



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1
كلية عاوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie Et Ecologie Végétale

قسم : بيولوجيا و علم البيئة النباتية.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Intitulé :

Evaluation et cartographie du risque de feu de forêt dans la wilaya de Guelma (Algérie)

Présenté et soutenu par : Ramdani Toufik & Mebarki Lokmane

Le : 15/07/2019

Jury d'évaluation :

Président du jury : ALATOU Djamel

Prof - UFM Constantine 1.

Rapporteur : ARFA Azzedine Med Toufik

MCB - UFM Constantine 1,

Examineurs : BENDERRADJI Med El. Habib

Prof - UFM Constantine 1,

Année universitaire
2018 - 2019

Dédicaces

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

A la mémoire de mes parents

A tout deux, je dédie ce mémoire en bien modeste témoignage de ma gratitude et de ma
profonde affection.

A ma chère épouse MOUNIA

A mes très chères enfants Adib, Ouadjdi et Sabine Mayar.

A mes deux sœurs Fatima et Fatiha et leurs enfants.

A mes frères.

A tous ceux qui ont contribué à ce modeste travail

Ramdani Toufik

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

A mes chers parents.

A tout deux, je dédie ce mémoire en bien modeste témoignage de ma gratitude et de ma profonde affection.

A ma chère épouse.

A mes très chères enfants Firas et Miral.

A mes sœurs et leurs enfants.

A mon frère Iskander.

A tout mes amis.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce modeste travail.

Mebarki Lokmane

Remerciements

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très vivement **Dr ARFA Azzedine Mohamed Touffik** Docteur en science à la faculté des sciences de la nature et de la vie, université des Frères Mentouri Constantine 1, pour avoir dirigé notre travail de recherche, pour son aide précieuse et ses encouragements qui nous ont été d'une très grande importance durant la préparation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier Mr ALATOU Djamel, Professeur à faculté des sciences de la nature et de la vie, université des Frères Mentouri Constantine 1, de nous avoir honorés en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Nous tenons à remercier Mr BENDERRADJI Med EL Habib Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie, université des Frères Mentouri Constantine 1, d'accepter de lire notre mémoire et d'être membre du jury.

Nous tenons à remercier pour leur aide et leur sympathie tout le personnels de la conservation des forêts de la wilaya de Guelma, qui nous ont permis d'accéder aux archives de recensements des feux pendant les 11 années, et en particulier les chefs de services, ainsi que les chefs des circonscriptions de (Hamma Debagh, Oued Zénati, Guelma et Bouchegouf).

Nous tenons à remercier tous ceux qui, de loin ou de près, nous ont aidés.

RAMADANI TOUFIK

&

MEBARKI LOKMANE

Sommaire

Sommaire

Table des illustrations

INTRODUCTION	01
CHAPITRE I. Présentation de la wilaya de Guelma	02
1. Situation géographique	02
2. Topographie	02
3. climat.....	04
4. Formations forestières.....	04
5 Aspects sociaux économiques	05
5-1. Population	05
5-2. Secteur d’agriculture	05
5-3. Secteur industriel	06
5-4. Secteur du tourisme	06
CHAPITRE II. Approche méthodologiques.....	07
1. Modèle conceptuel de données de la situation à risque feu de forêt.....	07
2. Construction de la Base de Données Géographique.....	08
2-1. Localisation des départs de feux entre 2007 et 2017.....	09
2-2. Vectorisation du réseau routier.....	10
3. Modélisation du risque de départ de feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Guelma	10
3-1. Analyse spatiale des feux de forêts en fonction du réseau de routes et pistes forestières.....	10
3-2. Analyse spatiale des feux de forêts suivant l'occupation humaine.....	10
3-3. Calcul de l'indice du risque départ de feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Guelma.....	11
4. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feu de forêt.....	13

CHAPITRE III. Résultats et discussions.....	14
1. Analyse spatial des feux de forêt dans la wilaya de Guelma entre 2007 et 2017.....	14
1-1. Analyse spatiale des feux de forêts en fonction du réseau de routes et pistes forestières ...	14
1-2. Analyse spatiale des feux de forêts suivant l'occupation humaine	15
1-2-1. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des interfaces forêt/habitat.....	15
1-2-2. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des interfaces forêt/agriculture...	16
2. Cartographie du risque de départ de feux des massifs forestiers de la wilaya de Guelma...	17
3. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque de départ de feu de forêt.....	19
3-1. Analyse de l'efficacité des points d'eau face au risque départ de feu.....	19
3-2. Analyse de l'efficacité des tranchées par feu (TPF) face au risque feu de forêt.....	20
3-3. Analyse de l'efficacité des postes de vigie face au risque départ de feux.....	22
3-4. Analyse de l'efficacité des pistes forestières face au risque feu de forêt.....	23
4. Propositions et recommandations pour une meilleure gestion des feux de forêts dans la wilaya de Guelma.....	24
CONCLUSION	25
Références bibliographiques.....	26
Résumés	

Liste des illustrations

Liste des illustrations

Tableaux

Tableau 1. Répartition des emplois par branche d'activité	05
Tableau 2. Listes des données nécessaires pour alimenter la base de données spatiale.....	09
Tableau 3. Détermination des niveaux de risque R relatifs à la distance aux terres agricoles ...	12
Tableau 4. Classes de risque de départ de feu des massifs forestiers de la wilaya de Guelma ...	18

Cartes

Carte 1 Risque de départ de feux des massifs forestiers de la wilaya de Guelma	17
Carte 2. Distribution des points d'eau suivant le risque départ de feux	20
Carte 3. Distribution des tranchées pare feux suivant le risque départs de feux.....	21
Carte 4. Zones de visibilité des postes de vigie suivant le risque départ de feux.....	22

Figures

Figure 1. Localisation de la wilaya de Guelma.....	02
Figure 2. Classe d'altitude de la wilaya de Guelma	03
Figure 3. Répartition des espèces en fonction de la superficie.....	04
Figure 4. Modèle conceptuel de la géodatabase du système spatial risque feu de forêt.....	08
Figure 5. Modèle d'analyse des feux de forêts en fonction des routes et pistes forestières.....	10
Figure 6. Modèle d'analyse des feux de forêt suivant l'occupation humaine.....	11
Figure 7. Modèle d'analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque départ de feux en fonction des routes.....	13
Figure 8. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des routes	14
Figure 9. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des pistes forestières	14
Figure 10. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des villes et villages	15
Figure 11. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des maisons rurales	16
Figure 12. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des fermes isolées	16
Figure 13. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction de l'agriculture	17
Figure 14. Répartition du nombre de feux entre 2007 et 2017 suivant les classes de risque IDF.....	18
Figure 15. Répartition des points d'eau suivant les classes de risque départ de feux	19
Figure 16. Répartition des tranchées pare feu suivant les classes de risque départs de feux	21

Figure 17. Pourcentage de visibilité des postes de vigie des classes de risque départ de feux 23

Figure 18. Longueur et état des pistes forestières suivant les classes de risque départ de feux.....24

Introduction

Introduction

Chaque année les incendies touchent d'importantes superficies dans les massifs forestiers algériens où plus de 36.000 hectares de forêts sont détruit. Les pertes économiques dans le secteur forestier généré par ces feux entre 1985 et 2006 se chiffrent à plus de 113 milliards de dinars algériens (Arfa *et al.*, 2009).

Ces incendies constituent une menace pour de nombreuses forêts. La lutte et la prévention contre ce fléau, ne peuvent être concrétisées qu'à travers une cartographie des zones exposées au risque de départ de feux avec des outils modernes comme la télédétection et les SIG.

A travers cette étude nous cherchons à partir de l'intégration de données multi sources, à créer une base de données géographique nécessaire à l'analyse et la cartographie des secteurs exposés au risque de départ de feux pour faciliter et améliorer la gestion des massifs forestiers dans la wilaya de Guelma.

Notre travail vise par conséquent à répondre aux questions suivantes :

- ✓ quelle sont les méthodes et outils qui permettent la création des informations géographiques nécessaire à l'analyse spatiale des feux de forêt ?
- ✓ comment identifier et caractériser les secteurs exposés aux risques de départ de feu ?
- ✓ le réseau de défense des forêts contre les incendies est-il efficace face au risque de départ de feu ?

Ce mémoire s'organise en trois chapitres :

Le premier chapitre comporte une présentation de la wilaya de Guelma.

Le deuxième chapitre est consacré à l'approche méthodologique en détaillant les différentes approches, techniques et outils utilisées pour l'analyse et le traitement des données relative à la gestion de feux dans la wilaya de Guelma.

Le dernier chapitre présente les différents résultats obtenus et leurs discussions accompagnées des propositions et recommandations.

Chapitre I

Présentation de la

wilaya de Guelma

Chapitre I : Présentation de la wilaya de Guelma

1. Situation géographique

La wilaya de Guelma, située au nord-est algérien, est limitée au nord par la wilaya d'Annaba, au nord-est par celle d'El Tarf, à l'est par Souk Ahras, au sud par Oum El Bouaghi, à l'ouest par Constantine et au nord-ouest par Skikda (figure 1). Localisée entre $36^{\circ}01'35''$ et $36^{\circ}40'09''$ de latitude nord et $6^{\circ}55'57''$ et $7^{\circ}57'30''$ de longitude est, elle s'étend sur une superficie de 3686,84 km².

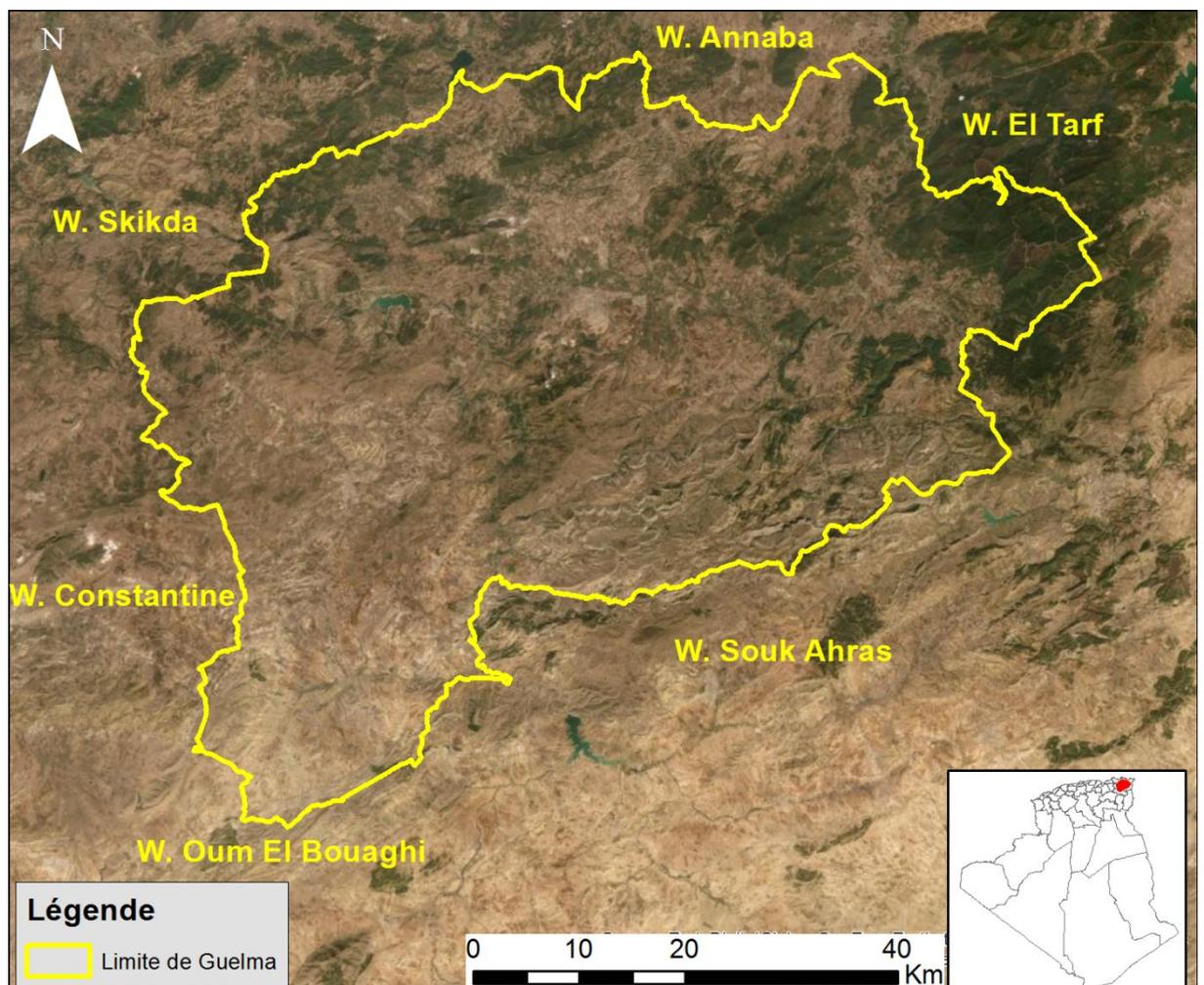


Figure 1. Localisation de la wilaya de Guelma

2. Topographie

La wilaya de Guelma se caractérise par un relief diversifié. Les mouvements tectoniques du Plio-Quaternaire ont joué un rôle important dans la morphogénèse de la région.

Ce relief est composé de montagnes (37,82%) dont les principales sont : Mahouna (Ben Djerrah 1411m), Houara (Ain Ben Beidha 1292m), Aya (Bouhamdane 1208m), Debagh (Hammam Debagh 1060m). Les plaines et les plateaux représentent 27,22 % et les collines et piémonts 26,29% (figure 2).

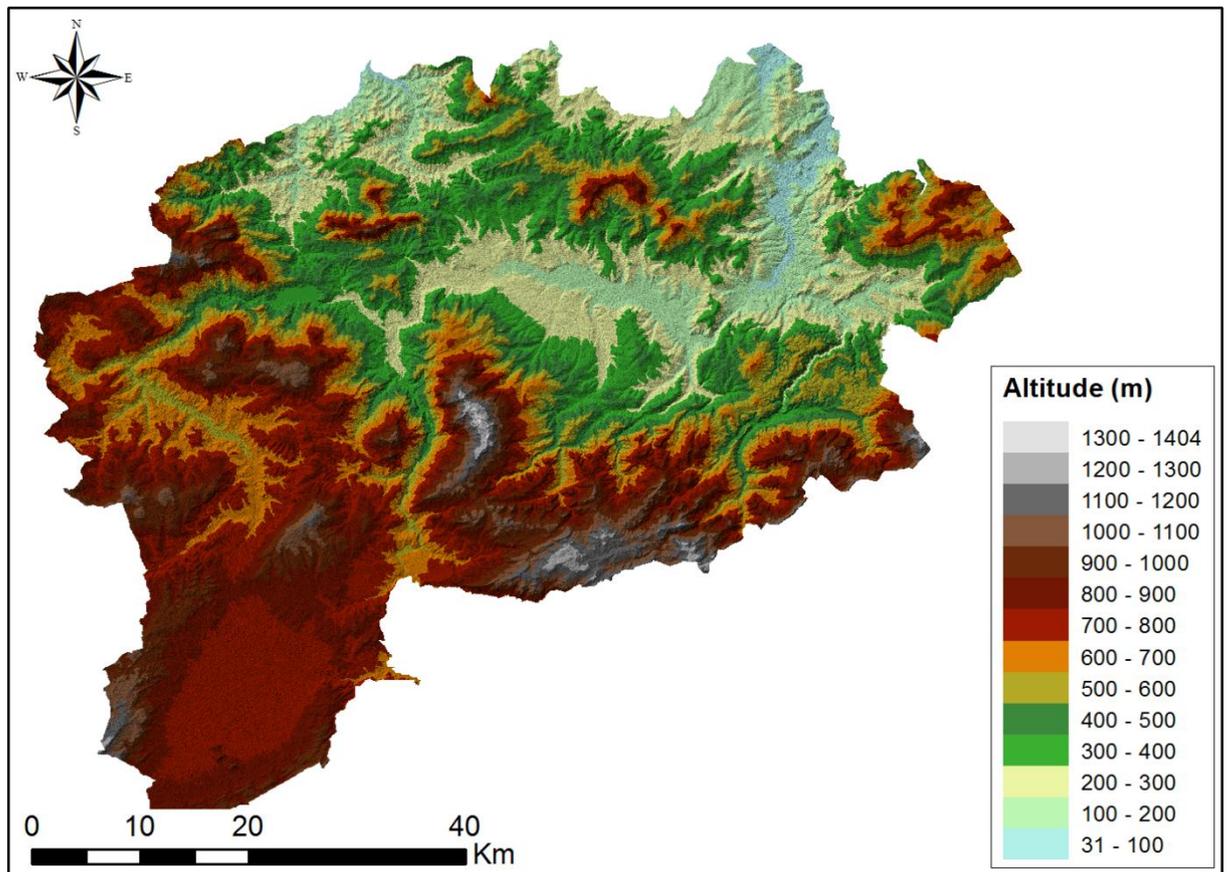


Figure 2. Classes d'altitude de la wilaya de Guelma

Le sud de la wilaya de Guelma comporte la chaîne centrale de la Medjerda où s'impose l'important massif du Ras El Alia série d'entablements de calcaires eocène, dont les principaux sont le Djebel Bardou (1261m) et le Djebel Houara (1292m).

A l'Est de la wilaya, les montagnes boisées du versant septentrional des monts de la Medjerda s'abaissent rapidement par gradins vers la vallée de l'oued Seybouse, dont Kef Erramoul (797m) et Kef Djemmel (812m).

Au Nord, s'étendent les monts d'Ain Berda qui séparent la dépression de Guelma de celle du lac Fetzara.

L'ouest de la région comprend des zones très variées, allant de la large et profonde vallée de l'oued Cherf qui s'écoule du Sud au Nord, aux plaines élevées de la région de Ras El Agba (700–800m) et des vallées profondes en aval et amont de Bordj Sabath (Benmarce, 2007).

3. Climat

Le territoire de la wilaya se caractérise par un climat subhumide au centre et au nord et semi-aride vers le sud. Ce climat est doux et pluvieux en hiver et chaud en été. La température qui varie de 4°C en hiver à 35.4°C en été, est en moyenne de 17°C (ANDI, 2013).

Quant à la pluviométrie, elle varie de 400 à 500 mm/an au Sud jusqu'à 1000 mm/an au Nord. Près de 57% de cette pluviométrie est enregistrée pendant la saison humide (octobre à mai).

4. Formations forestières

La wilaya de Guelma abrite une grande variété d'écosystèmes forestiers qui couvrent une surface de 116.8645 ha, ce qui représente un taux de couverture égale à 31,7%. La surface des formations forestières se répartissent comme suit :

- les maquis avec une superficie de 70.384 ha, soit 60% de la couverture forestière totale;
- les forêts qui représentent 28%, soit 32.588ha;
- les vides et clairières occupent une surface de 13.982 ha (12%).

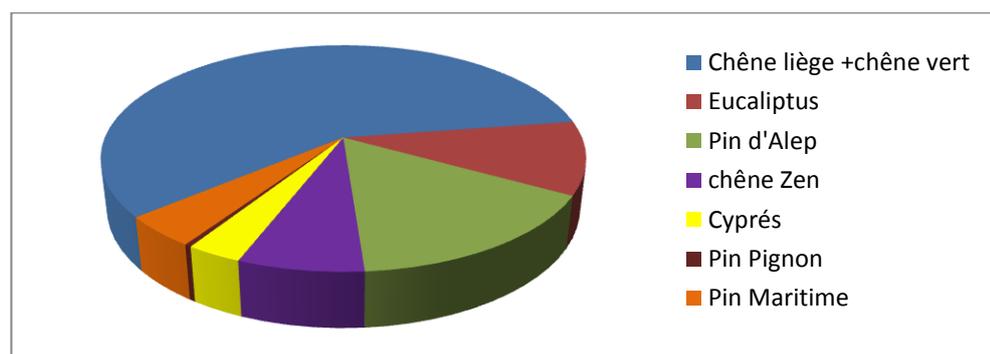


Figure 3. Répartition des espèces en fonction de la superficie

La couverture forestière de la wilaya de Guelma est constituée principalement par le chêne liège et le chêne vert avec une superficie de 17.680 ha, soit 54%, suivie par le pin d'Alep avec une surface de 5715 ha (18%), l'eucalyptus avec 3530 ha (11%), le chêne zéen

avec 2201 ha, le pin maritime et le pin pignon avec 1638 ha, et enfin, le cyprès occupe 1019ha (Sadaoui-Hamlaoui, 2018) (figure 3).

5. Aspects sociaux économiques

5-1. Population

La wilaya de Guelma regroupe une population estimée à 506.007 hab. dont 25% sont concentrés au niveau du chef-lieu de wilaya avec une densité de 135 hab./km² (ONS, 2019).

La wilaya de Guelma, étant à vocation agricole, son secteur primaire ne suffit plus à absorber les demandeurs d'emploi. Quant aux unités industrielles, elles sont non seulement saturées mais en situation soit de difficultés, soit de non expansion économique avec un taux de chômage de 10,39% (ANDI, 2013).

Tableau 1. Répartition des emplois par branche d'activité.

Branches Activités	Effectifs	%
Agriculture	75.981	42,90
Industrie	10.609	5,99
BTPH	33.634	18,99
Services	37.176	20,99
Administration	19.713	11 ,13
Ensemble Wilaya	177.113	100

5-2. Secteur d'agriculture

La répartition générale des terres au niveau de la wilaya de Guelma distingue l'importance de la surface agricole totale (SAT) qui représente une superficie de 264.618 ha, de la superficie total de wilaya, dont 70,80% de surface agricole utile (SAU).

Les ressources hydriques étant assez importantes, cela à permis d'irriguer une superficie totale de 16.150 ha. Les parcours occupent une superficie de 50.875 ha, soit 19,23% de la SAT et 13,65% de la surface totale de la wilaya. Les terres improductives ne représentent que 7,08% soit 26.405 ha de la surface totale de la wilaya (ANDI, 2013).

Concernant l'activité d'élevage, un cheptel de 5.950 ovins, bovins et caprins a été attribué ces dernières années à des jeunes éleveurs et agriculteurs des régions rurales de la

wilaya de Guelma, dans le cadre du programme financé par le fonds national de développement rural, selon la conservation des forêts de la wilaya de Guelma (ANDI, 2013).

5-3. Secteur industriel

Le secteur industriel, au niveau de la wilaya de Guelma, comporte plusieurs créneaux parmi les quels, l'extraction et la transformation des minéraux non ferreux, les gisements, la construction mécanique et mécano-soudé, l'agro-industrie ainsi que l'industrie de sous-traitance et la transformation du bois (ANDI, 2013).

5-4 Secteur du tourisme

La wilaya de Guelma recèle d'importantes potentialités touristiques thermales, ceux de Hammam Debagh et Hammam Ouled Ali. La création de plusieurs unités hôtelières autour des sources thermale, la valorisation des potentialités cynégétiques par l'investissement dans des relais de chasse ciblant un tourisme haut de gamme (ANDI, 2013).

Chapitre II

Approches

méthodologiques

Chapitre II : Approches méthodologiques

L'approche méthodologique adoptée pour la conception d'un outil cartographique d'aide à la gestion du risque départ de feux dans la wilaya de Guelma s'appuie sur trois étapes importantes :

- mise au point d'un modèle conceptuel de données (MCD) ;
- construction de la Base de Données Géographique et structuration des données collectées ;
- construction des différents niveaux d'information spatiale et des cartographies associées.

1. Modèle conceptuel de données de la situation à risque feu de forêt

L'élaboration d'un modèle conceptuel de données consiste d'abord à identifier les concepts fondamentaux et les mots-clés structurant la conception retenue pour décrire le phénomène traité en relation avec la finalité de l'application. Ici, le concept retenu comme fondement est celui de « situation » et de « potentiel » et les concepts mots clés associés sont ceux d'aléa, d'enjeux, d'exposition, de vulnérabilité et de résilience. Ces concepts guident dans un second temps l'établissement de l'inventaire le plus exhaustif possible des composants et de leurs interrelations au sein du phénomène traité. Enfin, et c'est là la spécificité des SIG, ces composants et interrelations sont structurés en graphes d'entités spatiales (« couches d'objets indicateurs ») selon un ensemble de règles de cohérences d'intégrité topologique et géométrique, de sémantique, d'échelle spatiale et temporelle, de géoréférenciation, et de précision (Saint-Gérand, 2005).

Il s'agit ainsi d'identifier et de structurer, selon les échelles d'analyses géographiques pertinentes, l'ensemble des données spatiales et attributaires se rapportant à ces concepts. Le modèle conceptuel de données développé dans le cadre de cette recherche est un modèle de type hypergraphique, d'inspiration à la fois systémique, systématique et spatiale, développé au sein du laboratoire GEOSYSCOM (université de Caen) à partir de fondements proposés par Bouillé (1978) (Saint-Gérand, 2002).

Dans le cadre de cette d'étude, nous avons utilisés le modèle conceptuel de la géodatabase du système spatial risque feu de forêt développé par Arfa (2019) (figure 4).

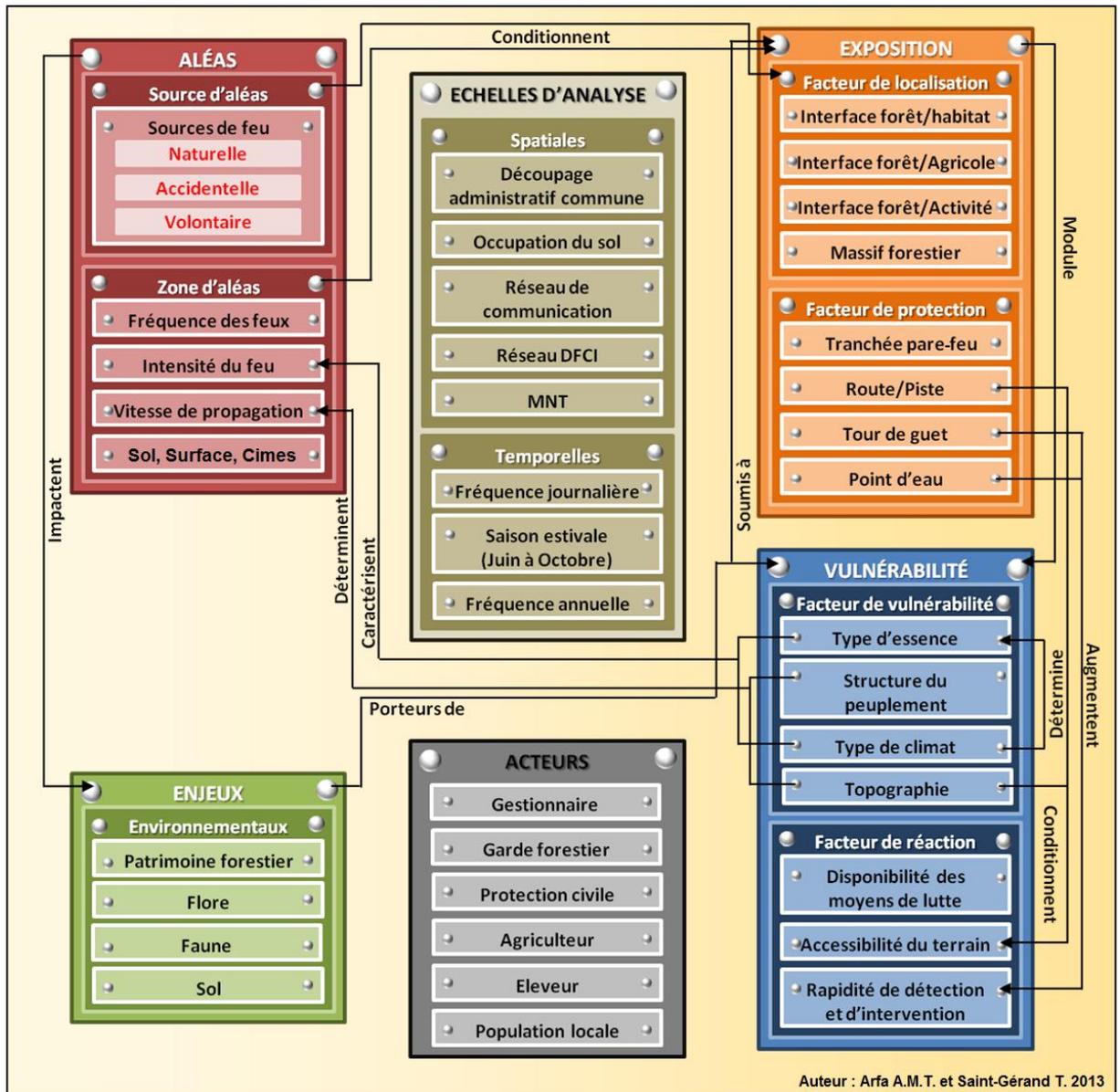


Figure 4. Modèle conceptuel de la géodatabase du système spatial risque feu de forêt.

2. Construction de la Base de Données Géographique

Les données initiales nécessaires pour alimenter la base de données spatiale (tableau 2) peuvent être classées en trois catégories :

- données disponibles utilisables sans traitements préalables ;
- données disponibles nécessitant un traitement, une correction ou une mise à jour ;
- données non disponibles, qu'il est nécessaire de créer.

Tableau 2. Listes des données nécessaires pour alimenter la base de données spatiale.

Données	Disponibilité	Format
Modèle numérique de terrain (MNT)	Disponible	Image Raster
Carte d'occupation du sol	Disponible nécessitant des corrections et mises à jour	Couches vectorielles thématiques
Localisation des départs de feux (2007-2017)	Non disponible	Couches vectorielles thématiques
Réseau DFCI (point d'eau, poste de vigie et tranchée pare-feu)	Disponible	Couches vectorielles thématiques
Réseau routier	Non disponible	Couches vectorielles thématiques
Réseau de pistes forestières	Disponible	Couches vectorielles thématiques
Bilans des feux de forêts (2007-2017)	Disponible	Papier

2-1. Localisation des départs de feux entre 2007 et 2017

La localisation spatiale de tous les départs de feux, déclarés entre 2007 et 2017 au niveau de la wilaya de Guelma est essentielle pour notre étude. Etant donné qu'aucune carte concernant les départs de feux n'est disponible, nous avons entrepris de les localiser à partir des archives disponibles au niveau de la conservation des forêts. L'examen des archives a révélé qu'elles ne contiennent aucune mention sur les coordonnées géographiques des 426 départs de feux. La seule indication spatiale concerne le nom de la commune, de la forêt, du canton et du lieudit. Partant du constat que ces lieux dits ne peuvent être connus que par les agents forestiers qui les ont consignés dans les rapports d'incendies, nous avons travaillé en collaboration avec ces derniers pour leur géolocalisation.

Pour ce faire, nous avons mis au point une méthode de travail réalisée en deux étapes :

- ✓ lors de la première étape, les 181 lieudits correspondant aux 426 départs de feux ont été triés et regroupés en fonction de la commune, de la forêt et du canton.
- ✓ la seconde étape, qui concerne tous les déplacements effectués au niveau des 4 districts forestiers, et 5 circonscriptions a permis la géolocalisation des 181 lieudits en collaboration avec les agents forestiers. Pour plus de précision, nous avons sélectionné les agents les plus expérimentés (agent de terrain ayant au minimum 15 à 30 ans d'expérience dans le même district et parfois natif de la région). L'imagerie satellite très haute résolution Pléiades sous Google Earth ont été utilisés, comme support de base, pour faciliter le repérage et la géolocalisation précise des lieudits.

2-2. Vectorisation du réseau routier

Le réseau routier de la wilaya de Guelma a été vectorisé sous Google Earth à partir des images satellites très hautes résolution Pléiades. Les entités linaires ont été utilisées pour la vectorisation des routes nationales, des chemins wilayas des chemins communaux et routes secondaires. Une fois la vectorisation achevée, les entités vectorielles ont été exporté de Google Earth vers le SIG pour la création du réseau routier de la wilaya de Guelma.

3. Modélisation du risque de départ de feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Guelma

3-1. Analyse spatiale des feux de forêts en fonction du réseau de routes et pistes forestières

L'analyse de la répartition spatiale des feux de forêts, en fonction du réseau routier et des pistes forestières, nécessite de créer des zones tampon à partir des couches "Routes" et "Pistes". L'intervalle de distance retenu est de 100 m. Une fois les zones tampon créées, une jointure spatiale est réalisée entre celles-ci et la couche de donnée "Feux de forêts" (figure 5). Le résultat de cette jointure, exprimé en distance entre les feux et les routes et pistes forestières, est transcrit directement dans la table attributaire de la couche "Feux de forêts" (Arfa, 2019).

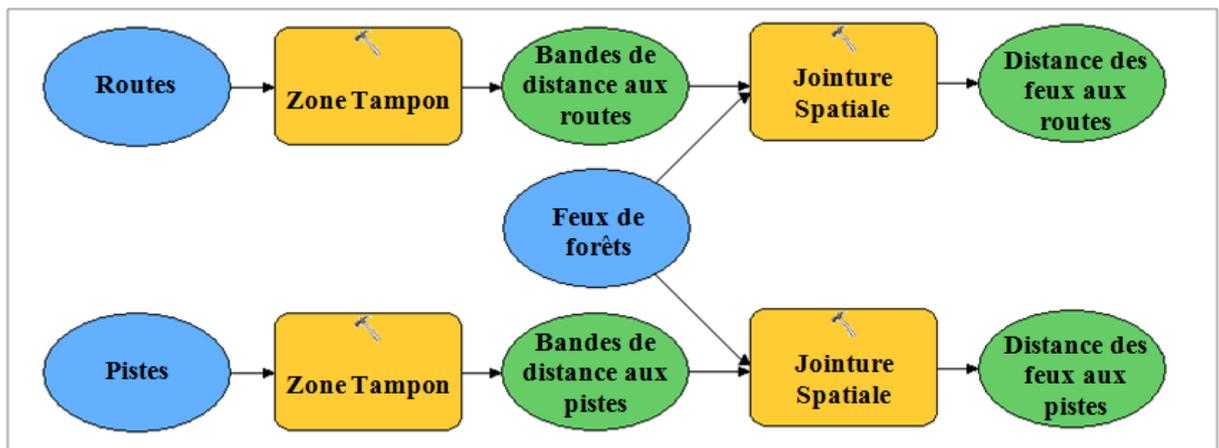


Figure 5. Modèle d'analyse des feux de forêts en fonction des routes et pistes forestières.

3-2. Analyse spatiale des feux de forêts suivant l'occupation humaine

Ce type d'analyse permet d'étudier la distribution spatiale des feux de forêts, en fonction des interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture. Elle nécessite de créer des zones

tampon à partir des couches "Bâti" et "Agriculture", avec un intervalle de distance de 100 m. Pour le bâti 3 catégories ont été étudiées séparément : les villages, les maisons rurales éparses et les fermes isolées. Une jointure spatiale est réalisée entre toutes les zones tampon et la couche de donnée "Feux de forêts" (figure 6). Le résultat de cette jointure, exprimé en distance entre les feux et les interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture, est transcrit directement dans la table attributaire de la couche "Feux de forêts" (Arfa, 2019).

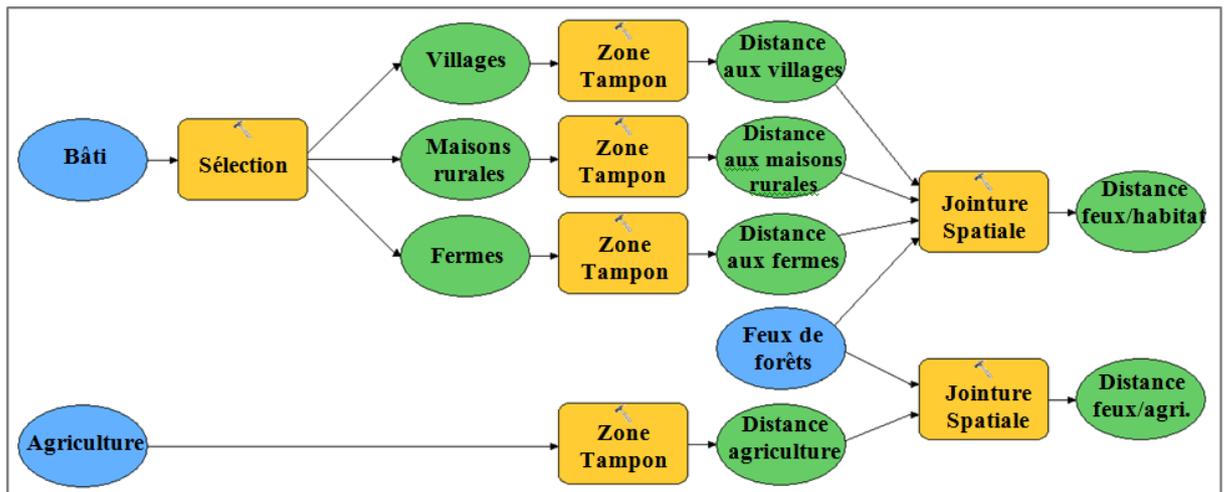


Figure 6. Modèle d'analyse des feux de forêt suivant l'occupation humaine.

3-3. Calcul de l'indice du risque départ de feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Guelma.

Le risque de départ de feux est étroitement lié à l'action anthropique. En Algérie, entre 1985 et 2006, 86% des départs de feux dont l'origine est connue sont volontaires (Arfa *et al.*, 2009). Les principaux critères qui interviennent dans la modélisation du risque de départ de feux au niveau de la wilaya de Guelma sont :

- la proximité des maisons rurales indicatrices de la présence humaine ;
- la proximité des terres agricoles ;
- la proximité des fermes ;
- la proximité des pistes forestières permettant l'accès aux massifs forestiers.

Pour la modélisation du risque de départ de feux, nous proposons l'indice de départ de feux (IDF) développé par Arfa (2019). Il est exprimé par la relation suivante :

$$IDF = R_{\text{piste}} + R_{\text{Ferme}} + R_{\text{Agri}} + R_{\text{MR}}$$

Où :

R_{Piste} est le niveau de risque lié à la proximité des pistes forestières.

R_{Ferme} est le niveau de risque lié à la proximité des fermes ;

R_{Agri} est le niveau de risque lié à la proximité des terres agricoles ;

R_{MR} est le niveau de risque lié à la proximité des maisons rurales.

Les valeurs du niveau de risque R, pour chaque critère, sont comprises entre 1 (risque faible) et 5 (risque très élevé) (Arfa *et al.*, 2019). Ces niveaux de risques sont déterminés en fonction du pourcentage du nombre de feux déclarés entre 2007 et 2017 et la distance qui les séparent de chaque critère. Les niveaux de risque retenus sont :

- R = 1 : risque faible avec un pourcentage du nombre de feu égale à 5% ;
- R = 2 : risque modéré avec un pourcentage du nombre de feu égale à 10% ;
- R = 3 : risque moyen avec un pourcentage du nombre de feu égale à 20% ;
- R = 4 : risque élevé avec un pourcentage du nombre de feu égale à 30% ;
- R = 5 : risque très élevé avec un pourcentage du nombre de feu égal à 35%.

Le tableau 3 illustre l'exemple de la détermination des niveaux de risque R lié aux terres agricoles.

Tableau 3. Détermination des niveaux de risque R relatifs à la distance aux terres agricoles.

Distance aux terres agricoles	De 0 à 93 m	De 94 à 474 m	De 475 à 1127 m	De 1128 à 5201 m	Plus de 5201m
Nombre de feux	149	128	85	43	21
% du nombre de feux	35%	30%	20%	10%	5%
Niveau du risque (R)	5	4	3	2	1

Les valeurs de l'indice de départ de feux sont comprises entre 4 et 20 (Arfa *et al.*, 2019). Il est codé en 5 classes :

1. Faible : $IDF = 4$.
2. Modéré : $4 < IDF \leq 8$.
3. Moyen : $8 < IDF \leq 12$.
4. Élevé : $12 < IDF \leq 16$.
5. Très élevé : $IDF > 16$.

4. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque feu de forêt

Les massifs forestiers de la wilaya de Guelma intègrent toutes les infrastructures nécessaires en matière de défense des forêts contre les incendies (DFCI) à savoir : les pistes forestières, les tranchées pare-feu, les points d'eau et les postes de vigies. Cependant, la question qui se pose est de savoir si les infrastructures sont réalisées de manière efficace pour mieux protéger les forêts et limiter les dégâts causés par les feux.

La carte du risque de départ de feux nous permet d'analyser l'efficacité de l'ensemble du réseau DFCI de la wilaya de Guelma à savoir : les points d'eau, les TPF, les postes de vigies et les pistes forestières (figure 7).

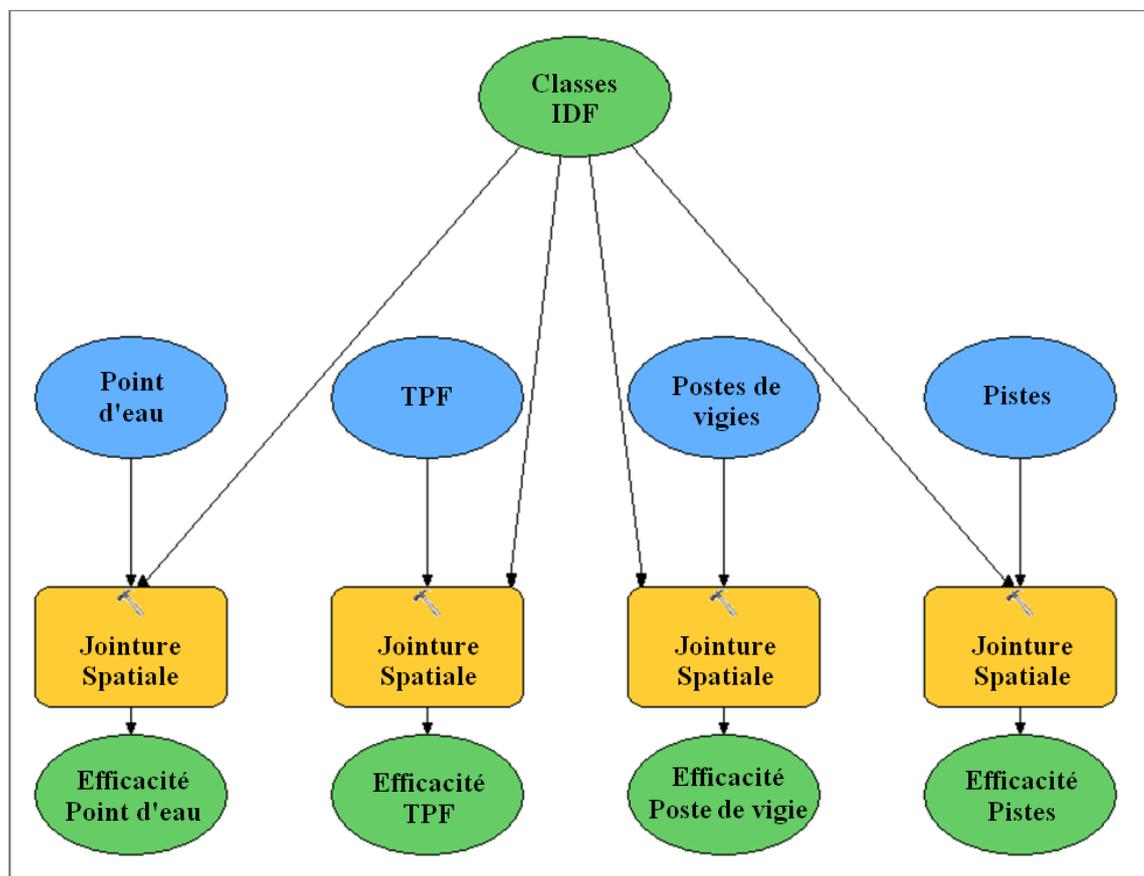


Figure 7. Modèle d'analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque départ de feux.

Chapitre III

Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

1. Analyse spatial des feux de forêt dans la wilaya de Guelma entre 2007 et 2017

1-1. Analyse spatiale des feux de forêts en fonction du réseau de routes et pistes forestières

Les résultats de l'analyse spatiale révèlent que seulement 0,7% des départs de feux sont localisés à moins de 100 m d'une route et 34% à moins de 1000 m (figure 8).

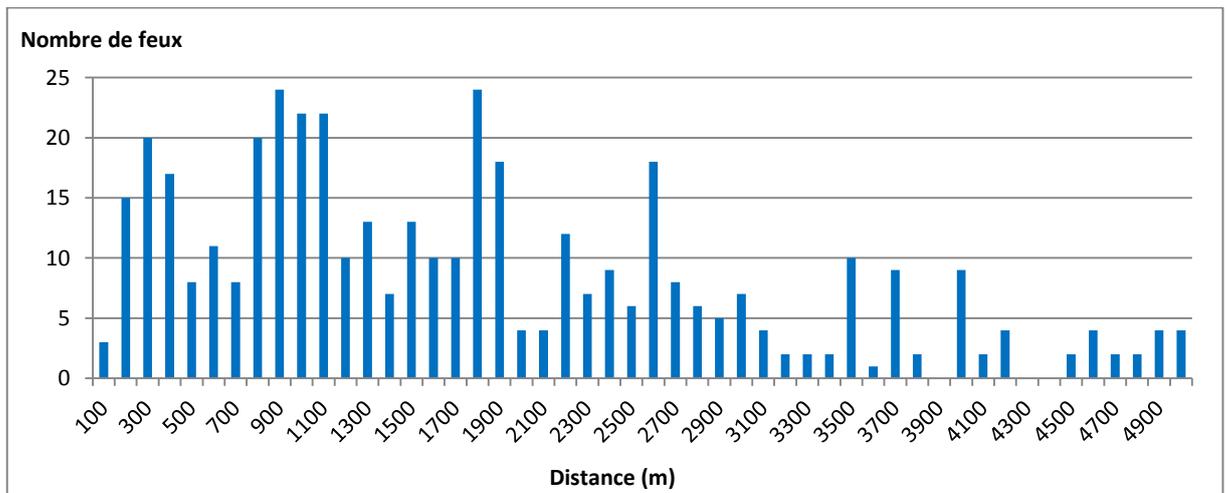


Figure 8. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des routes.

Concernant les pistes forestières, le nombre des départs de feux est d'autant plus élevé que la distance aux pistes est faible (figure 9).

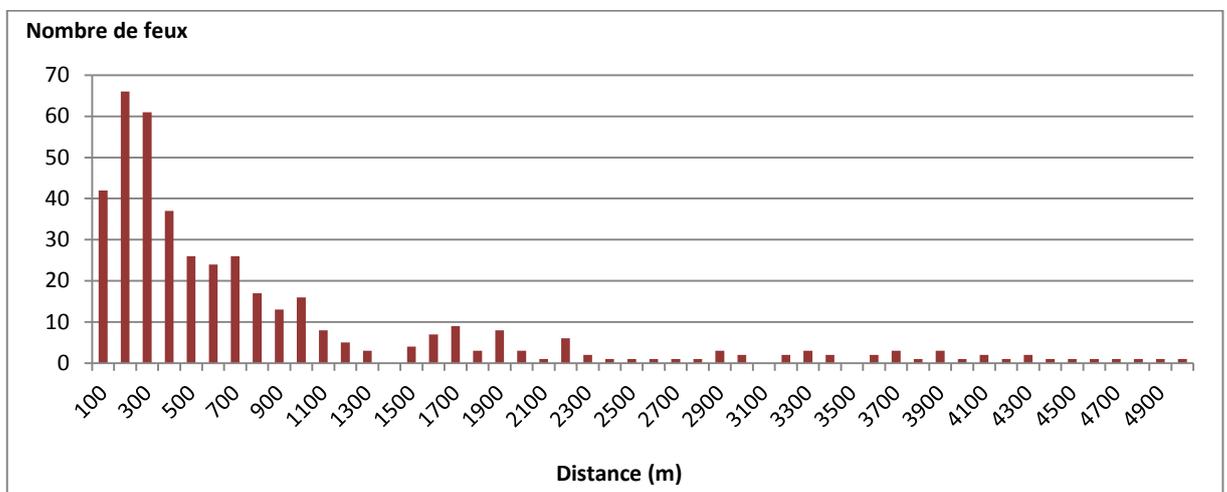


Figure 9. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des pistes forestières.

A l'inverse des routes, 55% des départs de feux sont à moins de 500 m d'une piste. Le nombre le plus élevé de départs de feux est localisé à moins de 200 m d'une piste, avec 108 feux, soit 26%.

Ces résultats montrent que les routes traversant les massifs forestiers ne présentent pas un risque important en matière de départ de feu. Par contre, les pistes forestières représentent un réel danger, et doivent être intégrées dans l'indice de départ de feu (IDF).

1-2. Analyse spatiale des feux de forêts suivant l'occupation humaine

1-2-1. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des interfaces forêt/habitat

Trois catégories d'interface forêt/habitat ont été étudiées : les villes et villages, les maisons rurales éparses et les fermes isolées. Les résultats montrent que 5,86% des feux sont à moins de 1000 m des villes et villages, et 70% à plus de 3000 m (figure 10).

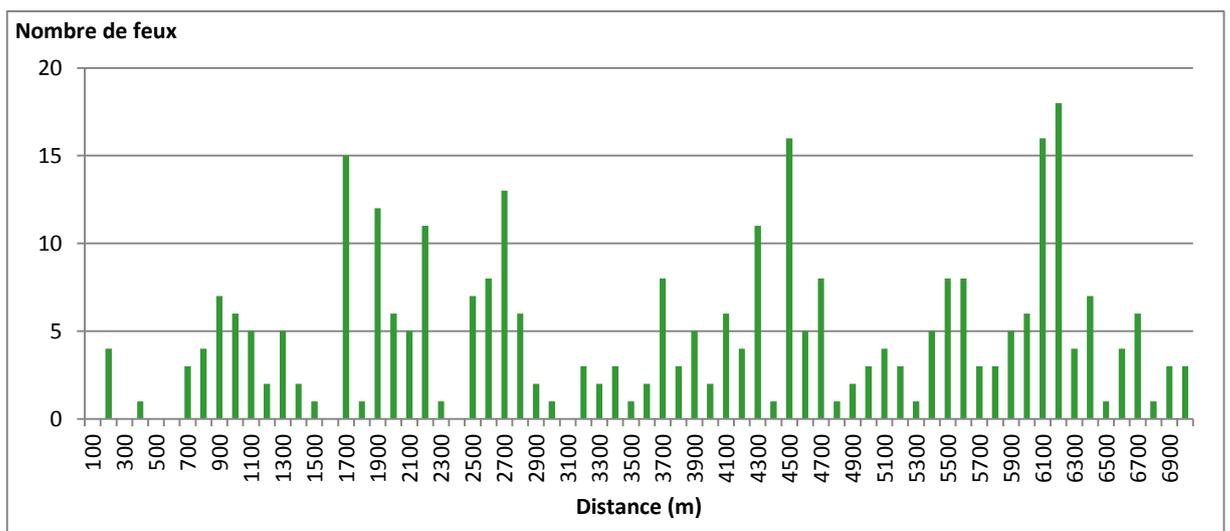


Figure 10. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des villes et villages.

En ce qui concerne les maisons rurales éparses, 47% des départs de feux sont à moins de 1.000 m, alors qu'au-delà de 2.000 m ils ne représentent à peine 23% (figure 11).

Même constat pour les fermes isolées, où 146 départs de feux, soit 35% ont été localisés à moins de 1.000 m et 29% au-delà de 2.000 m (figure 12).

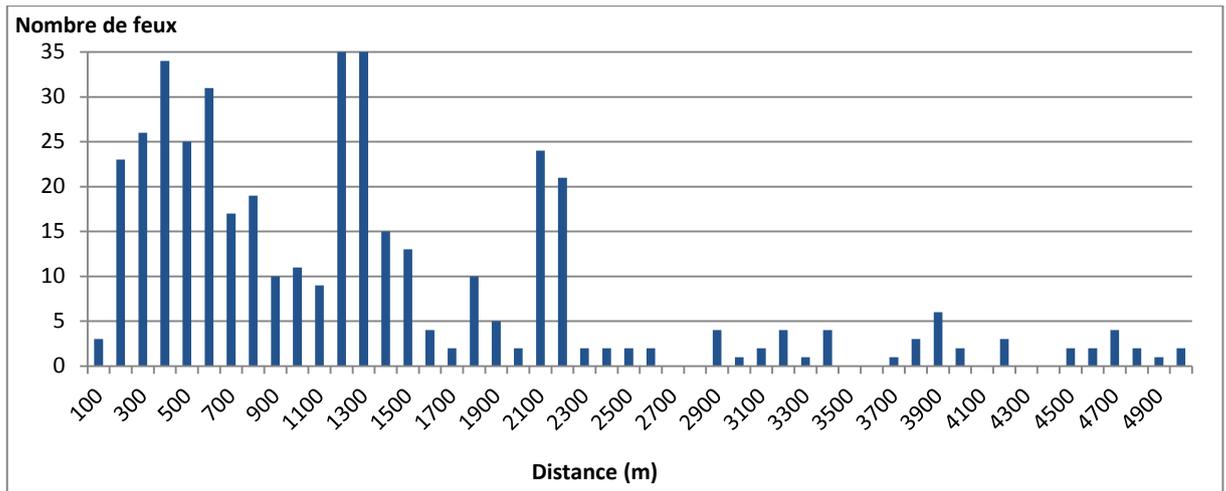


Figure 11. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des maisons rurales.

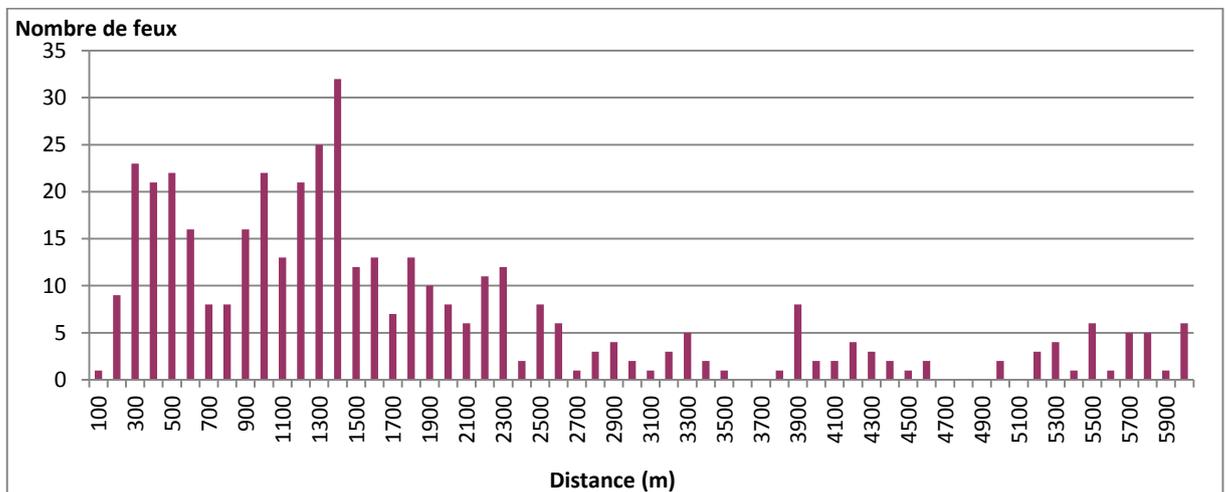


Figure 12. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des fermes isolées.

A la lumière de ces résultats, on peut dire que la proximité des fermes isolées et des maisons rurales éparses, augmente le risque de départs de feux. Les villes et villages par contre ne présente pas un risque élevé de départs de feux.

1-2-2. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction des interfaces forêt/agriculture

Le nombre des départs de feux est d'autant plus élevé que la distance aux terres agricoles est faible (figure 13). 80% des départs de feux sont à moins de 1.000 m d'une terre agricole dont 36% sont à moins de 100 m. Au-delà de 2.000 m, seul 9% des départs de feux ont été enregistrés.

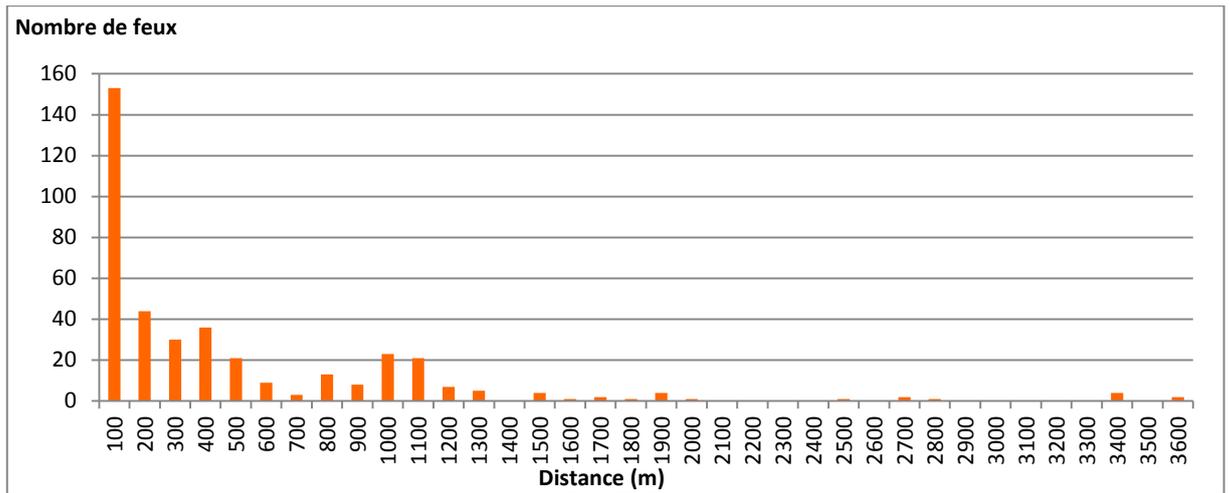
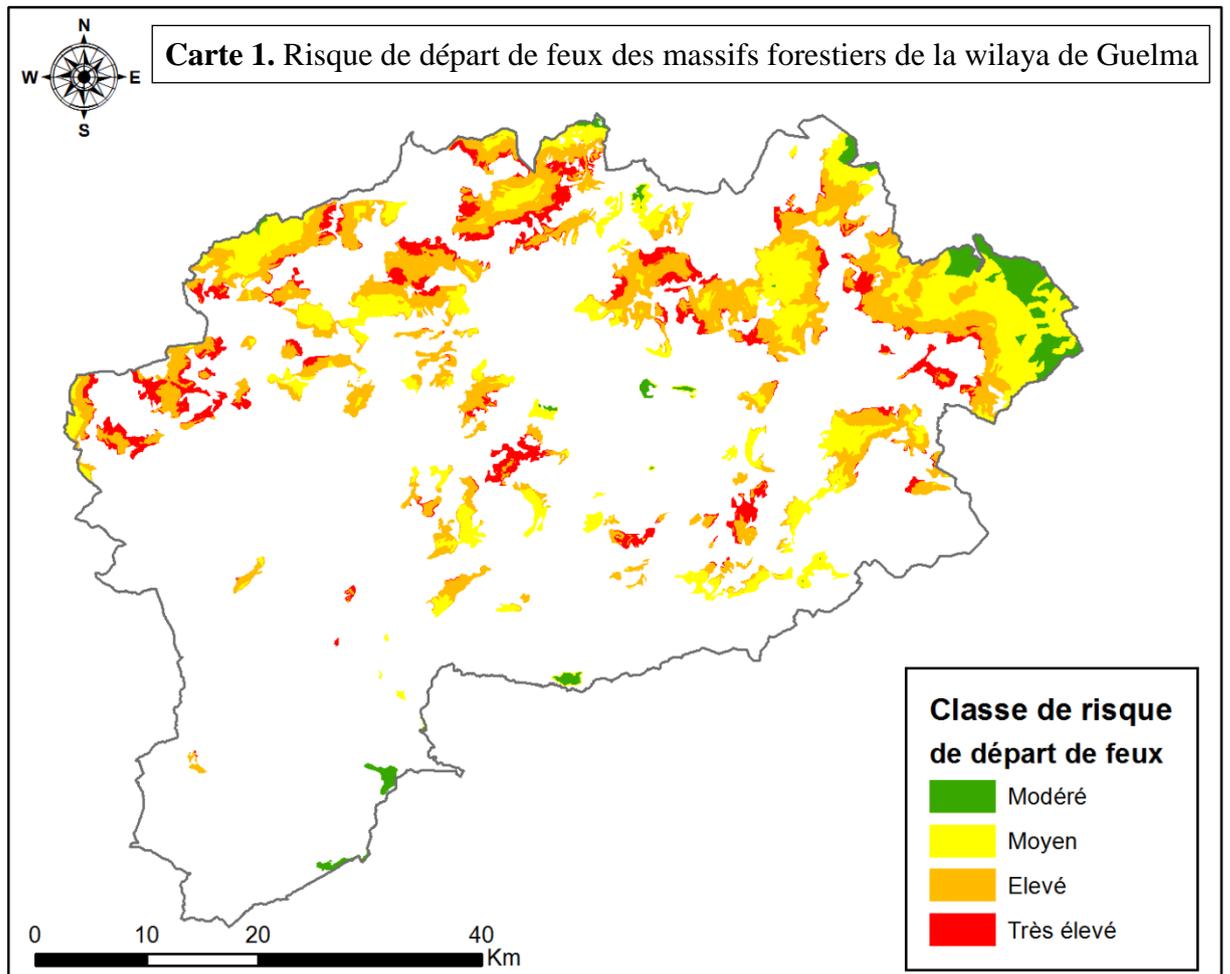


Figure 13. Distribution spatiale des feux de forêts en fonction de l'agriculture.

2. Cartographie du risque de départ de feux des massifs forestiers de la wilaya de Guelma

La carte 1 nous renseigne sur la variabilité spatiale du risque relatif à la probabilité d'occurrence des feux au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Guelma.



D'après les résultats obtenus, les classes de risque élevé et très élevé concernent plus de 59.67% des massifs forestiers, avec respectivement 45.5% et 14.17%. Seul 5.9% des massifs forestiers présentent un risque modéré et 34.42% un risque moyen (tableau 4).

Tableau 4. Classes de risque de départ de feu des massifs forestiers de la wilaya de Guelma.

Classes de risque de départ de feu	Surface forestière (ha)	Surface forestière (%)
Modéré	4990.95	5.90
Moyen	29121.08	34.42
Élevé	38499.26	45.50
Très élevé	11988.88	14.18

Toutes les forêts domaniales et communales de la wilaya de Guelma présentent des niveaux de risque élevé et très élevé en matière de mise à feu. Cependant, les zones à risque très élevé sont localisées, essentiellement, au niveau des interfaces forêt/habitat et forêt/agriculture qui longent les pistes forestières (carte 1).

La validation des résultats de la carte de risque, estimée à partir de l'indice de départ de feux, passe par une comparaison entre les classes de risque et l'historique du nombre de feux déclarés entre 2007 et 2017. Le cumul du nombre de feux au cours des 11 années à été calculé pour chaque classe de risque (figure 14).

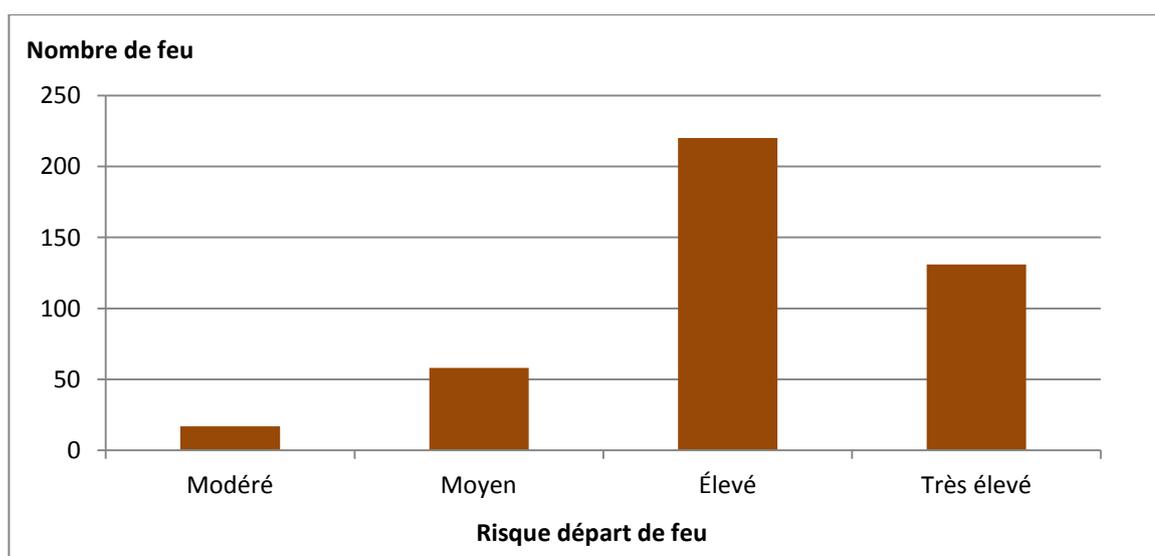


Figure 14. Répartition du nombre de feux entre 2007 et 2017 suivant les classes de risque IDF.

Les résultats révèlent que 82% des feux, entre 2007 et 2017, concernent les zones à risque élevé et très élevé de départ de feux, avec respectivement 51% et 31%. Et seulement 4% pour les zones à risque modéré (figure 14).

Les résultats de cette comparaison confirment la fiabilité et la précision de la carte du risque de départ de feux. Cette carte constitue un outil important pour les gestionnaires et les décideurs dans le cadre de la prévention et la gestion des feux de forêts au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Guelma.

3. Analyse de l'efficacité du réseau DFCI face au risque de départ de feu de forêt

L'efficacité du réseau DFCI composé de pistes forestières, de tranchées pare-feu, de points d'eau et de postes de vigie a été analysé à l'aide de l'indice de risque départ de feux IDF.

3-1. Analyse de l'efficacité des points d'eau face au risque départ de feu

On dénombre 133 points d'eau aménagés par l'administration forestière à travers les massifs de la wilaya de Guelma. Seuls 44 points d'eau sont localisés à l'intérieur des forêts, les 89 restants sont situés à proximité des massifs forestiers. L'efficacité des points d'eau dépend essentiellement de leurs localisations par rapport aux zones à risque élevé et très élevé de départ de feux.

Sur les 44 points d'eau, localisés à l'intérieur des forêts, les zones à risque élevé et très élevé totalisent 32, avec respectivement 17 et 15 points d'eau, alors que les zones à risque moyen disposent de 10 points d'eau (figure 15).

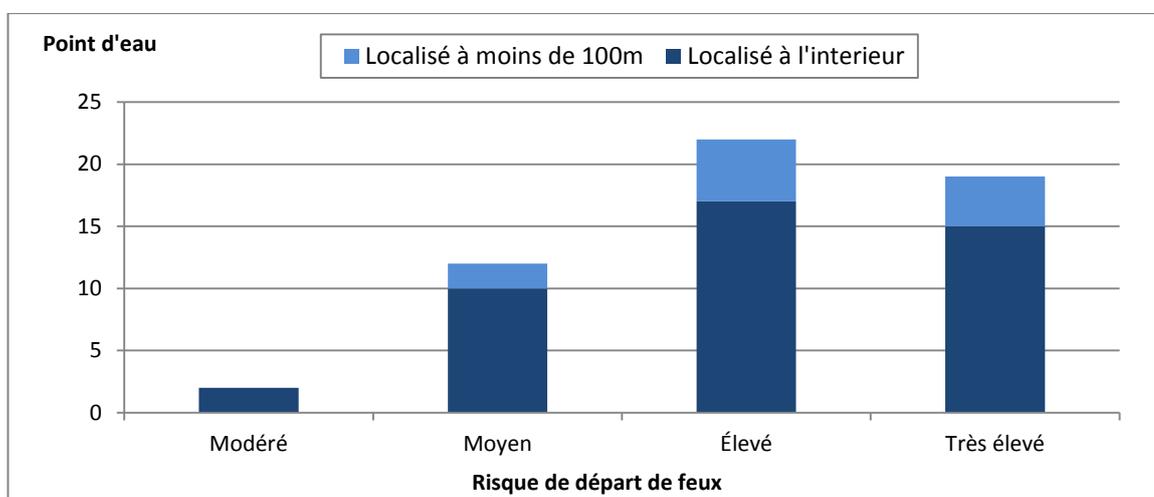
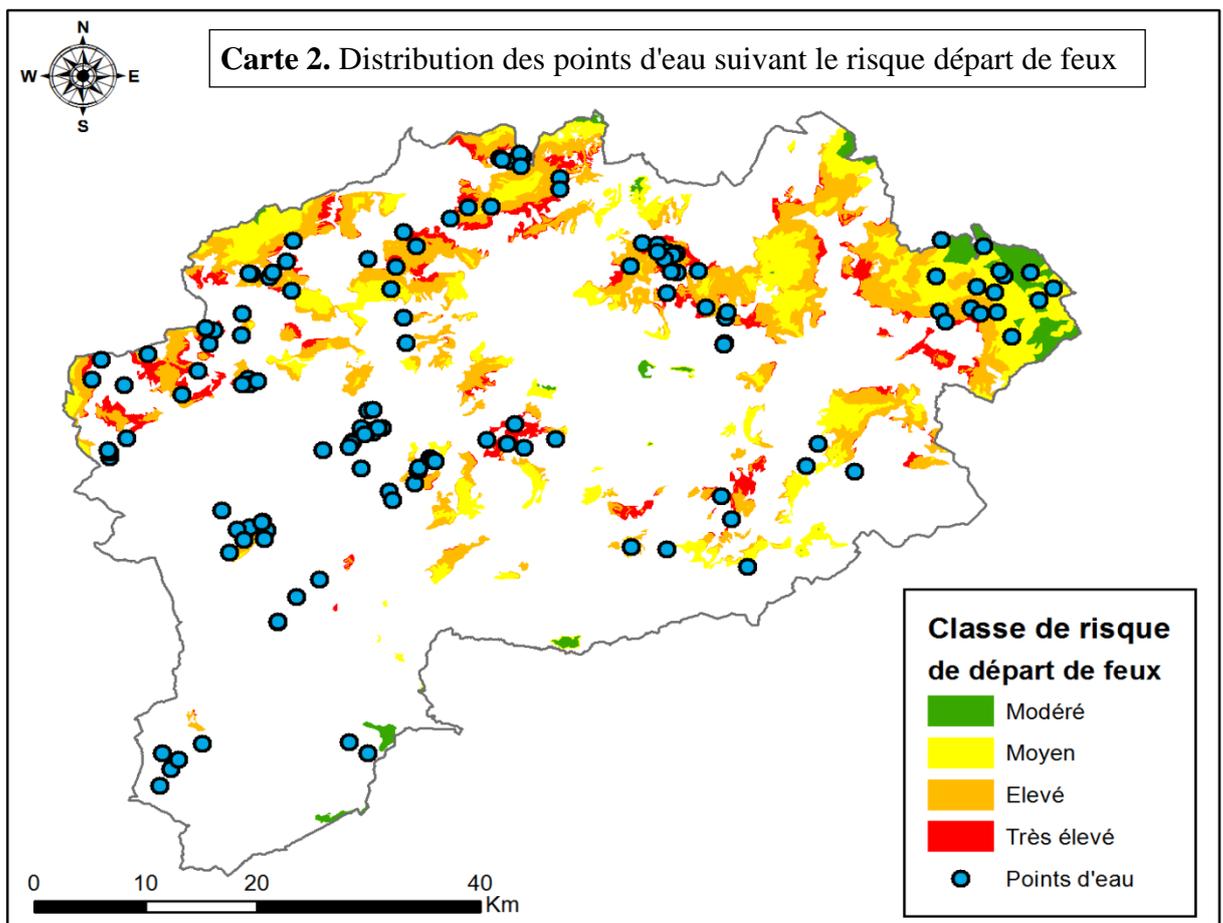


Figure 15. Répartition des points d'eau suivant les classes de risque départ de feux.

Cependant, si on comptabilise les points d'eau situés à moins de 100 m des zones à risque élevé et très élevé leur nombre passe de 32 à 41.

Ces résultats montrent que la distribution spatiale des points d'eau couvre d'importantes zones présentant un risque élevé et très élevé de départ de feux (carte 2). Cependant, 78 points d'eau, sur les 133 existants, sont localisés à plus de 100 m des massifs forestiers.



3-2. Analyse de l'efficacité des tranchées par feu (TPF) face au risque départ de feux

Avec un volume total de 866.05 ha, le volume moyen de TPF, au niveau de la wilaya de Guelma, est de 1,02 ha pour 100 ha de forêt. Ce volume de TPF est insuffisant, eu regard des normes établies pour la forêt algérienne, qui font état de 2,5 ha de TPF pour 100 ha de forêt. De plus leur localisation concerne plutôt les massifs forestiers à risque de départ de feux moyen et élevé, avec respectivement 33% et 37%, seul 11% concerne les zones à risque très élevé (figure 16).

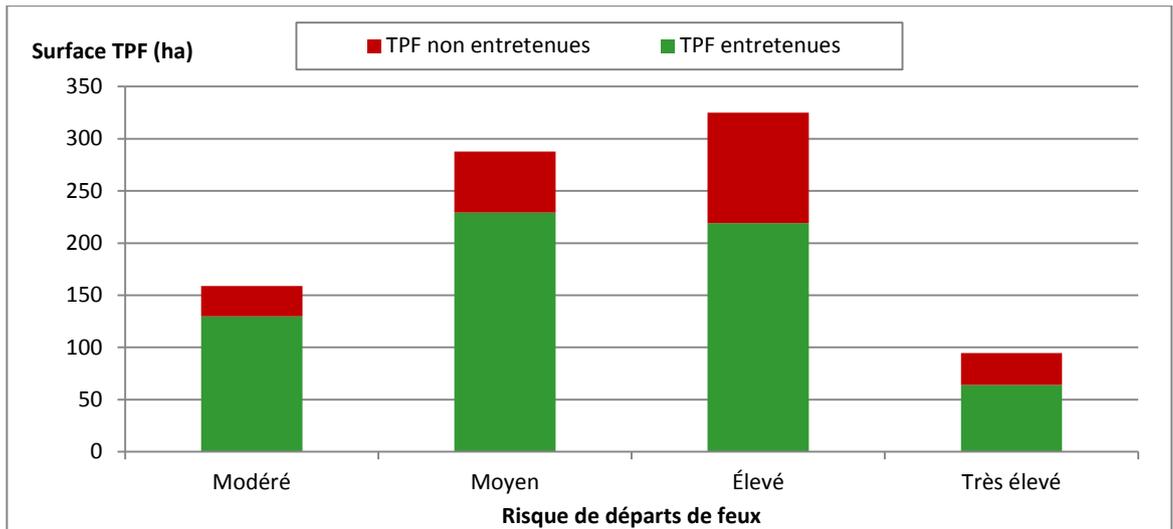
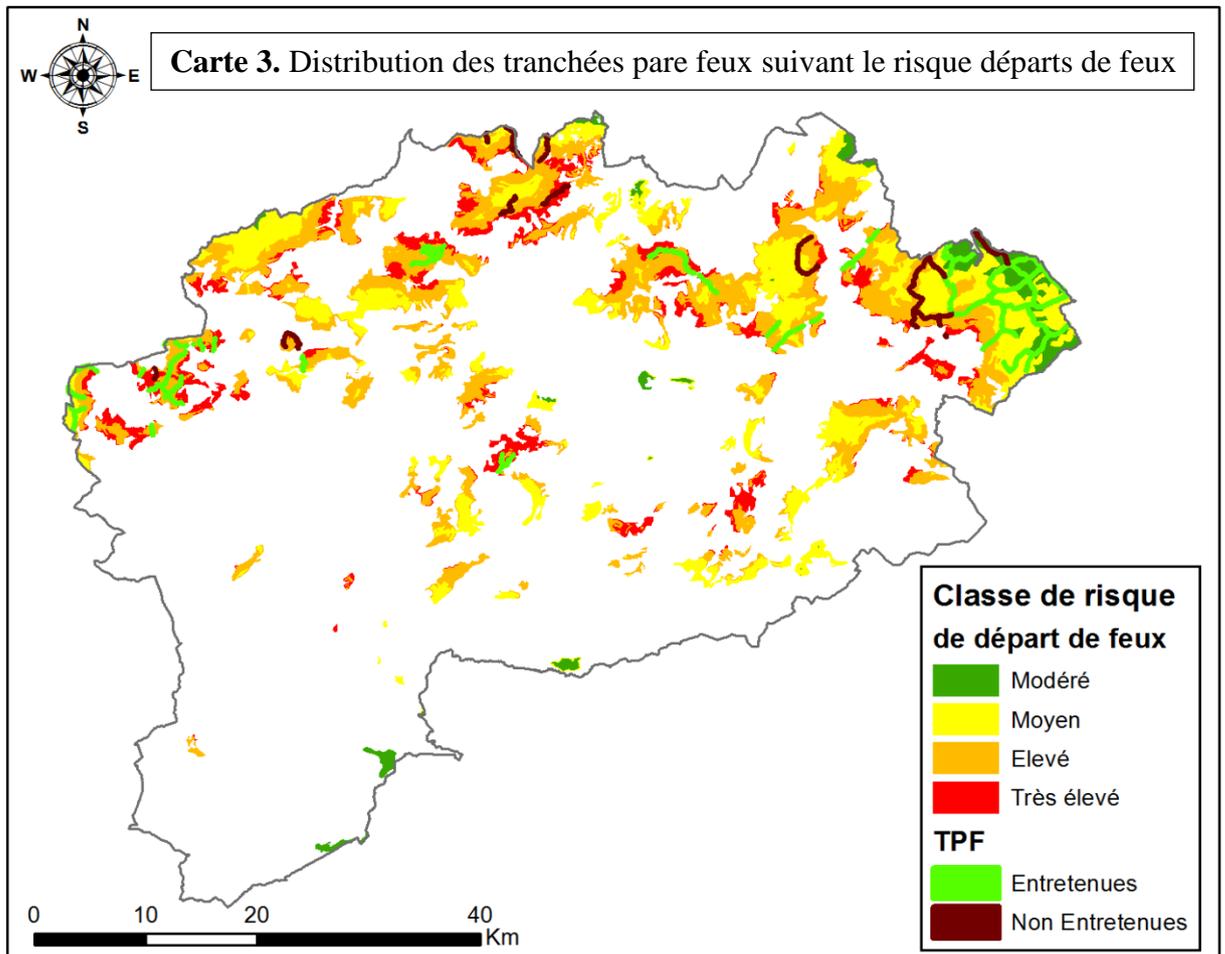


Figure 16. Répartition des tranchées pare feu suivant les classes de risque départs de feu.

Ci on considère l'état d'entretiens des TPF, on constat que 20% du volume de TPF pour les zones à risque moyen et 32% pour les zones à risque élevé ne sont pas entretenues (carte 3).

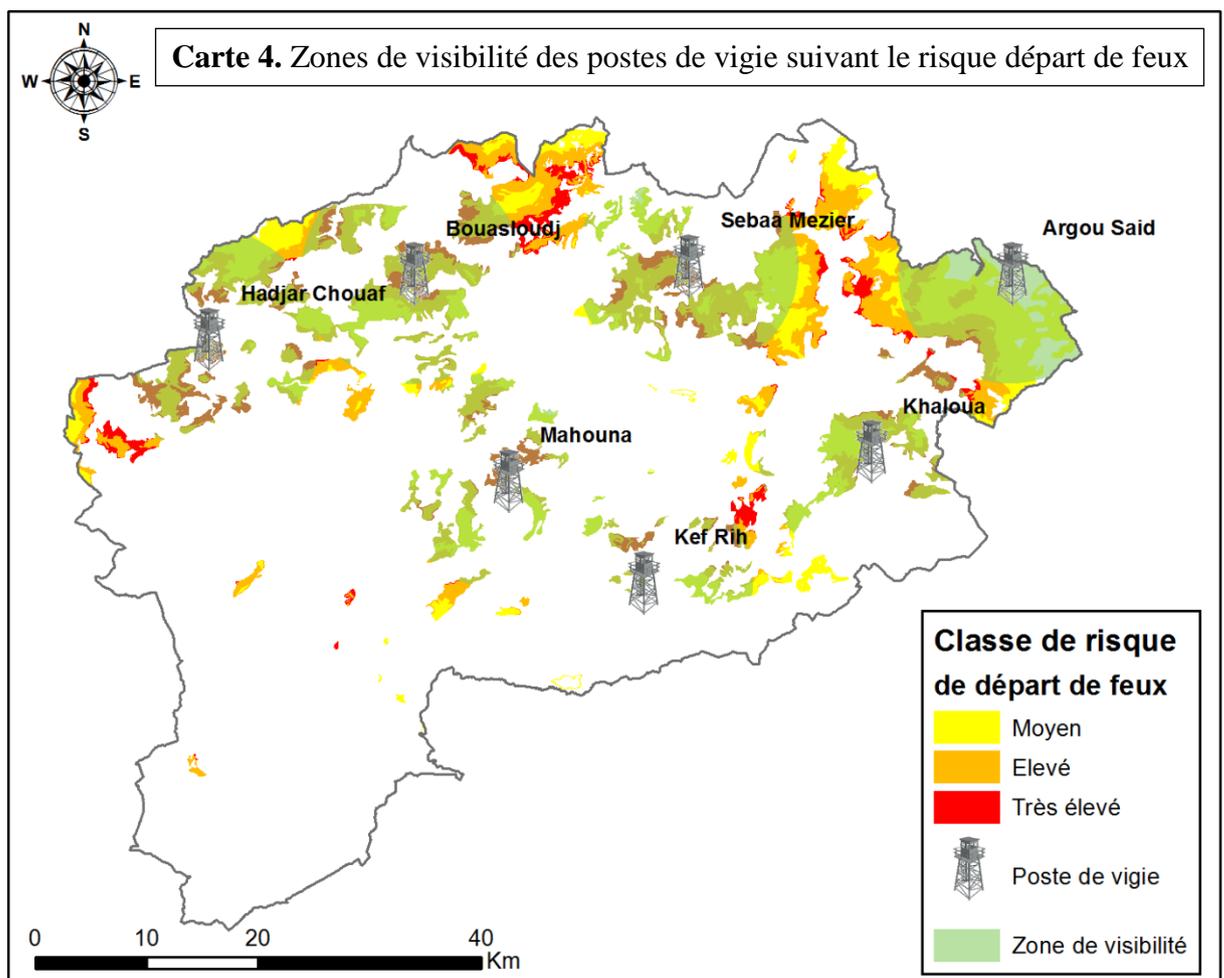


Ces résultats montrent que, même si la distribution spatiale des tranchées pare feu couvre d'importantes zones présentant un risque moyen et élevé, leur efficacité est réduite en raison du manque d'entretien, qui non seulement favorise la propagation du feu mais également peut être une source de départ de feu.

3-3. Analyse de l'efficacité des postes de vigie face au risque départ de feux

Ces miradors sont installés sur les points culminants dominants les massifs forestiers de la wilaya de Guelma. Actuellement, les postes de vigie, qui sont au nombre de 7, sont tous opérationnels.

Le champ de visibilité des postes de vigie a été calculé, puis superposé aux zones à risque départ de feu. Pour des raisons de plus grande lisibilité de la carte, le niveau de risque modéré n'a pas été affiché (carte 4).



La surface visible des massifs forestiers à partir des postes de vigies à été calculée pour chaque classe de risque (figure 17). On constate que le pourcentage des zones visibles est homogène pour les 4 classes de risque, avec une valeur moyenne de 24%.

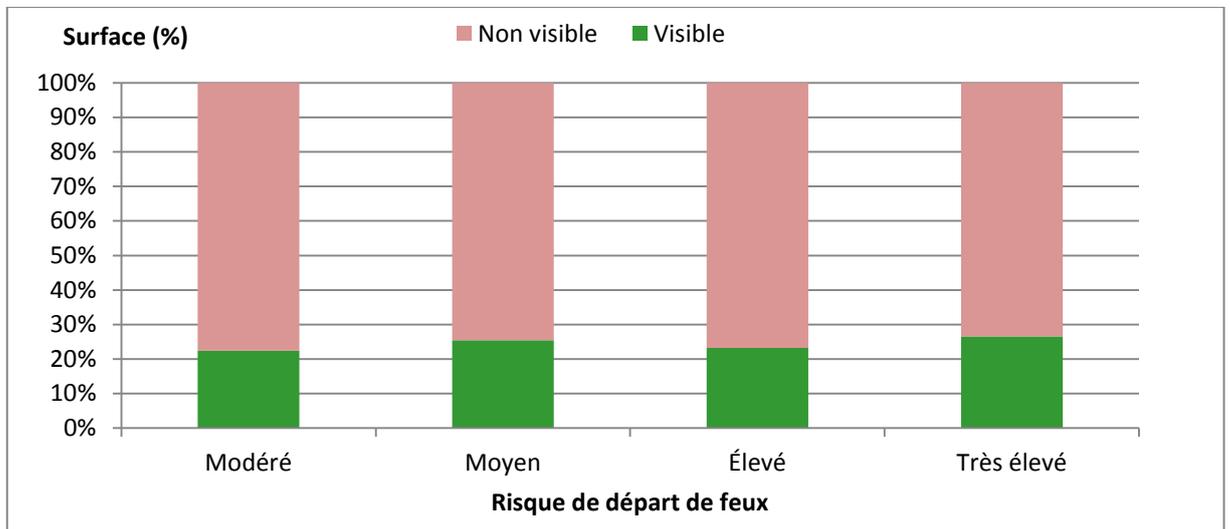


Figure 17. Pourcentage de visibilité des postes de vigie des classes de risque départ de feux.

Ces résultats montrent la faible efficacité du réseau de surveillance des feux de forêts à partir des postes de vigie, essentiels pour une détection rapide et précise des mises à feu, notamment pour les zones à risque élevé et très élevé.

3-4. Analyse de l'efficacité des pistes forestières face au risque départ de feux

Actuellement les massifs forestiers de la wilaya de Guelma, disposent d'un réseau de pistes forestières d'une longueur totale de 533,75 km.

Cependant, 31% de ce réseau est impraticables, 51% difficilement praticables et 18% praticables. La longueur en fonction de l'état des pistes forestières a été calculée pour chaque classe de risque de départ de feux.

La distribution spatiale des pistes forestières montre que les zones exposées au risque élevé de départ de feu de forêt sont desservies par un important réseau de pistes, suivi par les zones présentant un risque moyen et très élevé (figure 18). Malheureusement, si on regarde l'état de ce réseau on se rend compte qu'il est, dans sa majeure partie, difficilement accessible voir inaccessible pour les moyens d'intervention et de lutte contre les feux de forêts.

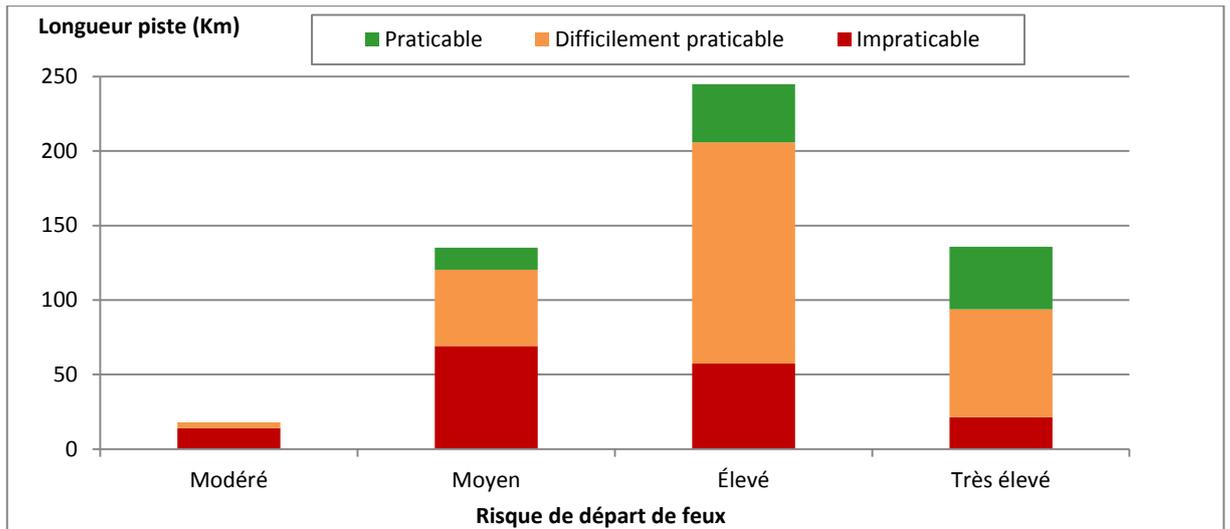


Figure 18. Longueur et état des pistes forestières suivant les classes de risque départ de feu.

Ceci allonge considérablement le temps d'intervention et rend difficile la progression des véhicules d'interventions au plus près des zones à risque élevé et très élevé de départ de feu. Le manque d'entretien et d'aménagement du réseau de pistes forestières, au niveau de la wilaya de Guelma, réduit fortement son efficacité.

4. Propositions et recommandations pour une meilleure gestion des feux de forêts dans la wilaya de Guelma

Au terme de cette étude et à la lumière des résultats obtenus à travers les différentes analyses spatiales sur les départs de feu nous proposons ce qui suit :

- ✓ Vu la prédominance des mises à feu volontaires, seules les populations qui sont intégrées économiquement à la forêt ressentent la nécessité de la défendre, c'est pour cette raison que la population rurale doit être intégrée à l'économie forestière ;
- ✓ Ne pas interdire le pâturage en forêt, mais plutôt le contrôler car il permet non seulement d'obtenir un rendement économique important pour les éleveurs mais également, de nettoyer les zones à forte densité de sous-bois très inflammable durant
- ✓ Augmentation de la surveillance mobile dans les zones non couvertes par le réseau de postes de vigie ;
- ✓ Les pistes forestières, si elles permettent l'accès aux moyens de lutte contre les feux de forêts, elles facilitent également l'accès aux incendiaires, d'autant plus, que la majorité du réseau est en mauvais état, ce qui le rend impraticable pour les véhicules d'intervention mais facile d'accès pour les populations.

Conclusion et perspectives

Conclusion & perspectives

A partir du cas pratique de la wilaya de Guelma, nous avons présenté au cours de cette étude les méthodes et approches utilisées pour, d'une part, la création d'une géodatabase regroupant toutes les couches thématiques relatives aux départ de feux et, d'autre part, l'analyse, le traitement et l'expression cartographique et statistique de ces informations géographiques.

Cette base de données géographique, ainsi créée va servir de support pour la prise de décision afin de faciliter la gestion et améliorer la prévention de départ de feux de forêts au niveau de la wilaya de Guelma.

Une étude spatiale détaillée des départs de feu, a été réalisée en se basant sur des méthodes scientifiques utilisant les nouvelles technologies des systèmes d'information géographique et de l'imagerie satellitaire.

Parmi les résultats d'analyse de cette étude nous avons relevé qu'au niveau de la wilaya de Guelma :

- les zones les plus touchées par les départs de feux sont ceux des interfaces forêt/agriculture, forêt/maison rurales et forêt/ferme;
- la proximité des routes et des villes et villages n'augmente pas le risque de départ de feux;
- le réseau de pistes forestières censé faciliter l'accès en cas d'incendie, devient le plus souvent une source de mise à feu.
- les tranchées pare feu mal entretenues (inefficaces face à la propagation du feu) représentent une source de départ de feu;
- le taux de couverture des postes de vigies est très insuffisant avec seulement 24% des massifs forestiers ;

Comme perspectives à cette étude, il serait intéressant de modéliser le risque de combustibilité des formations forestières de la wilaya de Guelma et de le combiner au risque de départ de feux afin de cartographier le risque feux de forêt sur une période de 30 années.

Références

Bibliographiques

Bibliographies

- ANDI, 2013. Agence Nationale de développement de l'Investissement : Monographie de la wilaya de Guelma, 19p.
- Arfa A.M.T., Benderradji M.E.H., et Alatou D., 2009. Analyse des bilans des incendies de forêt et leur impact économique en Algérie entre 1985-2006. Revue New Médit Vol. VIII-n. 1/2009. C.I.H.E.A.M. IAM, Bari, Italy pp. 46-51.
- Arfa A.M.T., 2019. Application du SIG et de la télédétection pour un outil cartographique d'aide à la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf ; thèse de doctorat en science en Ecologie et Environnement, Université des frères Mentouri Constantine 1, 190p.
- Arfa A.M.T., Benderradji M.E.H., Saint-Gerand T. et Alatou D., 2019. « Cartographie du risque feu de forêt dans le Nord-est algérien : cas de la wilaya d'El Tarf », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 899, mis en ligne le 29 mai 2019.
- Benmarce K., 2007. Caractéristique physico-chimique et isotopique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Sadaoui-Hamlaoui B., 2018. Inventaire et écologie des oiseaux nicheurs dans la ville de Guelma (Nord-est de l'Algérie), Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi, 169p.
- Saint-Gérand T., 2002. S.I.G. : Structures conceptuelles pour l'analyse spatiale. Habilitation à diriger des recherches, Université de Rouen, 187 p.
- Saint-Gérand T., 2005. Comprendre pour mesurer ou mesurer pour comprendre ? HBDS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel. In Guermond Y., dir., *Modélisation en géographie : déterminismes et complexités*. Paris : Hermès science publications, coll. « IGET, série Aménagement et gestion du territoire », 389p.

Résumés

RESUME

Cette étude traite de l'espace des risques feux de forêts, au niveau des massifs de la wilaya de Guelma située dans le Nord-est algérien. Devenues une préoccupation nationale depuis une quinzaine d'années, la prévention et la lutte contre les feux de forêts ont donné lieu à diverses mesures qui n'ont malheureusement pas permis de réduire leurs nombres et les surfaces brûlées. Pour ce faire, nous proposons de nouvelles formes de cartographies opérationnelles pour la gestion des espaces forestiers, afin de réduire le nombre et l'impact de ces feux.

Les données issues des satellites d'observation de la terre associées aux différents types d'informations liées aux feux de forêts intégrées dans un système d'information géographique, se sont avérées comme une option fiable de suivi des urgences, d'identification et de cartographie des zones exposées au risque départ de feux. La base de données géographique produite au cours de cette étude constitue un outil extrêmement utile pour la compréhension et le suivi des feux de forêts et permettent aux gestionnaires et décideurs de disposer d'arguments valables pour la prise de décisions.

Mots clés : SIG, risque, feux, cartographie, forêt

ABSTRACT

This study examines the risk space of wildfires in the forest tracts of the province of Guelma (North-East of Algeria). Wildfires have been a nation-wide concern for more than a decade now, and the various actions taken to prevent and suppress them did not result in a significant drop in their number or a decrease in the area of burnt land. Measures of punctual treatment of the visible symptoms of wildfires having reached their limits, this research aims at designing new forms of operational maps to be used for the management of forest lands in order to reduce the number and impact of wildfires.

Earth observation satellite data associated with the different types of forest fire information, once integrated into a geographic information system, have proved to be a reliable option for monitoring emergencies, identifying areas at risk, and mapping the extent of the fires. Earth observation satellite data associated with the different types of forest fire information, once integrated into a geographic information system, have proved to be a reliable option for monitoring emergencies, identifying areas at risk, and mapping the extent of the fires.

Key words: GIS, risk, wildfires, cartography, forest

ملخص

تناولت هذه الدراسة البحث في مجال مخاطر حرائق الغابات على مستوى ولاية قامة (تقع في شمال شرق الجزائر). لقد كانت حرائق الغابات مصدر قلق على مستوى الوطن منذ أكثر من عقد من الزمن، و لم تؤد مختلف الإجراءات المتخذة لمنعها إلى انخفاض محسوس في عددها أو انخفاض في مساحة الأرض المحروقة. لقد بلغت أساليب المعالجة الظرفية للأعراض المرئية لحرائق الغابات حدودها، لذا يجب تصميم أشكال جديدة من خرائط العمليات لاستخدامها في إدارة أراضي الغابات من أجل تقليل عدد وتأثير حرائق الغابات فيها.

أثبتت بيانات الأقمار الاصطناعية لرصد الأرض المرتبطة بأنواع مختلفة من معلومات حرائق الغابات بعد أن تم دمجها في نظام معلومات جغرافية أنها خيار موثوق به لرصد حالات الطوارئ، تحديد المجالات التي يزيد فيها خطر الحرائق و تحديد نطاق الحرائق. قاعدة البيانات الجغرافية التي تم تجميعها خلال هذه الدراسة هي أداة مفيدة للغاية لفهم ورصد حرائق الغابات وستوفر للمدراء و متخذي القرارات أسسا صحيحة لتبرير قراراتهم.

الكلمات المفتاحية : نظام المعلومات الجغرافية، مخاطر، حرائق، انجاز الخرائط، غابة

**INTITULÉ : Évaluation et cartographie du risque feu de forêt dans la wilaya de
Guelma (Algérie)**

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Protection des
Ecosystèmes.

Résumé

Cette étude traite de l'espace des risques feux de forêts, au niveau des massifs de la wilaya de Guelma située dans le Nord-est algérien. Devenues une préoccupation nationale depuis une quinzaine d'années, la prévention et la lutte contre les feux de forêts ont donné lieu à diverses mesures qui n'ont malheureusement pas permis de réduire leurs nombres et les surfaces brûlées. Pour ce faire, nous proposons de nouvelles formes de cartographies opérationnelles pour la gestion des espaces forestiers, afin de réduire le nombre et l'impact de ces feux.

Les données issues des satellites d'observation de la terre associées aux différents types d'informations liées aux feux de forêts intégrées dans un système d'information géographique, se sont avérées comme une option fiable de suivi des urgences, d'identification et de cartographie des zones exposées au risque départ de feux. La base de données géographique produite au cours de cette étude constitue un outil extrêmement utile pour la compréhension et le suivi des feux de forêts et permettent aux gestionnaires et décideurs de disposer d'arguments valables pour la prise de décisions.

Mots clés : SIG, risque, feux, cartographie, forêt

Laboratoire de recherche : Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétique

Jury d'évaluation :

Président du jury : ALATOU Djamel

Rapporteur : ARFA Azzedine Med Toufik

Examineurs : BENDERRADJI Med El. Habib

Prof - UFM Constantine 1,

MCB - UFM Constantine 1,

Prof - UFM Constantine 1.

Date de soutenance : 15/07/2019 ;