics of Cistus species in relation to fire. *J. Appl. Ecol*., 29: 647 - 655.
- **Sauvage C., 1963.** Etages bioclimatiques. *In* : Atlas du Maroc, *Com. Nat. Géogr*. Maroc, Rabat, 44 p
- **Seguin B. 1990.** La température de surface d'un couvert végétal et son état hydrique. Possibilité d'application à la surveillance des forêts par satellite. *Rev. for. Fr. t*. XIII, (Sp.): 106-111.
- **SELTZER P., 1946.** Le climat de l'Algérie. *Trav. Inst. Météorol. Phys. Globe*, Alger, Vol. 1, 219 p

- **Soudani K., 2005**. Introduction général à la télédétection. Cours en ligne Fac des Sciences d'Orsay - *Univ* Paris Sud XI. 26p.
- **Tavşanoğlu Ç. & Gurkan B., 2005**. Post-fire dynamics of Cistus spp. in a Pinus brutia forest. Turk. *J. Bot*., 29: 337 - 343.
- **Tonon M**., **2005**. Introduction à la Télédétection. IGN France International. 32p. [En ligne] http://www.imv-hanoi.com/Uploaded/Documents/Introduction%20a%20la%20teledetection%20-%.pdf (dernière visite le 24-11-2014).
- **Trabaud L. & Oustric J., 1982**. Comparaison des stratégies de régénération après incendie chez deux espèces de ciste. *Rev*. *Ecol*. (Terre Vie)., 44: 3 - 13.
- **Trabaud L., 1979**. Etude du comportement du feu dans la garigue de chêne kermès à partir des températures et des vitesses de propagations. *Ann*. *SCI*. For., pp 13-38.
- **Trabaud L., 1989** Les feux de forêts : mécanismes, comportement et environnement. France sélection éditeurs. Aubervilliers., 278p.
- **Trabaud L**., **1991**. Le feu est-il un facteur de changement pour les systèmes écologiques méditerranéens ?. Science et Changements Planétaires. Sécheresse 3 : pp 163-174.
- **Yanggen D., Angu K., & Tchamou N., 2010.** Conservation à l'échelle du Paysage dans le Bassin du Congo : Leçons tirée du programme régional pour l'environnement en Afrique Centrale (CARPE). Gland, Suisse : UICN. 284 pp.

http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=5377

الملخص

إن مشكل حرائق الغابات وتأثيرها على التطور الاجتماعي والاقتصادي في الجزائر أصبح الشغل الشاغل. إن الغابة تؤدي دورا أساسيا في هذا المجال، ولكنها تتأثر بعدة عوامل.

إن دراسة ومتابعة التغيرات التي تطرأ على الغابة يتطلب استعمال الوسائل الحديثة، وتبقى آلية الإستشعار عن بعد هي الطريقة المثلى. ومن هنا قمنا بدراسة تقنية لغابات لرجام بولاية تيسمسيلت باستعمال الإستشعار عن بعد و نظم المعلومات الجغرافية.

النتائج المتحصل عليها أثبتت تدهور المساحة الغابية خلال سنوات التسعينيات إذ ارتفعت نسبة الفراغات إلى 70,70% سنة 2000 بدل 32,04 % سنة 1987.

تحليل صور 2012 و2014 أثبت تطور ملحوظ متمثل في انخفاض الفراغات إلى 50,8% في حين أخذت النباتات مكانها.

الكلمات المفتاحية : الإستشعار عن بعد – نظم المعلومات الجغرافية – حرائق الغابات – عودة النمو – مؤشر الغطاء النباتي – تيسمسيلت – الجزائر.

Résumé

Le problème des feu de forêt est son impact sur le développement socio-économique et environnemental en Algérie est devenu une question inquiétante. La forêt étant un patrimoine qui joue un rôle très important dans cet axe, est soumis actuellement à ce phénomène causé par différents facteurs.

L'étude et le suivi des changements subis au niveau des massifs forestiers nécessitent l'utilisation des techniques nouvelles pour gérer l'espace. L'outil « télédétection » reste une voie incontournable. Ainsi, une étude technique a été menée sur la forêt de Lardjem dans la wilaya de Tissemsilt en utilisant la télédétection et les SIG.

Les résultats obtenus (cartes issues par classifications, indices de végétation) montrent des mutations régressives graves au cours des années 1990, ce qui augmente la portion des sols nue pour atteindre 70,70% en l'année 2000 au lieu de 32,04% en 1987. L'image de l'année 2012 et celle de 2014 montrent une légère amélioration traduite par une évolution progressive (régénération). Les vides ont diminués pour atteindre 50,8%, alors que le végétal prend sa place.

Mots clés : Télédétection – SIG – Feu de forêt – Régénération – Indice de végétation – Tissemsilt – Algérie.

Summary

The problem of forest fires is its impact on the socio-economic development and environmental in Algeria has become a worrisome issue. The forest being a heritage which plays a very important role in this axis, is currently subject to this phenomenon caused by different factors.

The study and monitoring of changes at the level of forest require the use of new techniques to manage space. «Remote sensing» tool remains an inescapable way. As a technical study was led on the forest of Lardjem in the wilaya of Tissemsilt by using remote sensing and SIG.

The results obtained show serious regressive changes in the 1990s, increasing the portion of bare soil and vacuum to 70.70% the year 2000 instead of 32.04% in 1987.

The image of 2012 and 2014 show a slight improvement reflects a gradual evolution. Gaps were reduced to 50.8%, while the plant takes its place.

Key words: Remote sensing - GIS - Forest fire - Regeneration - Vegetation index - Tissemsilt - Algeria.