

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



Université d'Oran 2  
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master 2  
Géographie et aménagement du territoire  
Option : **Géomatique**

**Analyse multicritères (AHP) de risque d'incendie de forêt et évaluation  
par télédétection : cas de la circonscription de Mérine (Sidi Bel Abbès)**

Présenté et soutenue publiquement par :  
**M<sup>elle</sup>. Fatima Zohra MOTRANI**  
Devant le jury composé de :

<b>Mr. Ouassini DARI</b>	Maitre de conférences	Université d'Oran 2	Président
<b>Mr. Sid-Ahmed SOUIAH</b>	Professeur	Université d'Oran 2	Encadreur
<b>Mr. Mohamed GHABI</b>	Ingénieur principale	Centre des techniques spatiales d'Arzew (CTS)	Co-encadreur
<b>Mr. Aziz KOUTI</b>	Maitre- assistant	Université d'Oran 2	Examineur

Année 2018

# Dédicaces

**À ma mère,**

*« Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.*

*Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la*

*reconnaissance que je te porte*

*En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour*

*tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée. »*

**À mon père,**

*« L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus*

*digne de mon estime et de mon respect.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que Dieu te*

*Préserve et te procure santé et longue vie. »*

*A mes frères Samir, Sofiane, Zaki, et Yacine*

*A ma sœur Linda,*

*A ma famille,*

*A mes amies...*

*F.Z.Motrani*

# Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la patience et la force pour terminer ce travail. Ainsi nos plus vifs remerciements vont à :

Monsieur **Sid Ahmed SOUIAH**, mon encadreur, pour toutes les explications et tous les conseils qu'il m'a prodigués. Je le remercie aussi pour l'intérêt et l'enthousiasme montrés lors de la proposition du sujet et tout au long de suivi de mon travail. Puissiez-vous trouver ici l'expression de mon profonde reconnaissance et mon profond respect.

Monsieur **Mohamed GHABI**, mon Co-encadreur, d'avoir suivi de très près ce travail et pour ses précieux conseils de tout ordre dont on a bénéficié. Qu'il trouve ici le témoignage de notre gratitude, nos profonds remerciements pour sa disponibilité et son soutien durant l'élaboration de ce mémoire.

Aux membres du jury, Mr **Aziz KOUTI**, et Mr **Ouassini DARI** d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Monsieur **Habib MAHI**, directeur du Centre des Techniques Spatiales de nous avoir accueilli au sein du laboratoire de recherche de CTS et les moyens mis à notre disposition.

Et aussi pour les encouragements qui m'ont permis de bien préparer ce mémoire et d'en garder un bon souvenir.

Finalement, je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements pour toutes les personnes qui ont facilité sa réalisation.

# Résumé

La forêt algérienne fait partie de la région bioclimatique méditerranéenne, donc soumise à des agressions d'origine tant climatique qu'anthropique.

Parmi ces agressions, c'est les incendies qui causent le plus de dégâts car ils détruisent annuellement des superficies significativement appréciables

La thématique abordée touche les différents paramètres qui rentrent dans la probabilité de déclenchement de l'incendie avec comme finalité une cartographie de la répartition des zones de risque d'incendie.

Ce travail, bien-sûr, s'effectue par l'utilisation des données satellitaires multi sources à savoir : données images pour cartographie l'occupation du sol, données SRTM pour la pente et l'exposition et d'autres données qui relèvent du secteur des forêts (points vigies, type espèces, etc.).

Ce travail relève d'un besoin du secteur des forêts puisque depuis plusieurs années la **DGF** (Direction Générale des Forêts) essaye de prendre les mesures de prévention, donc cette thématique est un support cartographique pour mettre en relief les zones de risque, confrontés à la fréquence des incendies pour chaque zone.

**Mots clés** : analyse multicritères, méthode AHP, incendies de forêt, SIG.

# SOMMAIRE

<b>DEDICACES.....</b>	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMÉ.....</b>	<b>III</b>
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>IX</b>
<b>ACRONYMES.....</b>	<b>X</b>

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
------------------------------------	----------

## **Chapitre 1**: Généralités sur les feux de forêts

1- Définition.....	2
2- Naissance de feux.....	2
2-1- Le combustible.....	2
2-2- Le comburant.....	2
2-3- La chaleur.....	3
3- Modes de propagation de la combustion.....	3
3-1- La propagation par transmission de chaleur.....	3
3-1-1- Transmission par conduction.....	3
3-1-2- Transmission par rayonnement thermique.....	3
3-1-3- Transmission par convection.....	3
3-2- La propagation par déplacement des substances en combustion.....	3
4- Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts.....	4
4-1- Les combustibles.....	4
4-1-1- Teneur en eau.....	4
4-1-2- Composition chimique.....	4

4-2- Les facteurs atmosphériques.....	4
4-2-1- Les précipitations.....	4
4-2-2- L'humidité relative.....	4
4-2-3- Le vent.....	5
4-2-4- La température.....	5
4-3- Les facteurs topographiques.....	5
4-3-1- L'inclinaison de la pente.....	5
4-3-2- Exposition des pentes.....	5
4-3-3- Elévation du terrain.....	5

**Chapitre 2 : la télédétection et les SIG (Système d'Informations Géographiques)**

1- Les différents modèles de la cartographie (classique et automatique).....	6
1-1- Modèle de la cartographie de risque d'incendie de « DUCHE et DAGORNE (1993) ».....	6
1-2- Le modèle turc de cartographie du risque d'incendie.....	7
2- Les outils pour le suivi des incendies des forêts .....	8
2-1- La télédétection.....	8
2-1-1- Les principales étapes de la télédétection .....	8
2-1-2- Principes de base de la télédétection.....	9
2-1-3- Le satellite Landsat8 et leur capteurs.....	11
2-1-4- Traitement d'image .....	12
2-1-4-1- correction géométrique .....	12
2-1-4-2- Correction atmosphérique .....	13
2-1-4-3- Traitement spécifique .....	13
2-2- Système d'information géographique (SIG).....	14
2-2-1- L'analyse spatiale.....	14
2-2-2- L'analyse statistique.....	14
2-2-3- Principales fonctions d'un SIG.....	14
2-3- Analyse multicritère .....	15
2-3-1- Présentation de la méthode (AHP) .....	17
2-3-1-1 Définition de l'AHP.....	17
2-3-1-2- Principe fonction de la méthode AHP.....	17
2-3-1-3- Avantage de la méthode AHP.....	17
2-3-1-4- La méthode de calcul dans l'AHP .....	17

### **Chapitre 3 : méthodologie et application sur la zone de Mérine (Sidi Bel Abbés)**

1-Présentation de la zone d'étude .....	19
2-Présentation de l'organigramme des étapes de traitement.....	20
3-Les données LANDSAT.....	21
4-Application de la méthode AHP.....	35
5-Intégration dans un système d'information géographique.....	37
6-Élaboration de carte de risque d'incendies.....	47
7- Résultats et discussions.....	47
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>48</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>49</b>
<b>ANNEXES</b>	

## Liste des figures

**FIG. 1 :** TRIANGLE DE FEU.

**FIG. 2 :** LES ETAPES DE LA TELEDETECTION.

**FIG. 3 :** SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE.

**FIG. 4 :** ILLUSTRATION DES SIGNATURES SPECTRALES DE QUELQUE OBJET.

**FIG. 5 :** LOCALISATION DE LA FORET DE «**MERINE** ».

**FIG. 6 :** ORGANIGRAMME GENERAL DE LA METHODOLOGIE DE TRAVAIL.

**FIG. 7 :** COMPOSITION COLOREE (FAUSSE COULEUR).

**FIG. 8 :** LA SCENE DE LANDSAT 8.

**FIG. 9 :** PROCESSUS DE CALIBRATION D'UNE IMAGE LANDSAT 8 (ENVI 5.1).

**FIG. 10 :** FONCTION BAND MATH.

**FIG. 11 :** INTERFACE GRAPHIQUE DU MODULE FLAASH.

**FIG. 12 :** L'IMAGE CORRIGEE (ZONE **MERINE**).

**FIG. 13 :** DIFFERENCE DE SIGNATURE SPECTRALE ENTRE IMAGE CORRIGE ET  
NON CORRIGE.

**FIG. 14 :** L'INDICE DU **NDVI**.

**FIG. 15 :** MATRICE DE CONFUSION.

**FIG. 16 :** CARTE D'OCCUPATION DE SOL DE LA CIRCONSCRIPTION DE **MERINE**.

**FIG. 17 :** ORGANIGRAMME DE CARTE DE RISQUE D'INCENDIE.

**FIG. 18 :** MODELE DE RISQUE DE COMBUSTIBILITE DE VEGETATION.

**FIG. 19 :** CARTE DE RISQUE ASSOCIE A LA DENSITE DE VEGETATION.

**FIG. 20 :** CARTE D'ELEVATION.

**FIG. 21 :** CARTE DE RISQUE D'ELEVATION.

**FIG. 22 :** CARTE DE PENTE.

**FIG. 23** : CARTE D'EXPOSITION.

**FIG. 24** : LA CARTE DE RISQUE DE COMBUSTIBILITE DE LA VEGETATION.

**FIG. 25** : CARTE DE ROUTE.

**FIG. 26** : CARTE DE PST VIGIE.

**FIG. 27** : CARTE DE VILLAGE.

**FIG. 28** : ORGANIGRAMME DE MODELE DE DETECTION DE RISQUE DE FEU.

**FIG. 29** : CARTE DE DETECTION DE RISQUE DE VILLAGE.

**FIG. 30** : SUPERPOSITION DE LA COUCHE DE ROUTE SUR SRTM30.

**FIG. 31** : LA CARTE DE RISQUE DE DETECTION DE ROUTE.

**FIG. 32** : LOCALISATION DES POINTS VIGILANCE SUR SRTM30.

**FIG. 33** : CARTE DE DETECTION DE RISQUE PAR POSTES VIGILANCES.

**FIG. 34** : CARTE DE DETECTION DES RISQUES D'INCENDIE.

**FIG. 35** : ORGANIGRAMME DE PRODUCTION DE LA CARTE FINALE.

**FIG. 36** : LA CARTE DE RISQUE PROBABLE.

## **Liste des Tableaux**

**Tableau 1** : INFLUENCE DU TAUX D'HUMIDITE SUR L'INFLAMMABILITE.

**Tableau 2** : CARACTERISTIQUE DES BANDES DE L'INSTRUMENT OLI.

**Tableau 3** : CARACTERISTIQUES DES BANDES DE L'INSTRUMENT TIRS.

**Tableau 4** : LA MATRICE DE JUGEMENT.

**Tableau 5** : ECHELLE DE VALEURS.

**Tableau 6** : CLASSIFICATION DE RISQUE D'INCENDIE SELON LE TYPE DE  
VEGETATION.

**Tableau 7** : CLASSIFICATION DE RISQUE D'INCENDIE SELON L'ELEVATION DU  
TERRAIN.

**Tableau 8** : CLASSIFICATION DE RISQUE D'INCENDIE SELON L'INCLINAISON DE  
LA PENTE.

**Tableau 9** : CLASSIFICATION DE RISQUE D'INCENDIE SELON L'EXPOSITION  
DU COUVERT VEGETAL.

**Tableau 10** : POIDS DE CRITERES DE DETECTION.

**Tableau 11** : POIDS DE CRITERES DE MODELE RISQUE D'INCENDIES.

**Tableau 12** : TABLE STATISTIQUE DE LA CARTE DE RISQUE D'INCENDIE.

# ACRONYMES

**SIG** : SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

**ENVI** : ENVIRONNEMENT FOR VISUALING IMAGES (Logiciel de traitement d'images)

**NASA** : NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

**UTM** : UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR

**MNT** : MODELE NUMÉRIQUE DE TERRAIN

**SRTM** : SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION

**RC** : RATIO DE COHÉRENCE

**IA** : INDICE ALÉATOIRE

**IC** : INDICE DE COHÉRENCE

**USGS**: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

**POF**: PROBABILITÉ D'OCCURENCES DE FEU

**DGF**: DIRECTION GÈNÈRALE DE FORETS

**FAO**: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION

**OLI**: OPÉRATIONALL AND IMAGER

**TIRS**: THERMAL INFRARED SENSOR

**AHP**: ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

**WSM**: WEIGHT SUM METHOD

**WPM**: WEIGHT PRODUCT METHOD

## Introduction générale

La superficie des forêts algériennes est estimée à 4,7 millions d'hectares (forêts et maquis), ce qui représente environ 1% du territoire national (DGF, 2000). Cette part, très réduite, résulte des grandes superficies que couvre le désert algérien, le Sahara.

La forêt algérienne fait face, depuis plusieurs décennies, à une accentuation des facteurs de dégradation comme le surpâturage, les attaques de la chenille processionnaire, les défrichements et les coupes illicites. Mais les facteurs les plus redoutables de la forêt algérienne sont les incendies. Ces derniers bénéficient de conditions physiques et naturelles favorables à leur éclosion et propagation. La structure et la composition des formations végétales où dominent des espèces résineuses, accompagnées d'un sous-bois où la broussaille domine, sont autant de facteurs favorisant les feux de forêts (MISSOUMI *et al*, 2003).

Depuis 1963 à nos jours plus de 30 000 ha sont saccagés, en moyenne, et annuellement par le feu (DGF, 2009). Il est impossible de rester indifférent face à cette menace sur la couverture végétale qui risque de rompre l'équilibre naturel et socio-économique du pays. Les méthodes classiques, généralement utilisées en Algérie, pour la prévention et la lutte contre les incendies, demandent du temps et ne sont pas toujours fiables au vu de la complexité et de la diversité des écosystèmes forestiers. Des travaux dans ce domaine reposant sur des techniques modernes d'observation et d'analyse de l'espace (télédétection et Système d'Information Géographique), ont montré leur efficacité et leur rapidité en matière d'élaboration de cartes d'évaluation du risque d'incendies en zone forestière grâce à l'analyse thématique des causes d'incendies.

Notre objectif est de montrer concrètement l'apport du SIG et de la télédétection à la protection des forêts contre les incendies, en cartographiant le risque des incendies, ceci au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbes, plus précisément au niveau de la forêt de «**Mérine** »

Ce travail s'articule autour de Trois chapitres :

- Le premier chapitre présente les généralités sur les feux des forêts.
- Le deuxième chapitre expose la télédétection et les SIG (Système d'Informations Géographiques)
- Le troisième chapitre est consacré à la méthodologie et l'application sur la zone d'étude.
- Nous terminerons par une conclusion.

# Chapitre 1

## **Généralités sur les feux de forêt**

# Chapitre 1

## Généralités sur les feux de forêt

### 1- Définition :

L'incendie est une réaction de combustion peu maîtrisée dans l'espace et le temps.

On parle d'un incendie de forêt lorsqu'un feu concerne une surface minimale d'un hectare (Tir El Hadj 2015-2016).

### 2- Naissance du feu :

Il y'a trois paramètres principaux qui cause le déclenchement d'un feu de forêt :

le combustible, le Comburant et la chaleur (Carbonell et al, 2004).

Ces trois éléments sont représentés par le triangle de feu

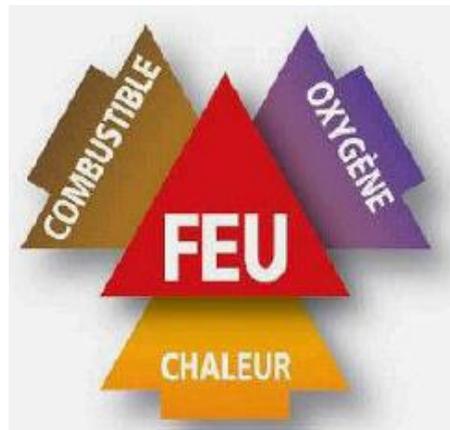


FIG. 1 : Triangle de feu (Carbonell et al, 2004)

#### 2-1- Le combustible :

Le combustible c'est la matière susceptible de bruler, représenté par les gaz et les vapeurs.

L'aptitude d'un combustible à s'enflammer dépend de la teneur en eau, la température, son type et sa densité.

#### 2-2- Le comburant :

## **Chapitre 1 : Généralités sur les feux de forêt**

---

Un comburant c'est le corps qui provoque la combustion du combustible. Généralement, le comburant c'est l'oxygène donc la réaction de combustion est une oxydation (Carbonell et al, 2004).

### **2-3- La chaleur :**

C'est la quantité d'énergie requise pour porter la température du combustible à son point d'inflammation, cette température est appelé « point d'inflammation », elle est entre 400 et 425°C .... (Rebai, 1983).

### **3- Modes de propagation de la combustion :**

Il est nécessaire de connaître comment la combustion se propage car ceci explique le développement des incendies, et leur propagation.

En général, la combustion peut se propager de deux manières :

- Par transmission de chaleur
- par déplacement des substances en combustion

#### **3-1- La propagation par transmission de chaleur :**

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

##### **3-1-1- Transmission par conduction :**

La conduction est le déplacement de l'énergie thermique des parties chaudes d'un système vers les parties froides.

##### **3-1-2- Transmission par rayonnement thermique :**

Le rayonnement est un mode de transfert de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. La quantité d'énergie transférée d'un corps à un autre par rayonnement augmente avec l'accroissement de la différence de température entre ces deux corps (Colin et al, 2001).

##### **3-1-3 Transmission par convection :**

La convection est un transfert de chaleur par mouvements macroscopiques d'un fluide (Le gaz dans le cas d'un feu).

La convection est le processus de transfert prépondérant dans la propagation des incendies de forêts liée aux mouvements d'air chaud eux phénomène qui, augmente avec le vent et la pente (Khalid, 2008).

#### **3-2- La propagation par déplacement des substances en combustion :**

Le déplacement des matériaux en combustion peut s'effectuer de différentes manières selon

## **Chapitre 1 : Généralités sur les feux de forêt**

---

la nature du matériel ou de la substance (par les gaz, liquides, solides).

### **4- Facteurs influençant la propagation des incendies de forêts :**

#### **4-1- Les combustibles :**

Les combustibles influent sur la propagation des incendies par leur nature, quantité, disposition, leur composition chimique et leur teneur en humidité.

##### **4-1-1- Teneur en eau :**

La présence d'humidité exerce une grande influence sur le développement des feux (Trabaud, 1989). Si la teneur en eau des végétaux est faible, ils s'enflamment à des températures relativement basses. Des études ont démontré que l'inflammation ne peut avoir lieu que si la teneur en eau est inférieure à 7%. (Margerit, 1998).

##### **4-1-2- Composition chimique :**

L'inflammabilité des espèces végétales dépend de leur quantité en essences volatiles ou en résine. Ainsi, plus un végétal est riche en minéraux, moins son pouvoir calorifique est élevé, moins il est combustible (Colin et al, 2001).

### **4-2- Les facteurs atmosphériques :**

#### **4-2-1- Les précipitations :**

Ils jouent un rôle important dans la teneur en eau des végétaux, leur effet varie en fonction de leur durée, de leur période, et leur quantité.

#### **4-2-2- L'humidité relative :**

Si la composition de l'air en humidité est élevée, les combustibles deviennent difficilement inflammables.

Par contre, si l'air est sec, le taux d'évaporation de l'humidité des combustibles sera plus élevé ce qui augmente l'inflammabilité de la forêt.

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

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

### **4-2-3- Le vent :**

Le vent est le facteur atmosphérique le plus important d'un incendie de forêt. Ses effets dépendent de trois facteurs : la vitesse, la circulation et l'orientation.

Si la circulation est continue, l'évaporation de l'humidité est accélérée et ceci augmentera les risques d'incendies. Et si la vitesse du vent est forte, la propagation du feu est s'accélère à son tour.

### **4-3- Les facteurs topographiques :**

En général, l'influence de la topographie varie selon l'inclinaison des pentes, leur exposition et aussi selon l'élévation du terrain.

#### **4-3-1- L'inclinaison de la pente :**

Le feu se propage plus vite et 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 propagation du front de feu. (Frederic, 1992).

#### **4-3-2- Exposition des pentes :**

On a constaté que le feu 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 densité du couvert des arbres de la forêt.

#### **4-3-3- Elévation du terrain :**

Plus le terrain est élevé, plus les combustibles sont exposés au soleil et aux vents intenses, donc plus ils sont secs et les feux se propagent plus rapidement.

## **Chapitre 2**

# **La télédétection et les SIG**

## Chapitre 2

### La télédétection et les SIG (Système d'Informations Géographiques)

#### 1- Les différents modèles de la cartographie

L'établissement de la carte de risque incendie fait appel à l'application d'un modèle de calcul de l'incendie de risque. Parmi de nombreux modèles relevés dans la bibliographie, nous citons :

##### 1-1- Modèle de la cartographie de risque d'incendie de « DUCHE et DAGORNE » (1993) :

Ce modèle fait intervenir les trois principaux facteurs pour l'évaluation du risque de feu de forêt à savoir : la topographie, le combustible et les activités humaines

Le modèle en question repose sur la formule suivante :

$$\mathbf{IR = 5IC + 2IH + IM}$$

IR : indice de risque de feu de forêt

IC : indice de combustibilité

IH : indice d'occupation humaine (l'activité humaine)

IM : indice topo-morphologique

##### 1-1-1- L'indice topo-morphologique (IM) :

$$\mathbf{IM = 3P + (m.e)}$$

Ou

**P** : la pente

**m** : la topo-morphologie

**e** : l'exposition

Tous ces paramètres de l'indice **IM** sont extraits du modèle numérique de terrain (MNT).

### 1-1-2- L'indice de combustibilité (IC) :

L'indice de de combustibilité ou l'indice d'intensité potentielle du feu est exprimé par la relation suivante (MARIEL 1995) :

$$IC = 39 + 2.3BV (E1 + E2 - 7.18)$$

Ou

**BV** : le biovolume de la formation végétale

**E1** : représente les notes de combustibilité pour les ligneux hauts

**E2** : représente les notes de combustibilité pour les ligneux ou les herbacées

### 1-1-3 L'indice d'occupation humaine (IH) :

Cet indice dépend de l'occupation humaine de l'espace et de son activité.

$$IH = IV + 2ID$$

**IV** : indice de voisinage

**ID** : indice de présence humaine

Ce modèle a été utilisé en Algérie sur la forêt domaniale de Kounteidat, située dans la wilaya de Sidi Bel Abbés, sur la forêt de Bainem à Alger et sur la forêt d'Exmouth située au Sud-Est de Mascara (KHADER, 2009).

### 1-2 – Le modèle « turc » (1993) de cartographie du risque d'incendie :

C'est un modèle qui a été développé par des universitaires turcs (ERTEN et al, 2004). Il fait intervenir cinq facteurs pour l'évaluation du risque de feu de forêt (**IR**) à savoir le type de végétation (**Tveg**), la pente (**P**), l'exposition (**E**), les distances à partir des routes (**Dr**) et les distances à partir des agglomérations (**Da**). Le modèle repose sur la formule suivante :

$$IR = 7 Tveg + 5(P + E) + 3(Dr + Da)$$

Ce modèle a été utilisé en Algérie sur la forêt de Tiaret (RAMAT et AL, 2009).

### **2- Les outils pour le suivi des incendies de forêts :**

La télédétection et les SIG peuvent être des outils très complémentaires avec les méthodes conventionnelles utilisées dans la prévention et la gestion des catastrophes. Ces technologies sont d'autant plus utiles lorsqu'on dispose une connaissance détaillée du risque, la fréquence attendue, le caractère, et l'intensité des événements dans une région. Les images satellitaires donnent une vue globale et fournissent des informations très utiles sur l'environnement, pour une grande gamme d'échelles, de continents entiers aux détails de quelques mètres. La télédétection peut suivre l'événement pendant le temps de la catastrophe. La place du satellite le rend idéal pour l'organisation et la gestion opérationnelle de l'événement. Finalement, la télédétection peut contribuer à l'estimation des dégâts et après cela, elle peut être utilisée pour dresser une carte de la nouvelle situation et mettre à jour la base de données.

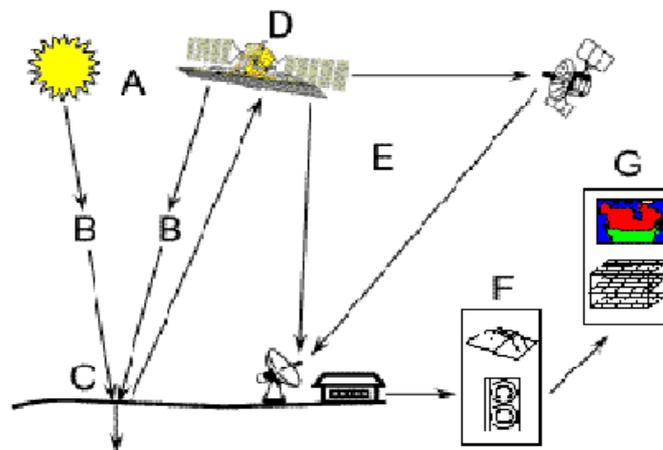
Dans ce travail nous nous intéresserons à la présentation de l'utilisation de la télédétection et des SIG pour la gestion des risques de feux de forêts, de situer notre contribution dans la mise en place des nouvelles technologies avec la collaboration des services de la protection civile en Algérie.

#### **2-1- La télédétection :**

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

##### **2-1-1-Les principales étapes de la télédétection :**

Il est possible de schématiser la télédétection comme un ensemble de sept étapes clé (Fig.2).



**FIG. 2** : Les étapes de la télédétection

- A)** Production du rayonnement par une source d'énergie. Dans la majorité des cas la source d'énergie est le soleil (télédétection passive), mais elle peut être produite par le vecteur (télédétection dite active) comme le radar.
- B)** Interaction du rayonnement avec l'atmosphère
- C)** Interaction du rayonnement avec la cible
- D)** L'enregistrement de l'énergie par le capteur : une fois l'énergie émise par la cible, elle doit être captée sous un format numérique.
- E)** Transmission et traitement : l'information enregistrée par le capteur est transmise à une station de réception généralement située au sol, où l'information est transformée en images.
- F)** Interprétation et analyse : une interprétation visuelle et/ou numérique est ensuite nécessaire pour extraire l'information.
- G)** Application : la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible.

### **2-1-2- Principes de base de la télédétection :**

#### **1-Le rayonnement électromagnétique :**

Est une énergie qui se propage dans l'espace et interagit avec la matière. Cette énergie constituée d'ondes électromagnétiques est considérée comme le vecteur porteur d'informations relatives à l'objet étudié et peut être caractérisée par quatre grandeurs :

- l'intensité qui exprime le pouvoir de réflexion ou d'émission ;

- la fréquence ou la longueur d'onde qui détermine l'information spectrale et qui offre un moyen efficace de différenciation des classes d'objets ;
- la polarisation qui détermine le plan dans lequel oscille le champ électrique et qui fournit de bonnes indications sur l'état de la rugosité du sol ;
- La direction de propagation.

### 2-Le spectre électromagnétique :

La répartition des fréquences ou des longueurs d'ondes, définit le spectre électromagnétique.

Les principales zones du spectre mesurées en télédétection sont :

- ◆ le visible de 0.4 à 0.7  $\mu\text{m}$  ;
- ◆ le proche infrarouge de 0.7 à 1.5  $\mu\text{m}$  ;
- ◆ l'infrarouge moyen de 1.5 à 3  $\mu\text{m}$  ;
- ◆ l'infrarouge thermique de 3 à 15  $\mu\text{m}$  ;
- ◆ les micro-ondes (ou hyperfréquences) de 1mm à 1m.

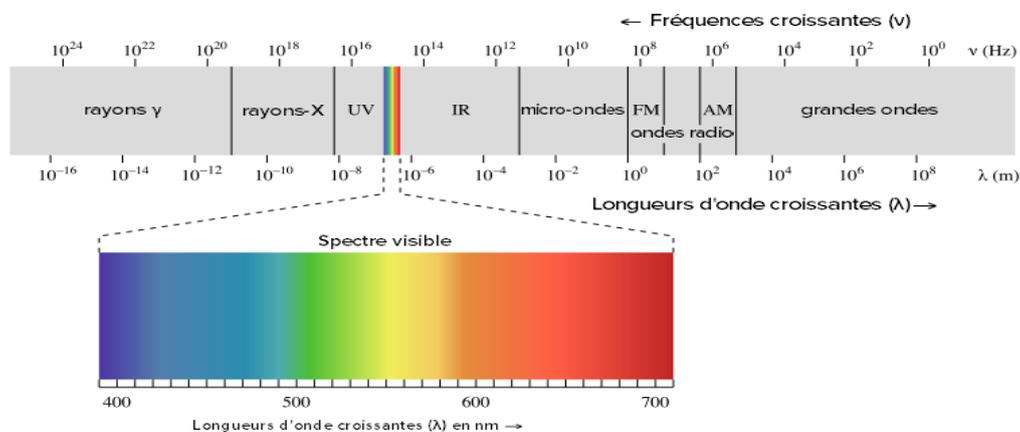


FIG. 3 : Spectre électromagnétique

### 3- Interactions rayonnement et surface terrestre :

Le rayonnement électromagnétique mesuré par les instruments (radiomètre) est transformé par la cible. Chacun des objets spatiaux (bois, route, bâti,.....) transforme déformant le rayonnement électromagnétique en fonction des caractéristiques propres de l'objet :

absorption, transmission, réflexion. Et chaque type d'objet possède une signature spectrale. On utilise alors les différences de signatures pour identifier les objets situés au sol.

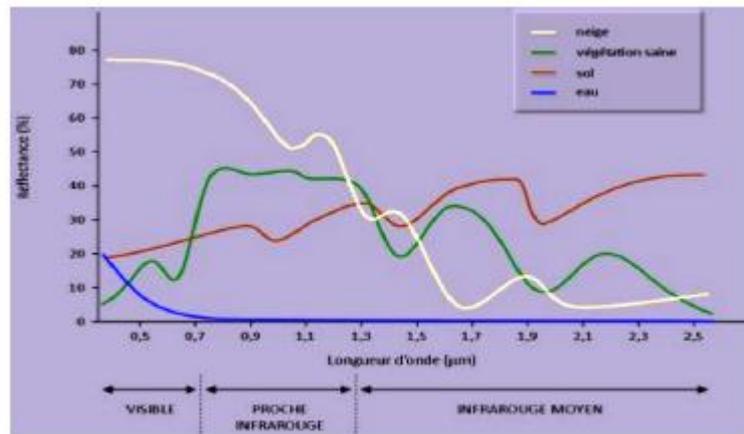


FIG. 4 : Illustration des signatures spectrales de quelque objet (Lhomme, 2013).

### 2-1-3- Le satellite Landsat8 et ses capteurs :

Les images satellites utilisées dans ce travail proviennent de satellite Landsat8 OLI/TIRS.

Le choix de ces données est dicté par le fait que ces images sont téléchargeables gratuitement sur le site de NASA, et qu'elle offrent la possibilité d'avoir plusieurs dates (évolution temporelle).

#### - Capteur OLI (Opérationnel Land Imager) :

- C'est l'instrument principal. Ce radiomètre multi spectral acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infra-rouge et leur caractéristique dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Caractéristique des bandes de l'instrument OLI.

Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 1 - Aérosols	0,433 - 0,453 µm	30 m
Bande 2 - Bleu	0,450 - 0,515 µm	30 m
Bande 3 - Vert	0,525 - 0,600 µm	30 m

Bande 4 - Rouge	0,630 - 0,680 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 5 - Infrarouge proche	0,845 - 0,885 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 6 - Infrarouge moyen 1	1,560 - 1,660 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 7 - Infrarouge moyen 2	2,100 - 2,300 $\mu\text{m}$	30 m
Bande 8 - Panchromatique	0,500 - 0,680 $\mu\text{m}$	15 m
Bande 9 - Cirrus	1,360 - 1,390 $\mu\text{m}$	30 m

**-Capteur TIRS (Thermal Infrared Sensor) :** est un radiomètre multi-spectral infrarouge et ses caractéristiques sont résumés dans le tableau n°3 :

**Tableau 3 :** caractéristiques des bandes de l'instrument TIRS.

Bandes spectrales de l'instrument TIRS		
Bande spectrale	Longueur d'onde	Résolution
Bande 10 - Infrarouge moyen	10,30 - 11,30 $\mu\text{m}$	100 m
Bande 11 - Infrarouge moyen	11,50 - 12,50 $\mu\text{m}$	100 m

### 2-1-4- Traitement d'image :

#### ❖ 2-1-4-1- correction géométrique :

On est souvent confronté à corriger les déformations géométriques de l'image, déformations dues à plusieurs sources d'erreurs. Ces corrections sont nécessaires pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les données enregistrées par le capteur du satellite ne sont pas présentées dans une projection cartographique courante, rendant difficile la comparaison avec des données géo référencées comme les cartes thématiques, de plus, ces corrections sont essentielles pour

comparer et superposer une série d'images. Les méthodes de correction géométrique appliquées aux images numériques de télédétection peuvent être classées en deux grandes catégories :

1. Les méthodes de corrections à partir des paramètres du satellite.
2. les méthodes de corrections par référence à des points de coordonnées connues dans un autre système (BOUZIRI, 1999).

### **2-1-4-2- Correction atmosphérique :**

La correction atmosphérique devrait en théorie permettre de caractériser un objet donné par une valeur unique (pour une bande spectrale donnée) quelque soient sa position topographique et les conditions atmosphériques au moment de la prise de vue. Ces corrections ont pour but de rendre deux images de dates différentes comparables.

### **2-1-4-3- Traitement spécifique :**

#### **- Classification supervisée :**

Cette opération consiste à regrouper les différents thèmes selon leurs signatures spectrales, en introduisant l'information réalité terrain en utilisant une méthode statistique déterminée. L'utilisateur vérifie la validité de ces résultats pour attribuer des pixels à différentes classes et généraliser sur l'ensemble de l'image. (matrice de confusion)

#### **- Classification non supervisée :**

Elle consiste à utiliser le calcul informatique pour classer les données selon une logique automatisable, seuillage équi-densité en équi-population, classification hiérarchique. Dans ce cas, le rôle de l'utilisateur se borne à définir au préalable le nombre de classes utiles. il utilise uniquement les valeurs spectrales des pixels.

#### **- Segmentation :**

La segmentation d'image est une opération de traitement d'image qui a pour but de rassembler des pixels entre eux suivant des critères prédéfinis. Les pixels sont ainsi regroupés en régions, qui constituent un pavage ou une partition de l'image, il peut s'agir par exemple de séparer les objets du fond. Si le nombre de classe est égale à deux, elle est appelés aussi binarisation.

La segmentation est une étape primordiale en traitement d'image. À ce jour, il existe de

nombreuses méthodes de segmentation, que l'on peut regrouper en quatre principales classes :

- 1- La segmentation fondée sur les régions.
- 2- La segmentation fondée sur les contours
- 3- La segmentation fondée sur la classification
- 4- La segmentation fondée sur la coopération entre les trois premières segmentations.

### **2-2- Système d'information géographique (SIG) :**

Grâce au développement des nouvelles technologies (satellites et mise au point d'ordinateurs puissants) le Système d'Information Géographique (SIG), qui était assimilé au départ à un moyen de représenter les données sur une simple carte géographique, devient de plus en plus un outil important d'aide à la prise de décision ; un outil de portée relativement grande et élargi à des domaines connexes à la gestion globale du développement.

L'objectif fondamental du SIG est de fournir une base de prise de décision, dans plusieurs domaines, à partir des données satellitaires, et d'informations structurées dans des bases de données géographiques.

#### **2-2-1- L'analyse spatiale :**

L'analyse spatiale de l'information est une extension des capacités d'interrogation des bases de données traditionnelles, en prenant en compte la localisation des observations, le système d'analyse spatiale à une liaison bidirectionnelle avec la BDG (Base de Données Géographique) pour permettre un traitement de type analytique.

#### **2-2-2-L'analyse statistique :**

Des outils de statistique descriptive de données spatiales ont été développées pour prendre en compte le caractère spatial des données et aussi parce que ce type de données pose des problèmes particuliers d'application des procédures classiques.

#### **2-2-3- Principales fonctions d'un SIG :**

Les systèmes d'informations géographiques peuvent être constitués pour répondre à différentes demandes. Comme le système universel n'existe pas, il faut les adapter selon les objectifs fixés.

Toute fois ils ont en commun des fonctionnalités que l'on retrouve dans chaque système regroupées en 5 familles qui sont :

**Abstraction** : modélisation du réel selon une certaine vision du monde.

**Acquisition** : intégration et échange de données. (Import-export). L'acquisition des données est faite par trois types :

**Digitalisation** : la numérisation des plans cartographiques scannés par l'ordinateur ou la table à digitaliser.

**Scanner** : les cartes, les photos aériennes sont introduites sous forme des données raster.

**Clavier** : la saisie des données attributaires.

**Archivage** : structuration et stockage de l'information géographique sous forme numérique.

**Affichage** : représentation et mise en forme, notamment sous forme cartographique

**Analyse** : analyse spatiale (calculs liés à la géométrie des objets, croisement de données thématique.)

### **2-3- Analyse multicritère**

L'analyse multicritère est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes multicritères complexes qui incluent des aspects qualitatifs et/ou quantitatifs dans un processus décisionnel, analyse qui vise à expliciter une famille cohérente de critères pour permettre de concevoir, justifier et transformer les préférences au sein d'un processus de décision. L'importance relative des différents critères peut évidemment être complexe et difficile. L'**AHP** est un outil qui peut aider à évaluer l'importance relative de tous les critères impliqués et refléter, cette importance dans le processus de décision finale.

**Démarche à suivre** : recherche de la solution la plus adéquate possible en 5 étapes :

1- Identifier l'objectif global de la démarche et le type de décision

2- Dresser la liste des solutions possibles ou envisageables

3- Dresser la liste des critères à prendre en considération

4- Juger chacune des solutions aux yeux de chacun des critères

5- Agréger ces jugements pour désigner la solution qui obtient la meilleure évaluation

**Les éléments de la matrice du jugement :**

1-Ensemble des actions potentielles :  $A = \{ a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, a_n \}$  où  $i=1,2,\dots,n$

2- Différents critères :  $c_j$  où  $j=1,2,\dots,m$

3-Poids des critères :  $p_j$  où  $j=1,2,\dots,m$

4- Évaluations ou jugements :  $e_{ij}$  où  $i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m$

**Tableau 4** : La matrice de jugement

alternatives	C1	C2	C3.....	Cn
Poids relative	P1	P2	P3.....	Pn
a1	$e_{11}$	$e_{12}$	.....	$e_{1m}$
a2	$e_{21}$	$e_{22}$	.....	$e_{2m}$
a3	$e_{31}$	$e_{32}$	.....	$e_{3m}$
an	$e_{n1}$	$e_{n2}$	$e_{ij}$	$e_{nm}$

Comment va-t-on agréger les jugements ou encore l'ensemble des évaluations faites de chacune des solutions par rapport à chacun des critères, afin de désigner la solution la plus valable ?

Donc il faut utiliser une des nombreuses méthodes qui peuvent être divisées en trois catégories selon la façon dont les jugements seront agrégés.

**Les méthodes d'agrégation des jugements** : il y a trois méthodes

1-Agrégation partielle : On cherche à comparer des actions potentielles ou des classements les uns par rapport aux autres et à établir entre ces éléments des relations de surclassèrent. On doit alors respecter l'incomparabilité.

2-Agrégation locale : On cherche en premier lieu une solution de départ. Par la suite, on procède à une recherche itérative pour trouver une meilleure solution.

3-Agrégation complète : On cherche à agréger les n critères afin de les réduire en un critère unique. On suppose que les jugements sont transitifs, Les méthodes qui marchent avec l'agrégation complète :

-WSM (Wight Sum Methodou Somme de notes).

-WPM (Weight Product Methodou Multiplication de ratios) par Percy Bridgman, 1922.

-**AHP** (Analytic Hierarchy Process) par Thomas L. Saaty, 1971.

Dans notre projet on travaille avec la méthode AHP pour résoudre notre problème (l'incendie des forêts).

### **2-3-1-Présentation de la méthode (AHP) :**

#### **2-3-1-1- Définition de l'AHP :**

Analyse Hiérarchique des procédés (AHP) est une méthode de prise de décision qui a été développée à l'origine par le professeur Thomas L (1971). C'est une méthode pour obtenir des échelles de ratio et de comparaison par paires. Elle repose sur des comparaisons deux à deux d'indicateurs, l'équipe d'experts doit émettre des jugements comparatifs sur l'importance relative de chaque couple d'indicateurs pour le critère à mesurer. Ces jugements permettent d'attribuer les poids relatifs aux indicateurs.

#### **2-3-1-2- Principes fondamentaux de la méthode AHP :**

1. Structuration hiérarchique (classes -critères -poids)
2. Structuration des priorités (sous critères -rangs)
3. Cohérence logique
4. Méthode semi-quantitative
5. comparaison binaire

#### **2-3-1-3- Avantage de la méthode AHP :**

- sa capacité de structurer un problème complexe, multicritères, multi personnes et multi périodes de façon hiérarchique,
- la comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères).

#### **2-3-1-4- La méthode de calcul dans l'AHP :**

- ✓ Passe par une conversion ordinale  $\longrightarrow$  attribution d'un facteur de pondération aux critères  $\longrightarrow$  poids
- ✓ Utilisation d'une échelle de valeurs : (Echelle de valeurs (d'après Saaty, 1984))

**Tableau 5 :** Echelle de valeurs (d'après Saaty, 1984)

Degrés d'importance	Définitions	Explications
1.0	importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3.0	un élément est un peu plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre
5.0	un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre
7.0	un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9.0	un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possibles

✓ **Trois calculs sont nécessaires pour arriver aux valeurs des priorités :**

- additionner les colonnes de la matrice : tous les éléments d'une même colonne sont additionnés ;
- normaliser la matrice : chaque entrée de la matrice est divisée par le total de sa colonne. La normalisation de la matrice permet alors des comparaisons significatives entre les éléments ;
- et calculer la moyenne des lignes : tous les éléments d'une même ligne de la matrice normalisés ont été additionnés et ensuite divisés par le nombre d'entrées qu'elle comporte.

## **Chapitre 3**

**Méthodologie et application**

**sur la zone de «Mérine »**

## Chapitre 3

### Méthodologie et application sur la zone de «Mérine »

#### 1- Présentation de la zone d'étude :

Située sur le versant sud des monts de Dhaya (Messeta oranaise), localisée entre les monts de Saïda, à l'est, et les monts de Tlemcen, à l'ouest, la forêt de «Mérine » (Zegla) repose sur des terrains du Jurassique supérieur et moyen, avec une nette dominance du Crétacé inférieur sur grès et calcaire. Cette zone appartient au bioclimat semi-aride à variante fraîche, avec une tranche pluviométrique annuelle de 320 à 380 mm, et un régime saisonnier du type PHAE (les précipitations les plus importantes sont localisées au printemps et en hiver) (BENABDELI, 1976). Les principaux types de sols rencontrés sont les rendzines, les sols bruns calcaires et La terra rossa de faible profondeur, avec deux horizons.

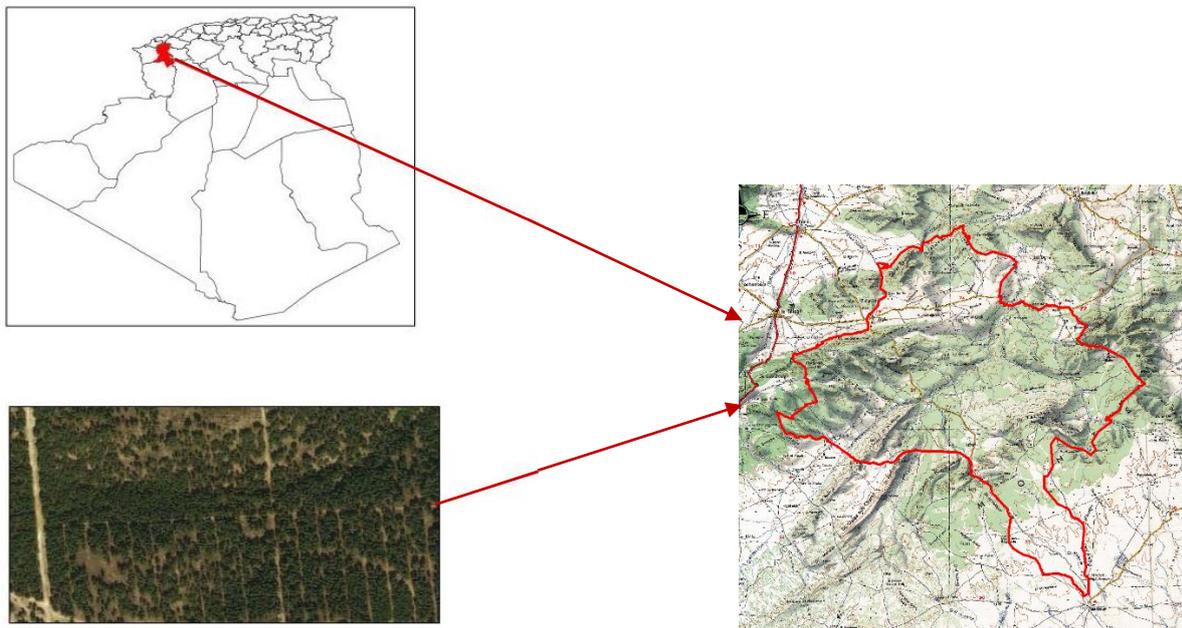


FIG. 5 : Localisation de la zone de «Mérine » (Sidi bel Abess)

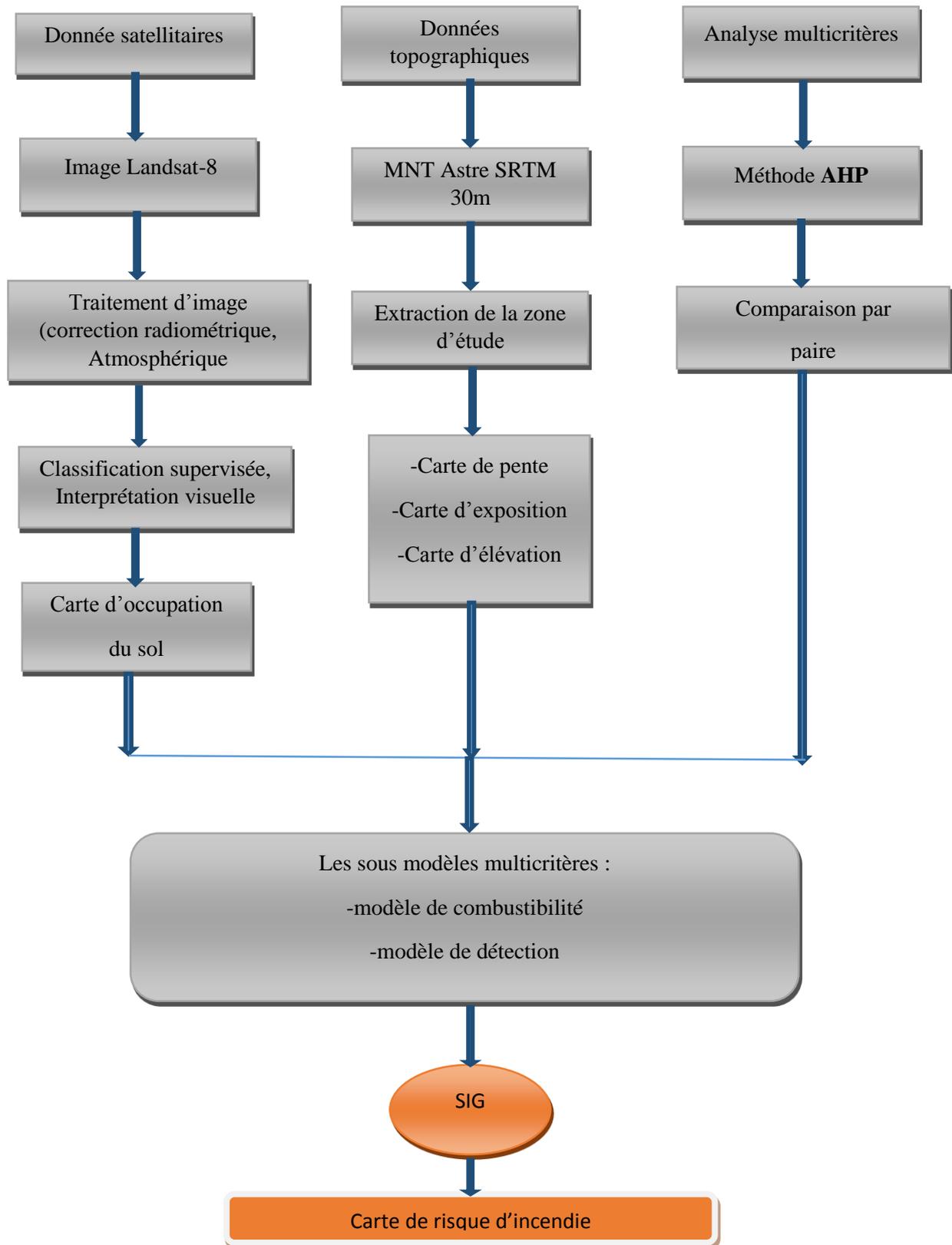


FIG. 6 : organigramme général de la méthodologie de travail

### 3-Les données landsat8 :

Le satellite landsat8 nous donne des images géo-référencées dans le système de coordonnées UTM, WGS84-Nord zone 30.

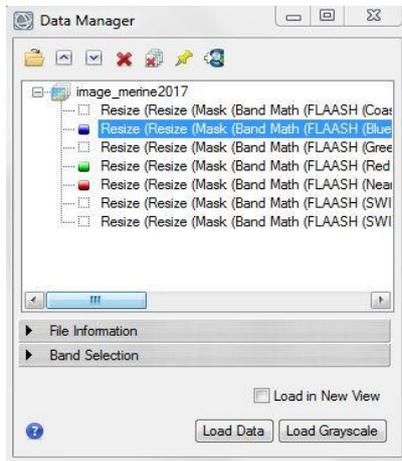


FIG. 7 : composition colorée (fausses couleurs)

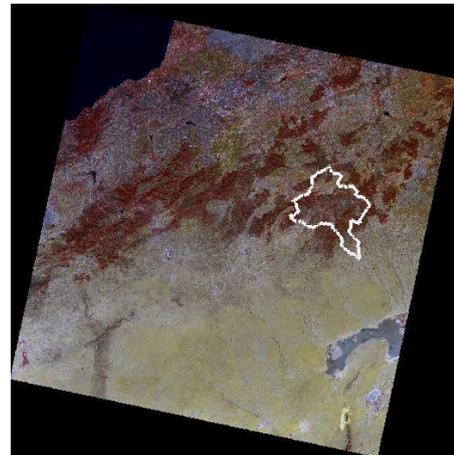


FIG. 8 : la scène de Landsat 8

du (18/04/2017)

### 4-traitement d'image :

#### 4-1-corrrection radiométrique :

La méthode FLAASH traite uniquement des images satellitaires converties en luminance et étalonnées dans les unités appropriées [ $\mu\text{W}/(\text{cm}^2.\text{sr}.\text{nm})$ ]. Pour cette raison il est impératif d'effectuer une calibration radiométrique, cette conversion peut se faire en utilisant la fonction 'calibration utilities' accessible à partir de la barre des tâches du logiciel ENVI v5.1.

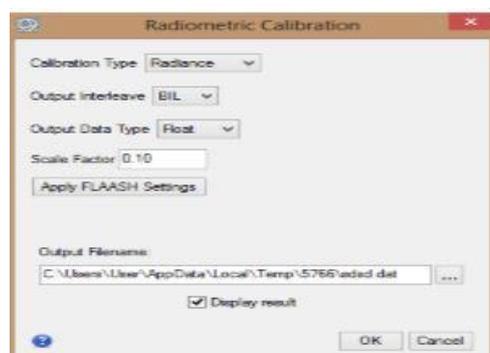


FIG. 9: processus de calibration d'une image landsat 8 (Envi 5.1)

L'image qui en résulte du processus de calibration est étalonnée en  $[W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)]$ , pour obtenir une luminance dans les unités appropriées pour FLAASH  $[\mu W/(cm^2 \cdot sr \cdot nm)]$ , il faudra tout simplement multiplier les données par un facteur de 0.1 en utilisant la fonction 'Band Math'd'ENVI.

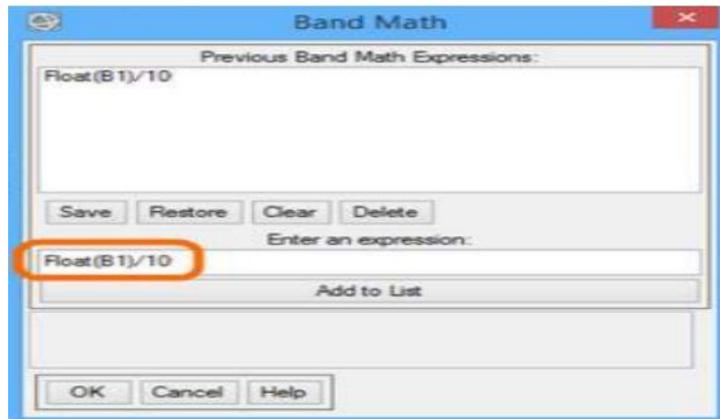


FIG. 10: fonction band math

#### 4-2-corrrection atmosphérique :

En utilisant la methode FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), c'est l'une des méthodes de correction atmosphérique courante utilisée à l'heure actuelle. FLAASH peut traiter des données Multi Spectrales (ASTER, MODIS, SPOT, Landsat...) ainsi que les données Hyper spectrales (HYPERION, AVIRIS, HyMAP...). La qualité de la correction dépend fortement des paramètres d'entrées et de la précision d'étalonnage des capteurs embarqués. FLAASH est régi par une équation qui exprime la luminance spectrale,  $L$ , tel que :

$$L = (A\rho / 1 - \rho_e S) + (B\rho_e / 1 - \rho_e S) + L_a$$

$\rho$  (Réflectance),  $\rho_e$  (réflectance moyenne),  $S$  (l'albédo sphérique de l'atmosphère),

$L_a$  (rayonnement rétrodiffusé par l'atmosphère),  $A$  et  $B$  (coefficients qui dépendent des conditions atmosphériques et géométriques)

-ce modèle fonctionne comme suit :

## Chapitre 3 : Méthodologie et application sur la zone de «Mérine »

1-Saisie des paramètres de la scène à étudier (coordonnée géographique de la zone, date, heure d'acquisition, type de capteur et élévation de soleil)

2-choix modèles atmosphériques (notre modèle **Mid-Latitude Summer MLS**)

3-modèle d'aérosol (maritime)

4 Les paramètres avancés de FLAASH (CO2 MixingRatio400 ppm).

Donc en utilisons la fonction FLAASH Atmospheric correction sous Envi 5.1 :

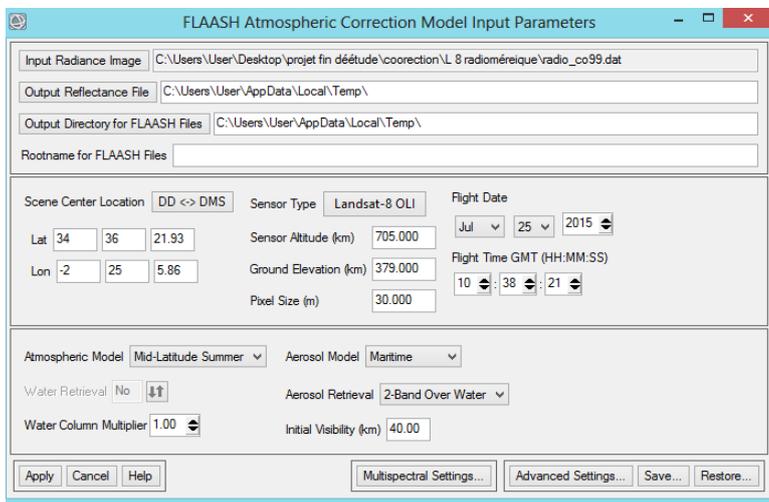


FIG. 11 : Interface graphique du module FLAASH

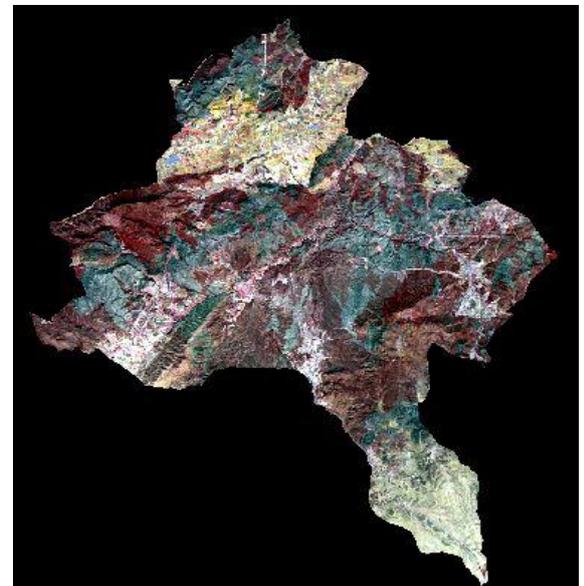


FIG. 12 :L'image corrigée (zone Mérine)

### 4-3- comparaison entre image non corrigée et image corrigée (atmosphériquement) :

Afin de valider le résultat obtenu, une analyse spectrale est indispensable. La figure 13 nous montre une comparaison des réponses spectrales, avant et après correction atmosphérique, d'un même pixel représentant la végétation issu des données Landsat8-Oli. L'analyse de ces signatures spectrales montre l'écart entre les valeurs de réflectances. La signature spectrale après traitement montre de bons résultats, l'apport de la correction atmosphérique est bien représentée dans le graphe illustré dans la figure 13, nous pouvons remarquer la disparition de l'effet de diffusion de la lumière dans les courtes longueurs d'onde qui se traduit par la

diminution de la valeur de réflectance dans la bande bleue, faisant ainsi ressortir la couleur verte dans l'image corrigée. La correction atmosphérique a aussi fait augmenter la réflectance dans la bande infrarouge. En effet, ici nous pouvons expliquer ce résultat par le fait que FLAASH restitue la réflectance en enlevant l'effet d'absorption des molécules d'eau présente dans l'atmosphère.

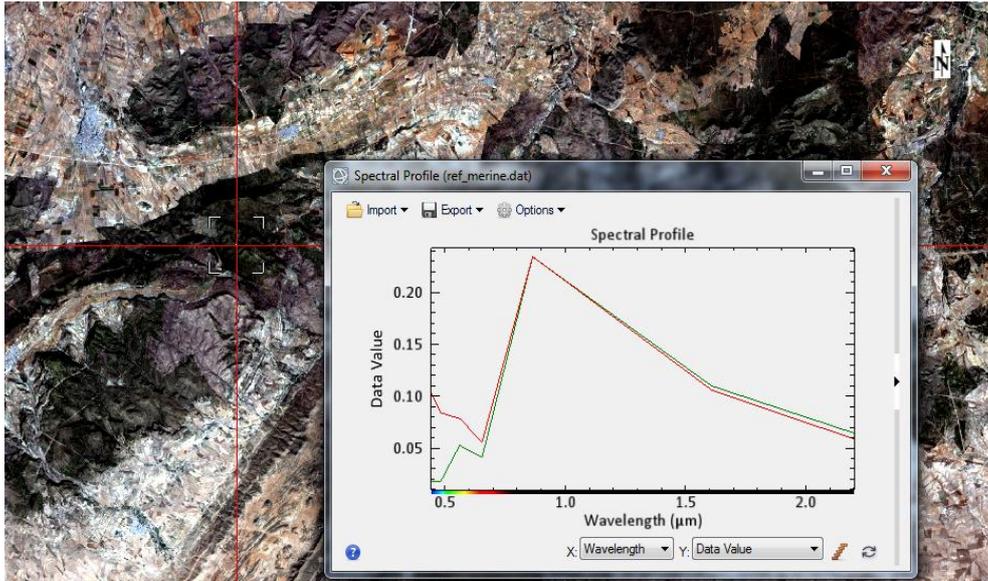


FIG. 13 : Différence de signature spectrale entre image corrigé et non corrigé

### 5- La carte d'occupation de sol de la zone de Mérine:

Pour cartographier l'occupation de sol de la zone d'étude, on va passer par :

#### 5-1- Extraction et classification de la zone d'étude :

Après le traitement d'image on va superposer les limites administratives de la circonscription de «Mérine » sur l'image résultante pour extraire la zone d'étude sous Envi 5.1.

L'étape suivante est la classification supervisée de l'image.

On a calculé l'indice de végétation **NDVI** avec le logiciel ENVI 5.1 de la zone pour le choix des échantillons des classes.

Donc à partir de l'intervalle :

$[-1,0]$  : C'est l'eau et les zones humide

[0,1] : C'est la végétation la plus couvrante

Autour de 0 c'est le sol.

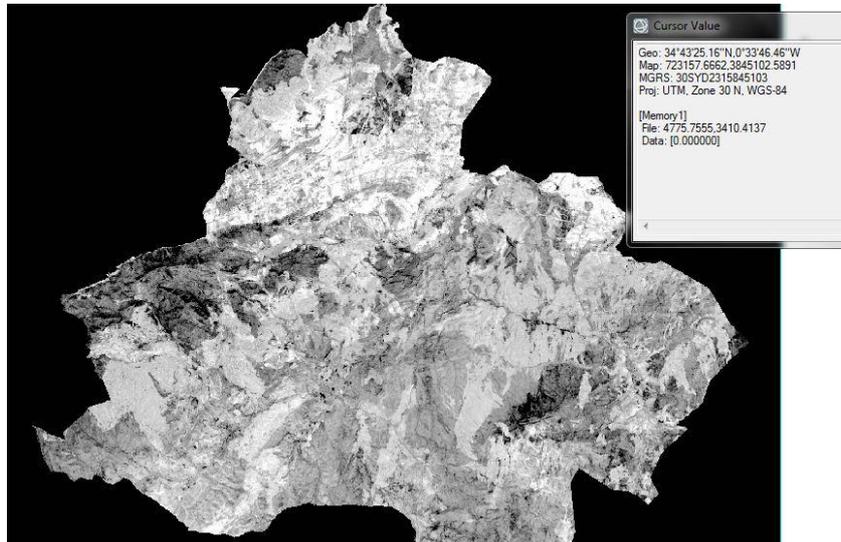


FIG. 14 : l'indice du NDVI

Et on a utilisés aussi les clés de photos interprétation comme : la couleur, la teinte, la texture, la forme,...).

Et ainsi on a travaillé avec le logiciel Google Earth pour vérifier quelque classe

### 5-2- Validation de la classification avec la matrice de confusion :

La validation d'une classification supervisée s'effectue par le calcul de la matrice de confusion

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
maquis dense	100.00	92.53	359/359	359/388
maquis claire	80.83	98.31	291/360	291/296
urbain	100.00	100.00	44/44	44/44
sol nu	41.67	72.46	50/120	50/69
régénération	95.92	97.24	141/147	141/145
parcours step	0.00	0.00	0/47	0/72
zone agricole	0.00	0.00	0/4	0/67

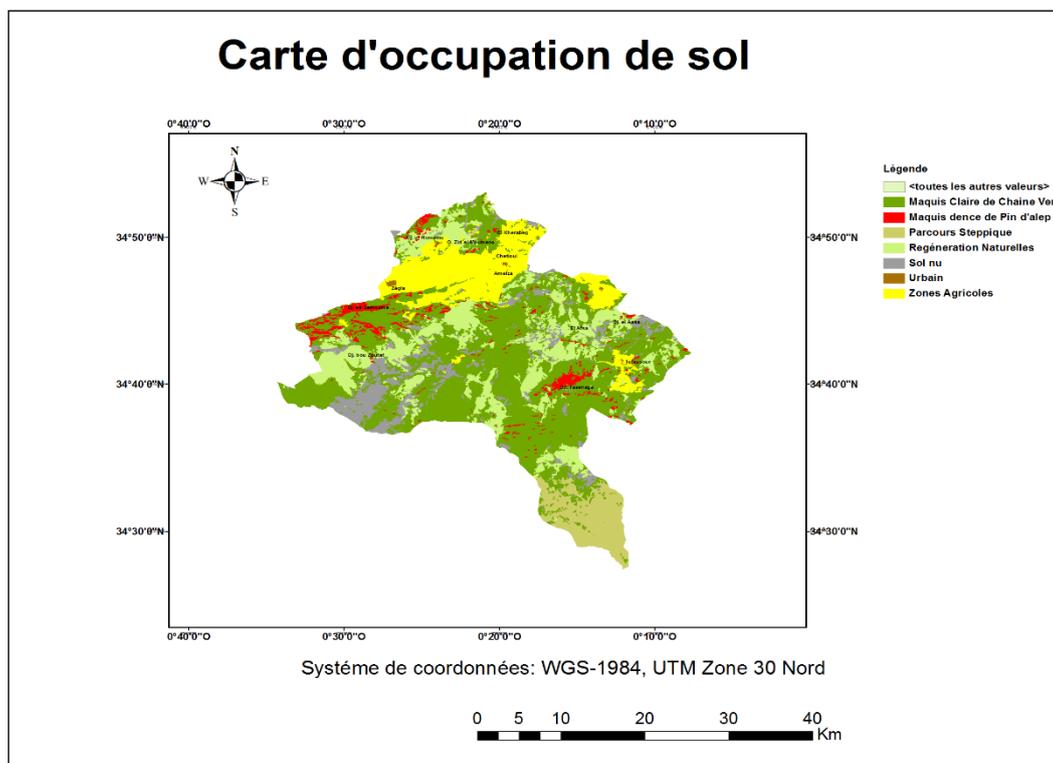
FIG.15 : Matrice de confusion

**Indice de Kappa :** Cet indice statistique est utilisé pour valider les résultats de la classification. Il est calculé à partir des informations d'une matrice de confusion. C'est donc un « estimateur de qualité qui tient compte des erreurs en lignes et en colonnes ». Sa valeur est comprise entre 0 et 1.

Dans notre classification on a trouvé :

```
Confusion Matrix: [Memory6] (1463x1629x1)
Overall Accuracy = (885/1081) 81.8686%
Kappa Coefficient = 0.7613
```

**Kappa= 0.76** donc on a une bonne classification



**FIG. 16 :** Carte d'occupation de sol de la circonscription de **Mérine**

### 5-3- Notice explicative de la carte d'occupation de sol de la région :

La région d'étude s'étend sur une superficie de **82235.19 ha**.

**Les forêts** : formation végétales principalement constituées d'arbres, de buissons et d'arbustes, la région est connue par son patrimoine forestier, elle est composée de maquis dense de pin d'Alep, et maquis claire de Chaîne Vert. Ils s'étendent sur une superficie de **42190,45ha**.

**Les zones agricoles** : La plaine de la région s'étend sur une superficie de **11058,96 ha** de céréaliculture et d'arboriculture.

#### **6- Analyse multicritères :**

Pour calculer le risque, il est nécessaire de modéliser chacun des éléments du risque. Cette étape consiste à sélectionner les paramètres propres à chaque élément (type de combustible, pente, etc.) puis à utiliser un mode de représentation du risque afin de « l'évaluer ». Les paramètres sont les facteurs du milieu naturel et anthropique qui influencent l'éclosion, la propagation et l'intensité du feu, ainsi que son déroulement (aspects liés à la lutte).

Le risque d'incendie est d'autant plus élevé que l'on se trouve en présence de facteurs favorisant l'éclosion et la propagation d'un feu. Dans notre cas il s'agit alors de déterminer les facteurs qui interviennent dans le risque d'incendie. Parmi ces facteurs en va choisir les plus importants, et nous avons élaboré une méthodologie logique (méthode AHP) pour cartographier les secteurs vulnérables au feu. Il est prévu la réalisation de ce zonage de risque de feu de forêt, d'expérimenter un indice de risque de feux de forêt selon les paramètres suivants :

- ✓ La nature de la végétation.
- ✓ Les caractéristiques de l'espèce.
- ✓ La nature forestière.

Les éléments les plus pertinents retenus comme facteur de cette caractérisation sont la végétation, la pente, l'exposition et l'élévation.

Le facteur climatique caractérisé par la chaleur et la vitesse du vent n'a pas été considéré dans notre modèle.

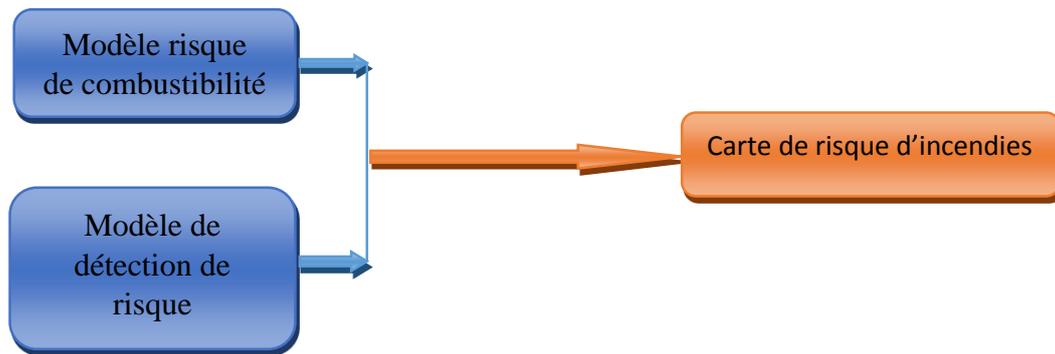


FIG. 17 : un organigramme de carte de risque d'incendie

#### 6-1- Modèle de combustibilité de la végétation :

Le modèle de combustibilité de végétation est le pilier principal de la caractérisation du danger d'incendie, ce dernier composé par la combinaison des différents paramètres tels que : le type de densité, l'élévation, la pente et l'exposition

D'ailleurs le type du couvert végétal stimule la propagation du feu, comme par exemple une zone boisée va brûler plus facilement qu'une zone humide de terres agricoles. L'incendie se propage aussi facilement et rapidement sur une colline en pente vers le haut que sur une surface plane. Donc le modèle de combustibilité de la végétation est représenté par l'organigramme suivant :

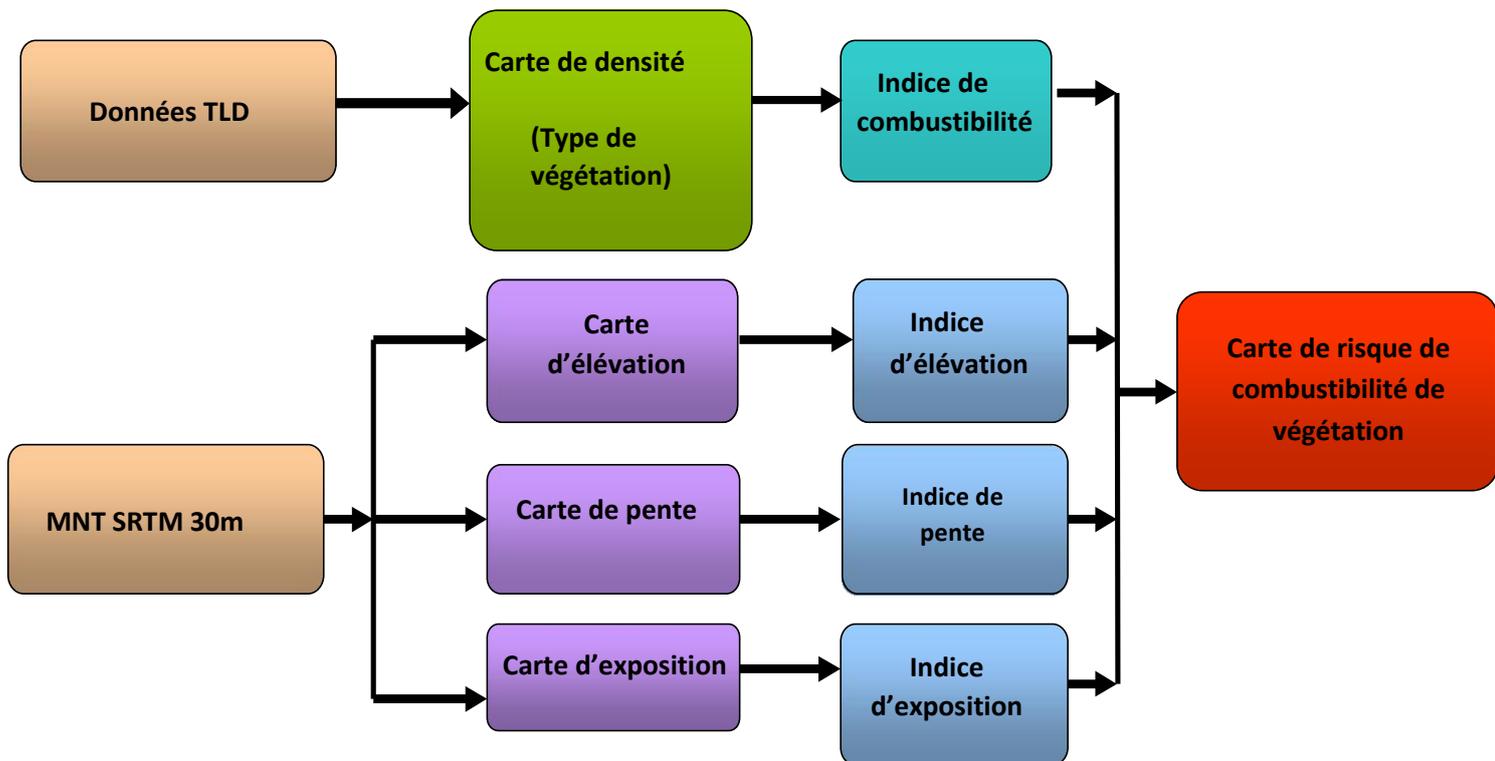


FIG.18 : Modèle de risque de combustibilité de végétation

#### 6-1-1-Détermination des paramètres de modèle de risque combustibilité de végétation :

En plus de la carte de densité on a différents paramètres obtenus à partir du MNT qui sont : la pente, l'élévation et l'exposition.

#### -Carte de risque d'incendie associé à la densité de végétation :

La carte de risque de densité représente le risque de l'incendie selon le type de végétation.

Dans notre cas on a distingué les classes suivantes : maquis dense de Pin d'Alep, maquis clair de Chaîne Vert, zones agricoles, régénérations naturelles, et parcours steppique, sol nu, et urbain

Ces classes sont groupées et indexées selon les critères suivants :

- ✓ la sensibilité aux incendies ou l'inflammabilité
- ✓ la densité des espaces forestiers doit être importante

### Chapitre 3 : Méthodologie et application sur la zone de «Mérine »

---

Il faut nécessairement un codage pour être exploitable dans notre application. Comme le montre le tableau 6 et la figure 19 :

**Tableau 6** : Classification de risque d'incendie selon le type de végétation

<b>Risque</b>	<b>Index</b>	<b>Espèce</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Très élevé	4	Maquis dance de Pin d'Alep	2988.20
Elevé	3	Maquis Claire de Chaine Vert	39202.27
Moyenne	2	Zones Agricoles, Régénérations Naturelles, et Parcours Steppique	32376.44
Faible	1	Sol nu, Urbain	7668.28

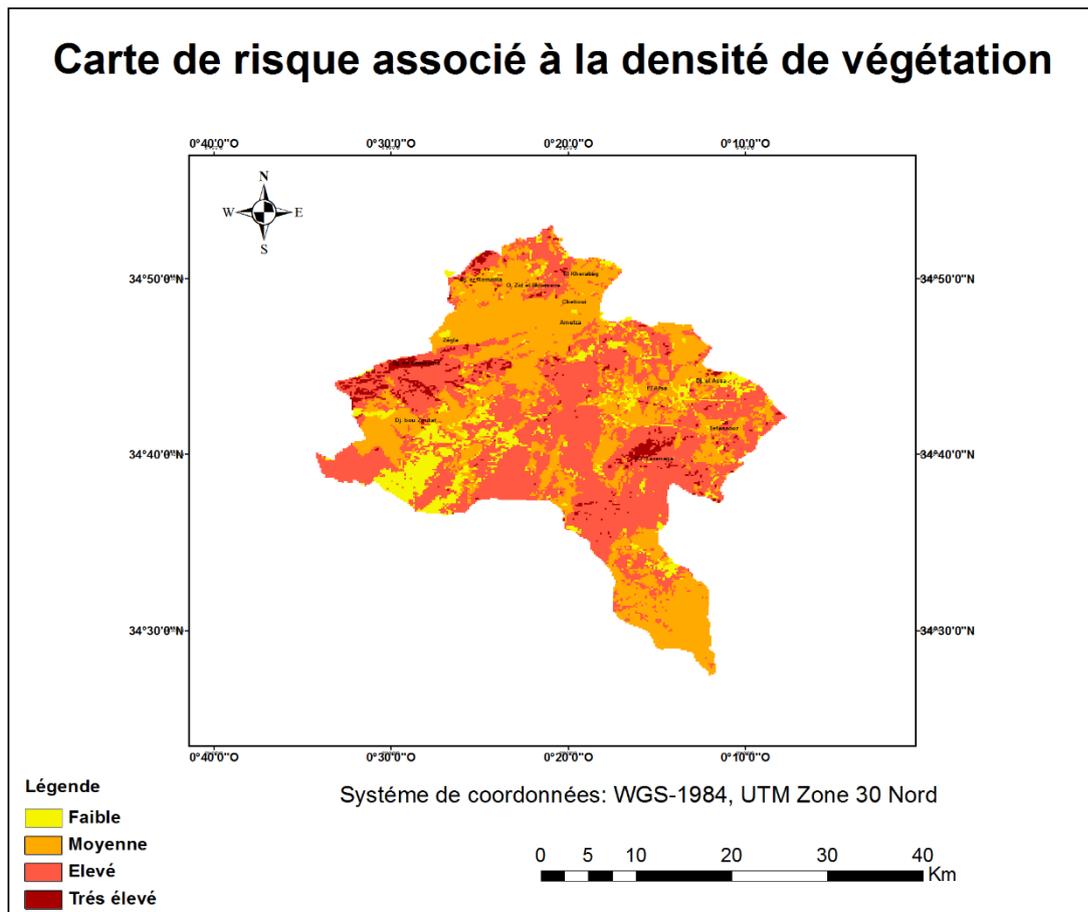


FIG. 19 : Carte de risque associé à la densité de végétation

### Carte d'élévation :

Cette carte est très importante dans l'évaluation de risque d'incendie car plus le terrain est élevé, plus le combustible est exposé au soleil et aux vents intenses, donc plus ils sont secs et les feux se propagent alors plus rapidement. Pour ce faire il faut d'abord avoir un MNT, ce dernier a été téléchargé depuis le site le plus connu dans l'information spatiale USGS Earth explorer. Après avoir téléchargé et importer dans notre espace de travail Arc Gis, nous avons projeté le SRTM vers le système de projection de bloc de données (WGS-84-UTM zone 30 nord).

On va reclasser le SRTM de notre zone d'étude en quatre classes sous Arc Gis comme suit :

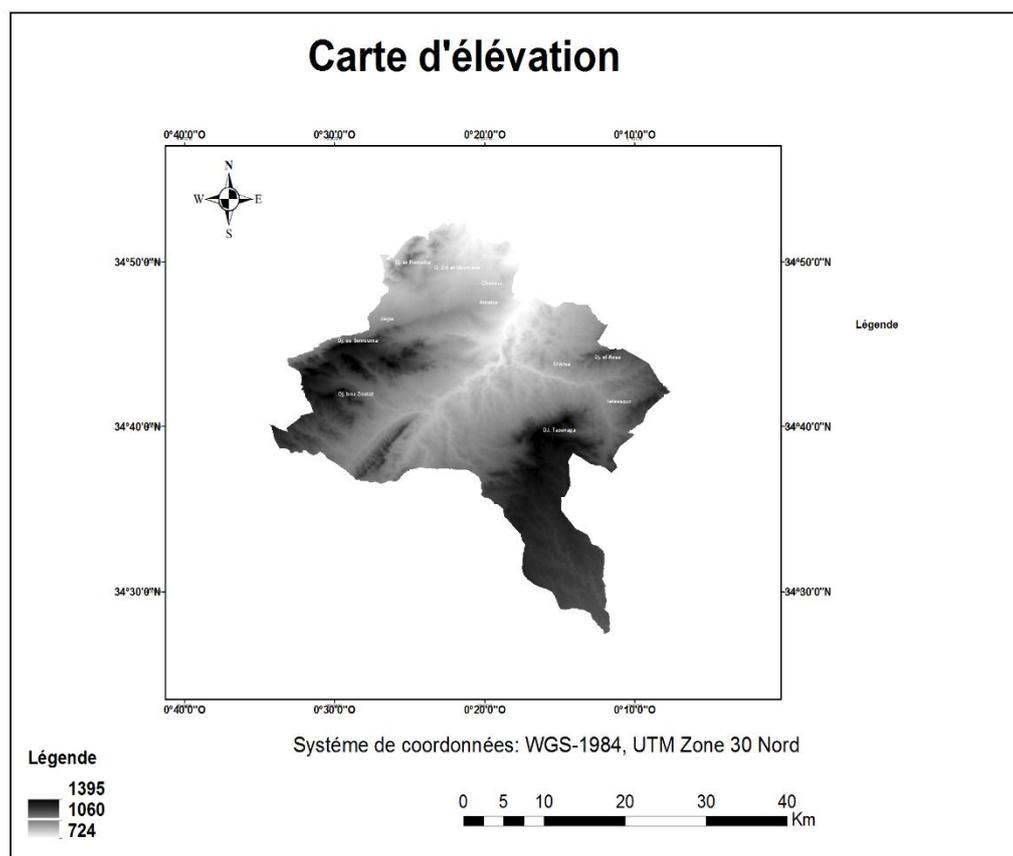


FIG. 20 : Carte d'élévation

Tableau 7 : Classification de risque d'incendie selon l'élévation du terrain

Risque	Valeurs de risque	Les valeurs de l'élévation(m)
Très élevé	4	1168-1396
Elevé	3	1046-1168
Moyenne	2	926-1046
Faible	1	724-926

Tableau 7 : Classification de risque d'incendie selon l'élévation du terrain

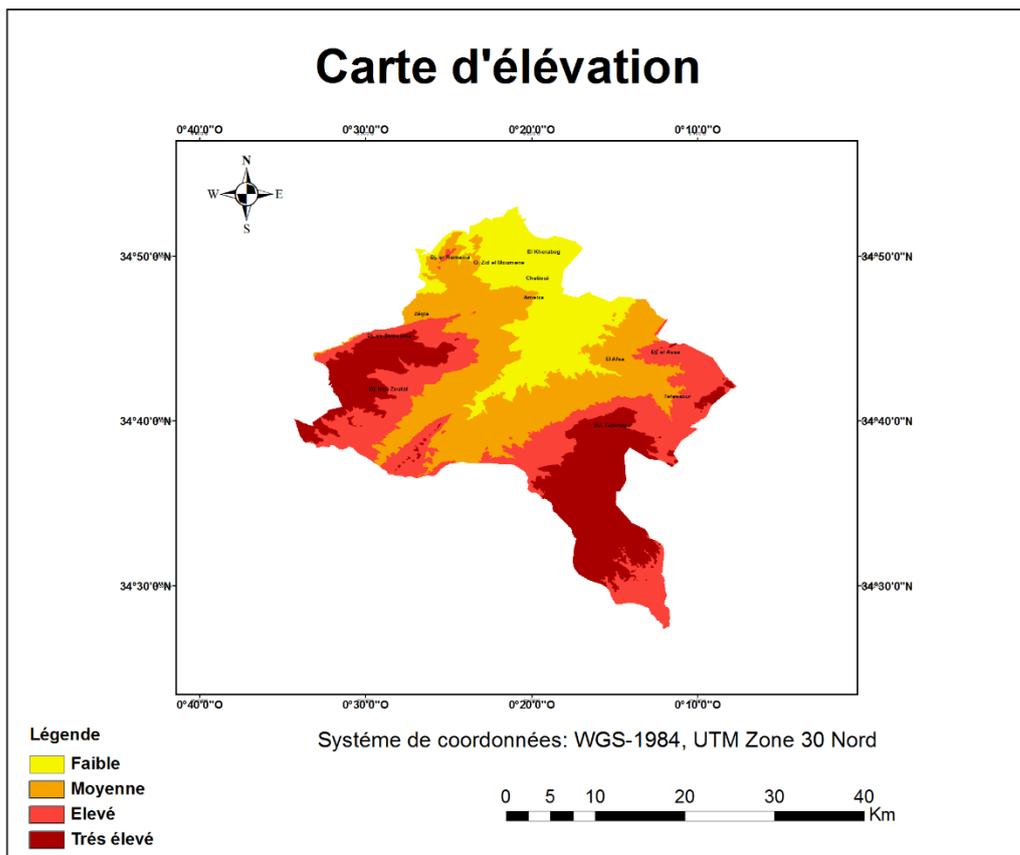


FIG. 21 : Carte de risque d'élévation

**Carte de pente :**

Le risque d'incendie augmente avec l'augmentation de la pente.

On va reclasser la carte de pente de notre zone d'étude en quatre classes sous Arc gis comme suit :

**Tableau 8 :** Classification de risque d'incendie selon l'inclinaison de la pente

Risque	Valeurs de risque	Les valeurs de pente (degré)
Très élevé	4	27,44-79,52
Elevé	3	14,03-27,44
Moyenne	2	6,54-14,03
Faible	1	0-6,54

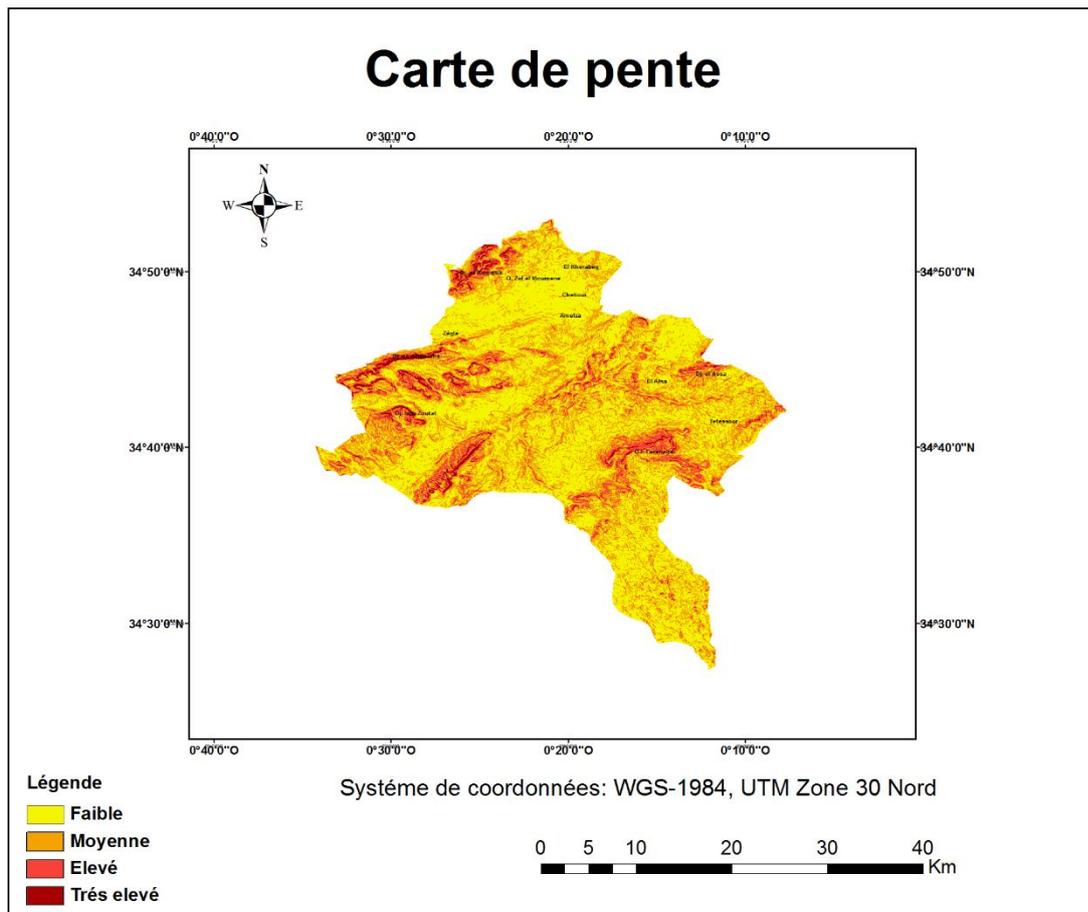


FIG. 22 : Carte de pente

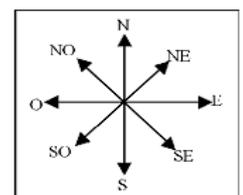
**-Carte d'exposition :**

L'exposition au soleil des matériaux combustibles accélère grandement leur vitesse de dessèchement. L'exposition est déterminée par rapport aux quatre points cardinaux. Ces valeurs sont exprimées en degrés avec le nord comme origine.

Donc on va reclasser la carte d'exposition en quatre classes sous Arc gis comme suit :

**Tableau 9 :** Classification de risque d'incendie selon l'exposition du couvert végétal

Risque	Code	Orientation	L'angle en degré
Très élevé	4	Sud-Est	269.49° – 359.66°
Elevé	3	Sud-Ouest	179.33° – 269.49°
Moyenne	2	Nord-Est	89.16° – 179.33°
Faible	1	Nord-Ouest	-1° – 89.16°



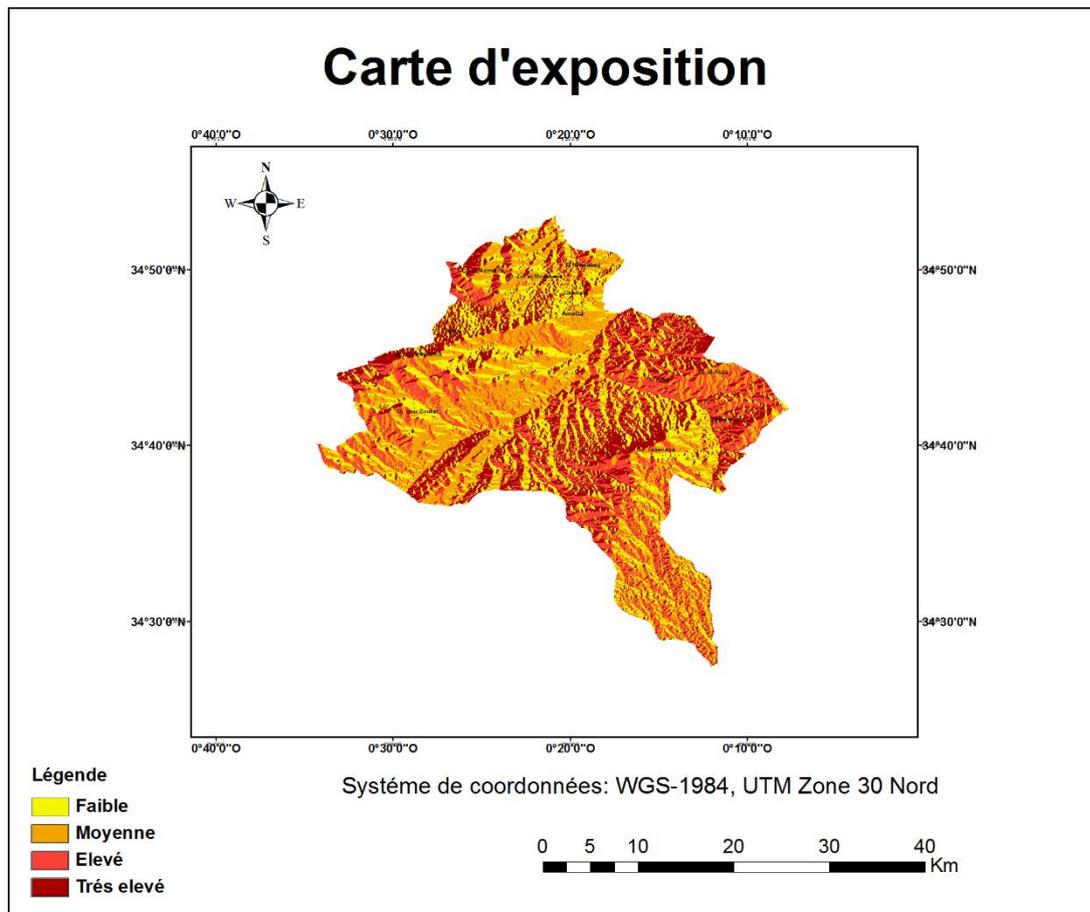


FIG. 23 : carte d'exposition

### 7- Application de la méthode AHP :

Pour obtenir la carte des risques de combustibilité de la végétation, nous avons appliqué la méthode AHP pour calculer le poids de chaque facteur.

#### 1-construction de la structure hiérarchique de système (modèle de combustibilité) :

Nous avons les structures hiérarchiques de modèle de combustible comme suit : la densité, l'élévation, la pente et l'exposition.

#### 2-Recueil des jugements des experts (individuellement) :

Dans cette étape, nous avons adopté des propositions au lieu du jugement des experts, nous sommes basés sur une étude menée en Inde pour retenir les valeurs (suivant l'échelle de saaty 1980) des facteurs importants dans la détermination de la cartographie des risques de combustible.

#### 3-Comparaison par paire :

Cette étape est la suivante :

- Comparé à l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux à deux suivant l'échelle de comparaison par paires (Saaty, 1980)
- matrice réciproque des jugements.
- Pondération : méthode du vecteur propre (Saaty, 1980).
- Calcul du ratio de cohérence des jugements ( $RC < 10\%$ ).

Donc l'application spécifique de l'analytique hiérarchique processus se fait comme suit :

1- La matrice obtenue à l'aide de la comparaison par paire :

	<b>Densité</b>	<b>Pente</b>	<b>exposition</b>	<b>Elévation</b>
<b>Densité</b>	1	7	8	9
<b>Pente</b>	0,14	1	3	2
<b>Exposition</b>	0,12	0,33	1	2
<b>élévation</b>	0,11	0,5	0,5	1
<b>COL.TOTAL</b>	1,37	8,83	12,5	14

2- Calcul des valeurs relatives en divisant les valeurs initiales par le total de la colonne en suite calculer la somme des valeurs relative par ligne :

	<b>Densité</b>	<b>Pente</b>	<b>Exposition</b>	<b>Elévation</b>	<b>valeurs relatives</b>
<b>Densité</b>	0,72	0,79	0,64	0,64	2,80
<b>Pente</b>	0,10	0,11	0,24	0,14	0,59
<b>Exposition</b>	0,09	0,03	0,08	0,14	0,35
<b>Elévation</b>	0,08	0,05	0,04	0,07	0,24

3-Calcul du poids relatif : on divise le total de ligne par le nombre des indicateurs à comparer

### Chapitre 3 : Méthodologie et application sur la zone de «Mérine »

	Densité	Pente	exposition	Élévation	poids relative
Densité	0,72	0,79	0,64	0,64	0,70
Pente	0,10	0,11	0,24	0,14	0,14
exposition	0,09	0,03	0,08	0,14	0,08
Élévation	0,08	0,05	0,04	0,07	0,06

Avec condition  $\sum poids = 1$

Vérification de la cohérence de jugement (calcule  $\lambda_{max}$ , IC et RC) :

$$\lambda_{max1} = 4.30$$

$$\lambda_{max2} = 4.25$$

$$\lambda_{max3} = 4.98$$

$$\lambda_{max4} = 4.16$$

$$\lambda_{max} = \text{Moyenne} (\lambda_{maxi}) = \mathbf{4.18}$$

$$\text{IC} = (\lambda_{max} - n) / (n-1) = \mathbf{0.06} \quad \text{avec } \mathbf{n=4} \text{ (nombre de critère)}$$

$$\text{IA} = \mathbf{0.9}$$

$$\text{RC} = \text{IC} / \text{IA} = \mathbf{0.06}$$

**RC < 0.1** donc la matrice est cohérente.

#### 7-1- Carte de risque de combustibilité :

L'indice de combustibilité a été calculé à partir de la formule suivante :

$$\mathbf{D*0.7+P*0.2+E*0.1+EL*0.1}$$

Dans laquelle :

D : type de densité

P : la pente

E : l'exposition

EL : l'élévation

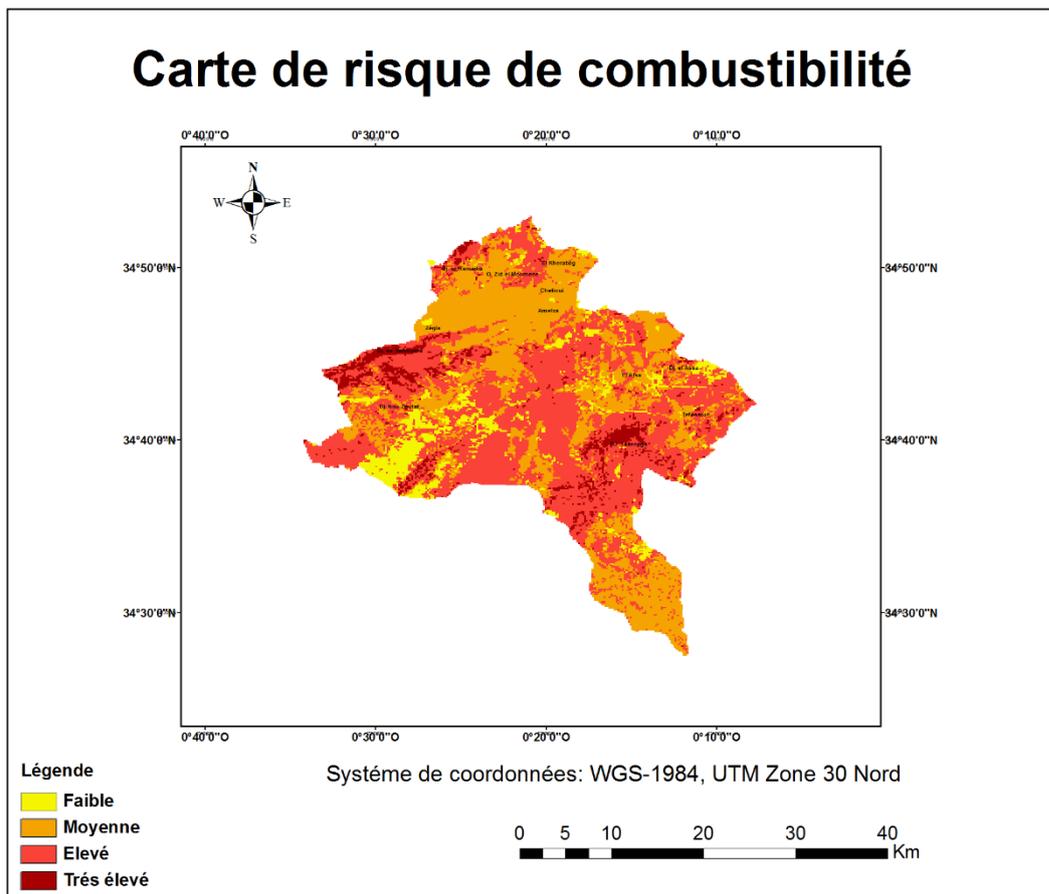
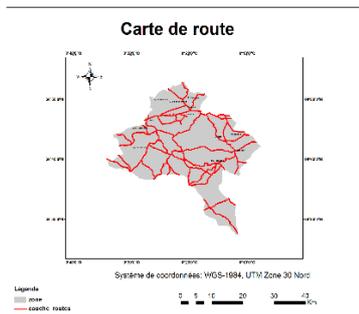


FIG. 24 : la carte de risque de combustibilité de la végétation

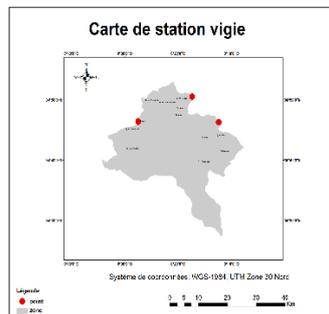
### 7-2- Modèle de détection du feu :

Dans ce modèle, l'analyse pour identifier les zones visibles et invisibles a été faite en utilisant trois critères (les routes, les villages et les stations vigies). Les cartes de base nécessaires pour générer la carte de risque de détection sont : la carte routière, carte du village et carte de la station vigie. Ces informations nous renseignent sur la facilité avec laquelle le feu a pu être détecté pour une intervention rapide.

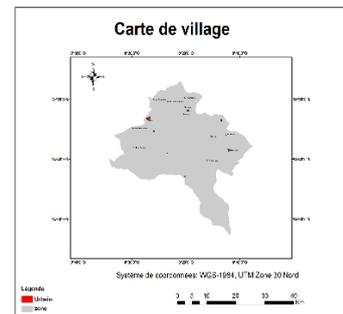
Voici les couches que nous avons utilisées pour la génération du modèle de détection et l'organigramme général :



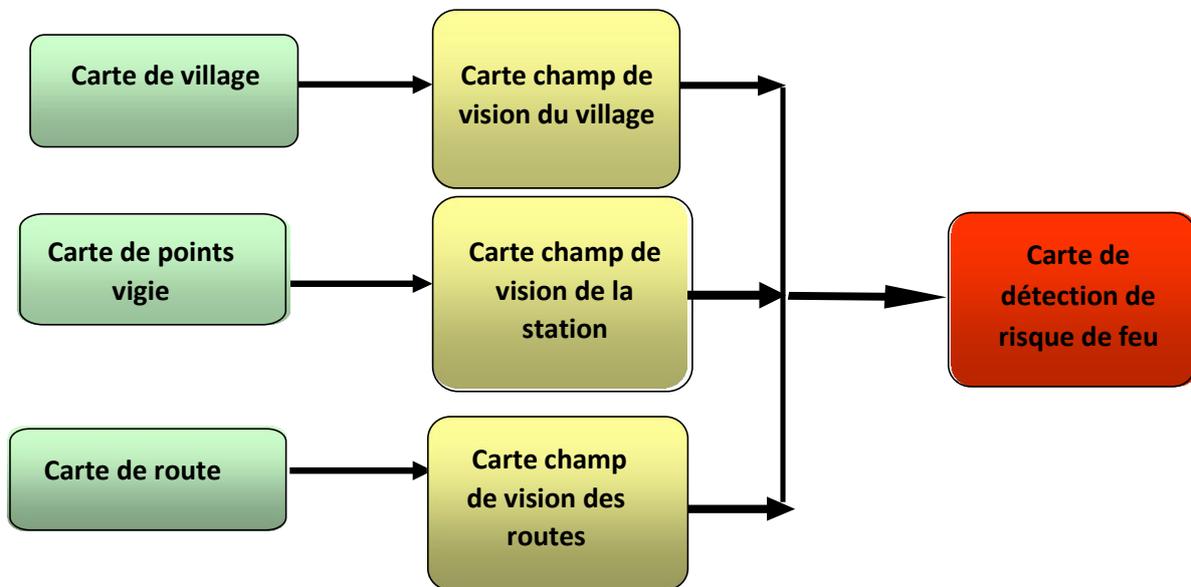
**FIG. 25 : carte de route**



**FIG. 26 : Carte de pst vigie**



**FIG. 27: Carte de village**



**FIG. 28 : Organigramme de modèle de détection de risque de feu**

### **7-2-1- Détermination des paramètres de modèle du risque de détection :**

#### **❖ La carte de visibilité (champ de vision) de village :**

Le village est un facteur plus important dans la détection de feu de forêt, parce qu'il y a beaucoup d'activités et des mouvements humains, donc il est facile de détecter les feux et la réponse sera plus rapide. La réalisation de la carte de risque de visibilité est une opération qui

permet de déterminer le champ de vision des cellules d'un raster en entrée depuis un ensemble d'entités qui sont autant de points d'observation.

Dans notre application, le champ de vision de village (entité) est identifié d'après la grille d'altitude (SRTM30) qui représente l'altitude du terrain.

La figure 29 représente la carte de détection de risque selon les zones de peuplement humain (village)

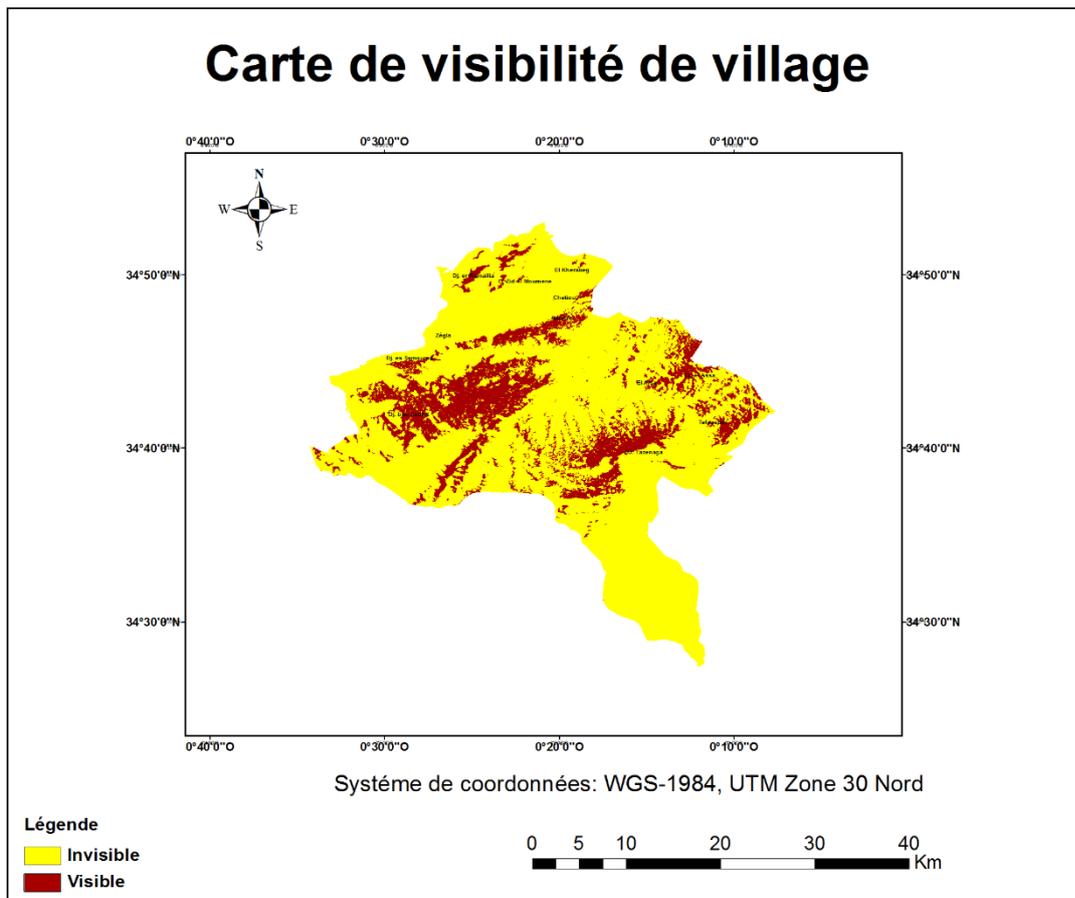


FIG. 29 : Carte de détection de risque de village

#### ❖ Carte de visibilité de route :

Similaire au village, la route est le siège de mouvements de véhicules, et il a la présence des activités humaines.

Nous avons superposé la couche du réseau routier sur SRTM 30m (Figure30), car sous Arc Gis la visibilité de chaque centre de cellule est déterminée par des lignes de visée 3D

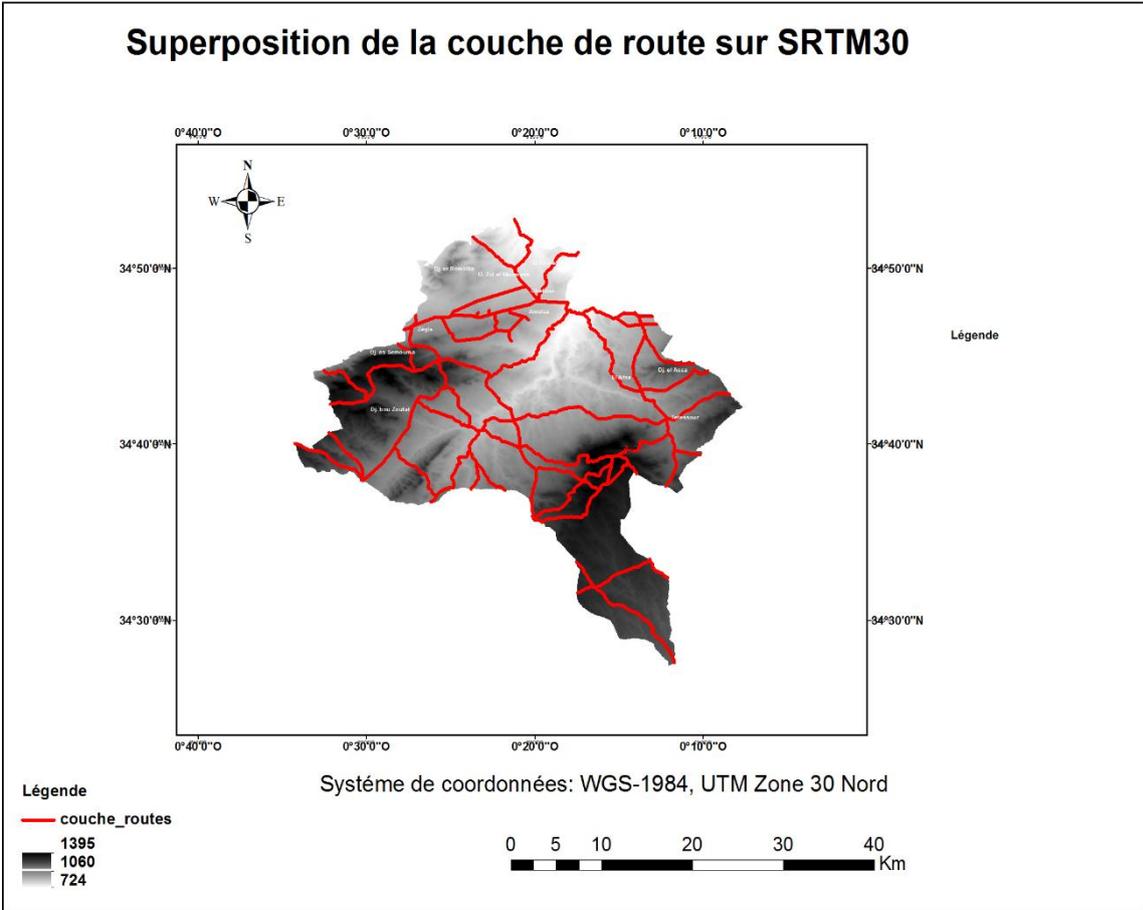


FIG. 30 : Superposition de la couche de route sur SRTM30

La figure 31 représente la carte de détection de risque par route :

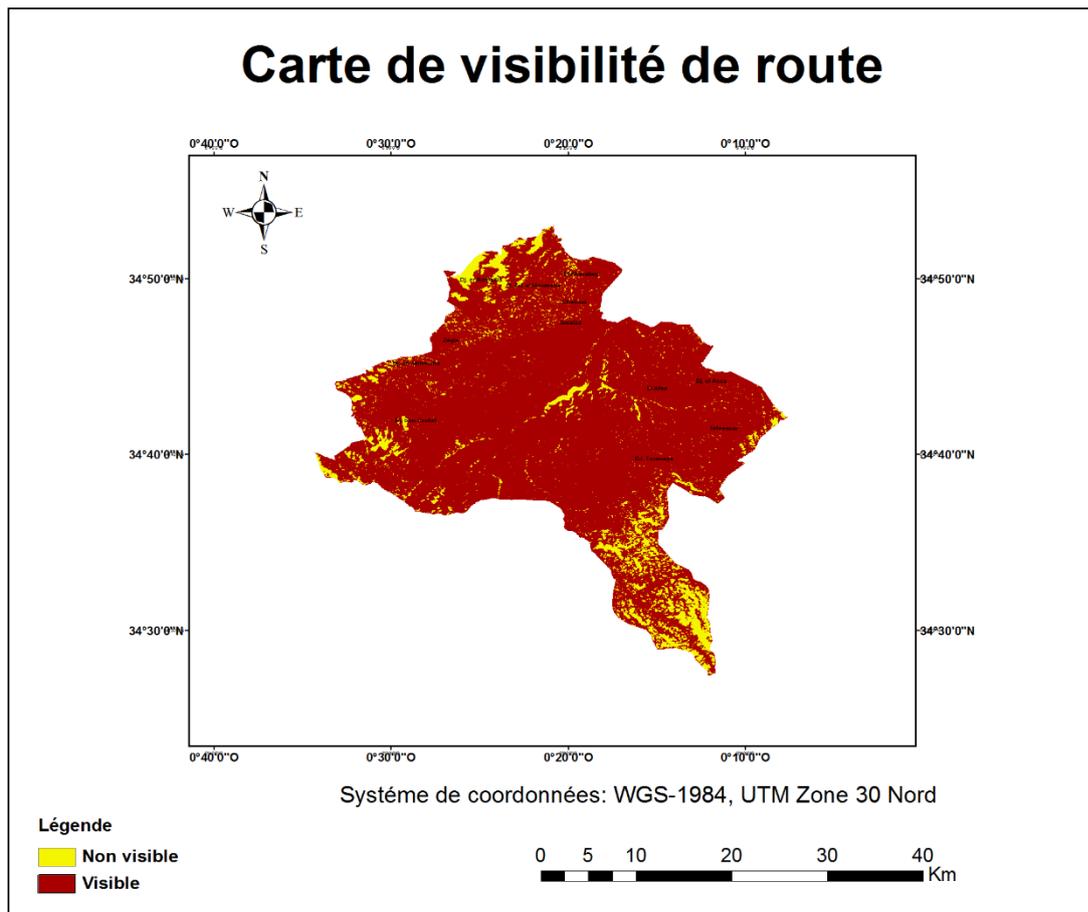


FIG. 31 : La carte de risque de détection de route

❖ **Carte de visibilité des points vigies :**

Cette carte est très importante pour contrôler le déclenchement du feu et sa propagation. En d'autres termes, les zones invisibles ont un risque très élevé par rapport aux zones visibles pour la propagation des incendies de forêts, elles sont établies par le département des forêts. Dans notre zone d'étude nous avons trois postes de vigilance. De la même manière que la procédure utilisée pour l'élaboration de carte risque de détection par village, et route nous avons adopté la création des points de poste vigilance sur MNT (SRTM 30m) selon la figure 32 :

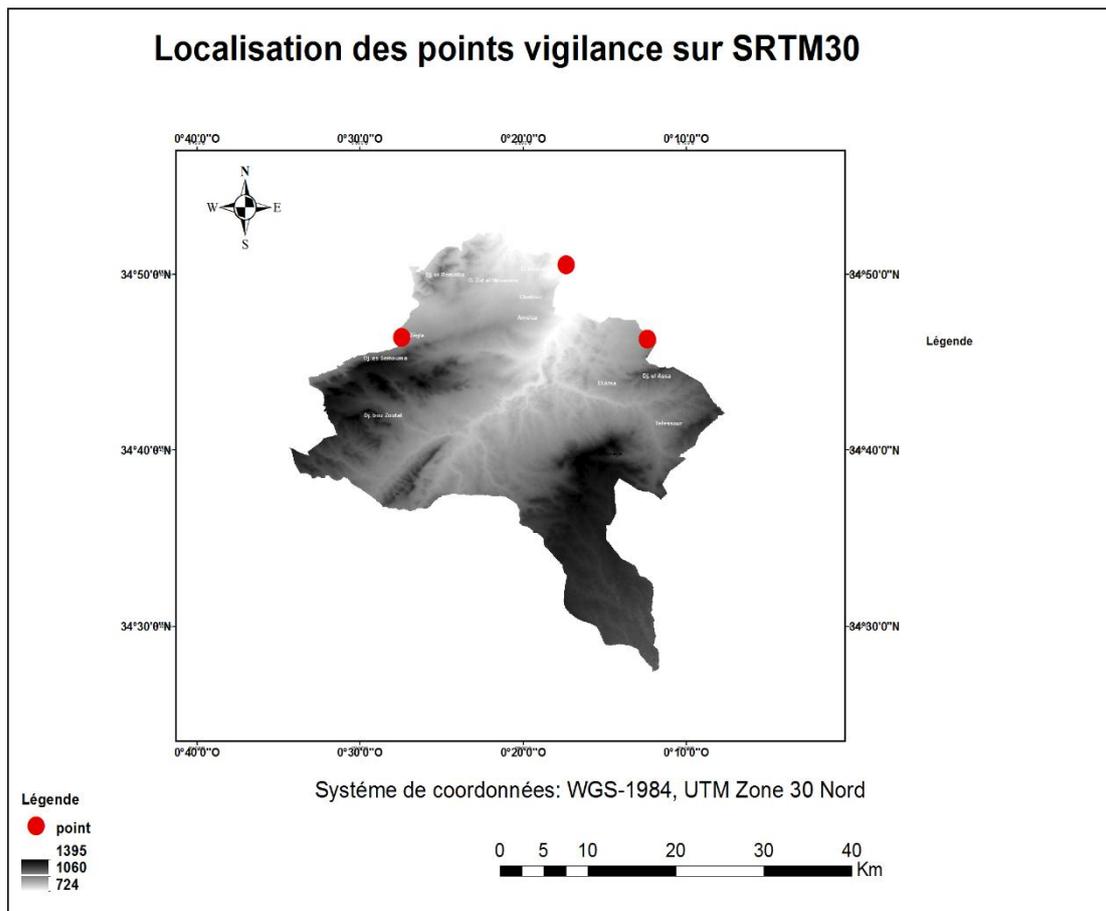


Fig. 32 : Localisation des points vigilance sur SRTM30

Chaque cellule pouvant être vue à partir de ces trois points d'observation se voit affecter (visible). Toutes les cellules qui ne peuvent pas être vues depuis ces points d'observation se voient affecter (non visible), comme indique la figure 33 :

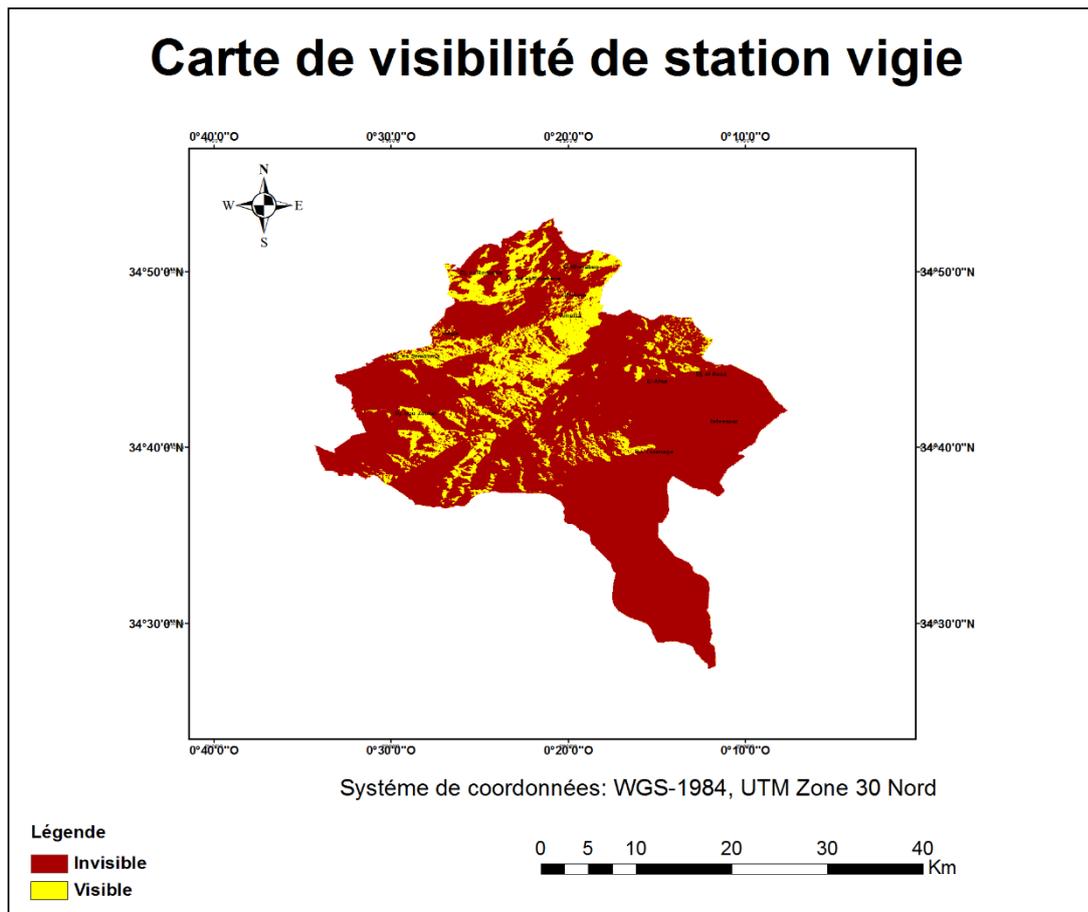


FIG. 33 : Carte de détection de risque par postes vigillances

### 7-2-2- Application de la méthode AHP :

Le modèle de détection de risque d'incendie de forêt est composé par trois critères (village , route et station vigie ), Dans l'analyse multicritère (méthode AHP), chacun des facteurs de ce modèle a un poids calculé comme l'indique le tableau 6 selon leur importance. Reprenons notre exemple de modèle de risque de combustibilité . Vous avez notamment la possibilité, pour des raisons expérimentales à long terme, de privilégier des détection par village plutôt que des coûts, à court terme, relevant de critères relatifs aux détection par route et station de vigilance.

-Nous avons adopté la procédure de calcul de pondération par la méthode de AHP précédente et nous avons donc pondéré les valeurs de critères de detection comme indique le tableau 10 :

**Tableau 10** : Poids de critères de detection

	<b>Route</b>	<b>Village</b>	<b>St vigie</b>	<b>Poids relatives</b>
<b>Route</b>	0.15	0.14	0.27	0.19
<b>Village</b>	0.78	0.74	0.63	0.72
<b>St vigie</b>	0.05	0.11	0.09	0.08

Avec **IA= 0.53** et **RC= 0.05**

### 7-2-3- Carte de détection de risque d'incendie:

D'après les résultats obtenus, nous avons adopté cet indice de risque composé par les trois couches de type raster selon la formule suivante :

$$\text{Détection de risque} = 0.7*OV + 0.2*VR + 0.1*OS$$

Avec :

**OV** : observation de risque d'incendies par village

**VR** : champ de visibilité de route

**OS** : observation de risque par station vigie

-Pour calculer la détection de risque, on utilise la fonction (**calculatrice raster**) sous Arc Gis10.3.

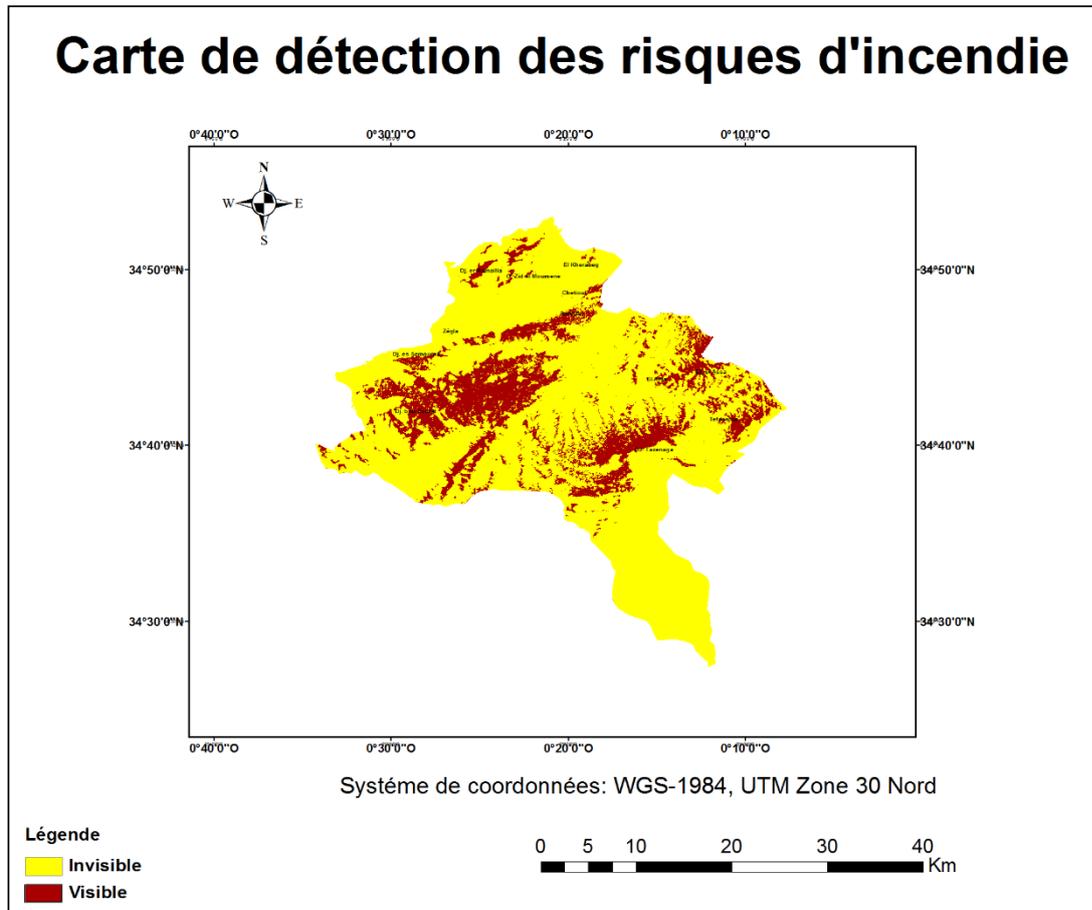


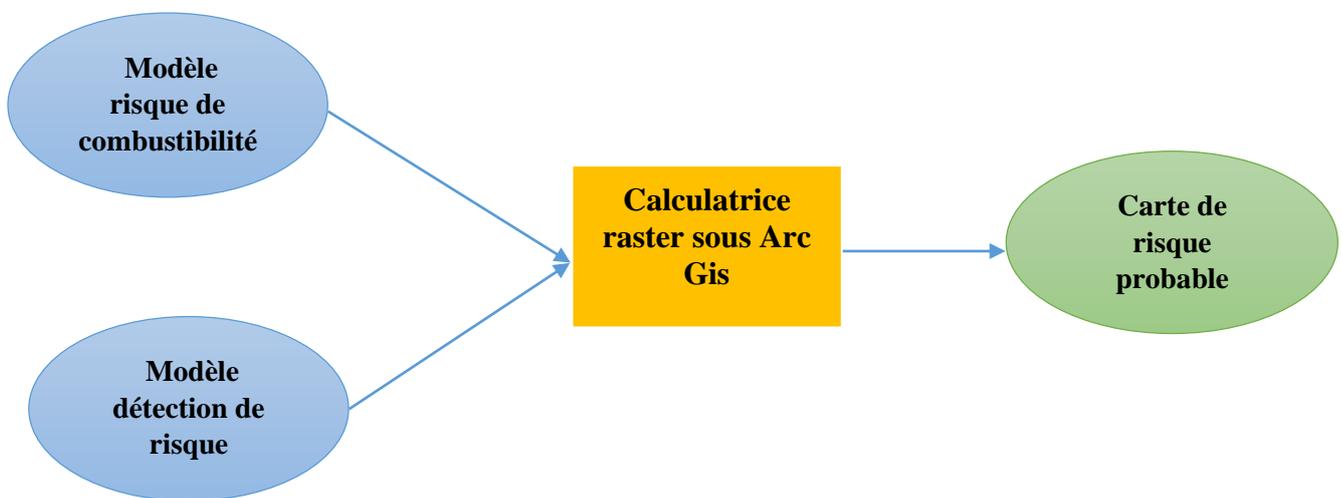
FIG. 34 : Carte de détection des risques d'incendie

### 8- la carte de risque probable :

La carte de risque probable (Figure 36) est la combinaison des deux modèles : modèle de combustibilité, et modèle de détection de feu, avec des pondérations différentes selon leur importance.

**Tableau 11 : poids de critères de modèle risque d'incendies**

	Combustibilité	Détection	Poids relative
Combustibilité	0.5	0.49	0.5
Détection	0.38	0.37	0.38



**FIG. 35:** Organigramme de production de la carte finale

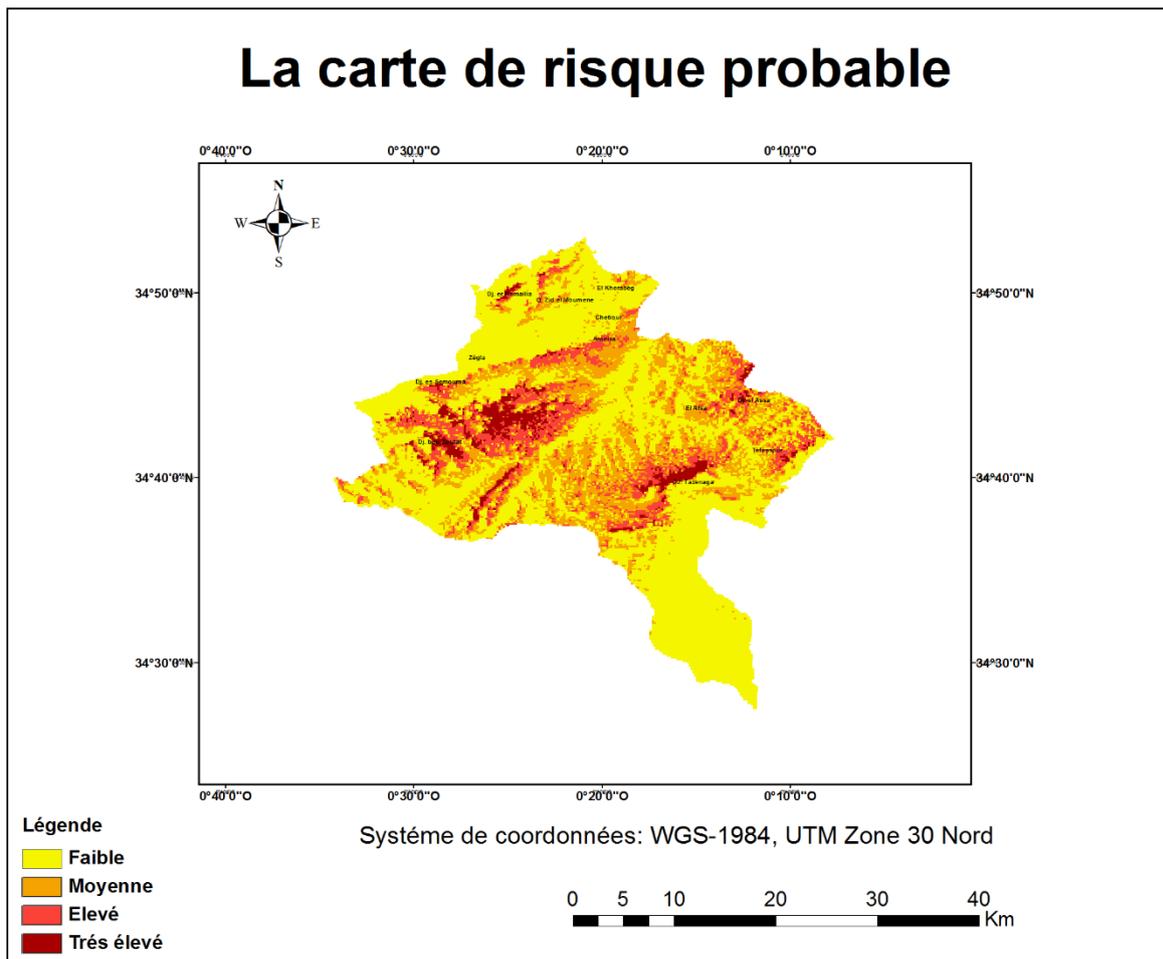


FIG. 36 : La carte de risque probable

### Interprétation de résultats :

La carte de risque d'incendie montre que **58.85%** de la zone d'étude présente un risque faible, les classes à risque élevé et très élevé occupent **16,83%** de la surface totale, alors que la classe à risque moyen représente **24.32%** de la zone d'étude.

Alors notre résultat montre que les facteurs topographiques tels que l'élévation, la pente, l'exposition, ainsi les facteurs qui ont un lien avec l'activité humaine (route, village) jouent un rôle essentiel dans la caractérisation des feux de forêt ainsi que la densité et la nature du couvert végétale, et ils ont une relation étroite avec le risque d'incendie.

**Tableau 12** : Table statistique de la carte de risque

<b>Zonation</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Zone à faible risque	48395.33
Zone à moyenne risque	20003.08
Zone à risque élevé	10318.14
Zone à risque très élevé	3518.64

#### **Conclusion générale :**

Cette étude porte sur l'utilisation du SIG et de la télédétection pour la protection de la forêt de «Mérine » contre les incendies. Le modèle appliqué a fait intervenir différents paramètres pour l'évaluation du risque d'incendie, à savoir le type de végétation, la pente, l'exposition, la proximité des routes et la proximité des points de peuplement humain (village).

Elle permettra de définir et mieux préciser les zones à protéger. Elle devrait permettre aux gestionnaires des forêts de mieux localiser les secteurs exposés au risque d'incendie, donc à protéger en priorité. Elle peut aussi servir à l'implantation de nouveaux équipements, à l'ouverture de nouvelles tranchées pare-feux ainsi l'établissement de nouvelles pistes.

Ce document pourra servir également à l'appréciation du type et de la densité des installations à réaliser pour protéger les zones les plus sensibles. Dans ce travail nous avons présenté les méthodes utilisées pour établir une cartographie des zones vulnérables et élaborer une stratégie de prévention en se basant sur une étude scientifique utilisant les nouvelles technologies.

## BIBLIOGRAPHIE

**Ammari M. (2011)** : la dimension fractale du front dans un système désordonné binaire. Application aux feux de forêt, Mémoire de Magister de l'université des sciences et de la technologie d'Oran- Mohammed Boudiaf.

**Belhadj I., Smara Y. (2003)** : Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie. 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.p 1-16.

**Dagorne Y. Duche et al. (1994)** : Protection des forêts contre les incendies et système d'information géographique : Application à la commune d'Auribeau sur Siagne (Alpes Maritimes). Revue forêt méditerranéenne t. XV, n°4, octobre 1994.

**Hachemi A. (2014)** : apport de la géomatique dans la protection des forêts contre les incendies (cas du foret de fenouane Ain el hadajar, saida), thèse de master en géologie et environnement, université de Tlemcen.

**KHADER M., et al (2009)**. Etude du risque incendie à l'aide de la géomatique : cas de la forêt de Nesmoth (Algérie)". *Mediterránea. Serie d'Estudios Biológicos. Época II*, n. 20 (2009). ISSN 1130-6203.

**Khaldi F (2008)** : Contribution à l'élaboration d'un plan de prévention des risques incendies de forêt cas de la commune de Tlemcen (Nord-Ouest d'Algérie).Mémoire de magister de l'université Aboubeker Belkaid de Tlemcen.

**Lopez., et al. (1996)** : Erosion, désertification et aménagement du territoire dans les milieux semi- aride de la méditerranées, université de Murcie (Espagne). P 213-232.

**Margerait J. (1998)** : Modélisation et simulations numériques de la propagation de feux de forêts. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine – INPL.

**Meddour S., et Derrida A. (2010)** : le risque d'incendies de forêt, évaluation et cartographie, le cas de la wilaya de Tizi Ouzo Algérie période 1986-2005 sécheresse, 3: 187-195.

**MISSOUMI A., SAIDI A., DJILLALI (1999)** : Arc Info et la protection des forêts contre les incendies. Conférence des utilisateurs 1999. ESRI France Paris 29 et 30 septembre 1999.

**Missououmi A ; et al (2003)** : SIG et imagerie Alsat1 pour la cartographie du risque d'incendie de forêt (sidi Bel Abbes), 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco. P 1-14.

**Pugnet L a., Maillé E (2013)** : Analyse multicritères pour l'évaluation de la vulnérabilité des interfaces habitat-forêt. International conférence of Forest fire risk Mödling and mapping.

**RAFA A (2016)** : Analyse du bilan des incendies de forêts dans la Wilaya de Sidi bel Abbes durant la période 2010-2016. Mémoire de master En Foresterie, université aboubakr belkaid-tlemcen, faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la Terre et de l'univers.

**Saklani P. (2008)**: Forest Fire Risk Zonation, A case study Pauri Garhwal, Uttarakhand, INDIA. The International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.

**Sitayab T. (2006)** : Application de la géomatique dans l'étude de la dynamique de la végétation dans la plaine de la Macta. Thèse de magistère, centre universitaire de Mascara.

**Tir E. (2015)** : Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de magister en Biodiversité et gestion intégré des écosystèmes, Université Aboubaker Belkaid –Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et l'Univers.

## **Site Web :**

<http://support.esri.com>

<http://support.esrifrance.fr-Site> ESRI France (support technique et scripts à télécharger)

<http://www.certu.fr/sitcert/géomat/minisi01/signatur/dossier/dossier14/dossier14.htm>

[#.VuahJNlhDIU](http://www.prevention-incendie-foret.com/dossier/feu-de-foret.php)

# Annexe

Confusion Matrix: [Memory6] (1463x1629x1)

Overall Accuracy = (885/1081) 81.8686%

Kappa Coefficient = 0.7613

Class	Ground Truth (Pixels)		urbain	sol nu	régénération
	maquis dense	maquis claire			
Unclassified	0	0	0	0	0
maquis dense	359	29	0	0	0
maquis claire	0	291	0	0	1
urbain	0	0	44	0	0
sol nu	0	0	0	50	1
régénération	0	0	0	0	141
parcours step	0	0	0	70	2
zone agricole	0	40	0	0	2
Total	359	360	44	120	147

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	végétation st	agriculture	
Unclassified	0	0	0
maquis dense	0	0	388
maquis claire	0	4	296
urbain	0	0	44
sol nu	18	0	69
régénération	4	0	145
parcours step	0	0	72
zone agricole	25	0	67
Total	47	4	1081

Class	Ground Truth (Percent)		urbain	sol nu	régénération
	maquis dense	maquis claire			
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
maquis dense	100.00	8.06	0.00	0.00	0.00
maquis claire	0.00	80.83	0.00	0.00	0.68
urbain	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
sol nu	0.00	0.00	0.00	41.67	0.68
régénération	0.00	0.00	0.00	0.00	95.92
parcours step	0.00	0.00	0.00	58.33	1.36
zone agricole	0.00	11.11	0.00	0.00	1.36
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	végétation st	agriculture	
Unclassified	0.00	0.00	0.00
maquis dense	0.00	0.00	35.89
maquis claire	0.00	100.00	27.38
urbain	0.00	0.00	4.07
sol nu	38.30	0.00	6.38
régénération	8.51	0.00	13.41
parcours step	0.00	0.00	6.66
zone agricole	53.19	0.00	6.20
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission	Omission	Commission	Omission
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
maquis dense	7.47	0.00	29/388	0/359
maquis claire	1.69	19.17	5/296	69/360
urbain	0.00	0.00	0/44	0/44
sol nu	27.54	58.33	19/69	70/120
régénération	2.76	4.08	4/145	6/147
parcours step	100.00	100.00	72/72	47/47
zone agricole	100.00	100.00	67/67	4/4

Class	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
maquis dense	100.00	92.53	359/359	359/388
maquis claire	80.83	98.31	291/360	291/296
urbain	100.00	100.00	44/44	44/44
sol nu	41.67	72.46	50/120	50/69
régénération	95.92	97.24	141/147	141/145
parcours step	0.00	0.00	0/47	0/72
zone agricole	0.00	0.00	0/4	0/67

**Tableau A : La matrice de confusion**