



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du  
diplôme de Master académique en  
Domaine: science de la nature et de la vie  
Filière: Ecologie et Environnement  
Spécialité: protection des écosystèmes

Présentée par : **Bouknine Abdelhak**

*Thème*

---

**L'utilisation de la télédétection pour l'estimation de la reprise  
végétative après incendie dans le parc national de Theniet elhad  
wilaya de Tissemsilt (cantons rond-point)**

Soutenu le

Devant le Jury :

|                                   |              |               |                 |
|-----------------------------------|--------------|---------------|-----------------|
| <b>Mr Ardjane.Tedjeddine,</b>     | Président    | <b>M.A.A.</b> | Univ-Tissemsilt |
| <b>Mr Fellah.Sahnoun,</b>         | Encadreur    | <b>M.C.B.</b> | Univ-Tissemsilt |
| <b>MrBenzohra mohamed nadjib,</b> | Co-encadreur | <b>M.A.A.</b> | Univ-Tissemsilt |
| <b>Mr Mairif.Mohammed,</b>        | Examineur    | <b>M.A.A.</b> | Univ-Tissemsilt |

Année universitaire : 2020-2021

# Liste des figures

## *Dédicace*

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie :

**A** mon papa, à qui je dois mon éducation et mon instruction, que Dieu lui accorde sa grâce infinie ;

**A** ma très chère et douce mère, qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, qui s'est trop inquiétée pour cette recherche, et qui a tant veillé pour moi ;

Qu'ils trouvent ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera jamais à la hauteur de leur dévouement. Aucune dédicace ne saurait vous exprimer la profondeur de mes sentiments. Que dieu vous protège et vous garde pour nous.

**A** celui qui m'a toujours encouragé ;

**A** ma très chère épouse Houria, pour son soutien aux moments difficiles de mon travail ; et mon fils Achraf Abdelhamid

**A** mes chères sœurs Nadia, Asma, Habiba et Maroua qui ont beaucoup soutenu durant toutes mes études ; que Dieu lui prodigue guérison et santé ;

**A** mes chers frères : Khelifa, Khalil et Amine, en témoignage de mon amour fraternel et de mon attachement éternel ;

Avec toute ma tendresse, à mes neveux et nièces, meilleurs vœux de succès dans leurs études ;

**A** toute ma famille pour son affection et sa contribution à mon épanouissement.

**A** toute ma promotion de « protection des écosystèmes », université de Tissemsilt ;

**Je** dédie également ce travail à tous ceux qui m'ont apporté leur savoir et contribué à ma formation : mes instituteurs du primaire, mes professeurs du lycée, mes enseignants de la faculté des sciences et de la technologie Tissemsilt, qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect ;

Enfin je le dédie à tous mes ami(e)s que je n'ai pas cités(e)s et à tous ceux qui me connaissent. Qu'ils trouvent à travers ce travail ma sincère reconnaissance ;

**A** tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail. ;

**A** mon pays.

# Liste des figures

## *Remerciements*

A l'issue de ce travail, Je remercie avant tout mon DIEU tout puissant qui m'a comblé de ses bienfaits et m'a donné assez de force, volonté, courage et patience pour achever ce travail et de venir à bout de cette formation.

Au seuil de ce travail je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements et ma profonde gratitude à **Mr FELLAH Sahnoun M.C.B UNIV Tissemsilt**

, d'avoir accepté de suivre et d'encadrer les différentes étapes de ce travail. C'est toujours la personne qui ne cesse jamais de faire le mieux de son possible pour présenter le bon travail. Je le remercie également pour ses suggestions, sa patience, ses critiques et sa disponibilité et ses précieux conseils qu'il m'a prodigués dans le cadre de ce travail.

Je remercie aussi chaleureusement les membres du jury :

**Mr Ardjane Tedjeddine, M.A.A UNIV TISSEMSILT** qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury,

Ainsi **Mr. Mairif.Mohammed, M.A.A UNIV TISSEMSILT** pour l'honneur qu'ils m'ont attribué de bien vouloir juger mon travail.

Mes sincères remerciements à Mr Tir elhadj , pour l'aide qu'ils m'ont fournie. pour son appui ses conseils et ses précieuses orientations tout au long de ce travail. Je lui adresse mes vifs remerciements et ma reconnaissance.

Mes sincères remerciements à vont également aux chercheurs sur l'aide que nous a offert.

Je voudrais également exprimer mes remerciements à **Dr Mairif.M, Dr Bounouira y**, pour leur aide au terrain au cours de la période d'étude.

Au terme de ce travail, j'adresse mes plus vifs remerciements à **Dr Chahbar M . Dr Tefiel. H .**

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à **Dr Djetti T. pour leur aide**

Je remercie tout particulièrement **Mr Bouacha med Islem fahd (Univ- tiaret)** pour les orientations et la documentation qu'ils ont mis à ma disposition.

Je tiens à remercier **Mr Benzohra mohamed najib.**

**Mr Rabia.Y** Je lui exprime mes profonds remerciements et reconnaissance, pour les nombreuses séances de travail qu'il m'a accordées. Ses conseils et critiques qui m'ont beaucoup aidée dans l'avancement et l'orientation de ce travail.

Je remercie du fond du cœur les cadres et les personnels du parc national de Theniet El Had, d'avoir mis à ma disposition en particulier, **Mr Chereir Hamid** et pour leurs aimables accueils.

Mes remerciements aux personnels du département des sciences de la nature et de la vie à l'université de Tissemsilt.

Je tiens à remercier mes chers amis Harizi. A. A tous mes collègues de la promotion

Enfin, que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, trouve ici mes profonds et sincères remerciements.

# Liste des figures

## Liste des Acronymes

AVHRR : Advanced very high resolution radiometer.

CCRS : Canada center for remote sensing.

CCT : Centre canadien de télédétection.

CNTS : Centre national des techniques spatiales.

CRTS : Centre royal des techniques spatiales.

DGF : Direction générale des forêts.

DPAT : Direction de planification et d'aménagement du territoire.

DSA : Direction des services agricoles.

ETM : Enhanced thematic mapper.

ENVI : Environment for Visualising Images.

ERTS : Earth Resources Technology Satellite.

LIDAR : Light Détection And Ranging.

MIR : moyen infrarouge.

MSS : Multi spectral scanner.

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index ou Indice de Végétation par la Différence Normalisée.

nm : nanomètre.

ONM : Office national de la météorologie.

PIR : proche infrarouge.

Radar : Radio Détection And Ranging.

ROI : Région d'intérêt.

LLHM : Local Linear Histogram Matching .

# Liste des figures

NASA : National Aeronautics and Space Administration .

TM : Thematic Mapper .

TPF : Tranché Par Feu .

USGS : United States Geological Survey .

UTM : Universal Transverse Mercator.

P.N.T.H: parc nationale de theniet elhad.

SIG : Système d'information géographique.

SPOT : Système Polyvalent d'Observation de la Terre ou Système Probatoire d'Observation de la Terre.

T:température.

Q: le quotient pluviothermique d'Emberger.

M: température maximale du mois le plus chaud.

m: température minimale du mois le plus froid.

RBV : Caméra numérique Return Beam Vidicon.

MSS : Capteur Multispectral : Multi Spectral Scanneur.

TM: Capteur Thematic Mapper.

ETM +: Capteur Enhanced Thematic Mapper Plus.

# Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure N° 01</b> : Triangle du feu.....   | 3  |
| <b>Figure N° 02</b> : Les différents types des feux de forêts.....   | 6  |
| <b>Figure N° 03</b> : Répartition des causes par pays.....   | 7  |
| <b>Figure N° 04</b> : Conditions de déclenchement des feux de forêt .....  | 8  |
| <b>Figure N° 05</b> : Les différentes formes des feux de forêts.....   | 13 |
| <b>Figure N° 06</b> : Différentes parties d'un feu de forêt .....  | 14 |
| <b>Figure N° 07</b> : Image satellite.....   | 24 |
| <b>Figure N° 08</b> : Les étapes du processus de la télédétection.....   | 25 |
| <b>Figure N° 09</b> : Télédétection à l'aide des satellites.....   | 25 |
| <b>Figure N° 10</b> : Spectre électromagnétique .....  | 27 |
| <b>Figure N° 11</b> : Fenêtres atmosphériques .....  | 28 |
| <b>Figure N° 12</b> : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière<br>absorption, réflexion, transmission .....                                   | 30 |
| <b>Figure N° 13</b> : Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible,<br>du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen .....             | 30 |
| <b>Figure N° 14</b> : Télédétection passive et active.....   | 31 |
| <b>Figure N° 15</b> : Chronologie des missions Landsat.....  | 33 |
| <b>Figure N° 16</b> : Illustration des interactions entre le sol et la végétation, intégrées au niveau<br>de la mesure satellitaire .....                          | 38 |
| <b>Figure N° 17</b> : Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans<br>le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen ..... | 39 |
| <b>Figure N° 18</b> : Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale.....  | 40 |
| <b>Figure N° 19</b> : Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation.....  | 41 |
| <b>Figure N° 20</b> : Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la<br>végétation.....  | 41 |
| <b>Figure N° 21</b> : Situation géographique de la zone d'étude de PNTH.....   | 47 |
| <b>Figure N° 22</b> : Carte des cantons du Parc National des Cèdres de Theniet El Had .....  | 48 |
| <b>Figure N° 23</b> : Carte des expositions du Parc National de Theniet El Had .....   | 49 |
| <b>Figure N° 24</b> : Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had.....   | 50 |
| <b>Figure N° 25</b> : Carte des altitudes du Parc National de Theniet El Had.....  | 51 |
| <b>Figure N° 26</b> : Carte des sols du Parc National de Theniet El Had.....   | 52 |
| <b>Figure N° 27</b> : Carte hydrographique du Parc National de Theniet El Had .....  | 53 |
| <b>Figure N° 28</b> : courbe ombrothermique de la zone d'étude à partir de 1787 m.....   | 59 |
| <b>Figure N° 29</b> : courbe ombrothermique de la zone d'étude a 853 m.....  | 60 |
| <b>Figure N° 30</b> : Représentation des Trois (03) Points références dans le climagramme<br>D'Emberger (1966-2004).....   | 62 |
| <b>Figure N° 31</b> : Carte de végétation du parc national de Theniet El Had.....  | 64 |
| <b>Figure N° 32</b> : Carte de la zone d'étude.....  | 65 |
| <b>Figure N° 33</b> : le masque utilise.....   | 70 |
| <b>Figure N° 34</b> : le masque applique sur l'image.....  | 70 |
| <b>Figure N° 35</b> : Organigramme méthodologique des différentes étapes de la détection du<br>changement de la couverture végétale.....                           | 73 |
| <b>Figure N° 36</b> : carte des différents échantillons dans la zone d'étude.....  | 77 |

# Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure № 37</b> : Indice de végétation de canton en 30/09/2018.....   | 77 |
| <b>Figure № 38</b> : Indice de végétation de canton en 13/06/2019.....   | 79 |
| <b>Figure №39</b> : Indice de végétation de canton en 01/09/2019.....  | 79 |
| <b>Figure №40</b> : Indice de végétation de canton en 19/09/2020.....  | 80 |
| <b>Figure №41</b> : Indice de végétation de canton en 02/06/2021.....  | 81 |
| <b>Figure №42</b> : Evolution de l'indice de végétation pour les scènes 2018,<br>juin 2019 septembre 2019, 2020,202..... | 81 |

# Liste de tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau N° 01</b> : Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité.....   | 10 |
| <b>Tableau N° 02</b> : Domaines de la télédétection.....  | 23 |
| <b>Tableau N° 03</b> : Caractéristiques des différents capteurs dans les satellites LANDSAT....   | 34 |
| <b>Tableau N° 04</b> : Indices de végétation définis à partir de données de télédétection.....  | 44 |
| <b>Tableau N° 05</b> : Répartition mensuelle et annuelle de la pluviosité de 1913-1938.....   | 54 |
| <b>Tableau N° 06</b> : Précipitations annuelles corrigées à partir de la station Theniet El Had<br>enregistrées durant la période 1913-1934 .....                               | 55 |
| <b>Tableau N° 07</b> : Répartition saisonnière des précipitations (en mm).....  | 55 |
| <b>Tableau N° 08</b> : Répartition de l'humidité relative dans le parc.....   | 56 |
| <b>Tableau N° 09</b> : Données thermiques de la station de Theniet. El.Had .....  | 56 |
| <b>Tableau N° 10</b> : les données thermiques du parc national obtenues par extrapolation à<br>partir de Theniet el had 1913-1934.....  | 57 |
| <b>Tableau N° 11</b> : Direction des vents dans le parc nationale de theniet el had.....  | 57 |
| <b>Tableau N° 12</b> : Extrapolation des données de précipitations mensuelles et annuelles à<br>partir de Theniet.El.Had pour Djebel El Meddad.....                             | 58 |
| <b>Tableau N°13</b> : Répartition mensuelle et annuelle des températures pour le parc national<br>aux altitudes 853 et 1787 m (données extrapolées de la station de T.E.H)..... | 59 |
| <b>Tableau N°14</b> : valeur du quotient pluviométrique dans les 02 stations.....   | 61 |
| <b>Tableau N°15</b> : Les caractéristiques des images satellitaires utilisées.....  | 68 |
| <b>Tableau N° 16</b> : résultat d'NDVI pour chaque année par apport chaque zones.....   | 76 |



## Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste d'abréviation

Liste des figures

Liste de tableaux

Sommaire

Introduction générale

### Chapitre I : Généralités sur les incendies de forêts

|  |    |
|--|----|
| I .Introduction générale.....  | 1  |
| I .1-Définition.....   | 3  |
| I. 2-Mécanisme de feu.....   | 3  |
| I. 3- Mode de propagation.....   | 4  |
| I .3.1- La propagation par transmission de chaleur .....                 | 4  |
| I .3.1.1-Transmission par conduction.....                                | 4  |
| I .3.1.2- Transmission par rayonnement thermique.....                    | 4  |
| I .3.1.3- Transmission par convection.....                               | 4  |
| I .3.2- La propagation par déplacement des substances en combustion..... | 5  |
| I .3.2.1- Par les gaz, liquides et solides.....                          | 5  |
| I .4- Les différents types de feu.....                                   | 5  |
| I .4.1- Les feux de sol, de surface et de cimes.....                     | 5  |
| I .4.2- Les sautes de feu.....   | 6  |
| I .5- Les causes des feux.....   | 6  |
| I .5 .1- Causes naturelles.....  | 7  |
| I .5 .2- Causes humaines.....  | 8  |
| I .5.3-Causes involontaires.....   | 8  |
| I .5.4-Les imprudences.....  | 8  |
| I .6- Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts.....   | 8  |
| I .6.1-Les combustibles.....   | 9  |
| I .6.1.1- Teneur en eau.....   | 9  |
| I .6.1.2-Composition chimique.....                                       | 9  |
| I .6.2-Les facteurs atmosphériques.....                                  | 9  |
| I .6.2.1-Les précipitations.....   | 9  |
| I .6.2.2-L'humidité relative.....  | 9  |
| I .6.2.3- le vent.....   | 10 |
| I .6.2.4- la température.....  | 10 |
| I .6.3-Les facteurs topographiques.....                                  | 11 |
| I .6.3.1-L'inclinaison de la pente.....                                  | 11 |
| I .6.3.2-Exposition des pentes.....                                      | 11 |
| I .6.3.3-L'élévation du terrain.....                                     | 11 |
| I .7. Les différents types de feu.....                                   | 12 |
| I .7.1-Les feux de sols.....   | 12 |
| I .7.2-Les feux de surface.....  | 12 |
| I .7.3- Les feux de cime.....  | 12 |

## Sommaire

|   |    |
|---|----|
| I . 8-Formes et parties d'un feu de forêt .....                         | 12 |
| I .8.1- Formes des feux de forêts.....                                  | 13 |
| I.8.2-Différentes parties d'un feu de forêt.....                        | 13 |
| I .9- Facteurs influençant la régénération végétale post-incendie.....  | 14 |
| I .9.1- Fréquence du feu.....   | 14 |
| I .9.2- Intensité du feu.....   | 15 |
| I .9.3- Taille de l'incendie.....                                       | 15 |
| I. 10- Impacts des feux de forêt .....                                  | 16 |
| I .10.1- Sur le milieu naturel.....                                     | 16 |
| I .10.2- Sur les écosystèmes forestiers.....                            | 16 |
| I .10.2.1-Dommages causés par le feu.....                               | 16 |
| I .10.2.2- Effets sur le feuillage.....                                 | 16 |
| I .10.2.3- Effet sur le tronc.....                                      | 17 |
| I .10.2.4-Effet sur les racines.....                                    | 17 |
| I .10.2.5- Risque phytosanitaires.....                                  | 17 |
| I .10.2.6-Effets sur la régénération des peuplements .....              | 17 |
| I .10.3-Impact du feu sur l'environnement .....                         | 18 |
| I .10.3.1-Effets sur le sol.....  | 18 |
| I .10.3.1.1-Effet sur les propriétés physiques du sol.....              | 18 |
| I .10.3.1.2-Effet sur les propriétés chimiques du sol.....              | 18 |
| I .10.3.1.3-Effet sur les organismes du sol .....                       | 18 |
| I .10.4-Communautés végétales et écosystème .....                       | 18 |
| I .10.5-Pertes économiques .....  | 19 |
| <b>Chapitre II: la télédétection</b>                                    |    |
| II .Introduction.....   | 21 |
| II .1. Qu'est-ce que la télédétection .....                             | 21 |
| II .2. Domaines de la télédétection.....                                | 22 |
| II .3. Les données de télédétection.....                                | 23 |
| II .4- Etapes du processus de la télédétection.....                     | 24 |
| II .5. Traitements en télédétection .....                               | 25 |
| II .5.1-La source d'énergie.....  | 26 |
| II .5.2- Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère .....        | 26 |
| II .5.3- Les interactions du rayonnement avec la surface terrestre..... | 26 |
| II .5.4- L'enregistrement du signal par le capteur satellitaire.....    | 26 |
| II .5.5- La transmission et la réception des données.....               | 26 |
| II .6-Le rayonnement électromagnétique : nature et propagation .....    | 26 |
| II .6.1- Définition .....   | 26 |
| II .6.2 -Les ondes électromagnétiques .....                             | 28 |
| II .6.2.1-Emission .....  | 28 |
| II .6.2.2-Absorption .....  | 29 |
| II .6.2.3-Réflexion .....   | 29 |
| II .6.2.4-Diffusion .....   | 29 |
| II .7- Interactions du rayonnement électromagnétique.....               | 29 |
| II .8- Signatures spectrales des principales surfaces naturelles .....  | 30 |
| II .9- Les types de la télédétection .....                              | 31 |

## Sommaire

|   |    |
|---|----|
| II .9.1- Capteur passif .....   | 31 |
| II .9.2- Capteur actif .....  | 31 |
| II .10- Les résolutions .....   | 31 |
| II .10.1- Résolution spatiale .....   | 31 |
| II .10.2-Résolution temporelle .....  | 32 |
| II .10.3-Résolution spectrale .....   | 32 |
| II .10.4-Résolution radiométrique.....  | 32 |
| II .11-Les notions de l'image satellitaire.....   | 32 |
| II .12-Les programmes de la télédétection.....  | 32 |
| II .12.1-Programme LANDSAT.....   | 33 |
| II .13-Méthodes des traitements utilisées en télédétection.....                         | 34 |
| II .13.1-Acquisition et stockage des données.....                                       | 34 |
| II .13.2-Les prétraitements.....  | 35 |
| II .13.2.1-Corrections atmosphériques .....   | 35 |
| II .13.2.2-Correction radiométrique .....   | 35 |
| II .13.2.3-Corrections géométriques .....   | 35 |
| II .13.3-Analyse d'une image.....   | 35 |
| II .13.3.1-Classification non supervisée.....   | 36 |
| II .13.3.2- Classification supervisée .....   | 36 |
| II .14- Signatures spectrales des sols, de l'eau, de la végétation et autre types ..... | 36 |
| II .14.1- Signature spectrale des sols.....   | 36 |
| II .14.2- Signature spectrale de l'eau .....  | 36 |
| II .14.3- Signatures spectrales de la végétation .....                                  | 37 |
| II .14.3.1-Variations de la signature spectrale de la végétation .....                  | 37 |
| II .14.3.2-Caractérisation de la structure d'un couvert végétal .....                   | 37 |
| II .14.3.3- Les propriétés optiques des feuilles .....                                  | 38 |
| II .14.3.3.1. Les pigments foliaires.....   | 39 |
| II .14.3.3.2-La structure cellulaire des feuilles .....                                 | 39 |
| II .14.3.3.3- L'influence de la teneur en eau .....                                     | 40 |
| II .14.4-Autres types de variations de la signature spectrale .....                     | 40 |
| II .15- Indices de végétation.....  | 42 |
| II .15.1- Principe .....  | 42 |
| II .15.2-Principaux indices de végétation .....   | 42 |
| II .15.3-.Autres indices .....  | 43 |

## Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

|  |    |
|--|----|
| III-Présentation de la zone d'étude .....                            | 46 |
| III. 1-Introduction .....  | 46 |
| III.2- Situation Géographique .....                                  | 46 |
| III.3- Situation Administrative.....                                 | 47 |
| III.4- Etude des caractéristiques physiques de la zone d'étude ..... | 48 |
| III.4.1- Expositions .....   | 48 |
| III.4.2- Pentes.....   | 49 |
| III.4.3- Altitudes .....   | 50 |

## Sommaire

|   |    |
|---|----|
| III.4.4-Géologie.....   | 51 |
| III.4.5-Pédologie .....   | 52 |
| III.4.6- Les ressources hydriques .....                             | 53 |
| III.4.7- Relief .....   | 53 |
| III.5-Etudes climatiques de la zone .....                           | 54 |
| III.5.1. Les précipitations.....                                    | 54 |
| III.5.2-Autres formes de précipitations.....                        | 55 |
| III.5.2.1-Le régime saisonnier .....                                | 55 |
| III.5.2.2- L'humidité relative .....                                | 56 |
| III.5.2.3-L'enneigement .....                                       | 56 |
| III.5.3-Les Températures.....                                       | 56 |
| III.5.4-Les vents .....   | 57 |
| III.5.4.1-Le sirocco.....   | 57 |
| III.5.5-Synthèse climatique .....                                   | 58 |
| III.5.5.1-Diagramme ombrothermique de Gaussen.....                  | 58 |
| III.5.5.2-L'étage bioclimatique .....                               | 60 |
| III.6. LA FLORE .....   | 62 |
| III.7. LA FAUNE.....  | 64 |
| III.8-Les stations d'étude Canton rond-point.....                   | 65 |
| III.8.1-Critères de choix .....                                     | 65 |
| III.8.2-Délimitation des stations d'étude .....                     | 65 |
| <b>Chapitre IV: Matériels et méthodes</b>                           |    |
| IV Introduction .....   | 67 |
| IV.1 -Matériels utilisés .....                                      | 67 |
| IV.1 .1-Les images satellitaires.....                               | 67 |
| IV.1 .2-Les logiciels de traitement.....                            | 68 |
| IV.1 .2.1- ENVI 5.1.....  | 68 |
| IV.1 .2.2- QGIS .....   | 68 |
| IV.2- méthodes .....  | 69 |
| IV.2.1- Extraction de l'information des images Land sat.....        | 69 |
| IV.2.2-Prétraitement des images Landsat.....                        | 69 |
| IV.2.3-Création de masque.....                                      | 69 |
| IV.2.4-Prétraitements .....   | 71 |
| IV.2.5-Traitements et analyses .....                                | 71 |
| IV.2.6-Contours des feux .....                                      | 72 |
| IV.2.7-Intégration dans un Système d'Information Géographique ..... | 72 |
| IV.2.8-Détection des changements.....                               | 72 |

**CHAPITRE V: Résultats et discussion**

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| V –Introduction.....            | 75 |
| V.1-Résultat et discussion..... | 75 |
| Conclusion générale .....       | 85 |
| Références Bibliographique      |    |

# **Introduction Générale**

## Introduction générale

Sur l'ensemble des facteurs dégressions de la forêt en méditerranée et plus particulièrement en Algérie, les feux de forêt sont le facteur de dégradation le plus dévastateur par ces pertes dues à son intensité et à sa brutalité qui touchent des grandes superficies forestières et pré forestières dans des courtes périodes. Ses conséquences s'observent sur le niveau environnemental ou écologique, social et économique

La région méditerranéenne est exposée à ce danger en raison des conditions climatiques difficiles à supporter par la végétation, mais également de la forte pression anthropique (Moro, 2006).

Chaque année, ce sont plusieurs millions d'hectares qui brûlent à l'échelle planétaire. Dans le Bassin méditerranéen, 600.000 à 800.000 d'hectares sont annuellement la proie des flammes, notamment dans les pays de la rive nord de la méditerranée (Rowell et Moore, 2000 ; WWF-UICN, 2007).

Pour l'application de notre méthodologie on a choisi le Canton de rondpoint localisés au parc National de Theniet el Had dans la Wilaya de Tissemsilt, cette zone d'étude est parmi les régions les plus vulnérables aux changements à cause de leur situation géographique et leur climat.

Ce mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre concerne une étude bibliographique relative aux incendies de forêt.
- Le deuxième chapitre expose un aperçu bibliographique sur la télédétection.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude.
- Le quatrième chapitre présente le matériel utilisé et explique les méthodes de traitement et d'analyse et définit notre démarche méthodologique.
- Le cinquième chapitre présente les résultats obtenus et la discussion.
- Le travail se termine par une conclusion générale.

# **CHAPITRE I**

## **Généralités sur les incendies de forêts**



## I.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). Les feux de forêt ou incendies se déclarent dans une formation végétale, généralement de type forestière (forêts de feuillus ou/et de conifères) ou subforestière (garrigues, maquis...). Ce terme désigne globalement les feux de forêt, de maquis ou de garrigues ayant brûlé au moins 1 ha de massif (Berrichi, 2013).

## I.2- Mécanisme de 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). La réaction chimique de combustion ne peut se faire qu'à la présence de ces trois éléments. On représente de façon symbolique cette association par le triangle du feu suivant :



Figure N°01 : Triangle du feu selon Meddour-Sahar O., 2014

Dans le triangle du feu, la végétation forestière constitue le **combustible**. Par sa composition et sa structure, par sa teneur en eau, elle exigera une température plus ou moins élevée pour s'enflammer, par sa densité et sa répartition sur le terrain. (Chautrand, 1972).

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).

L'inflammation est parfois le fait d'un phénomène naturel, foudre, inflammation spontanée. Elle est plus généralement le fait de l'homme en raison de la dispersion de

l'habitat, de la pression touristique, des pratiques agricoles désastreuses (brûlages), d'équipement défectueux (lignes électriques à haute tension, dépôts d'ordures ménagères), d'imprudences (fumeurs) et de malveillance (bergers) (Chautrand, 1972).

### **I .3- Mode de propagation**

À l'exception des feux de sol, un incendie de végétation se propage principalement par convection et par rayonnement. Les sautes de feu peuvent accélérer la propagation. On distingue différents types de feu, en fonction des strates où ils se propagent (Colin et al, 2001).

#### **I .3.1- La propagation par transmission de chaleur**

L'incendie de forêt peut être décomposé en trois phases : évaporation de l'eau contenue dans le combustible, émission des gaz inflammables par pyrolyse et l'inflammation (Ghalem, 2006).

#### **I .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).

##### **I .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).

##### **I .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 supérieure 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).

##### **I .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).

### **I .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.

#### **I .3.2.1- Par les gaz, liquides et solides**

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 ré inflammation à une distance variable par un nouvel appel d'air tandis que le transfère par liquide est le transfert le plus direct est de plus en plus limité, les cuvettes de rétention permettent d'éviter ce problème. En ce qui concerne le transfère par solide, 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).

### **I .4- 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.

#### **I .4.1- Les feux de sol, de surface et de cimes**

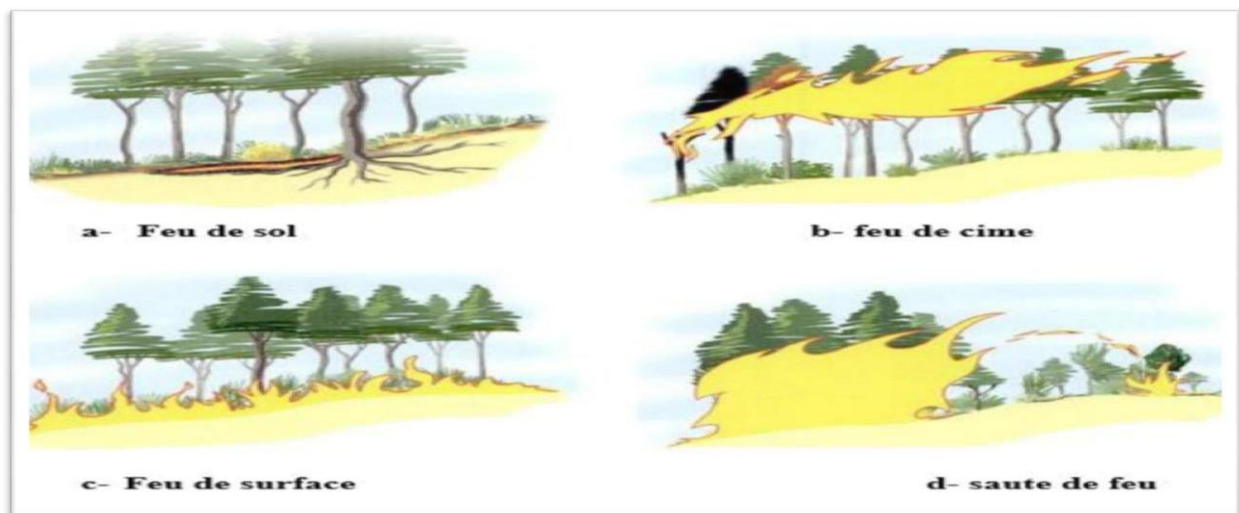
Consument la matière organique de la litière et de l'humus situé sous celle-ci et ne produisent pas de flamme apparente (fig.2). Ils peuvent pénétrer dans des dépôts organiques très profonds et cheminer à plusieurs dizaines de centimètres sous la surface. Ils sont relativement rares en région méditerranéenne. Les feux de surface brûlent les strates basses et contiguës au sol (litière, tapis herbacé, broussailles). Ce sont les plus communs. Ils se propagent rapidement, en dégageant beaucoup de flammes et de chaleur. Les feux de cimes embrasent les houppiers et se propagent rapidement. Ils sont de deux types :

-Indépendants : ils se propagent dans les cimes sans dépendre du feu de surface.

-Dépendants : ils ne se maintiennent dans les cimes qu'en raison de la chaleur dégagée par le feu de surface. Ils sont passifs, ils contribuent moins à la propagation que le feu de surface qui les accompagne.

#### I .4.2- Les sautes de feu

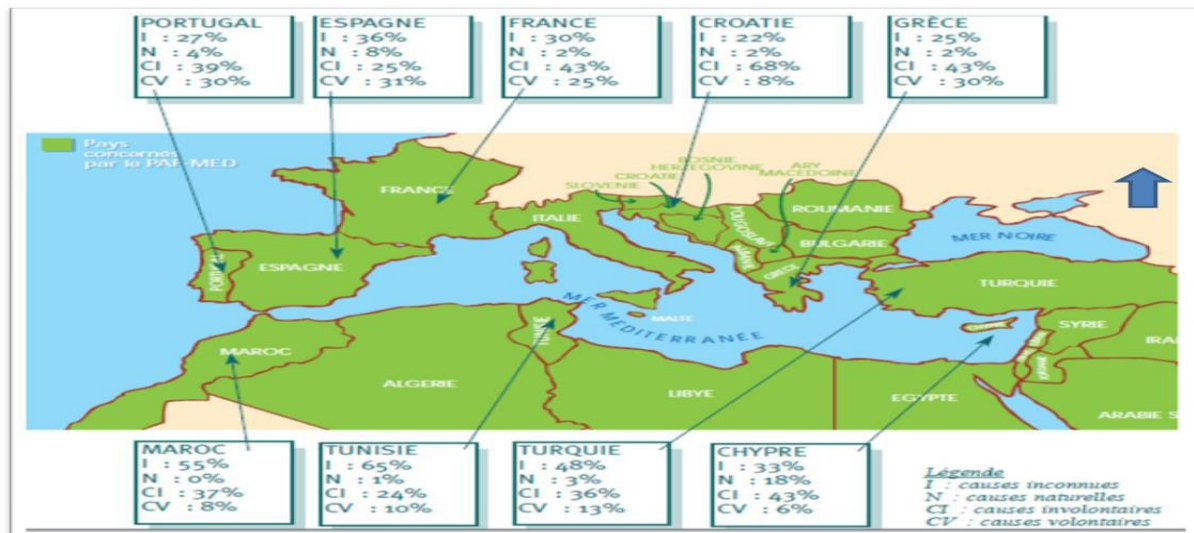
Ce sont des projections de particules enflammées ou incandescentes (brandons) en avant du front de flamme. Ces particules, entraînées dans la colonne de convection et transportées par le vent, peuvent être à l'origine de foyers secondaires à l'avant de l'incendie. Les gros brandons peuvent brûler longtemps et être transportés très loin (jusqu'à 10 ou 20 km dans les cas exceptionnels). Des sautes de feux très nombreuses (Colin et al, 2001).



**Figure N°02** : Les différents types des feux de forêts (Colin et al, 2001)

#### I .5- Les causes des feux

Les causes d'incendie de forêt sont diverses et leur répartition varie selon les zones géographiques mais aussi en fonction du temps (Long et al, 2008). Contrairement aux autres parties du monde, où un pourcentage élevé de feux est d'origine naturelle (essentiellement la foudre). Le bassin méditerranéen se caractérise par la prévalence de feux provoqués par l'homme. Les causes naturelles ne représentent qu'un faible pourcentage (de 1 à 5 % en fonction des pays), probablement à cause de l'absence de phénomènes climatiques comme les tempêtes sèches (Alexandrian et al, 1998) (fig.3).



**Figure N°03** : Répartition des causes par pays (Colin et al., 2001).

Dans le Bassin Méditerranéen, les incendies sont en grande majorité d'origine humaine, que ce soit par accident, par négligence ou intentionnellement. Cependant, la part des feux dont l'origine reste inconnue est encore importante (Long et al, 2008). Parmi les origines connues, ce sont les causes involontaires (négligence ou accident) qui sont les plus fréquentes dans l'ensemble des pays, hormis la Turquie, où les incendies criminels semblent être la majorité (Canakcioglu, H. 1986).

Les causes accidentelles varient d'un pays à l'autre. Certaines sont liées aux installations fixes (lignes électriques, décharges) et d'autres sont directement associées aux activités humaines (fours à charbon mal réglés, feux non maîtrisés, fumeurs, feux de camp, feux allumés par les bergers. Il semble, toutefois, que ces incendies involontaires soient directement liés aux activités agricoles et forestières : les parties en cause sont principalement les résidents permanents (et rarement les touristes de passage) (Alexandrian et al., 1998).

### I.5.1- Causes naturelles

La végétation ne s'enflammant pas seule, même par forte sécheresse ; l'unique cause naturelle connue dans le Bassin Méditerranéen est la foudre. Ce phénomène, très répandu en forêt boréale (orages secs), est relativement rare en région méditerranéenne où il ne concerne que 1 à 5 % des cas d'incendies. Des exceptions peuvent toutefois être observées, notamment en Espagne, où, dans certaines régions, la foudre représente 30 % des départs de feu (Aragon : 38 % et Castille la Manche : 29 %). Les éruptions volcaniques peuvent également être à l'origine d'incendies de forêt. Ce phénomène est cependant exceptionnel dans le Bassin Méditerranéen. (Colin et al, 2001).

### I.5.2- Causes humaines

Elles représentent l'essentiel des origines des incendies de forêts. Globalement, pour l'ensemble des pays du Bassin Méditerranéen, on retrouve des causes involontaires et des causes volontaires. Leur répartition dépend étroitement du contexte social, économique, politique et législatif de chaque pays (Colin et al, 2001).

### I.5.3-Causes involontaires

Elles constituent les causes principales pour la majorité des pays du Bassin Méditerranéen. (Colin et al, 2001).

### I.5.4-Les imprudences

Elles résultent de négligence par rapport aux risques d'incendie, et sont corrélées à l'importance de la fréquentation des forêts ou de leurs abords immédiats. La nature des imprudences dépend des activités en forêt et aux abords immédiats. La répartition des causes pour chaque pays est très variable :

- Pour les pays où l'économie est basée sur l'agriculture et où la pression de la population rurale est forte, les travaux agricoles et forestiers représentent une des causes les plus importantes. Les départs de feux se situent alors très souvent en bordure de forêt (Colin et al, 2001).

### I.6- 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 (TIR, 2015). Le départ de feu nécessite plusieurs facteur à savoir le climat, la végétation, la topographie et la gestion sociale et économique de l'espace (Quézel et Médail , 2003) (fig.4).

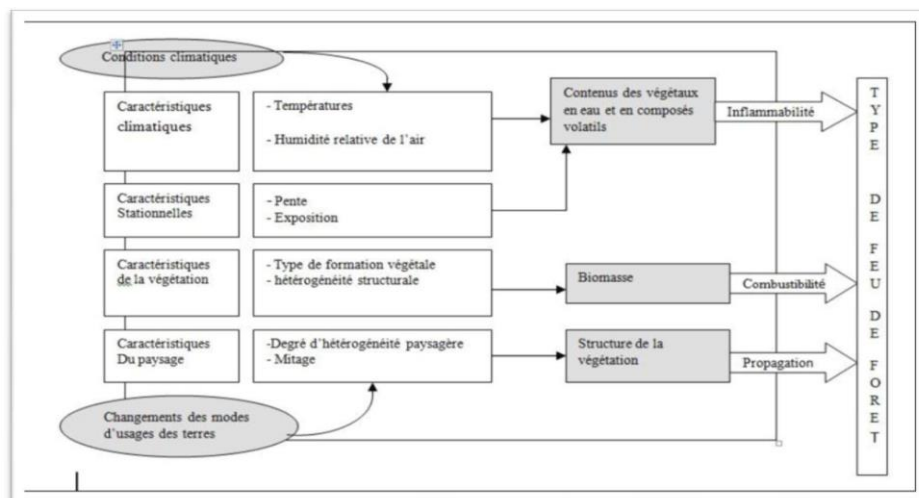


Figure № 4 : Conditions de déclenchement des feux de forêts (Quézel et Médail , 2003).

### ***I .6.1-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.

#### ***I .6.1.1- 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**).

#### ***I .6.1.2-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 dessèchement 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**).

### ***I .6.2-Les facteurs atmosphériques***

#### ***I .6.2.1-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 importants 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**).

#### ***I .6.2.2-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 N°1** : Influence du taux d'humidité sur l'inflammabilité. Source : (Margerit, 1998).

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

#### **I .6.2.3- 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).

#### **I .6.2.4- 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**).

### **I .6.3-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.

#### **I .6.3.1-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**).

#### **I .6.3.2-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**).

#### **I .6.3.3-L'élévation 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.

### ***I .7. 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.

#### ***I .7.1-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.

#### ***I .7.2-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.

#### ***I .7.3- 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 ou 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.

### ***I .8-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.

### I .8.1- 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. 05.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. 05.b) mais progresse dans la direction contraire d'où souffle le vent. Le feu prend une forme irrégulière (Fig. 05.c) en montagne et dans les pentes (Ammari, 2011).

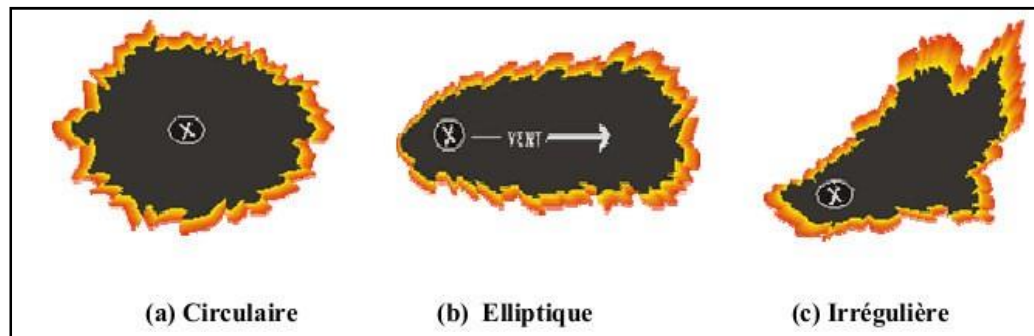


Figure N° 05 : Les différentes formes des feux de forêts (Ammari, 2011).

### I .8.2-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'avancant 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.

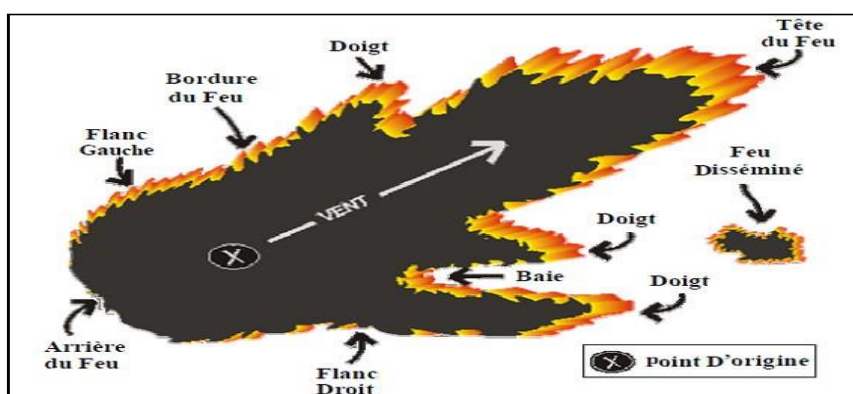


Figure N° 06 : Différentes parties d'un feu de forêt (Ammari, 2011).

### I.9- 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).

#### I.9.1- 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; Duguay et Vallejo, 2008) et entre six à huit ans pour les espèces du genre *Pinus* (Daskalidou 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 physiologie 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 (Duguay et Vallejo, 2008).

### I.9.2- 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.

### I.9.3- 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).

## **I .10- Impacts des feux de forêt**

### **I .10.1- Sur le milieu naturel**

Selon Colin (2001), le passage d'un incendie de forêt perturbe le milieu naturel à plusieurs échelles :

- Le sol peut être touché plus ou moins profondément avec apparition de risques d'érosion et destruction de la faune qu'il abrite.
- Les arbres constituant le peuplement forestier peuvent être atteints au niveau du feuillage, des troncs ou des racines, ce qui les rend ainsi sensibles aux attaques parasitaires.
- L'intensité et la fréquence des feux influent sur la dynamique de reconstitution de la végétation.
- Le feu a un impact souvent durable sur le paysage.

Les pertes économiques dues au feu sur le milieu naturel sont difficiles à estimer

### **I .10.2- Sur les écosystèmes forestiers**

#### **I .10.2.1-Dommages causés par le feu**

Le passage d'un feu se traduit par l'altération plus ou moins poussée d'organes vitaux du végétal, au niveau du feuillage, du tronc et des racines. Il en découle une perte de vigueur de l'arbre pouvant entraîner sa mort. Le degré d'altération est fonction de la combinaison des dégâts sur les différentes parties de l'arbre (feuillage, tronc, racines), résultant de la nature (feu de surface, feu de cime) et de l'intensité du feu, ainsi que de la sensibilité au feu de l'espèce. Un feu rapide provoque beaucoup moins de dommages qu'un feu lent (Trabaud, 1992)

#### **I .10.2.2- Effets sur le feuillage**

La destruction par le feu des feuilles ou des aiguilles est à l'origine de la réduction temporaire de l'activité photosynthétique. L'altération des bourgeons arrête toute croissance du rameau. La résistance de ces organes vitaux à la chaleur est variable suivant les essences. Dans certains cas, une couche de cellules protectrices recouvre les aiguilles (ex : cires) ou les bourgeons (ex : écailles). Le stade de développement du végétal conditionne également sa résistance au stress thermique. Sur le plan visuel, les effets du feu sur le feuillage se traduisent par le roussissement du houppier. Ce roussissement est

suivi par la chute des feuilles ou des aiguilles. (Colin et al, 2001).

### **I .10.2.3- Effet sur le tronc**

Peu après l'incendie, la mort survient chez les arbres dont l'écorce a été gravement lésée par le feu jusqu'à l'assise génératrice libéro-ligneuse. Chez les conifères, ces dommages débutent sur le tronc par des coulées de résine ; chez les feuillus, on observe seulement de légères boursouflures. Dans les deux cas, les fûts conservent encore leur aspect primitif mais, bien que sous l'écorce le bois demeure intact, les tissus corticaux moribonds présentent de graves lésions. Ils sont dispersés par le vent ou attirés à distance vers les arbres endommagés, par les ravageurs secondaires et pathogènes de faiblesse qui y trouvent alors des conditions propices à leur développement. (Carle, 1974). La résistance au feu varie suivant les espèces, notamment en fonction de l'épaisseur de l'écorce.

Dans le cas du chêne-liège, l'assise cambiale est protégée par le liège, matériau isolant thermiquement et qui forme une écorce épaisse (sauf si celui-ci a été levé récemment) (Fig.9) ce qui fait de cette essence l'une des moins sensibles au feu. Les branches détruites sont remplacées par de nouveaux rameaux développés à partir des bourgeons dormants (Colin et al, 2001).

### **I .10.2.4-Effet sur les racines**

L'altération du collet (zone d'insertion des racines maîtresses) est à l'origine d'une perte de vigueur de l'arbre, pouvant entraîner sa mort. L'échauffement du sol lors du passage du feu peut également être responsable de l'affaiblissement de l'arbre, les terminaisons racinaires situées dans les couches superficielles du sol étant affectées. Les feux de sol tuent les racines et les arbres (Trabaud, 1992).

### **I .10.2.5- Risque phytosanitaires**

L'altération des organes vitaux entraîne l'affaiblissement de l'arbre, qui est beaucoup plus sensible aux attaques parasitaires ou fongiques. Les peuplements brûlés peuvent alors devenir des foyers potentiels de contagion de la végétation voisine (Colin et al, 2001).

### **I .10.2.6-Effets sur la régénération des peuplements**

La survie des communautés végétales est variable selon les espèces concernées et l'intensité du feu. Un état des lieux est souhaitable pour estimer les chances d'une reprise naturelle de la végétation (rejet de souche des feuillus, production des semences pour les résineux) et pour envisager, après un diagnostic de site, une diversification de l'occupation du sol (Berrichi, 2013).

La chaleur du feu favorise la régénération de certaines essences forestières. C'est le cas

de *Quercus coccifera* en France et en Italie, de *Quercus calliprinos* en Syrie, de *Pinus brutia* en Syrie et Liban et de *Pinus halepensis*. (Konstantinidis, et Chatziphilippidis, 1994)

### **I .10.3-Impact du feu sur l'environnement**

#### **I .10.3.1-Effets sur le sol :**

Le feu altère les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol par la chaleur qu'il dégage, le déplacement et la transformation des éléments nutritifs qu'il entraîne et par la réduction de la couverture morte qu'il produit. (Robitaille, 1995).

##### **I .10.3.1.1-Effet sur les propriétés physiques du sol**

Un incendie ne cause généralement pas d'altération majeure des propriétés physiques du sol. S'il est intense et entraîne une exposition du sol minéral et en réduit la matière organique, il peut affecter la température, la texture, la structure, la densité et l'humidité du sol (Armson, 1977 ; Feller, 1982).

##### **I .10.3.1.2-Effet sur les propriétés chimiques du sol**

Par son action, le feu libère rapidement les éléments nutritifs immobilisés dans les combustibles, la végétation et le sol (Maclean et al, 1983). Le feu entraîne une minéralisation rapide de la biomasse, des litières et des humus, qui court-circuite le cycle biologique normal, au détriment des décomposeurs de l'écosystème (champignons, bactéries, microfaune) (Gherabi, 2013). Après feu, les éléments contenus dans la cendre peuvent quitter la station par lessivage, érosion et ruissellement ou s'incorporer aux sites d'échange du sol (Feller, 1982 ; Maclean et al, 1983 ; Ulery et al, 1993).

##### **I .10.3.1.3-Effet sur les organismes du sol**

La stérilisation intervient entre 50 et 125 °C et concerne généralement les 5 ou 10 premiers centimètres du sol. Ce sont les couches superficielles les plus riches en matière organique et les plus actives biologiquement qui sont les plus touchées. La microfaune est détruite et se reconstitue lentement. (Mangas, et al. 1992)

### **I .10.4-Communautés végétales et écosystème**

L'intensité, la fréquence et l'étendue des incendies forestiers dans un territoire donné définissent ensemble la notion de régime naturel des feux qui dépend en bonne partie de la végétation, du climat, des sols et de la topographie. Deux types de régimes des feux constituent les extrêmes d'une série intermédiaires : le régime de conversion de peuplement – Feux peu intenses, relativement fréquents, sur de petites superficies,



favorisant la régénération des espèces établies (Wenger, 1984).

### I .10.5-Pertes économiques

Les différents éléments qui constituent le coût d'un incendie sont :

les coûts directs : lutte contre le feu, équipements détruits (habitations, infrastructures, véhicules), forêts détruites.

Les coûts indirects : perte des usages, restauration de la végétation et des paysages, incidence sur l'économie du tourisme et des loisirs. Il est très difficile d'évaluer les pertes économiques dues à un incendie, en raison de la difficulté d'appréhender les coûts indirects.(Ceren ,1999).



**Photos d'incendie du PNEH 26/06/2019 (PNEH,2021)**

# **Chapitre II**

## **La Télédétection**

## II. Télédétection du couvert végétal

### Introduction

La télédétection se révèle être un outil tout à fait approprié pour étudier le fonctionnement et suivre l'évolution de la végétation. Grâce aux satellites il est possible en effet de cartographier les couverts végétaux à des échelles de temps et d'espace très variées. Selon UVED (2008), ils permettent en outre d'estimer le rayonnement solaire global, ainsi que certains paramètres caractéristiques des couverts végétaux, comme la quantité de biomasse, ou la fraction du rayonnement photosynthétique actif. Outils d'une meilleure compréhension des processus physiques et biologiques qui gouvernent la dynamique des écosystèmes végétaux, les données de télédétection peuvent aussi être utilisés pour s'informer sur les conséquences d'éventuels changements de la répartition des couverts végétaux, de façon à mettre en place des solutions de gestion plus durables.

### II. 1- Qu'est-ce que la télédétection ?

« C'est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans aucun contact matériel avec ceux-ci ». (*Journal Officiel du 11 décembre 1980 in Boulerie, 2008*).

#### Autres définitions :

Plusieurs définitions de la télédétection sont proposées :

" L'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"(Journal Officiel de la République Française du 11 décembre 1980 in Boulerie, 2008).

Elle permet, selon Soudani (2005), 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 véhiculées 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, phytomasse, matière organique du sol,...), etc. En outre, la télédétection constitue le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux : une source d'énergie, une cible et un capteur, et consiste à mesurer un signal électromagnétique émis ou réfléchi par une cible.

A travers CPS (2011) “La télédétection est un moyen de recueillir des informations concernant la surface de la terre sans être en contact direct avec elle. La télédétection consiste

- recevoir et enregistrer l'énergie émise ou réfléchiée par la surface de la terre. Elle suppose donc l'existence d'une source d'énergie électromagnétique, d'une cible et d'un capteur. La source peut être le soleil ou un satellite, selon le type d'énergie à capter” :

-La télédétection passive repose sur l'énergie naturelle – la lumière du soleil, par exemple

– qui est réfléchiée par la surface de la terre, ou la chaleur émise à partir de la surface de la terre.

La télédétection active utilise l'énergie émise par des satellites et renvoyée aux satellites par la surface de la terre.

Elle a pour rôle de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (Marc Robin ,2002).

## **II .2- Domaines de la télédétection**

Si à la base les applications étaient plutôt militaires, de nombreuses disciplines utilisent les images satellites (Tableau **Nº02**).

Tableau N°02 : Domaines de la télédétection. Source : UNIGE (2004), Peduzzi (2009).

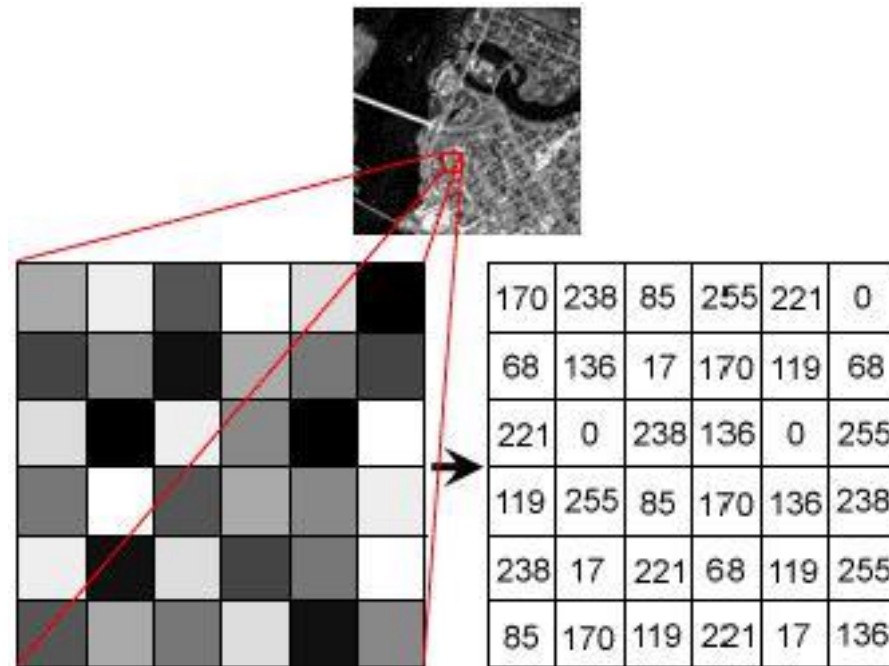
| Domaines                       | Exemples d'applications  |
|--------------------------------|--|
| Géosciences                    | Géologie, pédologie, géomorphologie...   |
| Météorologie                   | Vitesses des vents, précipitations, températures, détection des cyclones, orages...                |
| Océanographie                  | Couleur de l'eau, turbidité, hauteur des vagues, courant marin, phytoplancton, pollution marine... |
| Foresterie                     | Couverture forestière, santé des forêts, impacts après ouragans...                                 |
| Cadastre / Urbanisme           | Couverture du sol, urbanisation, contrôle des autorisations (piscines, zones bâties...)            |
| Agriculture                    | Identification des plantations, évaluation de la production...                                     |
| Environnement                  | Etudes d'impact, détection des changements...  |
| Biologie / Ecologie            | Classification des types de végétaux, étude du corail, cartographie des habitats...                |
| Télécommunication              | Carte de répartition des antennes de téléphonie mobile...  |
| Hydrologie                     | Comportements de l'eau à la surface du sol et dans le sol, cycle de l'eau...                       |
| Archéologie                    | Cartographie des sites archéologiques  |
| Santé                          | Prévision des épidémies, relations avec les changements globaux...                                 |
| Humanitaire                    | Pré-alerte de famines : réfugiés (camps)...  |
| Catastrophes environnementales | Feux de forêts, éruptions volcaniques, sécheresses, marées noires...                               |
| Changements globaux            | Désertification, variation climatiques, compositions de l'atmosphère...                            |

### II .3- Les données de télédétection

Les données de télédétection sont le plus souvent fournies en format d'images numériques. L'image correspond à une matrice de pixels. La taille du pixel correspond à la résolution spatiale et son contenu correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi ou émis. Cette intensité est exprimée en niveaux de gris. Pour chaque bande spectrale correspond une image résultante (SOUDANI K, 2005).

Et aussi l'image satellitaire :

Les informations acquises par télédétection spatiale sont restituées sous forme d'images ou l'unité de résolution est de pixel. Ce dernier est défini comme étant « la plus petite surface homogène enregistrée de la maille d'échantillonnage » (ROBIN, 1998).



**Figure.Nº 07:** Image satellite (CCT, 2005).

#### II .4- Etapes du processus de la télédétection

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. Le processus de la télédétection au moyen de systèmes imageurs comporte les sept étapes que nous élaborons ci-après (CCT, 2007) (fig.8) :

A- Rayonnement et atmosphère : durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère, une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

B- Interaction avec la cible : une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci la nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.

LK PPC- Enregistrement de l'énergie par le capteur : une fois l'énergie est diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée.

D- Transmission, réception et traitement : l'énergie enregistrée par le capteur est Transmise, souvent par des moyens électroniques à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

E- Interprétation et analyse : une interprétation visuelle et/ou numérique de

L'image traitée est en suite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

F- Application : la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraire de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

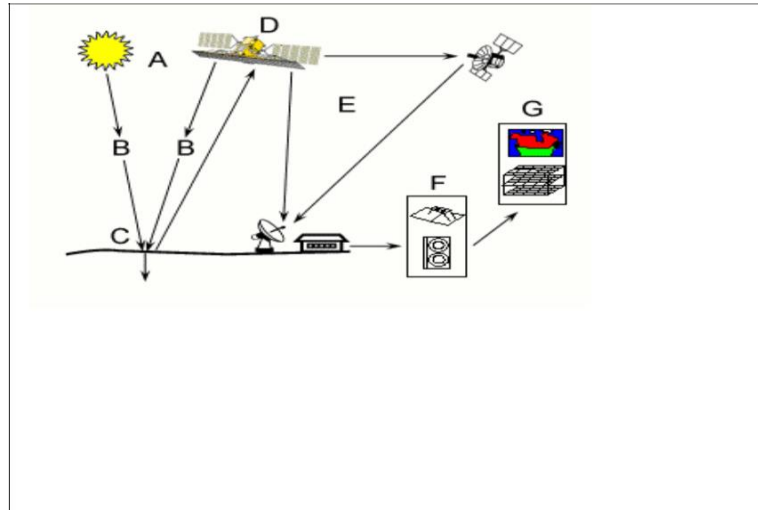


Figure N° 08 : Les étapes du processus de la télédétection (CCT, 2007).

**II .5- Traitements en télédétection :**

D'après UVED (2008), l'observation de la Terre par les satellites peut être décomposée en cinq étapes ou processus, depuis la source d'énergie qui éclaire la surface terrestre jusqu'à la réception des données par la station satellite au sol (fig.9).

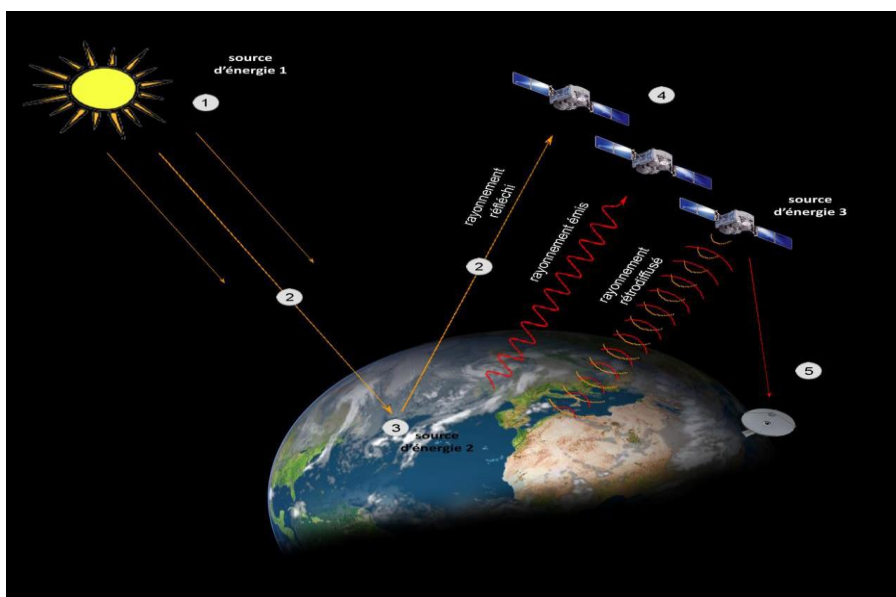


Figure N° 09 : Télédétection à l'aide des satellites (UVED, 2008).

**II .5.1-La source d'énergie**

Trois sources d'énergie sont utilisées en télédétection à savoir le soleil, la surface terrestre (domaine thermique ou celui des micro-ondes passives) et le capteur satellite (domaine des hyperfréquences).

**II .5.2- Les interactions du rayonnement avec l'atmosphère**

Lors de son trajet de la source d'énergie vers la surface terrestre, puis de la surface vers le capteur satellitaire, le rayonnement interagit avec l'atmosphère.

**II .5.3- Les interactions du rayonnement avec la surface terrestre**

Lorsque le rayonnement parvient à la surface de la Terre, il va interagir avec celle-ci. La nature des interactions est fonction à la fois du rayonnement et des propriétés spectrales des surfaces.

**II .5.4- L'enregistrement du signal par le capteur satellitaire**

L'énergie réfléchi, émise ou rétrodiffusée par la surface de la Terre est captée puis enregistrée et discrétisée au niveau du capteur satellitaire.

**II .5.5- La transmission et la réception des données**

Une fois l'énergie reçue par le capteur, elle est transmise vers une station de réception et de traitement où elle est convertie en données numériques (CPS, 2011).

**II . 6-Le rayonnement électromagnétique : nature et propagation**

La télédétection spatiale permet d'observer le système « terre /océans /atmosphère » en s'appuyant sur des méthodes d'acquisition de l'information à distance basées sur les propriétés du rayonnement électromagnétique. Les capteurs satellitaires permettent de mesurer l'énergie réfléchi et/ou émise par la surface de la terre, les océans ou par l'atmosphère et donc d'analyser et de suivre l'évolution de ces milieux au cours du temps (UVED, 2008).

**II .6.1- Définition :**

Le rayonnement électromagnétique correspond à l'ensemble des radiations émises par une source, sous forme d'ondes électromagnétiques, la répartition de ces dernières en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie, représente « le spectre électromagnétique » (fig.10).



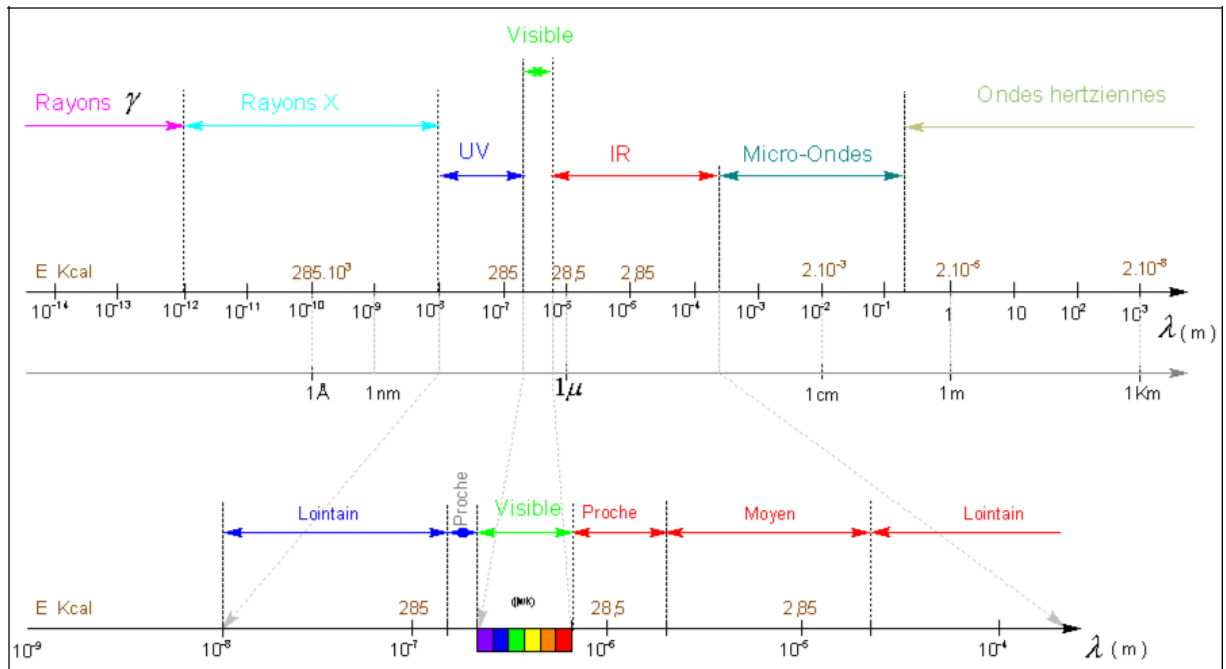


Figure № 10 : Spectre électromagnétique (Moquet, 2003).

Le spectre électromagnétique est le résultat de la décomposition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Ainsi, lorsque la lumière passe à travers un prisme, elle se décompose en plusieurs couleurs constituantes (principe de l'arc-en-ciel). Si on applique cette division en fréquences constituantes à l'ensemble du rayonnement électromagnétique, on obtient le spectre électromagnétique complet. Les longueurs d'ondes vont alors de quelques nanomètres à plusieurs milliers de kilomètres (UVED, 2008).

En partant des ondes les plus énergétiques, on distingue successivement :

- **Les rayons gamma ( $\gamma$ )** : dus aux radiations émises par les éléments radioactifs. Longueur d'onde :  $10^{-14}$  m à  $10^{-12}$  m.
- **Les rayons X** : Longueur d'onde :  $10^{-12}$  m à  $10^{-8}$  m.
- **Les ultraviolets** : Longueur d'onde :  $10^{-8}$  m à  $4 \cdot 10^{-7}$  m.
- **Le domaine visible** : C'est dans ce domaine que le rayonnement solaire atteint son maximum (0,5  $\mu$ m). Longueur d'onde :  $4 \cdot 10^{-7}$  m (lumière bleue) à  $8 \cdot 10^{-7}$  m (lumière rouge).
- **L'infrarouge** : rayonnement émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu ( $-273^\circ\text{C}$ ). Longueur d'onde :  $8 \cdot 10^{-7}$  m à  $10^{-3}$  m.
- **Les ondes radar ou hyperfréquences** : Le domaine des hyperfréquences s'étend sur des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre jusqu'au mètre.

- **Les ondes radio** : Concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde de quelques cm à plusieurs km.

Contrairement à l'œil humain qui n'est capable de capter le rayonnement que dans une fenêtre très étroite du spectre électromagnétique (0,4µm et 0,7µm), les capteurs satellitaires utilisent une fraction beaucoup plus étendue (fenêtres spectrales) (fig. 11):

- Le domaine du visible ;
- Le domaine des infrarouges (proche IR, IR moyen et IR thermique) ;
- Le domaine des micro-ondes ou hyperfréquences (télédétection RADAR).

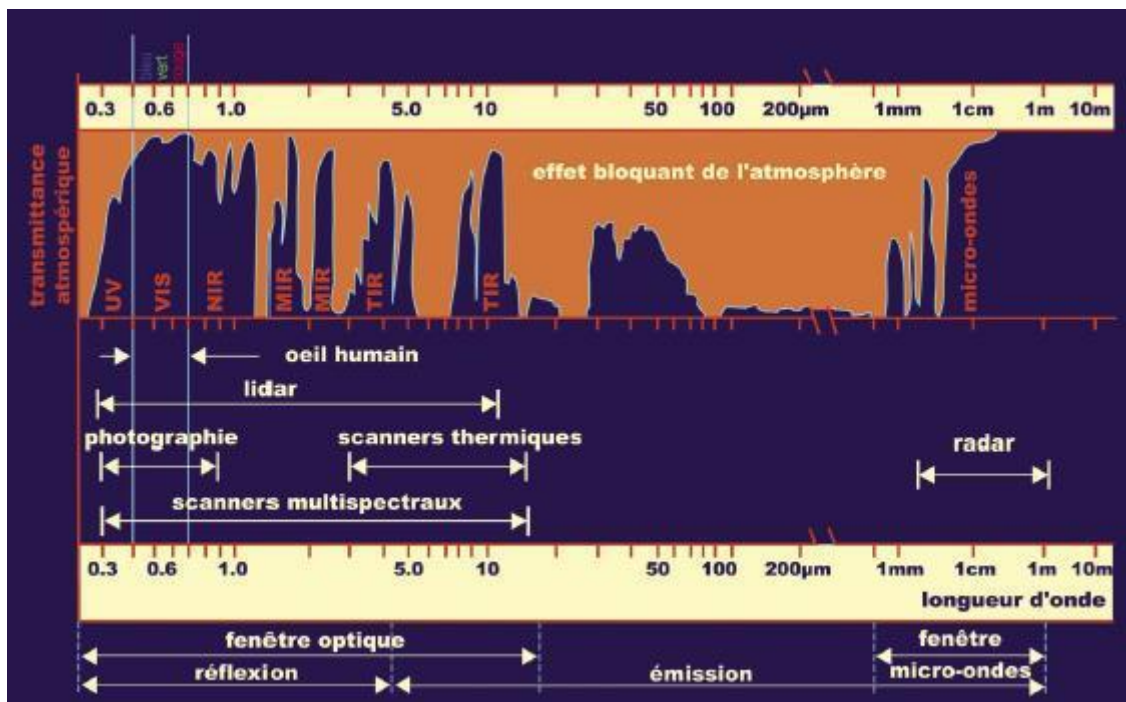


Figure N° 11 : Fenêtres atmosphériques (Lillesand et al, 2004).

Les fenêtres atmosphériques sont des régions du spectre électromagnétique qui ne sont pas absorbées de façon importante par l'atmosphère et qui sont utiles pour la télédétection.

## II .6.2 -Les ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique correspond à la vibration simultanée dans l'espace d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Une onde électromagnétique est une onde progressive et transversale ; le sens de la variation des champs est perpendiculaire à la direction de propagation. (CLAUDE. K ; 2018)

### II .6.2.1-Emission

Tout corps où la température thermodynamique est supérieure à 0 ° k (-273 °C) émet un rayonnement électromagnétique.

Énergie rayonnée dans une longueur d'onde définie, pendant l'unité de temps, par l'unité de surface d'un corps à une température déterminée. (GUERINIAI. A ; 2012)

**II .6.2.2-Absorption**

Le corps qui reçoit une quantité de REM, peut en absorber une partie, l'absorptance est le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie incidente. Les zones du spectre électromagnétique, pour lesquelles l'absorption est faible sont appelées «fenêtres atmosphériques » ; elles déterminent les bandes spectrales utilisables en télédétection. (GUERINIAI. A ; 2012)

**II .6.2.3-Réflexion**

Tout corps qui reçoit une quantité de REM, peut en réfléchir une partie. On parle d'albédo lorsqu'il s'agit d'énergie solaire réfléchi par une portion d'espace terrestre, il s'exprime en pourcentage d'énergie réfléchi. La réflexion peut être spéculaire lorsqu'elle est dirigée entièrement dans une seule direction, ou diffuse lorsqu'elle est dirigée dans toutes les directions. (GUERINIAI. A ; 2012)

**II .6.2.4-Diffusion**

On distingue la diffusion de Rayleigh (résulte de l'interaction entre le rayonnement et les molécules gazeuses dont les dimensions sont très inférieures aux longueurs d'ondes du rayonnement solaire. C'est ce qui explique la couleur bleu du ciel et sa couleur rouge au coucher du soleil) et la diffusion de Mie qui est due aux aérosols en suspension dans l'air - poussière, micro gouttelettes d'eau -qui concerne les aérosols. (GUERINIAI. A ; 2012 )

**II .7- Interactions du rayonnement électromagnétique :**

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique atteint un objet, certaines longueurs d'onde sont absorbées tandis que d'autres sont réfléchies par l'objet. Une partie du rayonnement peut éventuellement être transmise à travers l'objet si celui-ci est plus ou moins transparent, avec un changement de direction de la propagation du à la réfraction. La partie du rayonnement qui est absorbée modifie l'énergie interne de l'objet et produit de la chaleur qui sera réémise sous forme d'un rayonnement à une plus grande longueur d'onde.

Tout rayonnement (fig. 12), affectant une matière donnée, est absorbé, réfléchi ou transmis de façon à répondre à la relation :

•  $\alpha + \tau + \rho = I$ .

Où :

- = Absorption
- ;  $\tau$  = Transmission ;
- $\rho$  = Réflexion.

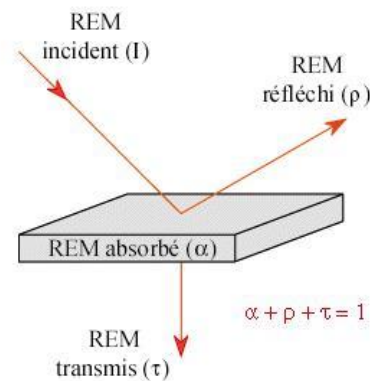


Figure № 12 : Interactions du rayonnement électromagnétique avec la matière absorption, réflexion, transmission (Bonn et Rochon, 1992).

**II .8- Signatures spectrales des principales surfaces naturelles**

En fonction de la nature et des caractéristiques intrinsèques des objets et des surfaces, le rayonnement incident interagira avec la cible. Chaque surface possède ainsi une signature spectrale (quantité d'énergie émise ou réfléchié en fonction de la longueur d'onde) qui lui est propre et qui permettra son identification sur les images satellitaires. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles.

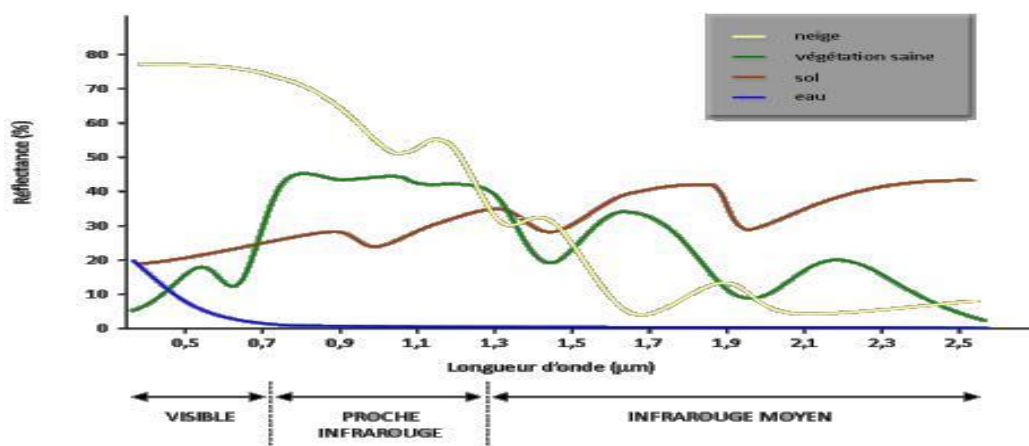


Figure № 13: Signatures spectrales des surfaces naturelles dans le domaine du visible, du procheinfrarouge et de l'infrarouge moyen (UVED, 2008).

## II .9- Les types de la télédétection

Il existe deux principaux types de satellites :

### II .9.1- Capteur passif

Il dégage un rayonnement électromagnétique qui est dirigé vers la cible. Le rayonnement réfléchi par la cible est alors perçu et mesuré par le capteur. Le capteur actif a l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. (SEMMOUD. A et ZENNAKI. O ; 2013)

On a deux sources naturelles qui émettent du rayonnement : Le Soleil (rayonnement ultraviolet, visible, proche infrarouge), La Terre (rayonnement infrarouge thermique).

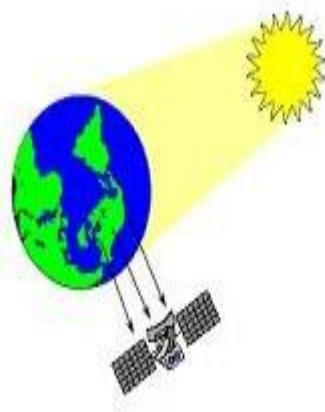
Les capteurs actifs se définissent comme étant des instruments qui émettent artificiellement de l'énergie sous forme d'impulsion à fréquence temporelle régulier est qui ont la capacité d'enregistrer le signal rétrodiffusé par les objets qui ont été en contact avec cette énergie. (SEMMOUD. A et ZENNAKI. O ;2013)

### II .9.2- Capteur actif

Mesure l'énergie disponible naturellement. Le capteur passif peut seulement percevoir l'énergie réfléchie lorsque le soleil illumine la terre. Il n'y a donc pas d'énergie solaire réfléchie le soir, tandis que l'énergie dégagée naturellement (l'infrarouge thermique) peut être perçue le jour ou la nuit. (SEMMOUD. A et ZENNAKI. O ; 2013)

Ces capteurs sont utilisés par exemple dans les satellites optiques.

Capteur passif



Capteur actif

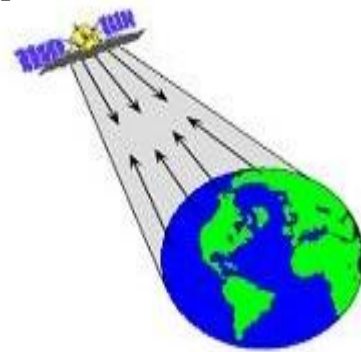


Figure N° 14: Télédétection passive et active. (CCT, 2018)

## II .10- Les résolutions

### II .10.1- Résolution spatiale

La résolution spatiale est la taille réelle (en m<sup>2</sup>, ha...) du plus petit élément représenté dans un jeu de données. Elle correspond à la dimension et aux qualités d'observation du point

élémentaire (pixel). La taille du pixel définit donc l'aptitude du capteur à distinguer deux objets proches sur la surface. Elle dépend de la fréquence d'échantillonnage du signal (Amour ;2008).

### **II .10.2-Résolution temporelle**

Le temps que prend le satellite pour enregistrer le même endroit dans les mêmes conditions : horaires, conditions d'illumination, etc., est la résolution temporelle. Le satellite, dans ce cas, a effectué un cycle orbital complet. (Golay. F ; 2007)

### **II .10.3-Résolution spectrale**

Correspond à la capacité du capteur à distinguer des signaux de longueurs d'onde différentes. Elle dépend du dispositif de filtrage optique qui sépare les rayonnements incidents en bandes spectrales plus ou moins larges. (CHABIRA. D ; 2007)

### **II .10.4-Résolution radiométrique**

Exprime l'aptitude du capteur, dans une bande spectrale considérée, à distinguer des signaux électromagnétiques d'énergies différentes. Sa limite est la plus petite variation d'énergie décelable. (ZAOUI. L ; 2019)

### **II .11-Les notions de l'image satellitaire**

L'image satellite est une image numérique représentant les mesures d'un rayonnement réfléchi ou émis par la surface terrestre. Permet d'identifier en composition colorée les éléments du paysage. (ZAOUI. L ; 2019)

Elles sont caractérisées par la partie du spectre électromagnétique utilisée (visible, infrarouge, ondes radar), la résolution au sol, c'est-à-dire la taille du plus petit élément ou échantillonné sur le terrain, la répétitivité de l'observation qui est un des grands avantages de l'observation par satellite est de pouvoir fournir des séries temporelles d'images de la même zone dans des conditions d'observation assez identiques. (ZAOUI. L ;2019)

### **II .12-Les programmes de la télédétection**

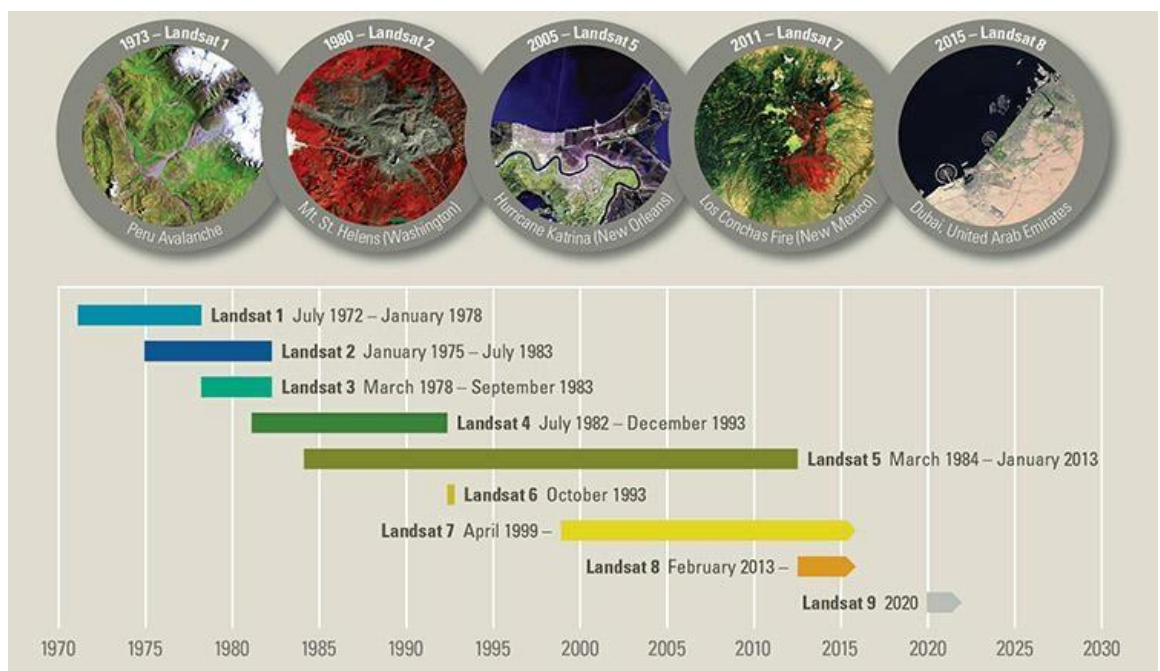
La collecte de données de télédétection est réalisée soit par des avions soit par des satellites. Actuellement, la télédétection évoque surtout l'acquisition de données par les satellites. Il y a une multitude de satellites en orbite qui observent les états de la surface terrestre ont va citer quelques-uns.(DARABID. D et BOUCHEKARA. M;2013)

**II .12.1-Programme LANDSAT**

La mise sur orbite de la série des satellites Landsat résulte d'un projet de la NASA visant à réaliser un satellite spécifiquement destiné à l'observation de la Terre afin d'en évaluer les ressources potentielles (ERTS : Earth Resources Technology Satellite) -Landsat 1, envoyé le 22 Juillet 1972, a fonctionné jusqu'au 6 janvier 1978. (EDUSCOL ; 2006 )

8 satellites lancés, Landsat 7 et 8 sont actuellement opérationnels :(UNSG ; 2018)

- ✓ LANDSAT 1 : 23 juillet 1972
- ✓ LANDSAT 2 : 22 janvier 1975
- ✓ LANDSAT 3 : 5 mars 1978
- ✓ LANDSAT 4 : 16 juillet 1982
- ✓ LANDSAT 5 : 1 mars 1984
- ✓ LANDSAT 6 : 5 octobre 1993(échec)
- ✓ LANDSAT 7 : 15 avril 1999
- ✓ LANDSAT 8 : 11 février 2013



**Figure №15: Chronologie des missions Landsat (Source USGS NASA ; 2018)**

Les caractéristiques des différents capteurs utilisés dans les satellites LANDSAT sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau N° 03 : Caractéristiques des différents capteurs dans les satellites

LANDSAT. (Source : GIRARD. G ; 1999 in GUERINIAI. A; 2012)

| Capteur             | Capteur   | RB<br>V  | MSS   | TM+   |
|---------------------|---|--|---|---|
| Satellite           | Landsat 1 à 3   | Landsat 4 à 5  |   | Landsat 5 à 7   |
| Type                | Héliosynchrones orbite sub-polaire                    |  |   |   |
| Altitude (Km)       |   |  |   |   |
| Répétitivité        | 16 jours  |  |   |   |
| Canaux              | 1:0,479-0,575µm<br>2:0,580-0,680µm<br>3:0,690-0,830µm | 1: 0,5 - 0,6µm<br>2: 0,6 - 0,7µm<br>3: 0,7 - 0,8µm<br>4: 0,8 - 1,1µm | 1: 0,45-0,515µm<br>2: 0,525-0,605µm<br>3: 0,63-0,690µm<br>4: 0,73-0,90µm<br>5: 1,55-1,75µm<br>6: 10,40-12,5µm<br>7: 2,09-2,35µm | 1: 0,45-0,515µm<br>2: 0,525-0,605µm<br>3: 0,63-0,690µm<br>4: 0,73-0,90µm<br>5: 1,55-1,75µm<br>6: 10,40-12,5µm<br>7: 2,09-2,35µm<br>P: 0,52-0,90µm |
| Résolution spatiale | 79 x<br>56 m  |  | 1à7 :30m ; 6<br>:120<br>m   | 1à7<br>:30m<br>6<br>:60m<br>P:<br>15m   |
| Taille scène        | 170 x 185,2 km  |  |   |   |

**RBV** : Caméra numérique Return Beam Vidicon.

**MSS** : Capteur Multispectral : Multi Spectral Scanneur.

**TM**: Capteur Thematic Mapper.

**ETM +**: Capteur Enhanced Thematic Mapper Plus.

## II .13-Méthodes des traitements utilisées en télédétection

La télédétection produit des images, c'est-à-dire des représentations planes du territoire.

Ces images contiennent potentiellement des données qu'il s'agit d'extraire par des traitements appropriés (interprétation, classification, etc.), dans le but de former des informations et agir sur le territoire.

### II .13.1-Acquisition et stockage des données

Avant d'être distribuées, les données sont stockées sous forme de bandes magnétiques. La capacité de stockage est exprimée en octets (kilo,méga,giga,octets) ,un octet équivaut à 8bits ou bien 2 possibilités de valeurs, c'est à dire 256 niveaux échelonnés de 0 « Noir » à 255 « Blanc ». (GUERINIAI. A; 2012)



**II .13.2-Les prétraitements**

Distinguent les traitements classiques préalables à la mise en forme optimale des données et les traitements proprement dits pour interpréter les données et évaluer les résultats. **(DESHAYES et MAUREL ; 1990)**

**II .13.2.1-Corrections atmosphériques**

La correction atmosphérique sur les images est en fonction des caractéristiques thématiques de la zone d'étude et de la méthode de traitement d'image employée.

Il est possible d'obtenir la contribution réelle de l'atmosphère sans posséder les données décrivant les conditions météorologiques lors de l'enregistrement de l'image. C'est donc par simulation que les corrections atmosphériques vont être effectuées, pour obtenir au final une évaluation la plus précisée. **(DESHAYES et MAUREL ; 1990)**

**II .13.2.2-Correction radiométrique**

Elles permettent de diminuer et de compenser la différence de l'élévation solaire entre différentes dates de prise de vue et la différence dans le calibrage du capteur chose très importante pour les études multi-temporelles et la cartographie des changements. **(DESHAYES.H et MAUREL. P ;1990)**

**II .13.2.3-Corrections géométriques**

Elles sont destinées à corriger des déformations systématiques dues à la prise de vue (ellipsoïde terrestre, défilement du satellite, variation de vol, technologie du capteur) ainsi qu'à rendre l'image superposable à une carte.

Elles sont faites soit à partir de paramètres d'orbite et d'attitudes enregistrées durant le vol, soit à l'aide de lois de déformations, pour rendre l'image conforme à un type de projection cartographique connu. **(DESHAYES.H et MAUREL. P ; 1990).**

**II .13.3-Analyse d'une image**

L'étude de la dynamique du couvert végétal est axée sur la bonne représentation des unités principales sur une image. Leur variation hétérogène spatiale, spectrale et temporelle exige de les présenter de façon homogène pour mieux interpréter les objets d'une image et tout un processus de changement observé. Cette représentation dite « classification » est utilisée pour la production de cartes thématiques où elle offre une analyse plus détaillée de l'image. Elle peut être effectuée sur un ou plusieurs canaux d'une image pour séparer les

divers éléments d'une image en fonction de leurs caractéristiques de rétro diffusion ou de signature spectrale. En traitement numérique des images, on distingue :

### **II .13.3.1.-Classification non supervisée**

C'est classer les données d'image numérique, par traitement informatique basé uniquement sur les statistiques d'image sans recours à des échantillons d'entraînement. Cette classification produit un regroupement naturel des pixels de l'image que l'on nomme "regroupement spectral" ou "classe", (les régions de l'image ayant une même signature spectrale ont un type d'utilisation du sol similaire). L'analyste doit ensuite déterminer l'identité de ces regroupements spectraux. Les principaux algorithmes de classification non dirigée sont : le regroupement par moyenne-K (K-means), le regroupement par ISODATA (Girard, 1989).

### **II .13.3.2- Classification supervisée**

Procédure utilisée pour l'identification de zones «spectralement similaires » d'une image. On identifie d'abord des sites d'entraînement dont on extrait la signature spectrale et à partir desquels on extrapole pour le reste de l'image. Selon Duminil (2007), ces sites d'entraînement servent de base pour les calculs des algorithmes de classification.

## **II .14- Signatures spectrales des sols, de l'eau , de la végétation et autre types**

### **II .14.1- Signature spectrale des sols**

En ce qui concerne la signature spectrale des sols, selon UVED (2008), on note un accroissement régulier de la réflectance au fur et à mesure qu'on se déplace vers les grandes longueurs d'onde. Les discontinuités que l'on observe dans le proche infrarouge et l'infrarouge moyen sont dues aux bandes d'absorption de l'eau. L'étude des propriétés spectrales des sols est toutefois particulièrement complexe car elle doit tenir compte de la nature hétérogène du sol qui contient à la fois des matières minérales et organiques, mais aussi une composante liquide, tous ces éléments vont influencer la réflexion du rayonnement.

Fonctions à la fois de la composition minérale et organique des sols, de leur contenu en eau et de la rugosité, les propriétés optiques des sols peuvent présenter une variabilité considérable. Une augmentation de l'humidité du sol entraîne une baisse de la réflectance sur tout le spectre, de même qu'un accroissement de la rugosité (obscurcissement par effet d'ombre) (Girard et Girard, 1989).

### **II .14.2- Signature spectrale de l'eau**

L'eau a une réflectance très faible dans toutes les longueurs d'onde, elle absorbe cependant un peu moins les ondes les plus courtes, d'où sa couleur bleue. Sa signature spectrale

dépend à la fois des molécules qui la constituent, mais aussi des éléments dissous ou en suspension dans la colonne d'eau, comme les organismes phytoplanctoniques, les sédiments ou les substances jaunes (Gower *et al*, 1988).

### **II .14.3- Signatures spectrales de la végétation**

Comme nous pouvons le constater sur la figure 08, et selon Moquet (2003), la végétation en générale possède une réflectance :

- Très faible dans le rouge (~660nm) et le bleu (~450nm) ;
- Faible dans le vert (~546nm) ;
- Élevée dans le proche infrarouge (0,7-1  $\mu$ m).

Ces valeurs peuvent varier en fonction de la teneur en eau de la plante, de la structure des feuilles, de leur densité, âge...(Guyot, 1984).

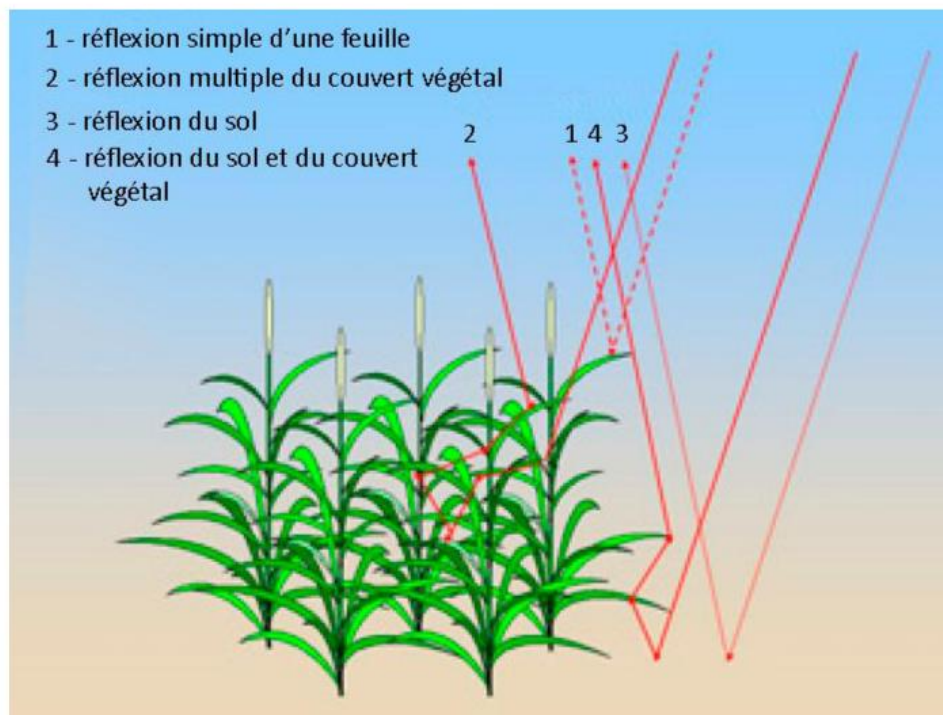
L'identification et le suivi des couverts végétaux repose sur la réponse spectrale des surfaces dans les différentes longueurs d'onde et donc sur la notion de signature spectrale.

#### **II .14.3.1-Variations de la signature spectrale de la végétation**

Lorsqu'on étudie la végétation par télédétection, les variations de la réflectance mesurées au niveau du capteur satellitaire sont, non seulement liées à la structure des formations végétales, mais aussi aux propriétés optiques des feuilles.

#### **II .14.3.2-Caractérisation de la structure d'un couvert végétal**

La structure d'un couvert végétal prend en compte à la fois des paramètres de structure de la canopée, comme l'indice de surface foliaire ou l'angle d'inclinaison des feuilles, et l'organisation spatiale des peuplements, leur agencement, leur densité, ainsi que le taux de recouvrement du sol selon le stade phénologique (fig.16).

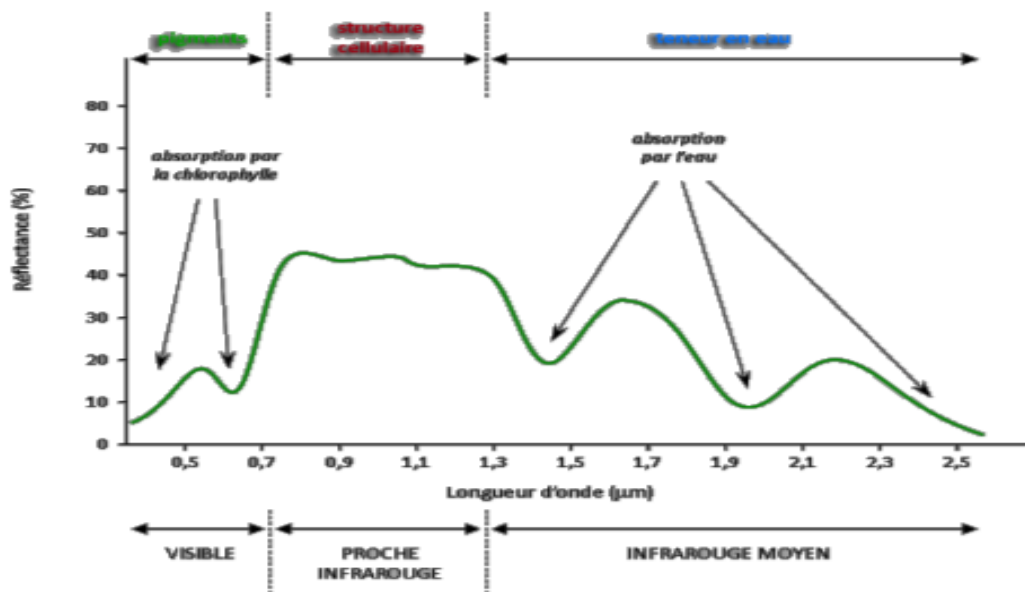


**Figure N° 16:** Illustration des interactions entre le sol et la végétation, intégrées au niveau de la mesure satellitaire (d'après Fensholt, 2003).

Lorsque la végétation est peu couvrante, la réponse spectrale des plantes est affectée par la réflectance des sols. Les interactions du rayonnement entre la végétation et le sol sont si complexes qu'il est très difficile de corriger l'influence perturbatrice du sol. Le signal mesuré par le capteur intègre généralement les réflectances du sol et de la végétation (Huete, 1989).

#### **II .14.3.3- Les propriétés optiques des feuilles**

Selon UVED (2008), les propriétés optiques des feuilles sont liées à leurs caractéristiques biochimiques (teneur en pigments, structure cellulaire, teneur en eau, état physiologique, etc.) qui correspondent aux grands domaines spectraux du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge moyen (fig.17) :



**Figure N° 17:** Principaux facteurs influençant la signature spectrale de la végétation dans le visible, le proche infrarouge et l'infrarouge moyen (UVED, 2008).

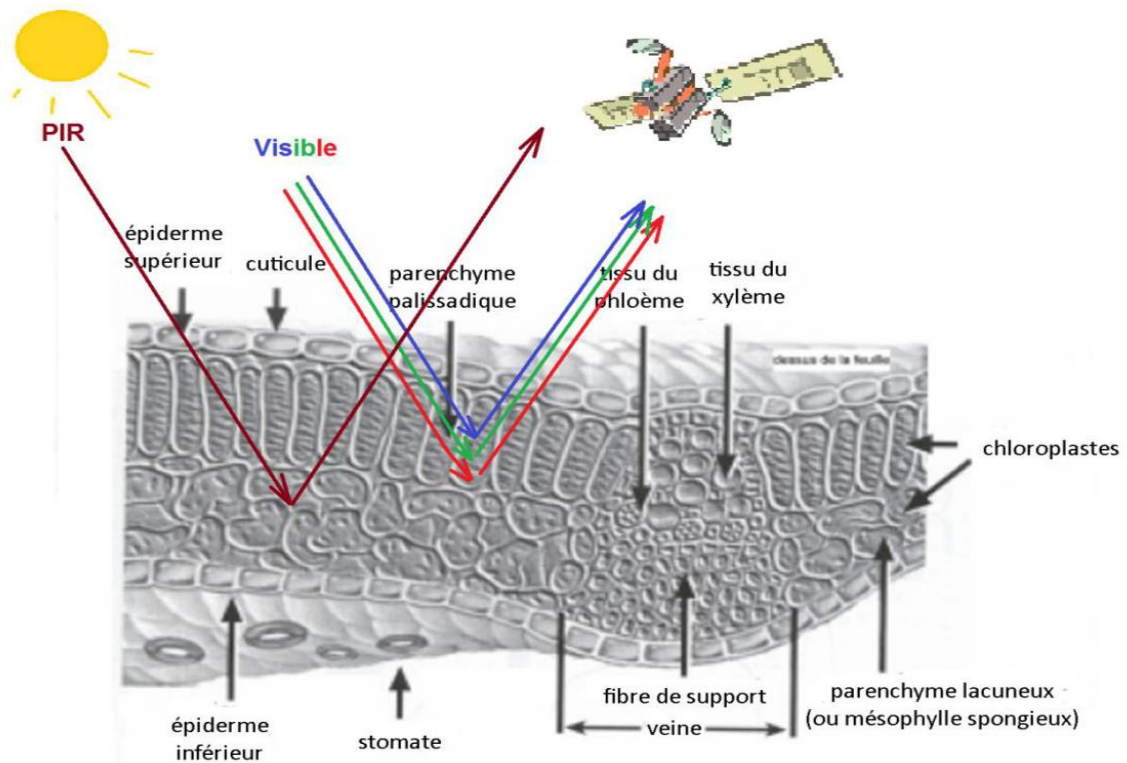
#### II .14.3.3.1-Les pigments foliaires

La présence des pigments foliaires dans les végétaux est responsable de la forte absorption du rayonnement visible, avec un maximum relatif de réflectance autour du vert (550 nm).

#### II .14.3.3.2-La structure cellulaire des feuilles

La structure anatomique des feuilles joue un rôle très important dans la signature spectrale de la végétation. Les longueurs d'onde bleue et rouge sont absorbées par la chlorophylle, les vertes sont très faiblement réfléchies par la feuille, le rayonnement PIR est fortement réfléchi par le parenchyme lacuneux (Adapté d'après Jensen, 2000), il est d'autant mieux réfléchi que ce dernier est bien développé (fig.18).

La réflectance dans les bandes rouges et proche infrarouge est directement liée à la biomasse végétale. Il est donc possible de déterminer radiométriquement cette biomasse en utilisant l'information contenue dans ces deux bandes spectrales, en utilisant des indices de végétation.



**Figure № 18:** Influence de la structure cellulaire des feuilles sur leur signature spectrale (Jensen, 2000).

#### II .14.3.3- L'influence de la teneur en eau

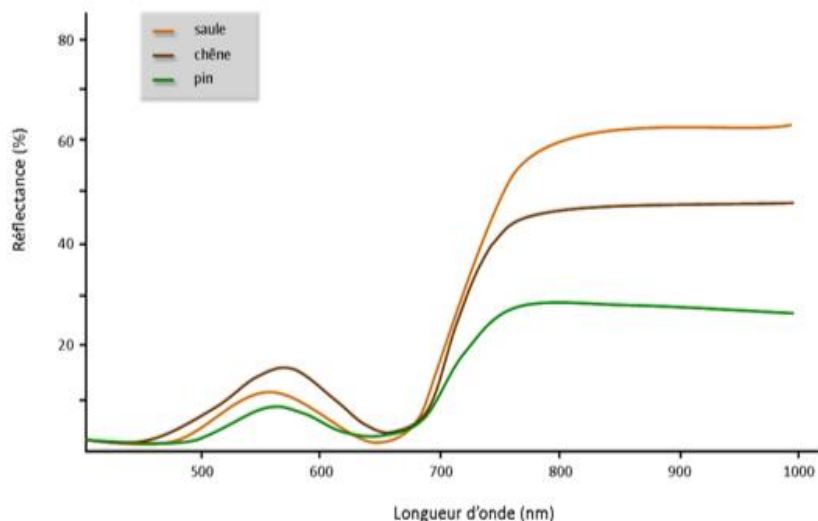
Plus la teneur en eau est forte, plus la réflectance de la végétation diminue, en particulier aux longueurs d'onde 1450 nm et 1900 nm (bandes d'absorption de l'eau). Ce domaine de longueur d'onde est très utile en télédétection des couverts végétaux, il permet notamment de détecter les plantes en état de stress hydrique.

#### Limites :

A côté des facteurs propres aux couverts végétaux, d'autres types de facteurs externes aux ceux-ci, vont également avoir une influence sur la réponse spectrale de la végétation. Il s'agit en particulier de l'*angle solaire* (position et hauteur du soleil), l'*angle de visée* (plus l'angle de visée est important, plus la proportion de sol nu visible diminue) et l'*atmosphère* (teneur en poussières et aérosols).

#### II .14.4-Autres types de variations de la signature spectrale

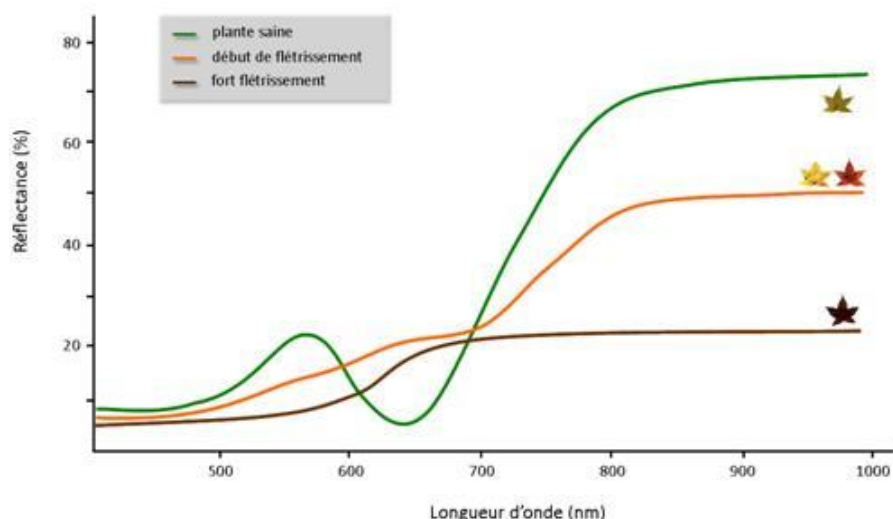
La réflectance de la végétation varie non seulement en fonction des types de végétation (fig.18), mais également selon l'état physiologique d'une plante (fig.19).



**Figure N° 19 :** Variations de la signature spectrale en fonction du type de végétation (UVED, 2008).

La signature spectrale de la végétation dans le visible ne varie pratiquement pas quelque soit le type de végétal. On note des différences sensibles dans le proche infrarouge, liées à la structure du parenchyme lacuneux, où les résineux ont une réflectance moins importante que les feuillus.

Les changements physiologiques qui accompagnent la croissance d'une plante, depuis la phase de maturation jusqu'à sa sénescence, influent fortement sur la signature spectrale de la végétation (fig.20).



**Figure N° 20 :** Variations de la signature spectrale en fonction de l'état physiologique de la végétation (UVED, 2008).

On observe une sensible augmentation de la réflectance dans les grandes longueurs d'onde du visible (jaune - rouge), résultat de la réflectance des pigments foliaires, et une diminution de

la réflectance dans le proche infrarouge (état de plasmolyse, entraînant une déstructuration des couches cellulaires)

**Remarque :** On va parler de comportement spectral de la végétation au lieu de signature spectrale pour bien montrer que la réflectance de la végétation n'est pas constante.

### **II .15- Indices de végétation**

En télédétection, les indices font parties des méthodes de traitement que l'on appelle les transformations multi spectrales. Ils consistent à convertir les luminances mesurées au niveau du capteur satellitaire en grandeurs ayant une signification dans le domaine de l'environnement.

Les indices de végétation, comme tous les autres indices, reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Ils sont très utilisés d'une part, pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux (la biomasse, l'indice de surface foliaire...*etc*).

#### **II .15.1- Principe**

Le calcul des indices s'appuie essentiellement sur les écarts de réflectance constatés dans les différentes bandes spectrales, ainsi que sur la variabilité des réflectances au sein d'une même bande spectrale, qui traduisent des surfaces de nature différente. Par conséquent, on utilise principalement les différences des propriétés optiques de la végétation dans le rouge et le proche infrarouge.

Les réflectances dans le proche infrarouge augmentent avec la présence de la végétation (forte réflexion par le parenchyme lacuneux), tandis que celles dans le rouge diminuent (pic d'absorption de la chlorophylle).

#### **II .15.2-Principaux indices de végétation**

De très nombreux indices de végétation ont été construits et utilisés depuis maintenant une quarantaine d'années (Bannari *et al.*, 1995). Ils prennent la forme soit d'expressions très basiques (simple différence ou simple ratio), soit de formules beaucoup plus complexes.

On a l'habitude de les classer en familles d'indices selon qu'ils prennent ou non en compte les facteurs externes aux couverts végétaux, tels que l'influence de l'atmosphère, la contribution spectrale des sols, la teneur en eau des végétaux (indices de sécheresse), *etc*.

Le tableau ci-dessous (tableau II) résume quelques uns des indices de végétation les plus couramment utilisés (Caloz et Puech, 1996; Gilabert *et al.*, 2002; Girard et Girard, 1999).

#### **Exemple :**

*L'indice de végétation par différence normalisé ou indice de Tucker (NDVI en anglais) (Rouse et Haas, 1973 ; Tucker, 1979), le plus connu et le plus utilisé.*



Son expression est la suivante :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R}) / (\text{PIR}+\text{R}) \dots\dots (\text{Rouse et al., 1973}).$$

La normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement. Le NDVI conserve une valeur constante quelque soit l'éclairement global, contrairement à la simple différence qui est très sensible aux variations d'éclairement.

Les valeurs du NDVI sont comprises en théorie 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 comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

### II .15.3.-Autres indices

Comme pour la végétation, il existe aussi des indices spécifiques pour les sols nus, comme l'indice de brillance. Celui-ci est construit à partir des bandes rouges et proche infrarouge selon l'expression :

$$\text{IBc}^2 = \text{V}^2 + \text{R}^2 + \text{PIR}^2 \dots\dots (\text{Manière et al., 1993}).$$

Il permet de faire clairement la distinction entre les surfaces végétalisées et les sols nus.

Les indices cités antérieurement ont été utilisés dans des applications très nombreuses et variées depuis l'apparition de la télédétection spatiale. Leur usage pour des estimations quantitatives soulève un certain nombre de questions qui peuvent limiter sérieusement leur utilité réelle s'ils ne sont pas correctement interprétés. Ils dépendent de nombreux paramètres (éclairement solaire, angles de visée, *etc.*) et sont perturbés par plusieurs facteurs (sensibilité aux effets atmosphériques, aux types de sols et à leur taux d'humidité) ce qui implique une très grande prudence quant à leur interprétation.

Tableau № 04 : Indices de végétation définis à partir de données de télédétection.

Source : Caloz et Puech, 1996; Gilabert *et al.*, 2002; Girard et Girard, 1999.

| Les indices simples  |  |
|--|--|
| $DVI = \rho_{FIR} - \rho_R$  | Bacour <i>et al.</i> (2006)                  |
| $RVI = \frac{\rho_{FIR}}{\rho_R}$  | Krieger <i>et al.</i> (1969) ; Jordan (1969) |
| $NDVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R}$                               | Rouse and Haas (1973) ; Tucker (1979)        |
| Les indices de stress hydrique   |  |
| $MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{FIR}}$  | Hunt and Rock (1989)                         |
| $NDWI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{FIR} + \rho_{MIR}}$                       | Gao (1996)                                   |
| Les indices prenant en compte l'influence des sols                                     |  |
| $PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}}(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)$                             | Richardson and Wiegand (1977)                |
| $SAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$                   | Huete (1988)                                 |
| $TSAVI = \frac{a(\rho_{FIR} - a\rho_R - b)}{\rho_R + \rho_{FIR} - ab + 0,08(1 + a^2)}$ | Baret <i>et al.</i> (1989)                   |
| $MSAVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + \rho_R + L} (1 + L)$                  | Qi <i>et al.</i> (1994)                      |
| Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère         |  |
| $ARVI = \frac{\rho_{FIR} - \rho_{rb}}{\rho_{FIR} + \rho_{rb}}$                         | Kaufman and Tanré (1992)                     |
| $GEMI = \eta(1 - 0,25\eta) - \frac{\rho_{rouge} - 0,25}{1 - \rho_{rouge}}$             | Pinty et Verstraete (1992)                   |
| Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère         |  |
| $EVI = G \frac{\rho_{FIR} - \rho_R}{\rho_{FIR} + C_1\rho_R - C_2\rho_B + L}$           | Huete <i>et al.</i> (1999)                   |
| Les indices prenant en compte les températures de surface                              |  |
| $TDVI = \frac{T_S - T_{S(min)}}{a + b NDVI - T_{S(min)}}$                              | Sandholt <i>et al.</i> (2002)                |

**Chapitre III:**  
**Présentation De La**  
**Zone D'étude**

### III-Présentation de la zone d'étude

#### III.1-Introduction

Le parc national des cèdres de Theniet El Had est situé à 185 km au sud-ouest de la capitale Alger, et à 150 km de la côte méditerranéenne. Sa superficie totale est de 3425 ha, Ras EL Braret est le point culminant au parc, il atteint 1787m. C'est le premier espace naturel protégé en Algérie (3 août 1923 par le gouvernement colonial français) Il est proclamé parc national des cèdres de Theniet el had par décret présidentiel le 23 juillet 1983 (PNTH, 2013). IL s'étend à travers des crêtes et des pentes et contient des étangs, sources et ruisseaux serpentant des vallonnements très profonds par endroits, Son étage bioclimatique s'étale entre le subhumide et l'humide, La cédraie de ce parc est unique dans l'Ouest algérien. Elle constitue également l'un des rares endroits dans le pourtour méditerranéen où le chêne liège végète à plus de 1600m.

La flore comprend 450 espèces dont beaucoup sont endémiques à l'Algérie. La strate arborée comprend 1000 ha de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), 1000ha de chêne vert (*Quercus ilex*), 504ha de chêne zéen (*Quercus faginea*), 460ha de chêne liège (*Quercus suber*) et 460ha d'autres espèces (PNTH, 2013). 289 espèces animales ont été répertoriées et inventoriées au parc dont la plupart sont protégées tels que la hyène, le caracal, la genette, le chat sauvage, la belette, le porc-épic, etc. L'avifaune est marquée par la présence de l'aigle royal, le faucon, le vautour le busard, la chouette hulotte, le guêpier, le verdier, le pivert, le rolhier d'Europe et l'engoulevent...

#### III.2- Situation Géographique

La zone d'étude fait partie du parc national de Theniet El Had qui est situé au nord-ouest de l'Algérie dans la wilaya de Tissemsilt à quelques kilomètres de la ville éponyme de Théniet El Had au cœur de l'Atlas tellien. Il s'étend sur la partie septentrionale de l'Ouarsenis comprise entre les monts de Beni Chograne à l'Ouest, les monts de Tetteri à l'Est, la vallée du Chelif au Nord et les plaines du Sersou au Sud. La forêt étendue sur les versants de Djebel el Meddad dont le cèdre occupe près du 1/3 de la superficie totale du parc (PNTEH, 2006).

Le parc national est distant de 52 km du chef-lieu de la wilaya de Tissemsilt et à environs 1,8 km du chef-lieu de Daïra de Theniet El Had, il est localisé entièrement dans la Wilaya de Tissemsilt. Il s'étend sur les communes de Theniet.El.Had et celle de Sidi Boutouchent.

Suivant les coordonnées géographiques suivantes:

- à Latitude : 35° 54' 4'' et 35° 49' 41'' de latitude nord ;
- à Longitude : 02° 02' 4'' et 01° 52' 45'' de longitude est.

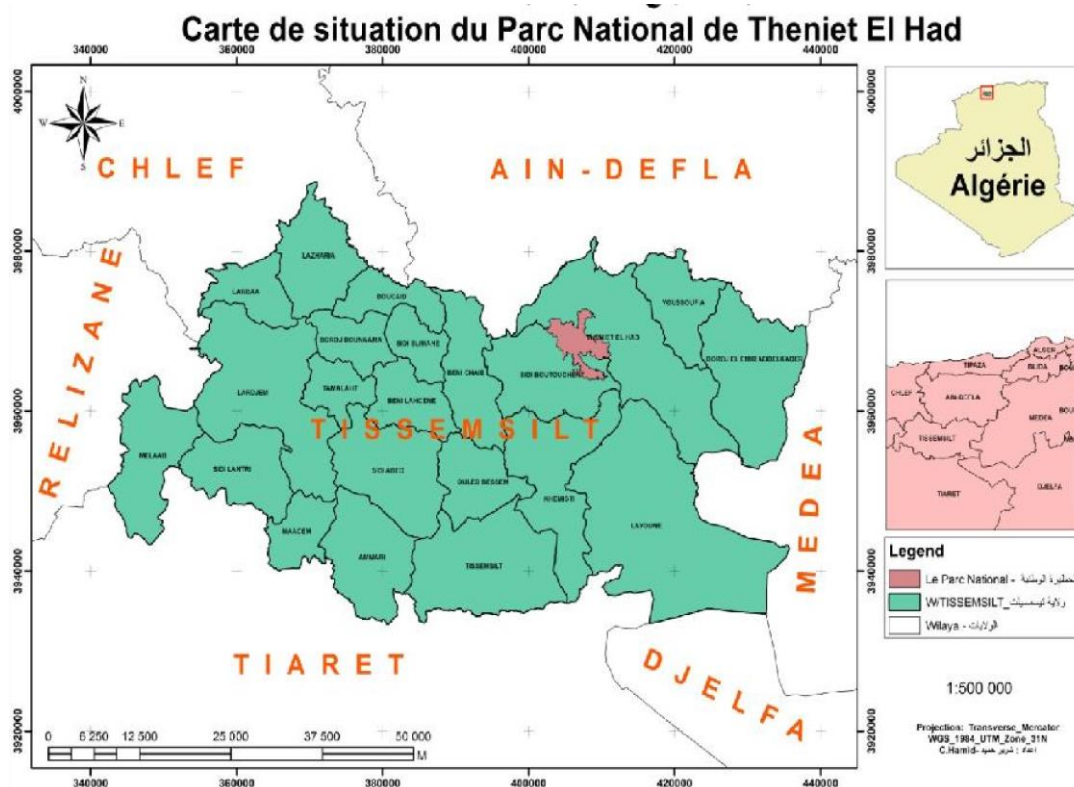


Figure № 21: Situation géographique de la zone d'étude de parc national de Theniet El Had (PNTH ; 2018)

### III.3- Situation Administrative

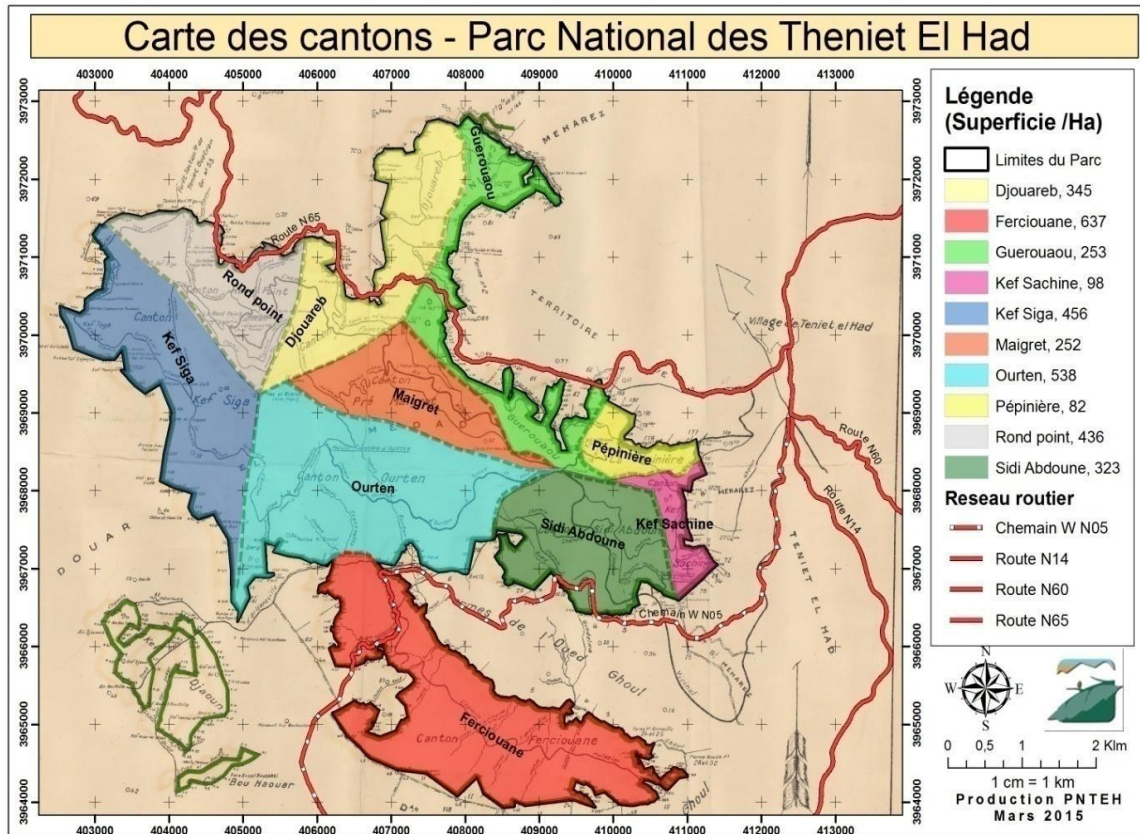
De point de vu découpage administratif, le territoire du Parc fait partie de :

- ✓ Wilaya de:Tissemsilt
- ✓ Daïra de:Theniet El-Had
- ✓ Commune de :Theniet El-Had

En ce qui concerne l'administration forestière, la zone fait partie de :

- ✓ Conservation : Tissemsilt
- ✓ Circonscription : Theniet El-Had
- ✓ District: Theniet El-Had

Le parc national de Theniet El Had est divisé en dix cantons, dont la grande partie de superficie se trouve au niveau du versant Sud sur une étendue de 2052 ha. La pinède qui fait l'objet de cette étude est située dans le versant sud dans le canton Sidi Abdoun qui est constitué essentiellement de peuplement à base de chênes en plus quelques sujets de pistachier d'Atlas sur une étendue de 343 ha. (ABEDELLEH MAHDJOUBI. K et ZERKA. A ; 2018)



**Figure N° 22: Carte des cantons du Parc National des Cèdres de Theniet El Had (PNTH, 2015)**

### III.4- Etude des caractéristiques physiques de la zone d'étude

#### III.4.1- Expositions

Du point de vue hypsométrique nous retenons l'existence de nombreux Kef orientés dans tous les sens, ce qui traduit un relief extrêmement accidenté de diverses Expositions, La zone englobe trois ramifications principales (Nord, Sud et Ouest). Selon (**Dipet Zaiz ,2011**), 64,68% de la surface totale du PNTH possède des expositions Nord et Nord-est (**Figure 23**).

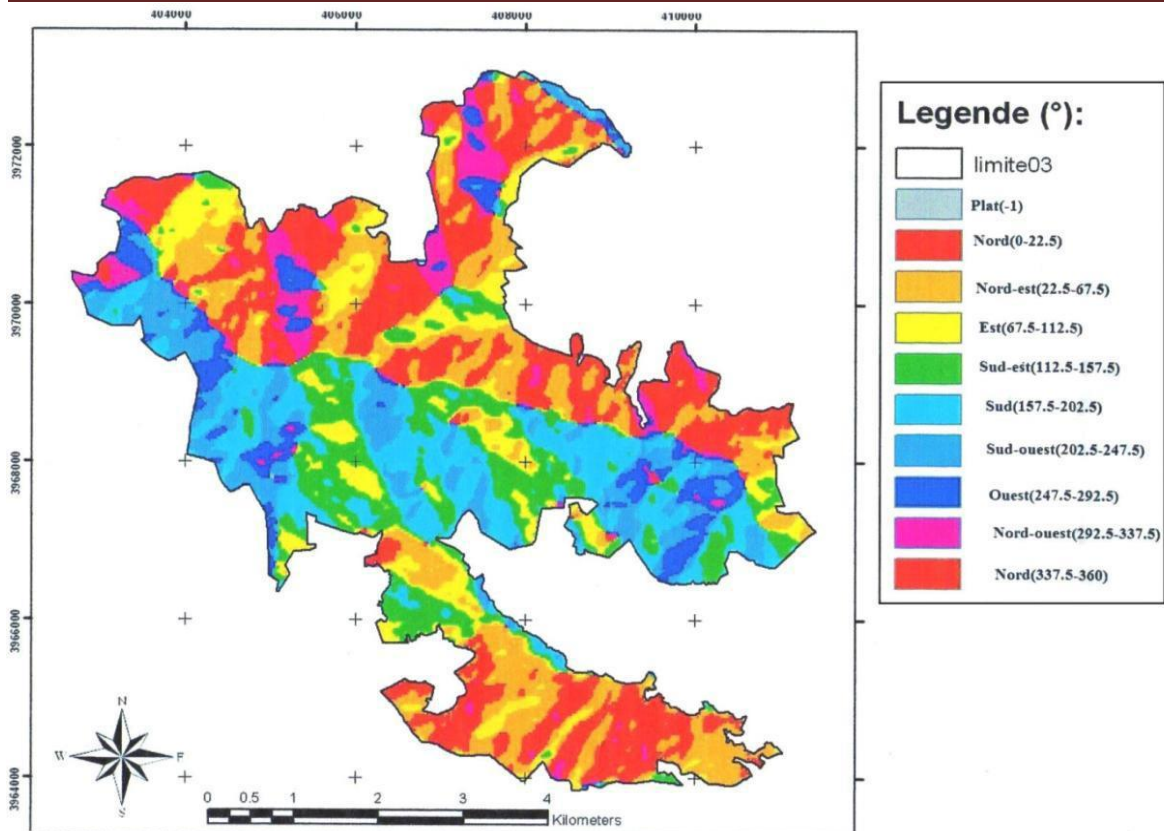


Figure № 23: Carte des expositions du Parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

#### III.4.2- Pentes

Suivant les deux versants du parc, les fortes pentes sont du côté nord, estimées en moyenne à  $40^\circ$  (83.9 %) d'inclinaison, à l'exception du canton pépinière où la pente ne dépasse guère  $15^\circ$  (26.7 %) d'inclinaison (**Figure 24**). Le versant sud par contre présente des pentes plus ou moins fortes ( $25^\circ$  d'inclinaison au maximum).

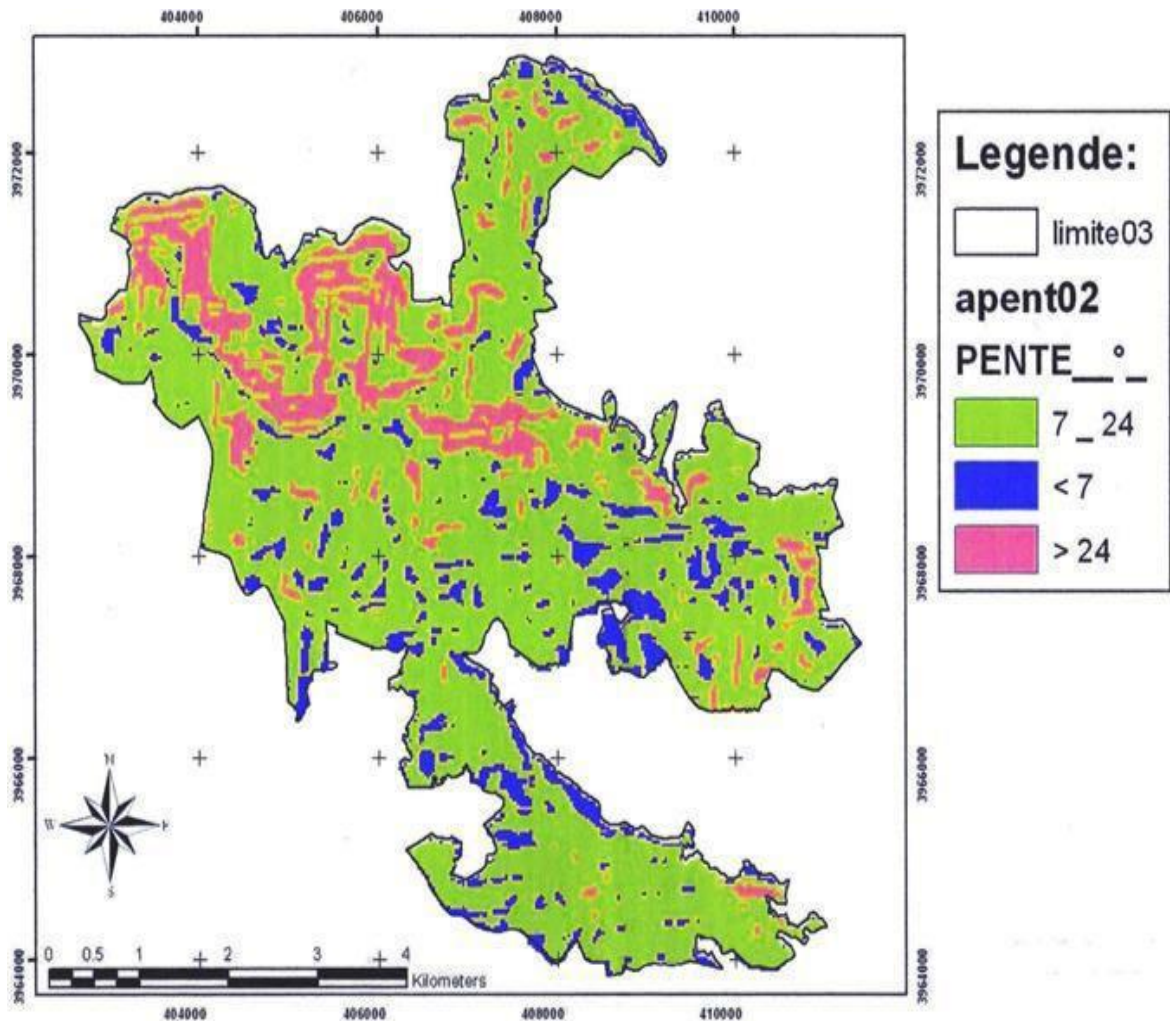


Figure № 24: Carte des pentes du Parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

#### III.4.3- Altitudes

Selon (CHAOUI. A ; 2017) le territoire du parc est compris entre des altitudes répartir entre les deux principales expositions.

- Au versant nord : il culmine à 853 m (Ras el Braret) et descend jusqu'a1.787m et au niveau du Oued Mouilha dans le canton Djouereb.
- Au versant sud : on rencontre une altitude supérieure qui est le pic a 1.787 m et la limite inferieure est a 968 représentant le bout aval du oued el Ghoul appartenant au canton Fersiouane.(Figure.25).



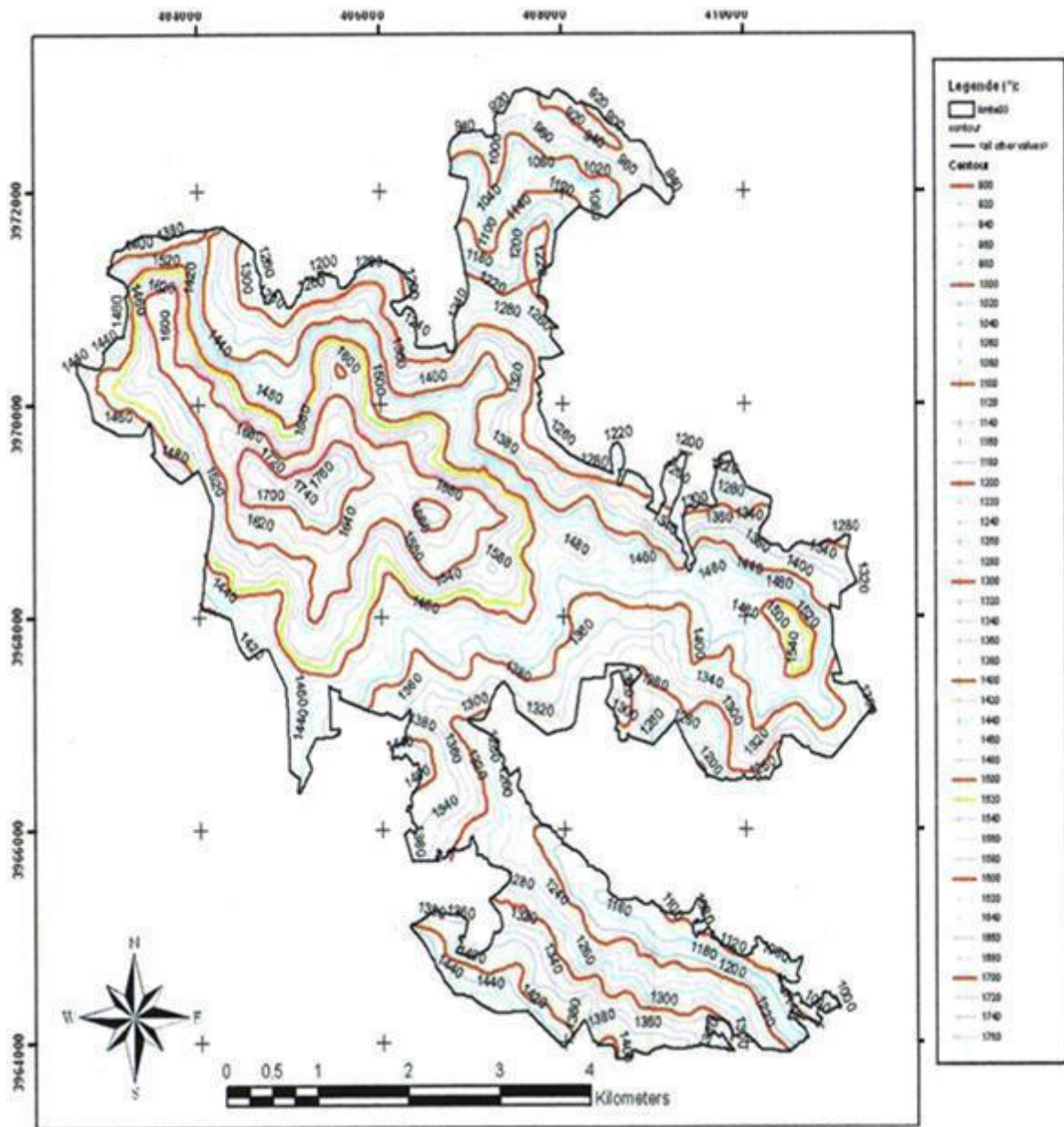


Figure №25: Carte des altitudes du Parc National de Theniet El Had (Zaiz et Dib, 2011)

### III.4.4-Géologie

Le parc repose sur des grès superposés à des marnes argilo-calcaires (ZEDEK, 1993). La partie centrale de la zone est formée de sédiments provenant de l'oligocène présenté en faciès numidien, constitué de grès à couches épaisses, reposant sur flysch argileux ou argileux-marneux. Sous l'oligocène, dans les fenêtres d'érosion, on aperçoit les sédiments du crétacé supérieur couvert par de gros apports colluviaux. Ils sont présentés par des sédiments supérieurs cénomaniens : c'est une altération des argiles feuilletées, marnes et

calcaires. Dans la partie ouest, se localisent les sédiments du moyen éocène développés surtout en marno-faciès. Les accumulations quaternaires sont très fréquentes dans les limites du parc. Elles entourent le massif de grès numidiens et sont représentées par des formations grossières d'apports colluvial et aluvial, résultant d'un foudroyage intensif de processus d'éboulements et de glissements (MELAZEM, 1990).

### III.4.5-Pédologie

Les sols du parc sont assez maigres, peu profonds et déchirés souvent par roche à nu et entre coupé d'escarpements rocheux atteignant une centaine de mètres de hauteur (MELAZEM, 1990). On distingue, d'après l'étude bulgare trois types de sols (PNTEH, 1984) :

**Sols d'apport colluvial** : appartenant à la classe des sols peu évolués, ils se localisent sur des terrains à faibles pentes. Ils se caractérisent par une hétérogénéité de structures et de textures, résultant des phases successives de colluvionnement.

**Lithosols** : appartenant à la classe des sols minéraux bruts d'érosion, ces sols se localisent sur les fortes et moyennes pentes où l'érosion hydrique y est accentuée.

**Sols brunifiés lessivés** : sont de type ABC de profil pédologique complet.

L'horizon superficiel est riche en azote, en potassium et en matière organique.

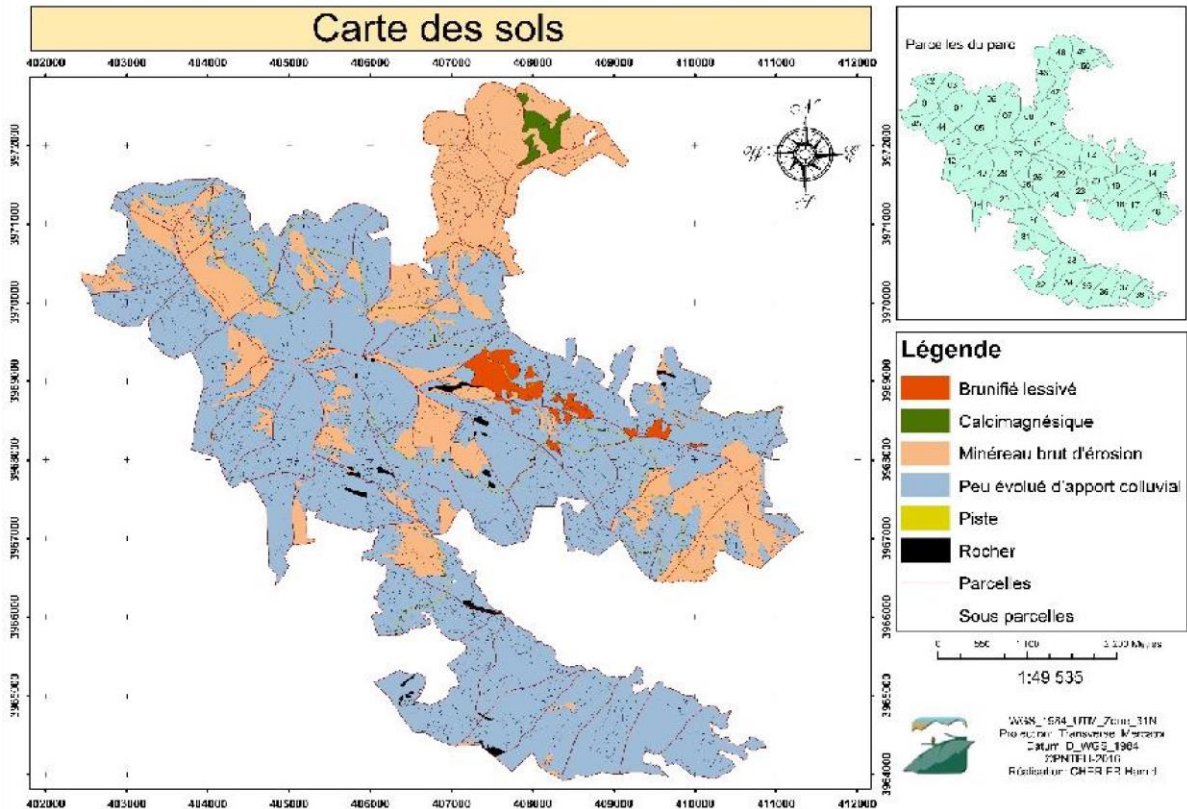


Figure № 26: Carte des sols du Parc National de Theniet El Had (PNTH ; 2016)

### III.4.6- Les ressources hydriques

Il existe deux oued qui sont captés et utilisés par les riverains de la région: (PNTH;2019)

- Oued El-Mouilha au nord du parc
- Oued El-Ghoul au sud du parc.

Il existe d'autres sources d'eau parmi lesquelles on a : Ain Touila, Toursout, Ourten et Djedj El-maa, ces sources sont caractérisés par des eaux ferrugineuses. (DIB. M et ZAIZ. A ; 2011)

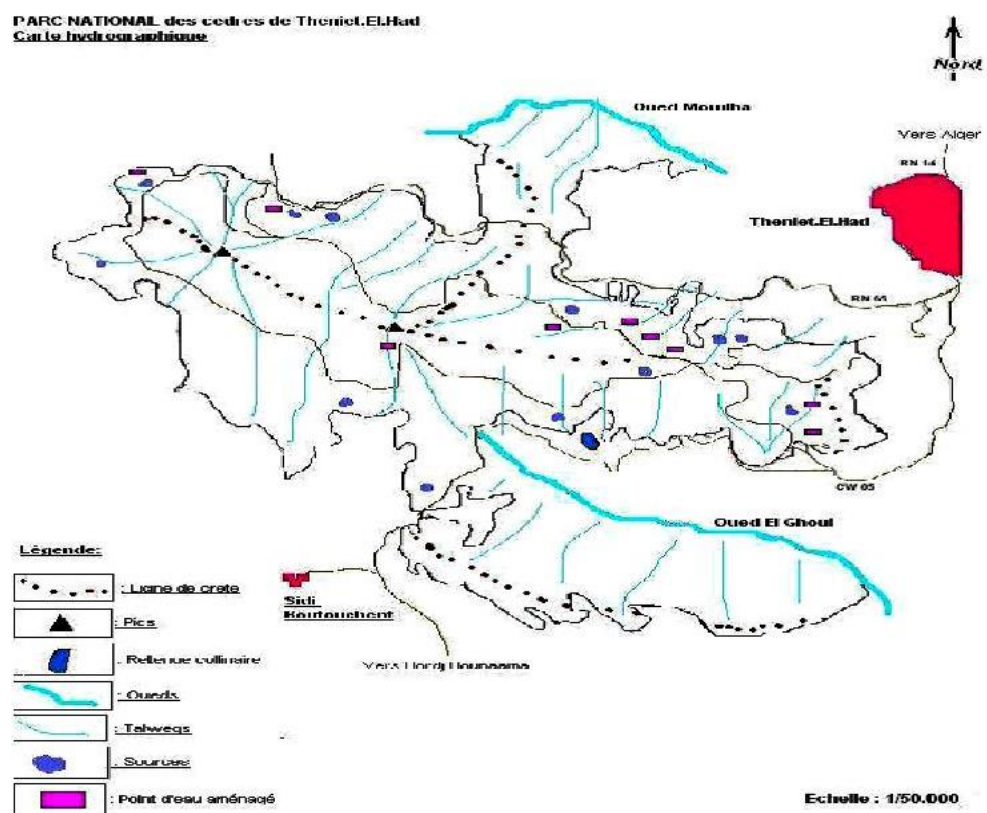


Figure № 27: Carte hydrographique du Parc National de Theniet El Had (PNTH ; 2002)

### III.4.7- Relief

Le parc représente deux expositions principales : Nord et Sud le versant Nord entrecoupé de quelques cuvettes encaissées et la crête principale ou culmine le point le plus haut «Ras el Braret » relevant canton rond-point. (ABEDELLEH MAHDJOUBI. K et ZERKA. A ; 2018)

Un troisième versant, celui de l'ouest. Mais, la superficie de ce dernier est moins importante. (KHEDIM. R ; 2018)

Le versant Sud est d'une assez forte inclinaison, mais contrairement au versant Nord, la longitude du terrain est assez vaste environ le double du premier. (ABEDELLOH MAHDJOUBI. K et ZERKA. A ; 2018)

**III.5-Etudes climatiques de la zone**

Pour déterminer le climat de la région d'étude, nous avons exploité des données de Seltzer « cause de l'absence de station météorologique. Les influences continentales méridionales dans l'Ouarsenis sont fortement affaiblies par les reliefs du Tell littoral et par la plaine

intérieure du bas de Chellif, mais grâce aux importants reliefs, la pluviosité reste notable au cœur de l'Ouarsenis (plus de 600 mm/an).

**III.5.1. Les précipitations**

Les précipitations englobent toutes les formes d'eau qui tombent sur la surface de la terre. La station de Theniet El Had est à 1160 m d'altitude, située à 02° 01' de longitude Est et 35°32' de latitude Nord. Le gradient pluviométrique établi par SELTZER (1913-1938) est de 40 mm/100 m. c'est-à-dire elle augmente d'environ 40 mm pour chaque élévation de 100 m d'altitude. Les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans la station de Theniet El Had sont de 628 mm.. Les données pluviométriques pour la station de T.E.H.sont représentées dans les tableaux suivants :

**Tableau N° 05 : Répartition mensuelle et annuelle de la pluviosité de 1913-1938 (Seltzer, 1946).**

| Mois                     | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUI | JLL | OUT | SEP | OCT | NOV | DEC | TOTAL |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Hauteur de pluies (mm)   | 89  | 76  | 70  | 51  | 56  | 24  | 07  | 07  | 40  | 51  | 74  | 83  | 628   |
| Nombre de jours de pluie | 11  | 11  | 11  | 07  | 07  | 04  | 02  | 02  | 06  | 07  | 12  | 10  | 90    |

Les données sur le parc sont exploitées à partir de celles de Theniet el Had :  
Ainsi, pour une différence altitudinale X, on procède à la correction de la manière suivante :

$(40 \times X) / 100$  .donc à 1787 mètres, le résultat obtenu est :

$$X = 1787\text{m} - 1160 = 627\text{m}$$

$$(40 \times 627) / 100 = 250.8$$

$$\text{Donc } P = 628 + 250.8 = 878.8 \text{ mm}$$

$$\text{A } 853 \text{ m} \quad X = 1160 - 853 = 307 \text{ m}$$

$$(40 \times 307) / 100 = 122.8 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } P = 628 - 122.8 = 505.2 \text{ mm}$$

**Tableau N° 06 : Précipitations annuelles corrigées à partir de la station Theniet El Had enregistrées durant la période 1913-1934 (Seltser, 1946).**

| Station        | Altitude en m | Pluviosité en mm |
|----------------|---------------|------------------|
| Theniet.El.Had | 1.160 m       | 628 mm           |
| Parc national  | 853-1.787 m   | 505,2-878,8 mm   |

### III.5.2-Autres formes de précipitations

#### III.5.2.1-Le régime saisonnier

**Tableau N° 07 : Répartition saisonnière des précipitations (en mm).**

| Saison<br>Station | Hiver | Printemps | Eté   | Automne |
|-------------------|-------|-----------|-------|---------|
| Theniet.El.Had    | 248   | 177       | 38    | 165     |
| Parc national :   |       |           |       |         |
| - à 1.787 m       | 310,7 | 239,7     | 100,7 | 227,7   |
| - à 853 m         | 217,3 | 146,3     | 13,7  | 134,31  |

D'après le tableau ci-dessus, le régime saisonnier est de type HPAE pour les 03 stations. Elles présentent un minimum estival de précipitation caractéristique du climat méditerranéen. On arrive à des données de précipitation moyenne annuelle de 878 mm qui semblent insuffisantes pour les étages de végétation rencontrés dans ce massif.

**III.5.2.2- L'humidité relative**

Elle augmente pendant la nuit en compensant la perte d'eau en jour. Cette humidité est enregistrée dans la région de l'aire protégée du mois de décembre à mai qui diminue progressivement. Le tableau ci-après fait ressortir l'importance de l'humidité relative en % durant la journée à travers l'année (Seltzer, 1946).

**Tableau N° 08 : Répartition de l'humidité relative dans le parc**

| Mois   | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--------|---------|---------|------|-------|-----|------|---------|------|-------|------|------|------|
| Heures |         |         |      |       |     |      |         |      |       |      |      |      |
| 07 A.M | 78      | 79      | 69   | 65    | 64  | 49   | 55      | 69   | 62    | 86   | 88   | 72   |
| 13 P.M | 64      | 62      | 51   | 48    | 46  | 35   | 39      | 49   | 71    | 72   | 73   | 56   |
| 18 P.M | 75      | 72      | 62   | 58    | 58  | 44   | 49      | 64   | 70    | 81   | 85   | 67   |

**III.5.2.3-L'enneigement**

Selon (Seltzer, 1946), la durée moyenne d'enneigement dans la région de Theniet.El.Had est de 22 jours mais elle n'est pas toujours régulière.

**III.5.3-Les Températures**

Le gradient altitudinal thermique établi par Seltzer (1913-1938) pour les moyennes des températures minimales « m » du mois le plus froid est de 0,4°C tous les 100 m, pour les moyennes des températures maximales « M » du mois le plus chaud set de 0,7°C tous les 100 m.

**Tableau N° 09 : Données thermiques de la station de Theniet. El.Had (Seltzer, 1946)**

| Mois                 | J    | F    | M    | A    | M    | J    | Jet  | A    | S    | O    | N    | D    | Année |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Moyenne maximale «M» | 09,2 | 10,3 | 13   | 16,5 | 20,9 | 27,7 | 30,6 | 32   | 25   | 20,1 | 13,8 | 09,8 | 19,2  |
| Moyenne minimale «m» | 00,2 | 01,2 | 04   | 06   | 9,5  | 12,8 | 15,9 | 16,3 | 13,4 | 09,4 | 04,1 | 02,2 | 07,9  |
| Température          | 04,7 | 05,7 | 08,5 | 11,2 | 15,2 | 20,2 | 23,2 | 24,1 | 19,6 | 14,7 | 08,9 | 06   | 13,5  |

La correction des données est établie de la manière suivante :

Température maximale :  
 $(0.7 * X) / 100$  (X : différence altitudinale)  
 Température minimale  
 $(0.4 * X) / 100$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau N°10: les données thermiques du parc national obtenues par extrapolation à partir de Theniet el had 1913-1934 (Seltzer, 1946).**

| <i>Données</i><br>Station | Altitude (m) | M (°C) | M (°C) |
|---------------------------|--------------|--------|--------|
| Theniet.El.Had            | 1.160        | 0,2    | 32     |
| Parc national             | 853          | + 1,42 | 34,15  |
|                           | 1.787        | - 02,3 | 27,62  |

### III.5.4-Les vents

Les vents qui prédominent la région en toute saison, sont de nature et d'ordre Nord-ouest d'origine océanique. Le détail des différentes origines de vent à travers la région de Theniet.El.Had se résume dans le tableau N° 11.

**Tableau N° 11 : Direction des vents dans le parc nationale de theniet el had**

| Station        | Direction des vents en % |    |    |    |    |    |    |    | Total |
|----------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-------|
|                | N                        | NE | E  | SE | S  | SW | W  | NW |       |
| Theniet.El.Had | 15                       | 08 | 01 | 07 | 11 | 12 | 15 | 31 | 100   |

#### III.5.4.1-Le sirocco

Caractérisant les vents d'été venant du désert, ce vent atteint la région du parc national en direction du sud, surtout en été avec une durée assez longue de 21 jours coïncidant avec la période sèche des mois de juin à août.

**III.5.5-Synthèse climatique**

**III.5.5.1-Diagramme ombrothermique de Gaussen**

Gaussen considère que la sécheresse s'établit lorsque la pluviosité P exprimée en millimètres est inférieure au double de la température moyenne mensuelle T exprimée en degrés Celsius. Ainsi, on peut tracer un graphique où l'on porte en abscisse les mois et en ordonnées les températures et les précipitations. Ce type de diagramme est dit ombrothermique. Pour calculer les variantes du diagramme propre au parc, on est amené à faire des extrapolations des températures et précipitations énumérées dans les tableaux qui suivent :

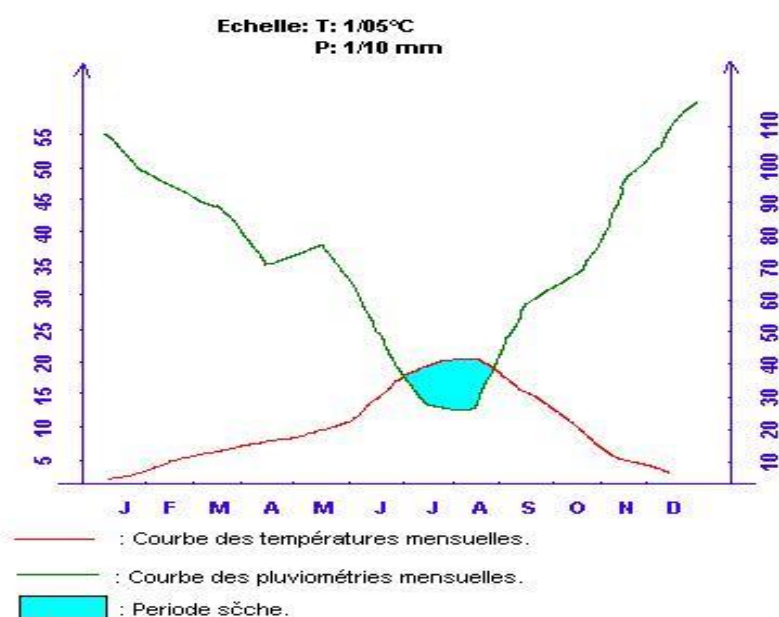
**Tableau N° 12 : Extrapolation des données de précipitations mensuelles et annuelles à partir de Theniet.El.Had pour Djebel El Meddad.**

| Mois           | J     | F    | M    | A    | M    | J    | Jt   | A    | S    | O    | N    | D     | Total |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Altitude 1.787 | 109,9 | 96,9 | 90,9 | 71,9 | 76,9 | 44,9 | 27,9 | 27,9 | 60,9 | 71,9 | 94,9 | 103,9 | 878,9 |
| 853            | 87,7  | 65,7 | 59,7 | 40,7 | 45,7 | 13,7 | 00   | 00   | 29,7 | 40,7 | 63,7 | 72,77 | 505,2 |



**Tableau N° 13 : Répartition mensuelle et annuelle des températures pour le parc national aux altitudes 853 et 1787 m (données extrapolées de la station de T.E.H)**

| T°/Altitude | M     | M     | M     | M     | T     | T     |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mois        | 1787  |       | 853   |       | 1787  | 853   |
| Janvier     | 4,82  | 11,34 | -02,3 | 1,42  | 1,26  | 6,38  |
| Février     | 5,92  | 12,44 | -01,3 | 02,42 | 02,31 | 07,43 |
| Mars        | 08,62 | 15,14 | 01,5  | 05,22 | 05,06 | 10,18 |
| Avril       | 12,12 | 18,64 | 03,5  | 07,22 | 07,81 | 12,93 |
| Mai         | 12,56 | 23,04 | 07    | 10,72 | 11,76 | 16,88 |
| Juin        | 23,32 | 29,84 | 10,3  | 14,02 | 16,81 | 21,93 |
| Juillet     | 26,22 | 32,74 | 13,4  | 17,12 | 19,81 | 24,93 |
| Août        | 27,62 | 34,15 | 13,8  | 17,52 | 20,71 | 25,83 |
| Septembre   | 21,52 | 28,04 | 10,9  | 14,62 | 16,21 | 21,33 |
| Octobre     | 15,72 | 22,24 | 06,9  | 10,62 | 11,31 | 16,43 |
| Novembre    | 09,42 | 15,94 | 01,6  | 05,32 | 05,51 | 10,63 |
| Décembre    | 05,42 | 11,94 | -00,3 | 03,42 | 02,56 | 07,68 |
| Annuelle    | 14,77 | 21,29 | 05,41 | 09,13 | 10,09 | 15,21 |



**Figure N° 28 : courbe ombrothermique de la zone d'étude à partir de 1787 m**

L'application du diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gaussen pour T.E.H :

A 1.787 m : la période sèche est de 03 mois ; elle débute du mois de juin jusqu'à la fin d'août. En plus, la pluviosité est optimale en automne et hivers. Cette période est hétérogène pour le massif et implique plusieurs séries de végétation qui vont s'étaler selon les gradients altitudinaux et climatiques.

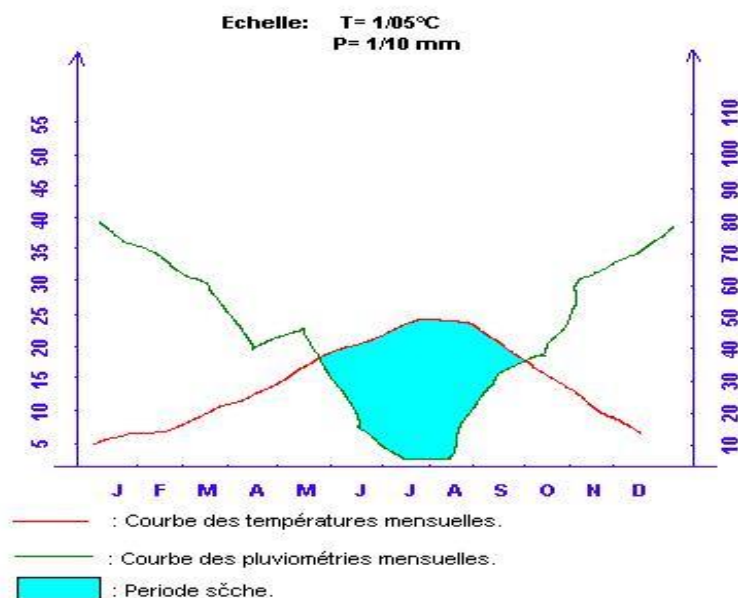


Figure N° 29: courbe ombrothermique de la zone d'étude a 853 m

A 853 m : la période sèche est de 05 mois ; elle débute du mois de Mai jusqu'à la fin de septembre. De plus ; la pluviosité est optimale en automne et hivers.

### III.5.5.2-L'étage bioclimatique

#### *Climagramme d'Emberger*

Le quotient pluviothermique d'Emberger (Q) permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région donnée et de la situer dans le climagramme d'emberger. C'est un quotient qui est fonction de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaud, de la moyenne minimale (m) du mois le plus froid, et de la pluviosité moyenne annuelle (P). Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat de la région est humide (Emberger, 1971).

Les températures et précipitations caractérisent le type de climat régnant dans une région donnée. Le quotient pluviométrique d'EMBERGER est un indice pluviométrique propre à la région méditerranéenne.

Calcul du quotient d'EMBERGER « Q<sup>2</sup> »

$$Q^2 = \frac{1000 \times P}{(M+m) \times (M-m) / 2}$$

ce quotient a été simplifié par Stewart (1969)  $\frac{3.43 \times p}{M-m}$

**P** : précipitation annuelle (en mm).

**M** : température maximale du mois le plus chaud.

**m** : température minimale du mois le plus froid.

**Tableau N° 14: valeur du quotient pluviométrique dans les 02 stations.**

| Station        | Altitude en m | Q <sup>2</sup> |
|----------------|---------------|----------------|
| Theniet.El.Had | 1.160         | 67.74          |
|                | 853           | 52.94          |
| Parc national  | 1.787         | 100.74         |

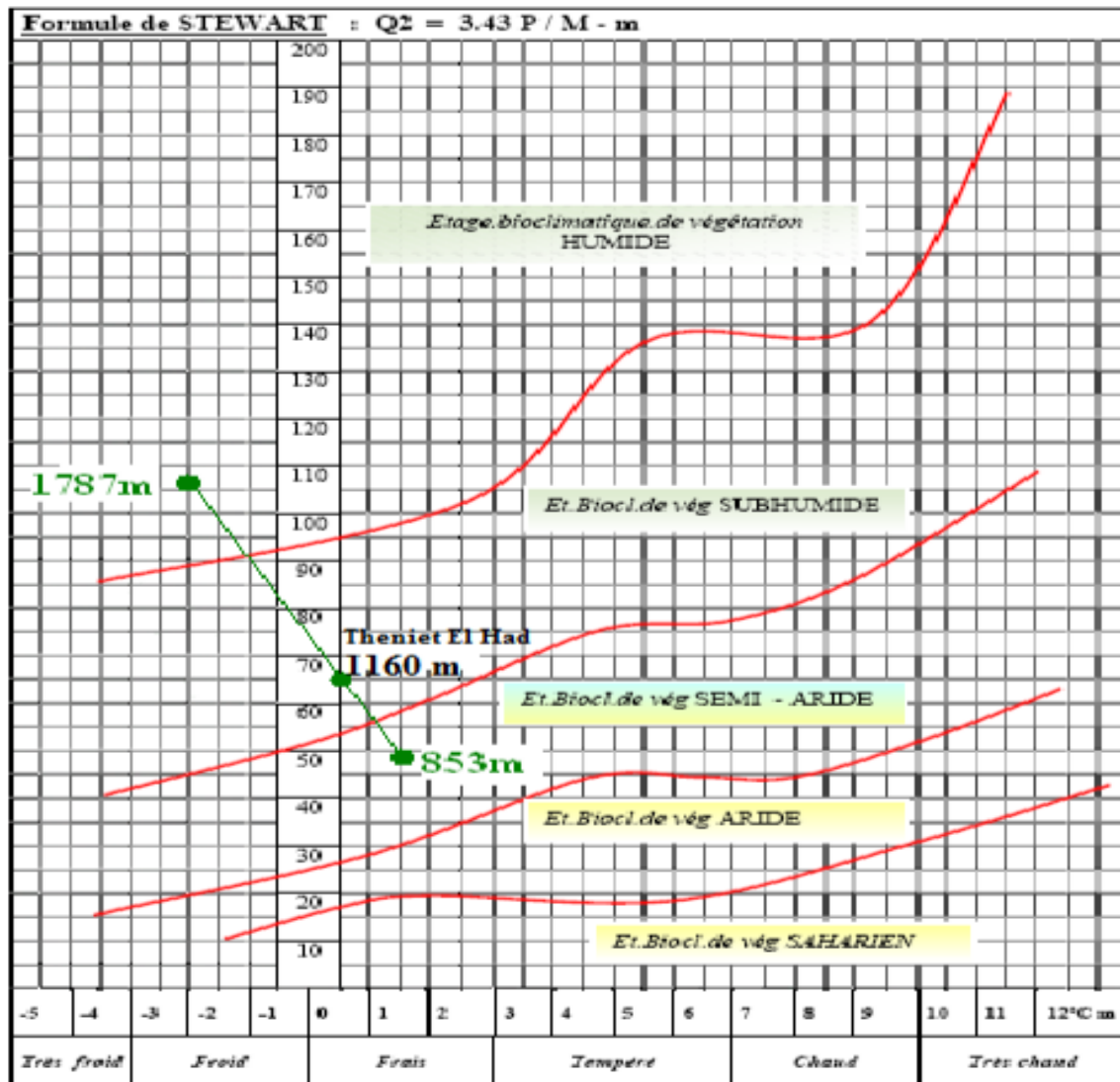


Figure №30: Représentation des Trois (03) Points références dans le climagramme D'Emberger (1966-2004)

### III.6. LA FLORE

Les grands types végétaux déterminés et connus dans l'aire protégée sont représentés dans la (figure 31) et qui sont :

**La Cédraie:** Elle occupe le versant Nord, le recouvrement des peuplements est très important (70-80%). Dans cette strate, la densité est très élevée (200 pieds /ha); c'est une cédraie pure constituée de hautes futaies moyennant 30 m de haut. Le nombre de pieds augmente avec l'altitude et finit par diminuer sur la plus part des crêtes en mélange avec le chêne zeen (*Quercus faginea*) accompagnés avec d'autres espèces buissonnantes (*Crataegus monogyna*, *Prunus avium*, *Juniperus oxycedrus*, *Rosa canina*, *Rubus fruticosus*,...). La moyenne d'âge est située entre 125-135 ans. Sur le versant Sud: Le recouvrement est de l'ordre de 60-70% soit 16-18 m de hauteur moyenne, avec un sous

bois assez dense de *Calycotume spinosa*, *Genista tricuspidata*, *Cistus salvifolius*, etc. La superficie globale est estimée à 1000 ha.

**La yeuse :** Des futaies âgées caractérisent le canton dit « Rond Point ». Généralement dans les basses altitudes, une dominance des formations buissonnantes et épineuses, avec un faible degré de recouvrement, est relevée. La hauteur moyenne est de l'ordre de 08 m. Le sous bois est composé surtout de *Calycotume spinosa*, *Ampelodesma mauritanica*, *Scilla bulbosa*, *Genista scorpius*, *Lavandula stoechas*, et des Cistes (*Cistus* ssp). La superficie globale est estimée à 1000 ha.

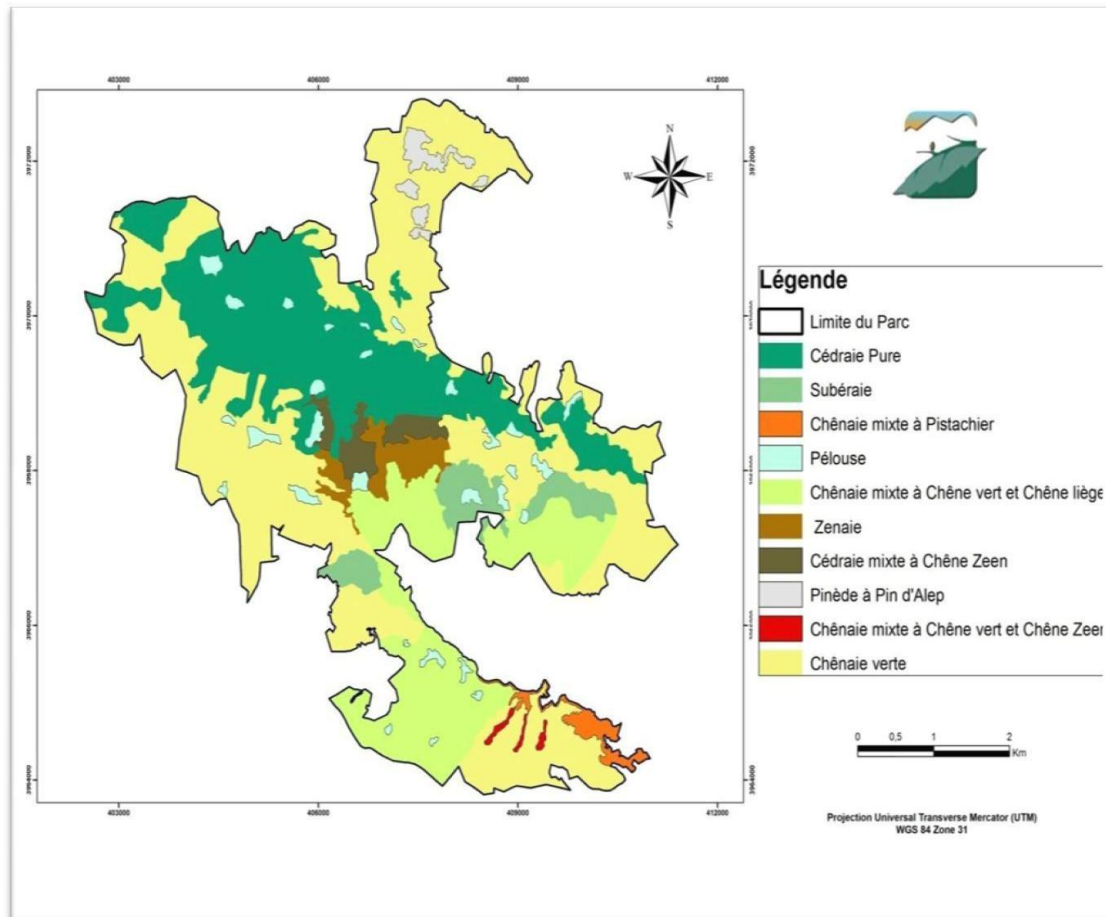
**La Subéraie:** Le degré de recouvrement des arbres est en moyen de 60-70%, une hauteur moyenne de 10-12 m. Elle se représente à l'état de taillis en mélange avec quelques espèces comme *Quercus ilex*, *Calycotum*, *Genista tricuspidata*, *Rosa canina*, *Crataegus monogyna* et *laciniata*, *Juniperus oxycedrus*, etc. La superficie globale est estimée à 640 ha.

**La Zeenaie :** On la trouve dans quelques stations peu étendues, le 1/3 est répandu en forme de futaie en exposition Nord, les 2/3 restent en exposition Sud au stade de gaulis ou perchis. Le peuplement pur de Chêne zeen est pour ainsi dire rare, soit il est en mélange avec le cèdre surtout sur le versant Nord ou avec le Chêne liège et chêne vert sur le versant Sud pour constituer une chênaie mixte.

**La pinède :** Elle s'étend sur une superficie de 760 ha, caractérisé par de vieilles futaie, occupant principalement les basses altitudes du versant Nord du canton Guerouaou. Cependant, à la faveur du réchauffement climatique, plusieurs poches sont entrain de se développer dans l'aire même du cèdre (Guerouaou) et des chênes (Sidi-Abdoun).

**Autres :** Des espèces sont à relever même si elles ne forment pas de peuplements individualisés. Il s'agit du pistachier de l'Atlas que l'on retrouve sur substrat d'éboulis au niveau du versant Nord (Rond-Point, Guerouaou, Pépinière) et le long des cours d'eau (Sidi-Abdoun, Fersiouane, Ourten). Le frêne commun forme des petits bouquets très isolés (Pépinière, Rond Point et Toursout).

Le genévrier oxycèdre est présent en strate dominée à travers tout le parc national. Des espèces autochtones rares sont aussi à signaler : pin des canaries, orme, prunier sauvage, érable de Montpellier, Merisier,...



**Figure N° 31 : Carte de végétation du parc national de Theniet El Had (PNTH ; 2002)**

### III.7. LA FAUNE

Selon (GHALMI, 1990) on trouve le sanglier, le chacal doré, le renard roux, le chat sauvage, le porc-épic, l'hérisson d'Algérie, le lièvre commun, la genette, la belette et la mangouste, l'aigle royal, le rolrier d'Europe, le pic de Le vaillant, le guêpier d'Europe, la huppe fasciée, la couleuvre fer-a-cheval (*Colubra hippocrepis*), la tarantule commune (*Tarentola mauritanica*), la tortue grecque (*Testudo graeca*) et les lézards comme (*Psammodramus algirus*, *Acanthodactylus sp.*).

III.8-Les stations d'étude Canton rond-point

III.8.1-Critères de choix

Nous avons choisi cette zone en raison du déclenchement de l'incendie qui s'y trouve, et c'est ce qui nous a poussé à faire une étude sur la reprise végétative en juin 2019 .

**Carte de la zone d'étude**

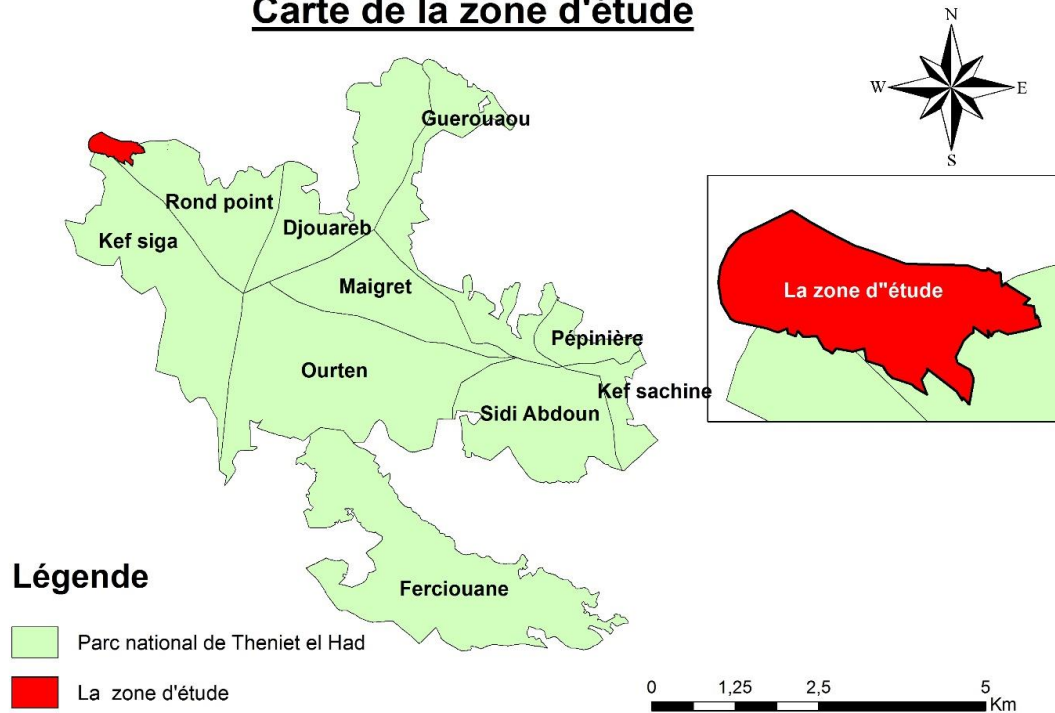


Figure №32 : Carte de la zone d'étude (PNEH,2021)

III.8.2-Délimitation des stations d'étude

Le canton rond point a une superficie de 90 ha, limité au Nord par le canton Djouareb, à l'Est par la commune de Maigret, au Sud par Ourten et à l'Ouest par le canton Kef Siga

# **Chapitre IV**

## **Matériels et méthodes**



## IV -Matériels et méthodes

### Introduction

Les indices de végétation dérivés des données de télédétection constituent une information de base précieuse pour la gestion de l'environnement végétal. Ces programmes ne peuvent exclure de leur champ d'intérêt l'étude de l'environnement végétal qui est sensible aux changements continus à cause des activités humaines. L'indice de végétation s'avère un paramètre indicatif de la qualité de vie ; il constitue un indicateur de l'état de l'environnement et une source d'information potentielle originale.

### IV.1 -Matériels utilisés

#### IV.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 tel que l'information propre à l'occupation des sols et à la végétation puisse être mise en évidence (Tir,2015)

Lors de cette étude, nous avons travaillé avec des images satellitaires (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). 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 N°15** : Les caractéristiques des images satellitaires utilisées.

| ID image                                  | Capteur               | Date d'acquisition | Résolution | Nombre De bande | Taille de l'image (Km) |
|---|-----------------------|--------------------|------------|-----------------|------------------------|
| LC08_L1TP_196035_20180930_20181010_01_T1  | Landsat 8<br>OLI/TIRS | 30-09-2018         | 30m        | 12              | 185*185                |
| LC08_L1TP_196035_20190613_20190619_01_T1  | Landsat 8<br>OLI/TIRS | 06-13-2019         | 30m        | 11              | 185*185                |
| LC08_L1TP_196035_20190901_20190916_01_T1  | Landsat 8<br>OLI/TIRS | 01-09-2019         | 30m        | 11              | 185*185                |
| LC08_L1TP_196035_20200919_20201006_01_T1  | Landsat 8<br>OLI/TIRS | 19-09-2020         | 30m        | 11              | 185*185                |
| LC08_L1TP_196035_20210602_20210602_01_RT. | Landsat 8<br>OLI/TIRS | 02-06-2021         | 30m        | 11              | 185*185                |

#### IV.1 .2-Les logiciels de traitement

##### IV.1 .2.1- ENVI 5.1

ENVI est le logiciel utilisé par les scientifiques, chercheurs et spécialistes de l'analyse d'images ou des SIG pour traiter et analyser les images géospaciales. Le logiciel ENVI intègre les dernières technologies de traitement et d'analyse d'images, au sein d'une interface intuitive et simple d'utilisation, qui permet d'extraire rapidement des informations pertinentes à partir des images. Le logiciel propose une approche guidée et automatisée qui permet aux utilisateurs de réaliser simplement les tâches complexes.

##### IV.1 .2.2- QGIS

QGIS est un logiciel SIG libre qui a débuté en mai 2002 et s'est établi en tant que projet sur Source Forge en juin 2002

QGIS se veut simple à utiliser, fournissant des fonctionnalités courantes. Le but initial était de fournir un visionneur de données SIG. QGIS a, depuis, atteint un stade dans

son évolution où beaucoup y recourent pour leurs besoins quotidiens. QGIS gère un grand nombre de formats raster et vecteur, avec le support de nouveaux formats facilité par l'architecture basée sur les extensions.

QGIS est distribué sous la licence GNU GPL (General Public License). Ceci signifie que vous pouvez étudier et modifier le code source, tout en ayant la garantie d'avoir accès à un programme SIG non onéreux et librement modifiable. Vous devez avoir reçu une copie complète de la licence avec votre exemplaire de QGIS, que vous pouvez également trouver dans l'Annexe. **(WEB.ARCHIVE ; 2014).**

## **IV.2- méthodes**

### **IV.2.1- Extraction de l'information des images Land sat**

L'extraction de l'information à partir des images Landsat se fait à travers une série d'opérations regroupées en deux phases. Une première phase consacrée au prétraitement des images et une seconde phase dédiée au traitement proprement dite.

#### **IV.2.2-Prétraitement des images Landsat**

Le prétraitement des données regroupe toutes les opérations qui sont effectuées dans le but de rendre les lots de données lisibles et superposables.

Il s'agit des corrections géométriques et radiométriques, du mosaïquage et de l'extraction du secteur d'étude.

Les améliorations radiométriques corrigent les effets des différents perturbation de la mesure radiométrique, alors que celles géométriques rendent possible la superposition à d'autres documents cartographiques de référence. **(KABORE. B ; 2007)**

#### **IV.2.3-Création de masque**

Le masque consiste à cacher une partie de l'image qui n'a aucun intérêt et qui pourra influencer sur les résultats des traitements et à conserver intacte l'autre partie **(GIRARD. D ; 1999 in GUERINIAI. A ; 2012).**

Notre masque a été appliqué sur les Cinq images (2018, juin 2019 avant l'incendie, septembre 2019 après l'incendie, septembre 2020 et septembre 2021) grâce à un fichier vectoriel sous format \*.**evf** qui correspond à la délimitation de la zone d'étude.

L'objectif de cette application est de construire un masque unique utilisé tout au long du travail afin de cacher la partie au-delà de la zone d'étude. On attribue une valeur « 0 » aux

pixels à l'extérieur de la zone d'étude et la valeur de «1» aux pixels situés à l'intérieur des limites incluses. L'application de ce masque nous a permis de réduire la taille de la zone d'étude, afin de réduire le temps dans le traitement des Données.

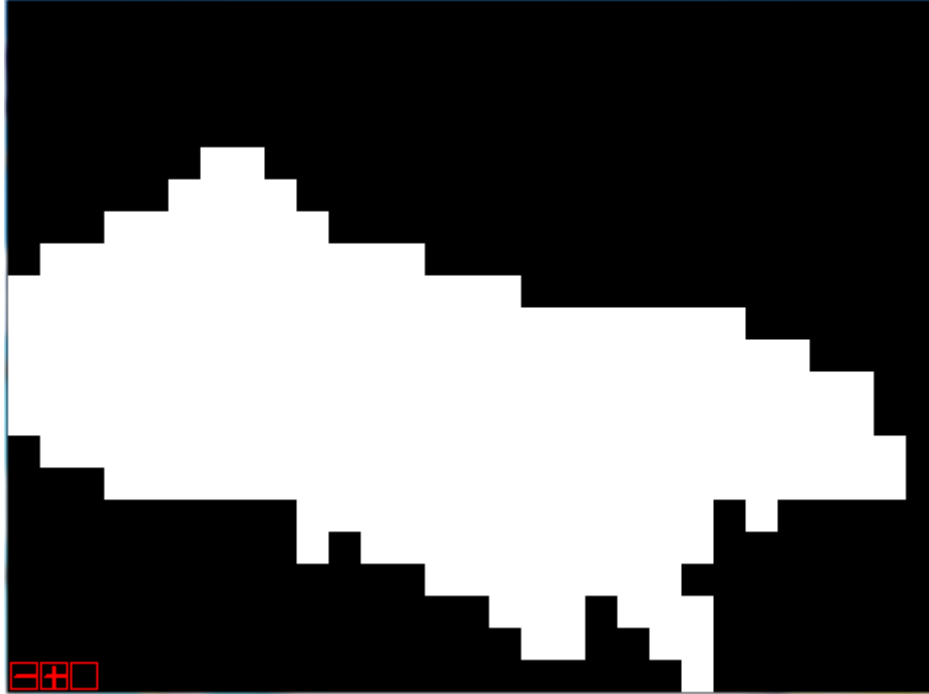


Figure N°33 : le masque utilisé



Figure N° 34 : le masque appliqué sur l'image

#### IV.2.4-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.)

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), in Tir el hadj, 2015).

#### IV.2.5-Traitements et analyses

Dans cette étude, l'objectif principal défini est d'évaluer l'état de la couverture végétale 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 (2018, juin 2019, septembre 2019, 2020 et 2021) .

La démarche méthodologique adoptée repose essentiellement sur l'analyse et l'interprétation du NDVI

#### **L'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Végétation Index)**

Défini par Tucker (1979), le NDVI est un indice de végétation sans dimension utilisé couramment dans les études sur le suivi de la végétation à partir des données multi spectrales de télédétection. Cet indice rend compte de l'activité chlorophyllienne de la canopée et permet de quantifier la biomasse végétale produite (Huete et al., 2002).

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

Avec : PIR = la réflectance dans le proche infrarouge,

R = la réflectance dans le rouge

Les applications du NDVI sont nombreuses : évaluation de la déforestation, suivi des feux de forêts, de la désertification et même des ravages causés par les insectes (Jepsen et al, 2009).

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 les sols nus, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7.

Les valeurs faibles correspondes à la végétation soit qui souffrent d'un stress hydrique ou morte ou que les données ont été enregistrées sur un sol nu.

Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses caractérisés par une forte activité de photosynthèse et en bonne santé.

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 formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement supérieures à 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 (2018, juin 2019, septembre 2019, 2020 et 2021).

#### **IV.2.6-Contours des feux**

Afin de délimiter les zones cibles, nous avons utilisé une image satellite Landsat 8 prise juste après l'incendie (26 juin 2019) et nous avons tracé manuellement un masque représentant les contours de l'incendie.

#### **IV.2.7-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 le passage de feux.

#### **IV.2.8-Détection des changements**

Une image de référence c'est sur laquelle qu'on doit se référer d'appliquée la normalisation, elle doit répondre aux critères suivants: (**GIRARD. D ; 1999 in GUERINIAI. A; 2012**)

- Une couverture nuageuse minimale.
- Une large dynamique de radiométrie.
- Une date d'acquisition proche du milieu de la série.

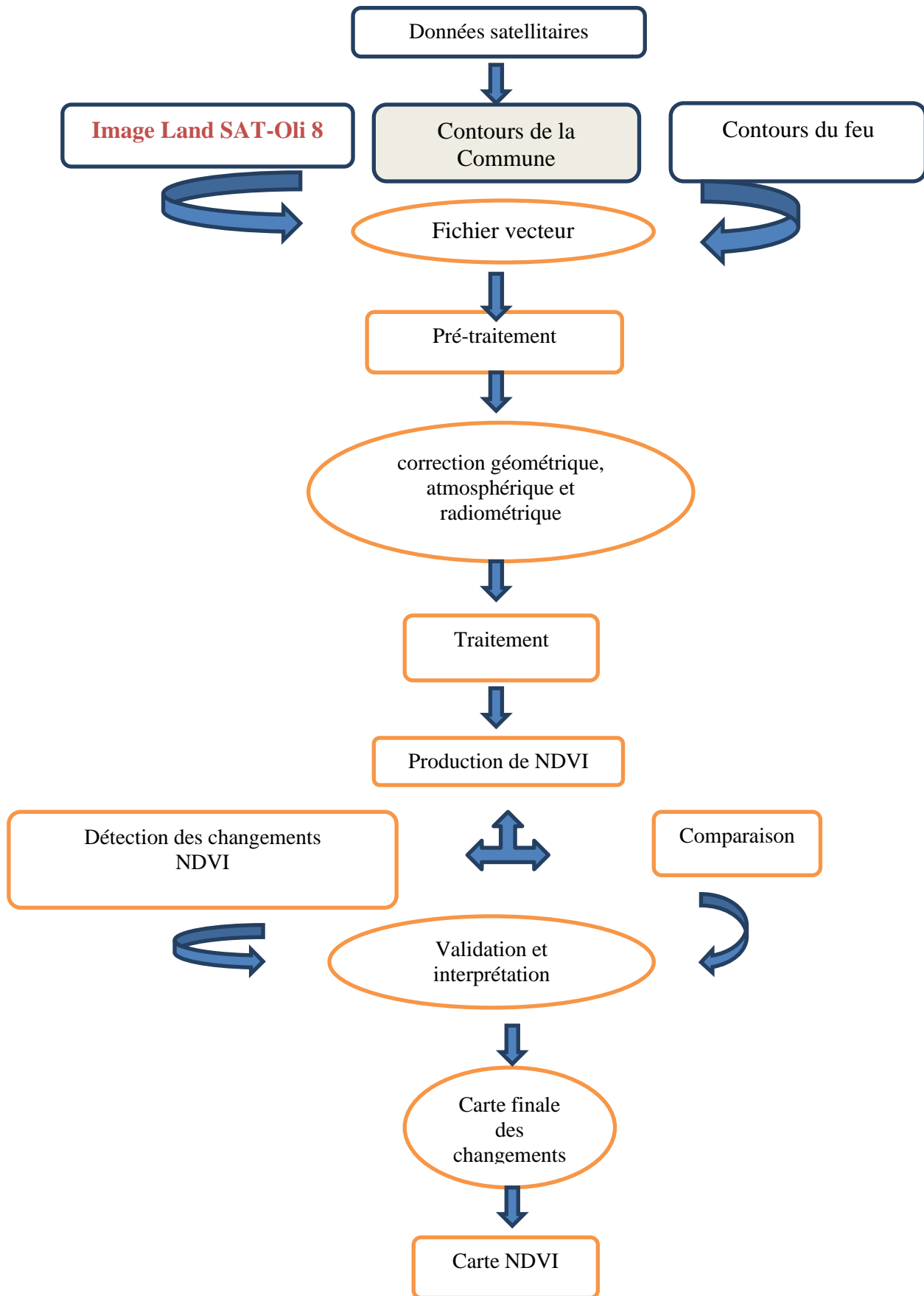


Figure №35 :Organigramme méthodologique des différentes étapes de la détection du changement de la couverture végétale

***Chapitre V***  
**Résultats Et**  
**Discussion**



## Introduction

Ce chapitre regroupe les résultats de différentes opérations effectués sur les cinq images afin d'étudier et d'évaluer l'évolution spatio-temporelle de la reprise végétatif avant et après l'incendie au sein de notre zone d'étude.

Dans cette étude, nous avons décrit l'indice de végétation les plus simple et souvent utilisé en télédétection. Ils constituent des combinaisons de réflectance et permettent de mettre en évidence les différences de comportement spectral entre végétation "verte" et sol nu (ou végétation sénescence) dans le visible et le proche infrarouge. L'étude et l'application de cette indice permet de suivre spatialement et temporellement l'évolution du développement de la végétation.

### V.1-Résultat et discussion

Le tableau ce dessous représente la répartition des valeurs d'NDVI selon les années et les scènes à étudier 2018,06/2019,09/2019,2020 et 2021 par apport différents points a suivie aléatoire.

Le résultat d'un NDVI sa change d'une zone a une autre et d'une année à une autre à savoir avant d'éclatement de l'incendie ou après le feu de forêt.

Les valeurs représente une corrélation linéaire lorsque la valeur NDVI augment, l'activité chlorophyllienne augment ce qui justifier une reprise végétatif peu ou plus dense

- Dans les années 09/2018 et 13/06/2019, avant le début du feu de forêt ; on remarque une répartition des NDVI allons jusqu'au 0.51 ce qui montre une activité chlorophyllienne très importante semble à un couvert végétale peu ou plus dense.
- Dans la période 01/09/2019 après l'éclatement le feu de forêt (26/06/2019), on remarque un baisse des valeurs d'NDVI ce qui justifier et Prouver qu'il y a eu un incendie allons jusqu'à 0.19 et par conséquence une destruction du couvert végétale dans le canton rond-point (la zone d'étude PNTH) .
- Dans les années 09/2020 et 06/2021 on remarque une augmentation des valeurs d'NDVI allons jusqu'à 0.45 ce qui montre une activité chlorophyllienne très importante et une reprise végétative remarquable.

Nous sommes allés sur le terrain en 02/06/2021 pour nous assurer du processus de la reprise végétative, Cela nous confirme la densité du couvert végétal dans la zone d'étude après l'incendie

**Tableau N° 16: résultat d'NDVI pour chaque année par apport  
chaque zones**

| zone | 30/09/2018 | 13/06/2019 | 01/09/2019 | 19/09/2020 | 02/06/2021 |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| P1   | 0,368133   | 0,334554   | 0,199053   | 0,220057   | 0,331092   |
| P2   | 0,355673   | 0,350617   | 0,222096   | 0,235741   | 0,34935    |
| P3   | 0,494788   | 0,415995   | 0,39923    | 0,40536    | 0,416078   |
| P4   | 0,514423   | 0,455532   | 0,355231   | 0,403927   | 0,424101   |
| P5   | 0,519426   | 0,470581   | 0,455302   | 0,438005   | 0,457217   |
| P6   | 0,475428   | 0,44459    | 0,413615   | 0,397861   | 0,44942    |

Les cartes d'indices de végétation NDVI ainsi obtenues sur la zone pilote étudiée montre que les fortes valeurs du NDVI, au-dessus de 0.40, sont attribuées à la végétation dense. Les sols nus ont les faibles valeurs, au-dessous de 0,3.

La première scène (30/09/2018) est le point de départ considérée comme témoin.(Fig37)

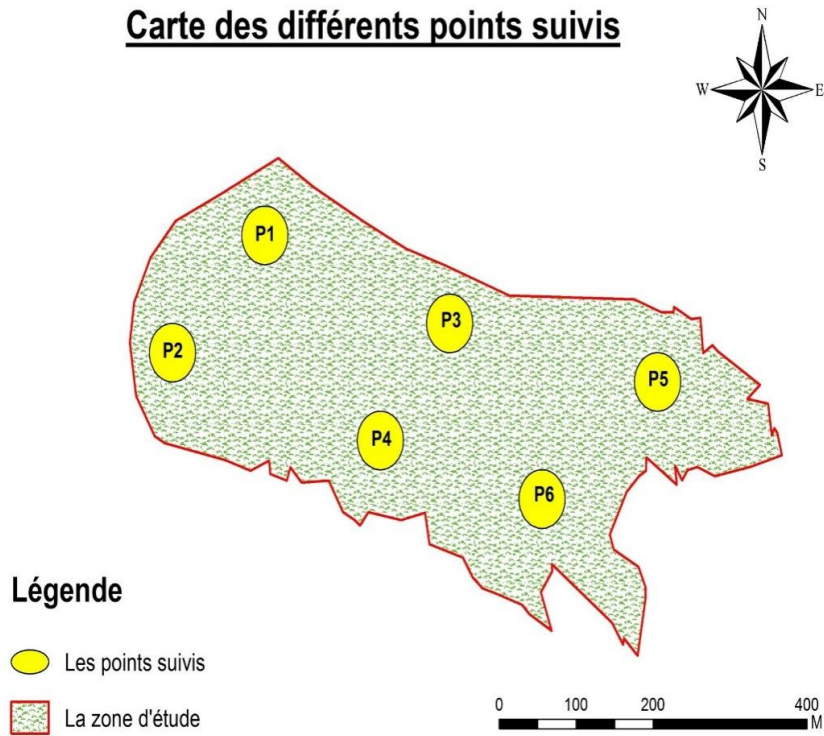
Les autres scènes représentent un suivi de la variabilité spatiale temporelle de l'indice de végétation sur une période de 04 ans à partir du 2018 au 2021, le choix est fait sur la période entre la saison estivale par le mois de Juin et la période d'automne (septembre) pour négliger la régénération des plantes annuels.

Afin de comprendre les changements de l'indice de végétation, NDVI, nous avons choisi des emplacements des échantillons aléatoires dans la même zone de feu et on a appliqué le même emplacement sur toutes les cartes des valeurs d'NDVI **Figure N° 36**

le choix des points d'intérêt a été basé sur les cartes ndvi

Les zones rouges sont les zones incendies et les zones en verte représentent la végétation sain alors que la couleur jaune traduit une végétation partiellement affectés par les feux.

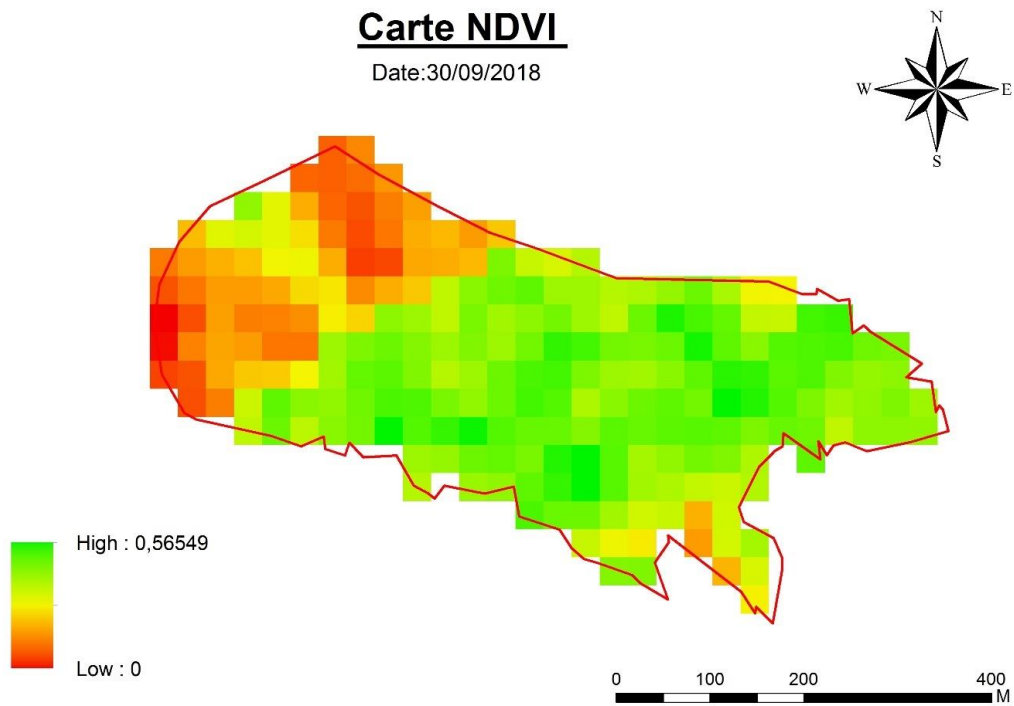
**Carte des différents points suivis**



**Figure № 36 : carte des différents échantillons dans la zone d'étude**

**Carte NDVI**

Date:30/09/2018

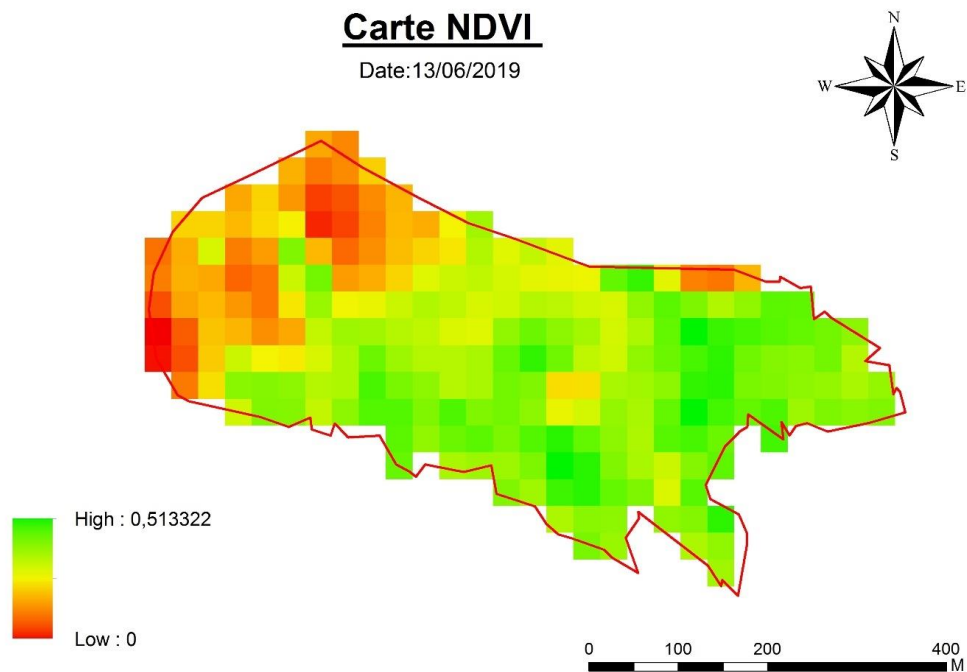


**Figure № 37 : Indice de végétation de canton en 30/09/ 2018.**

NDVI est un indice de végétation par différence normalisée, En télédétection les indices sont générés à partir d'images satellitaires pour traiter une information en particulier. Dans le cas de l'NDVI est-il corrélé a l'activité chlorophyllienne, l'NDVI prend des valeurs allant de -1 à +1, les valeurs qui oscillent aux alentours de +1 correspondent à la végétation dense, 0 représente un sol nu, la valeur -1 représente plan d'eau ou zone humide.

L'analyse des figures N°37 et N°38, montre bien que les fortes valeurs sont observées dans la scène du 30/09/2018 et 13/06/2019 , présente l'activité chlorophyllienne du couvert végétal la plus importante avec une valeur de NDVI max de l'ordre de 0.51, par contre dans la même scène on observe les valeurs de 0.36 et 0.35 pour les points N° 1 et N° 2 situés dans la partie incendiées, les autres scènes montrent que les valeurs du NDVI pour les mêmes points ont nettement reculé jusqu'à 0.19 et 0.22 pour l'année 2019 à cause de l'incendie dans la zone d'étude.

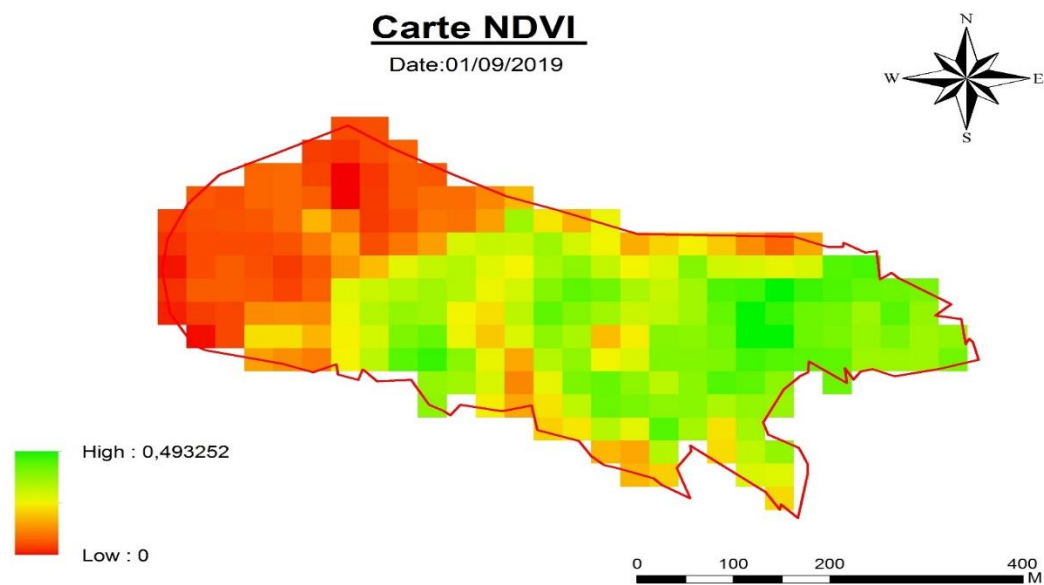
La figure N°39 et N°40 montre l'évolution de l'indice de végétation pour les scènes entre 2018 à juin 2021, cette dernière permet de comparer les valeurs du NDVI par pixels pour ces années, la cinétique de la couverture végétale chlorophyllienne, avec un pic de végétation observé en 30/09/2019, les faibles valeurs sont observés en 2019, montrant des mutations régressives de la couverture à cause de l'incendie ce qui a augmenté la portion des sols nus, les valeurs de l'indice de végétation pour les années 2020 et 2021 montres une légère amélioration par des valeurs allant de 0.33 à 0.34 traduite par une reprise et évolution progressive (régénération) de la canopée. Les vides commence à diminués pour rendre place à la végétation.



**Figure № 38** : Indice de végétation de canton en13/06/2019

La comparaison entre les Cinq «05 » cartes fait ressortir une régression du couvert végétale quoi que cette explication tirée a partir de la date d'éclatement du feu 26/06/2019 ; puis une régénération et une reprise végétatif observable en 2020 et 2021.

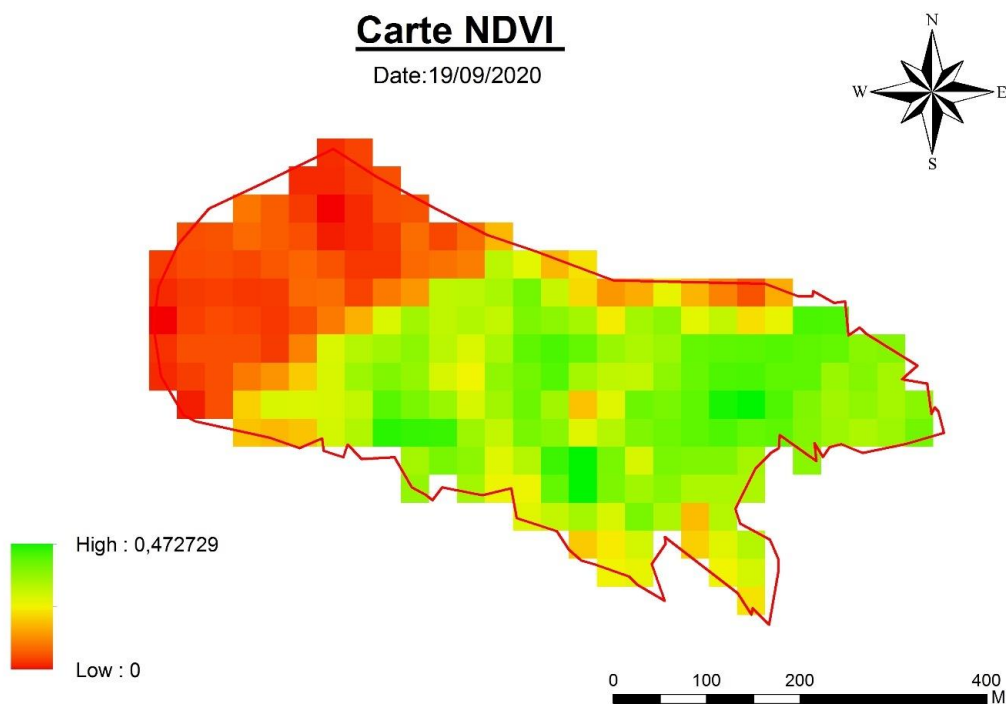
L'analyse de la figure **№39** (Après le feu de forêt)montre bien que une diminution des valeurs de l'NDVI (P1 :0.19, P2 :0.22) à cause de déclenchement de l'incendie dans cette période et dans cette zone, la surface touches est celle de **25 ha (PNEH 2021)**



**Figure №39** : Indice de végétation de canton en 01/09/2019

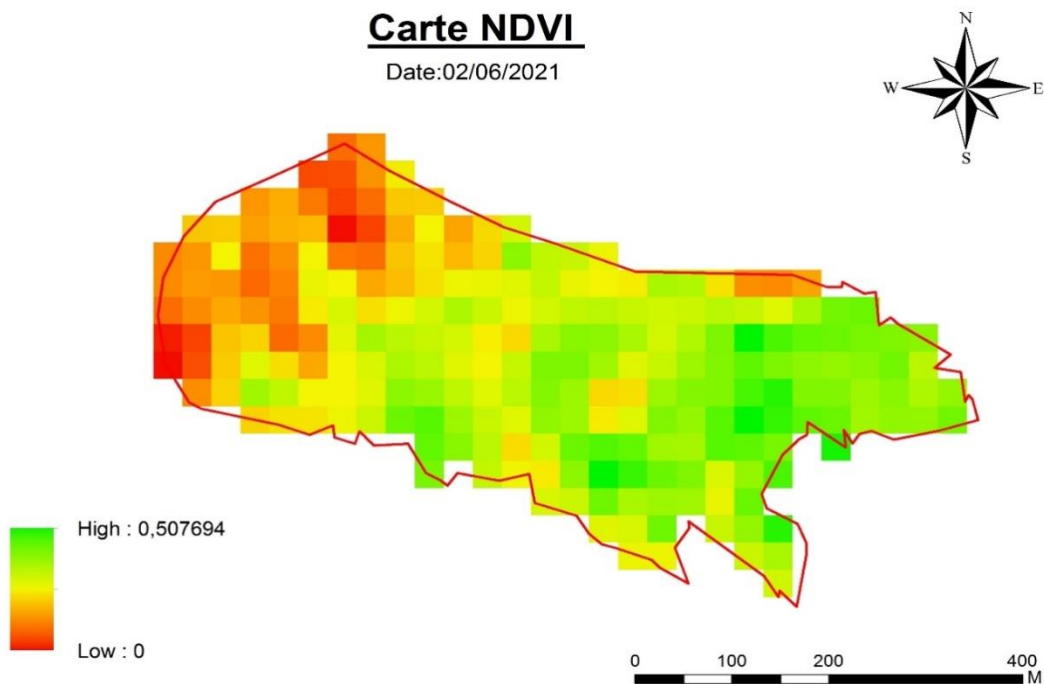
L'analyse de la figure **Nº40** montre une augmentation des valeurs de l'NDVI 0.23 en septembre 2020, 0.34 en juin 2021 ce qui nous explique une forte activité chlorophyllienne et par conséquent une reprise végétatif remarquable après le feu de forêt.

La partie rouge c'est la partie la plus touchée par l'incendie alors que la couleur verte représente tous qui est végétale

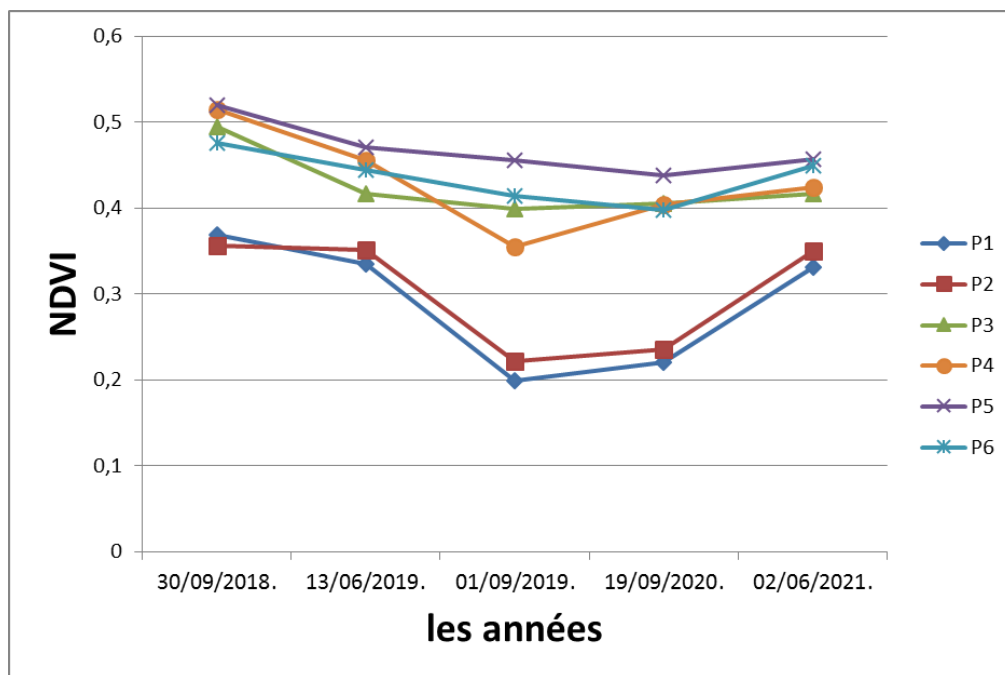


**Figure Nº40** : Indice de végétation de canton en 19/09/2020

L'analyse de la figure **Nº41** montre une augmentation des valeurs de l'NDVI 0.23 en septembre 2020 , 0.34 en juin 2021 ce qui nous explique une forte activité chlorophyllienne et par conséquent une reprise végétatif remarquable après le feu de forêt



**Figure №41 :** Indice de végétation de canton en 02/06/2021



**Figure №42: Evolution de l'indice de végétation pour les scènes 2018 ,juin 2019, septembre 2019, 2020,2021**

La figure №42 permet de comparer les valeurs du NDVI par pixels pour les années 2018 à 2021, la cinétique de la couverture végétale chlorophyllienne, avec un pic de végétation observé en 30/09/2018 (scène témoin).

Les figures №39, №40 et №41 présentent les confrontations entre la scène témoin et les autres scènes du suivi temporel avec la droite de corrélation.

L'analyse de corrélation entre les valeurs du NDVI montre une corrélation variable entre les scènes. On remarque bien que la pente des droites de régression change en fonction du mois et change en fonction de l'état du couvert végétal du point de vue de l'activité chlorophyllienne et la biomasse végétale produite.







**PHOTOS PRISES LE 02/06/2021**

*Conclusion*  
*générale*

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

La base cartographique mise en place constitue un outil de gestion des unités de conservation et de suivi de l'évolution des couverts végétaux et de l'occupation du sol. Couplée aux systèmes d'informations géographiques (SIG), la télédétection apparaît comme un outil efficace à mettre à la disposition des gestionnaires, dans ce domaine le travail réalisé constitue une première approche. Il a pour objectif de faire un suivi de l'évolution du couvert végétal dans le canton round-point de parc National de Theniet elhad, Tissemsilt.

Au-delà de l'aspect pratique de cette étude, elle ouvre des pistes pour mener des projets d'aménagement et de réhabilitation du couvert végétal. Les données de télédétection exploitées dans le cadre de ce travail se sont avérées bien appropriées à la problématique abordée.

En termes de perspectives, il serait intéressant d'utiliser des images satellitaires à des résolutions plus élevées pour faire une analyse plus détaillée de la dynamique du couvert végétal afin de mieux discriminer les zones de dégradation.

Cette étude a montré les possibilités d'analyser la dynamique du couvert végétal dans le canton round-point de PNTH, Tissemsilt.. Nous espérons, à travers ce travail, avoir montré l'état de dégradation de la végétation dans notre zone d'étude et avoir mis l'accent sur les principaux facteurs qui en sont responsables, ce qui tire la sonnette d'alarme pour une meilleure prise en charge de ces problèmes et tout particulièrement celui des incendies de forêts.

*Références*  
*Bibliographique*

### Références Bibliographique

- Abdellah Mahdjoubi.K et Zerka. A; 2018** Abdellah Mahdjoubi khadidja et Zerka aicha , contribution a l'élaboration d'un système d'information géographique (sig) des grandes types de végétation dans le parc national theniet el had (canton pépinière), mémoire de master, université djilali bounaama khemis miliana, 2018 , p14.
- Alexandrian D, Esnault F.et Calabri G., 1998-** Feux de forêt dans la région méditerranéenne Cet article s'inspire d'une étude préparée en vue de la réunion de la FAO sur les politiques publiques concernant les feux de forêt, tenue à Rome (Italie) du 28 au 30 octobre 1998, 8p.
- Arianoutsou M., 1999.** Aspects of demography in post-fire mediterranean plant communities of Greece. Ecological studies 136. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. 273 - 295.
- Armson K.A., 1977 :** Forest soils, Univ Toronto Press, Toronto (Ont.). 390p.
- 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.
- Amour Z.,2008 -** Utilisation de la télédétection et des SIG pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol en zone aride ( Cas du Sud du Hodna ) .
- Arfa A., 2003.** Les incendies de forêts dans l'extrême Nord-Est algérien : cas des wilayas de Skikda, Annaba et Taref, période 1990-2000. Mém ing d'Etat. Univ Constantine. 82p.
- Bannari A, Morin D, Huete A.R. et Bonn F., 1995.** A review of végétation indices. Remote Sensing Reviews, n°13, 95-120.
- BONN F. et ROCHON G., 1992.** Précis de télédétection. 1 : Principes et méthodes. Presses de l'université de Québec/AUPELF. 485 pages.
- Berrichi M., 2013 :** Défense des forêts contre les incendies ; facteurs favorisant les incendies, conséquences et lutte . polycopies des cours. Univ Tlemcen. 66p.
- Boulerie P., 2008.** Introduction à la télédétection, d'après le cours de «Olivier Joinville »,ENSG. 5p.
- Canakcioglu, H. 1986:** forest fires and fire problems in turkey. Document présenté au séminaire sur les méthodes et matériels a utiliser pour prévenir les incendies de foret, Valence, Espagne, 29 septembre -4 octobre 1986.15 p .+ annexes.
- Carbonell G., Dusserre G & Sauvagnargues S., 2004.** Embrasement généralisé éclair en feu de forêt. Le sage Lieutenant-colonel J.P. Monet.
- CHABIRA C., 2007-** Apport de l'outil SIG télédétection pour la détection de l'estention urbaine (wilaya de Djelfa). Mém. Ing. Centre universitaire de Djelfa, pp18-33

## Références Bibliographique

---

- Chautrand L., 1972** : Les incendies de forêt en Provence -côte d'Azur- Bulletin technique d'information. Les incendies de forêts dans la région méditerranéenne. N° spécial, 268: 405-414.
- 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. 149p.
- Chaoui. A ; 2017,** Chaoui Aboubakr , Situation sanitaire et sylvicole de la subéraie du massif forestier de Theniet El Had, mémoire de master, université abou bekr belkaid Tlemcen,2017 ,p20.
- CCT ;2018** Centre Canadien de Télédétection. Notions fondamentales de télédétection, Un cours tutoriel du Centre canadien de télédétection
- CCT, 2005.** Centre Canadien de Télédétection, 2005.
- CCT, 2007.** Notions fondamentales de télédétection. 266p.
- CPS., 2011.** Guide d'initiation à la télédétection appliquée à la pêche hauturière de thonidés. Section développement de la pêche côtière et secrétariat général de la Communauté du Pacifique. Nouméa (Nouvelle-Calédonie).22p.
- CEMAGREF. ENSMP-ARMINES. Agence MTDA.,** Colloque de restitution des travaux de recherche du SIG Incendies de forêt. 4 Décembre 2002. Marseille (France).
- 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.
- Carle P., 1974** : Santé des peuplements et équilibre biologique dans les forêts après passagedu feu. Les incendies de forêts. S-T1- 198p.
- CEREN (1999).** "La réhabilitation d'un massif incendié : Le massifde l'Étoile". Infos DFCI, 42, pp 1-2.
- Claude. K ; 2018** Claude Kergomard, Professeur Ecole Normale Supérieure Paris, la télédétection aérospatiale, une introduction. PP1-
- Caloz R et Puech C., 1996.** Hydrologie et imagerie satellitaire in Précis de télédétection. Volume 2 : Applications thématiques. Presses de l'Université du Québec UREF / AUPELF. 159-196.
- Duminil. T., 2007.** Exploitation de données de télédétection en vue d'étudier la mise en place de l'écotourisme dans la région de Andavadoaka (Madagascar). Rapport de stage deuxième année SUPAGRO, Montpellier, 19 p.
- Deshayes.H et Maurel. P ; 1990,** Deshayes et Maurel.P., L'mage spatial et son contenu, Options Méditerranéennes Série A N° 4, 1990, pp.11-20.
- De Luis M., Raventos J., Wiegand T. & González-Hidalgo J.C., 2008.** Temporal and

## Références Bibliographique

---

- spatial differentiation in seedling emergence may promote species coexistence in Mediterranean fire-prone ecosystems. *Ecography.*, 31: 620 –629.
- 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.
- Daskalakou E.N. & Thanos C.A., 2004.** Post-fire regeneration of Aleppo pine -the temporal pattern of seedling recruitment. *Plant Ecol.*, 171: 81 -89.
- Dip M., Zaiz A., 2011.** Apport du SIG dans l'étude de la productivité des espèces forestières : Cas du cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Theniet ElHad.
- Darabid. D et Boucekara .M ; 2013,** Darabid Djamil - Boucekara Mohamed Kasem, extraction des différents indices de vegetation a partir des images satellitaires, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Licence en Informatique, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2013,P17.
- 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.
- Emberger., 1971.** Travaux de botanique et d'écologie. France : Ed Masson et Cie. 520p.
- Ettarid. M et Degaichia. F ; 2014,** Ettarid. M et Degaichia, potentiel cartographique de l'imagerie ikonos geo, Département de Cartographie et Photogrammétrie- Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Institut National de Cartographie et de Télédétection – Algérie, 2014.
- Feller M.C., 1982 :** The ecological effects of slash burning with particular reference to British Columbia : A literature review, B. C. Min. For., Land Manage. Rep. N°13. 60p.
- 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.
- Fensholt R., 2003.** Assessment of primary production in a semi - arid environment from satellite data: exploiting capabilities of new sensors. Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark. 270p. – PhD
- Ghalem A., 2006-** étude typologique, stratégie de réhabilitation et réaction du milieu après incendie: cas de la subéraie de Hafir et Zarifet (Wilaya de Tlemcen) mémo. Ing. Fac. scien. Dép. Forest. Univ. Tlemcen. 94p
- Ghalmi R., 1990.** Contribution à l'étude écologique des Mammaliens du parc national de Theniet El Had. IV, Index. Paris. France
- Gherabi B., 2013 :** Contribution à l'étude de la reprise végétative du chêne liège après incendie cas de la forêt de Zarriffet Wilaya de Tlemcen. Mémoire de Licence en foresterie. Université

## Références Bibliographique

---

de Tlemcen. 83p.

**Golay F., 2007** - Télédétection et images numérique. Cours., Laboratoire de systèmes d'information Géographique (SIG). p 12.

**Guerinial. A; 2012** , Analyse spatio-temporelle par télédétection de la région de Djelfa - Evolution de l'occupation du sol- Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach – Alger Mémoire de magister en sciences agronomiques Spécialité : Foresterie et Protection de la Nature Option : Foresterie et Conservation de la Biodiversité.

**Gerard,1999** Gerard G -Climatologie des environnements. Cours et exercices corrigés. Ed.Dunod, Paris, 1999.

**Gilabert M.A, González-Piqueras J, García-Haro F.J et Meliá J. A., 2002.**

Generalizedsoil - adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, n°82, 303-310.

**Girard M.C. et Girard C.M., 1999.** Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris,529 p. + CD-ROM.

**Girard M. C., et Girard, C. M., 1989.** Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales. (2 ed.), Paris, Masson, 260 p.

**Guyot G., 1984.** Caractérisation spectrale des couverts végétaux dans le visible et le proche infrarouge, application à la télédétection. Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n°95, pp 5-14.

**Gower, J.F.R., Borstadt, G.A., Gray, L.H. et Edel, H.R., 1988.** The Fluorescence LineImager : High-Resolution Imaging Spectroscopy Over Water and Land. Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, 273-278 p. France.

**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., 259p.

**Huete A.R., 1989.** Soil influences in remotely sensed vegetation canopy spectra. Theory and application of optical remote sensing, 107-141. - **Jensen J.R., 2000.** Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective. Upper Saddle River : NJ: Prentice Hall. 544p.

**Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., P., Gao, X., Ferreira, L. G., 2002.** 'Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.', Remote Sensing of Environment n°83, pp 195–213

**Jappiot M., Blanchi R., & Alexandrian D., 2002.** Cartographie du risque : recherche méthodologique pour la mise en adéquation des besoins, des données et des méthodes.

**Jepsen, J., U., Hagen, S., B., Hogda, K., A., Ims, R., A., Karisen, S., R., Tommervik, H.,**



## Références Bibliographique

---

- Jensen J.R., 2000.** Remote sensing of the environment: *an Earth resource perspective*. Upper Saddle River : NJ: Prentice Hall. 544p.
- Keeley J.E., 2009.** Fire intensity, fire severity and burn severity : a brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire.*, 18: 116 - 126.
- Konstantinidis P et Chatziphilippidis G., 1994.** "Natural regeneration of a Mediterraneanaleppo Giralt.39p
- Khalid F., 2008.** Contribution à l'élaboration d'un plan de prévention des risques incendiés de forêt. Thèse Magister. Univ de Tlemcen, Fac des Sciences, département de forêt. Algérie, 162 p
- Khedim. R ; 2018** , Étude de la biodiversité lichénique du Parc National de Theniet-el- Had (Tissemsilt, ALGERIE) , Université Djillali Liabes de Sidi-Bel-ABBES, 2018,P56.
- Kabore. B ; 2007** , Bernard Kabore ; Cahiers du cerleshs, Lettre, Science Humaines et Socials, Centre D'études et de recherche en lettres science Humaines et Socials ,2007.
- Lillesand T., Kiefer R. W & J. W Chipman., 2004.** Remote Sensing and Image Interpretation . 5<sup>th</sup> edition : John Wiley and Sons, New York, USA. 763p
- Long M. Rupert C. Piana C. Japiot M. Lampin C. Ganteaume A., 2008** : Amélioration de la connaissance des causes de départ de feu de forêt Convention DGFAR Forest Focus n° FF 2004-06 Juillet 2008 100p
- 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, Tesseloniki, Greece, 4-6 November 1993:71-83
- Maclean D.A., Woodley S.J., Weber M.G., et Wein R.W., 1983** : Fire and nutrient cycling, dans Wein. R.W., et Maclean. D.A., (édit). The role of fire in northern circumpolar ecosystems, John Wiley and Sons, 111-132p.
- Mangas V.J., (1992).** "Effects of a fire on runoff and erosion on mediterranean forest soils in SE Spain". *Pirineos*, 140, pp 37-51.
- Manière R., Bassisty E., Celles J. C et Melzi S., 1993.** Utilisation de la télédétection spatiale (données XS de Spot) pour la cartographie de l'occupation du sol en zones arides méditerranéennes : exemple d'Aïn Oussera(Algérie). *Cah. Orstom, ser. Pédol.*, vol. XXVIII, 1, 67-80.
- Melazem B., 1990.** Etude des facteurs limitant de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* Manetti dans le parc national de Theniet.El.Had. Thèse, Ing, USTHB-Bab Ezzouar- Alger. 61p.
- Moquet A., 2003.** Apports de la télédétection pour la cartographie d'habitats terrestres en zones humides méditerranéennes, application aux habitats de la Réserve Nationale de

## Références Bibliographique

---

- Camargue. PFE d'Ingénieur Agronome. École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Nancy. 64p.
- M.T.F., 1973.** Manuel de lutte contre les feux de forêts. Ministère des Terres et Forêts. Pierre Lefebvre. Québec. Canada. Inc. Sillery. 437p.
- 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. Introduction p
- Margerit J., 1998.** Modélisation et simulations numériques de la propagation de feux de forêts. Thèse Doct. Inst. National polytechnique de lorraine. Nancy. France. 260p
- 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. 256p.
- PNTEH.,(1984, 2002,2006,2015,2016 ,2018,2019, 2021)** Direction de parc national de Theniet elhad
- PNTEH., 2013.** <http://www.kherdja.com/detail-guide/5600-parc-national-de-theniet-elhad.html>.
- Pausas J.G., Llovet J., Rodrigo A. & Vallejo V.R., 2008.** Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? -A review. In. *J. Wildland Fire.*, 17: 713 -723.
- Peduzzi. P., 2009.** Initiation à la télédétection. Notes du cours « satellites et applications ». Université de Genève.
- Quezel P, & Medail F., 2003.**—Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Editions Elsevier, Paris, 571 p.
- Robitaille D., 1995 :** Influence du complexe Combustible sur le comportement du feu, le développement de plantations d'épinettes dans deux expériences de brûlage dirigé. Univ Laval. Fac. For. Géom., Thèse ph. D. 306p.
- 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.
- Robin M., 1998.** La Télédétection. Nathan, Paris, 318 pages.
- Robin, M., 2002.** La télédétection : des satellites aux systèmes géographiques, 57 : 2–7p.
- Rowell A., and Moore P F., 2000,** Global Review of Forest Fires.— WWF/IUCN, Gland, Switzerland. 64p. <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2000-047.pdf>
- Roy J. & Sonié L., 1992.** Germination and population dynamics of *Cistus* species in

## Références Bibliographique

---

relation to fire. J. Appl. Ecol., 29: 647 -655.

**Rouse, J.W. et Haas, R.H., 1973.** Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS. Third ERTS Symposium, 1, 309-317. - Washington DC: NASA.

**Soudani. K., 2005.** Cours rédigé de télédétection. Introduction générale à la télédétection. ECOII Version 1.2 – Séries -Version PDF. ., Univ. Paris Sud XI. 26 p.

**Semmoud. A et Zennaki. O ; 2013 ;** Semmoud Abderrazak ET Zennaki Othman , Extraction des réseaux routiers à partir des images satellitaires à haute résolution (IKONOS) en utilisant l'approche multi-résolution, Mémoire d'ingénieur d'état en informatique, université Aboubekr Belkaid Tlemcen, 2010, P6.

**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. Imp. Latypo et Jules Carbone. Réunion. Alger, 220p.

**Tavşanoğlu Ç. & Gurkan B., 2005.** Post-fire dynamics of *Cistus* spp. in a *Pinus brutia* forest. Turk. J. Bot., 29: 337 -343.

**TIR. EL; 2015** TIR Elhadj, 2015, Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post incendie dans la Wilaya de Tissemsilt, mémoire de Magister En Biodiversité et gestion intégrée des écosystèmes, Université Aboubakr Belkaid –Tlemcen, 2015/2016, 5p17p,35p,39p.

**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.

**Trabaud L. (1992).** "Influence du régime des feux sur les modifications à court terme et la stabilité à long terme de la flore d'une garrigue de *Quercus coccifera*". Revue d'Écologie : la Terre et la Vie, 47, pp 209-230.

**Trabaud L. & Oustric J., 1982.** Comparaison des stratégies de régénération après incendie chez deux espèces de ciste. Rev. Ecol. (Terre Vie), 44: 3 -13.

**Tucker, C., J., 1979.** 'Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.' Remote Sensing of Environment n°8, pp 127-150.

**UVED., 2008.** ENVCAL - Suivi de l'environnement par télédétection, Cours en ligne. Université Paris I, Panthéon-Sorbonne.

**Web.Archive ; 2014 QGIS Documentation, Avant propos » [archive du 18 février 2014]**

## Références Bibliographique

---

**UNIGE., 2004.** Cours de télédétection, Dép. de géographie, Université de Genève, 13 p.

**Ulery A.L., Grahan R.C., et Amrhein., 1993 :** Wood- ash Composition and Soil pH following intense burning, Soil Sci, 156 (5) : PP 358-364.

**Wenger. K.F., 1984 :** Fire management, dans society of Amercan Foresters, Forestry handbook. 2e ed. Wiley Inter-science Publ., 235-245p.

**Yoccoz, N., G., 2009.** ‘Monitoring the spatio-temporal dynamics of geometrid moth outbreaks in birch forest using MODIS-NDVI data’. Remote Sensing of Environment, n°143, pp1939-1947.

**Zedek M., 1993.** Contribution à l’étude de la productivité du cèdre de l’Atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans le parc national de Theniet El Had. Thèse de Magister. Ins. Nat. Agr d’El Harrach, Alger,175p.

**Zaoui. L ; 2019,** Zaoui Larbi , Apports de la Télédétection Satellitaire dans le Suivi de l’évolution Spatio-temporelle des sables dunaires, THESE de Doctorat en Sciences , Université d’Oran des Sciences et de la Technologie, USTO-MB , 2019, p16

### Site web :

**(EMSE ; 2013)**[https://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire/co/Resolution\\_spatiale.html](https://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire/co/Resolution_spatiale.html)

**(EDUSCOL; 2006 )**<https://eduscol.education.fr/orbito/system/landsat/land1.htm>

**(USGS NASA ; 2018).**<https://www.usgs.gov/media/images/landsat-missions-timeline>

**(UNSG; 2018).**

[http://coursfadpublic.ensg.eu/pluginfile.php/1163/mod\\_imsdp/content/1/co/Landsat.html](http://coursfadpublic.ensg.eu/pluginfile.php/1163/mod_imsdp/content/1/co/Landsat.html)

## المخلص :

الهدف من هذا العمل هو استخدام بيانات الاستشعار عن بعد من مستشعرات OLI TIR للقمر الاصطناعي Landsat 8 في الدراسة والمراقبة المكانية والزمانية لتطور مؤشر الغطاء النباتي (NDVI). لتقدير الانتعاش الخضري. بعد حريق من خمسة مشاهد بين 2018 إلى 2021

منطقة الدراسة المختارة لمنهجيتنا هي جهة محور الدوران الواقعة في الحاضرة الوطنية ببنية الحد بولاية تيسمسيلت. تعتمد الطريقة المستخدمة على تصنيف مؤشرات الغطاء النباتي للمشاهد الخمسة من أجل وضع الخرائط لمتابعة تعديلات وتطور الغطاء النباتي من حيث تدهور أو تجديد المناطق ، أتاحت النتائج التي تم الحصول عليها تحديد وتوصيف التغييرات خلال الفترة المختارة.

الكلمات المفتاحية :

الإستشعار عن بعدحريق، رسم الخرائط، مؤشر الغطاء النباتي، تجدد الغطاء

### Résumé

Le présent travail a pour objectif l'utilisation des données de télédétection issus du capteurs OLI TIR du satellite Landsat 8 dans l'étude et le suivi spatio-temporel de l'évolution de l'indice de végétation (NDVI) pour l'estimation de la reprise végétative après un incendie à partir de cinq scènes entre 2018 à 2021, la zone d'étude choisie pour notre méthodologie est le Canton de Rond Point localisé au parc National de Theniet el Had dans la Wilaya de Tissemsilt.

La méthode utilisée est basé sur la classification des indices de végétation pour les cinq scènes afin d'élaboré des cartes permettant de suivre les modifications et l'évolution du couvert végétal en terme de dégradation ou régénérations des superficies, Les résultats obtenus, ont permis d'identifier et de caractériser les changements durant la période choisie.

**Mot clés :** télédétection, incendie, cartographie, indice de végétation, régénération.

### Abstract

The objective of this work is to use remote sensing data from the OLI TIR sensors of the Landsat 8 satellite in the study and spatio-temporal monitoring of the evolution of the vegetation index (NDVI), for the Estimation of vegetative recovery after a fire from five scenes between 2018 and 2021, the study area chosen for our methodology is the Canton of Rond Point located in the National Park of Theniet el Had in the Wilaya of Tissemsilt.

The method used is based on the classification of vegetation indices for the five scenes in order to develop maps to follow the modifications and evolution of the plant cover in terms of degradation or regeneration of areas, The results obtained made it possible to identify and characterize the changes during the chosen period.

**Keywords:** remote sensing, fire, cartography, vegetation index, regeneration.