



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE -BATNA 2-
FACULTE DES SCIENCES
INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat 3^{ème} cycle

EN

Aménagement du territoire et gestion des risques majeurs

PAR

MOKHTARI Samah

Contribution à la gestion des connaissances en gestion des
risques : application aux feux de forêt dans le massif des
Aurès

Thèse soutenue, le 10 octobre 2018

devant le Jury composé de:

Dr. Hadda DRIDI, Professeur à l'Université de Batna 2,

Présidente

Dr. Mébarek DJEBABRA, Professeur à l'Université de Batna 2,

Rapporteur

Dr. Mahdi KALLA, Professeur à l'Université de Batna 2,

Examineur

Dr. Makhoul BOUTIBA, Professeur à l'Université USTHB-Alger,

Examineur

Dr. Mohamed-Said GUETTOUCH, Professeur à l'université USTHB-Alger

Examineur

Dédicaces

A mes chers parents

A mon très cher mari Abdeldjalil

A ma petite fille

A mes frères et sœurs

A tous les membres de ma famille, petits et grands

A tous mes amis

A ceux qui m'aiment

A ceux que j'aime

MOKHTARI Samah

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein des Laboratoires de Recherche en Prévention Industrielle et Aménagement du Territoire, dirigés successivement par les professeurs DJEBABRA Mébarek et KALLA Mehdi que je tiens à les remercier de m'avoir facilité la tâche pour aller à terme dans mon travail.

A ce propos, ce travail illustre la coopération scientifique entre ces deux laboratoires de recherches de l'Université de Batna 2 qui partagent une thématique de recherche commune qu'est celle de la gestion des risques naturels.

Donc, dans le cadre de la coopération entre ces deux laboratoires de recherche que ce travail a été réalisé sous la direction du Professeur DJEBABRA Mébarek, de l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle de l'Université de Batna 2 auquel je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance.

Mes remerciements vont également aux membres du Jury qui ont accepté d'évaluer mon travail plus particulièrement au Professeur Hadda DRIDI d'avoir accepté de présider le Jury et aux Professeurs Mahdi KALLA, MAKHLOUF Boutiba, et Mohamed-Said GUETOUCHE d'avoir accepté la lourde tâche d'examiner ce travail.

Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui ont participé de loin ou de près pour la réalisation de ce modeste travail et pour leur assistance amicale.

Merci à toutes et à tous.

MOKHTARI Samah

Table Des Matières

Dédicaces	
Remerciements	
Index des figures	
Index des tableaux	
Liste des abréviations	
Liste des symboles	
Introduction Générale	12
CHAPITRE 1 : Présentation du contexte et de la zone d'étude	
Introduction	19
1.1. Contexte de l'étude	19
1.1.1. Les incendies de forêts dans le monde et dans la méditerranée	19
1.1.2. Cas du nord algérien	20
1.1.3. Facteurs de causes et facteurs d'aggravation des IF	21
1.2. Zone d'étude : région des Aurès-Algérie	24
1.2.1. Limites géographiques	24
1.2.2. Description écologique de la zone d'étude	25
1.2.2.1. Le relief	25
1.2.2.2. hydrographie, géologie et géomorphologie de la zone	26
1.2.2.3. Le couvert végétal et la désertification	29
1.2.3. Description socio-économique de la zone d'étude	30
1.2.3.1. Les principales communes	30
1.2.3.2. Les habitats	32
1.2.3.3. L'agriculture et l'élevage	32
1.2.4. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude	33
1.2.4.1. La température	33
1.2.4.2. Les précipitations	34
1.2.4.3. Le vent	35
1.2.4.4. L'humidité relative	36
1.2.4.5. L'indice d'aridité	37
1.2.5. Historique des incendies de forêts de la zone d'étude	38
1.2.5.1. Evolution des incendies de forêts	38
1.2.5.2. Causes des incendies de forêts	39
1.2.5.3. Impacts des incendies de forêts	40
Conclusion	41

CHAPITRE 2 : A propos de la gestion des risques d'incendies de forêts

Introduction	42
2.1. Généralités sur le risque d'incendies de forêts	42
2.1.1. Définition d'un risque d'incendies de forêts	42
2.1.2. La trilogie « Danger-Risque-Catastrophe »	45
2.1.3. Gestion d'un risque d'incendies de forêts	45
2.2. Le système d'incendies de forêts	48
2.3. Le modèle catastrophe	50
2.3.1. Fondements et formalisme du modèle catastrophe	50
2.3.1.1. Les entrées du modèle de catastrophe	51
2.3.1.2. Les modules du modèle de catastrophe	63
2.3.1.3. Les sorties du modèle de catastrophe	64
2.3.2. Usage du modèle de catastrophe dans la gestion du RIF	65
Conclusion	67

CHAPITRE 3 : Apport de l'imagerie satellitaire dans l'analyse du RIF dans la région des Aurès-Algérie

Introduction	68
3.1. Méthodologie proposée	69
3.1.1. Etape 1 = connaissance de la CG-RIF	69
3.1.2. Etape 2 = photo-interprétation de la CG-RIF	71
3.1.2.1. Composition colorée des images satellitaires	71
3.1.2.2. Classification des images satellitaires	71
3.1.2.3. Cartographie des surfaces brûlées	73
3.1.3. Etape 3 = matrice de la vulnérabilité de la CG-RIF	78
3.2. Discussions de résultats	79
Conclusion	81

CHAPITRE 4 : Contribution à l'évaluation de l'investissement en matière de prévention des incendies de forêts par la méthode ACB

Introduction	82
4.1. Rappel du contexte de la méthodologie proposée	82
4.2. A propos des PFF : cas de la région des Aurès	84
4.3. Méthodologie proposée	86
4.3.1. Rappels de l'ACB des risques naturels	86
4.3.2. ACB préconisée pour le risque d'incendies de forêts	87
4.3.2.1. Expression du paramètre Bénéfices	88
4.3.2.2. Expression du paramètre Coûts	90
4.4. Application de la démarche proposée à la région des Aurès	90
4.5. Apports de la démarche proposée	92

Conclusion	95
Conclusion générale	96
Références bibliographiques	98
Annexes	106
Résumés	116

Liste des figures

Figure 0.1- Différentes actions de sensibilisation contre les feux de forêts en Algérie	12
Figure 1.1- Carte des incendies de forêts dans le monde	20
Figure 1.2 – Situation géographique de la zone d'étude	25
Figure 1.3- Carte des altitudes de la wilaya de Batna	26
Figure 1.4 – Carte géologique de la zone d'étude	28
Figure 1.5- Carte des formations végétales dans la wilaya de Batna	30
Figure 1.6- Carte d'occupations humaines	32
Figure 1.7 – Répartition des températures moyennes mensuelles (1990/2012)	34
Figure 1.8 – Répartition des précipitations moyennes mensuelles (1990/2012)	35
Figure 1.9 – Vitesses moyennes des vents dans la région d'étude (1990/2012)	36
Figure 1.10- Valeurs moyennes de l'humidité relative dans la région d'étude (1990/2012)	37
Figure 1.11- Evolution des incendies de forêts dans la région de Batna	39
Figure 1.12– Arbres brulés, exemple d'un cas d'incendie de foret Kimel	40
Figure 2.1 - Matrice des risques	44
Figure 2.2 – Complémentarités des approches de gestion des risques	46
Figure 2.3 – Exemple des niveaux du RIF fournis par l'approche probabiliste	47
Figure 2.4 – Exemple de la vulnérabilité d'un site issue d'une approche déterministe du risque	48
Figure 2.5 – Constituants du SIF	49
Figure 2.6 – Analyse spatio-temporelle du SIF	49
Figure 2.7- Constituants du modèle catastrophe	51
Figure 2.8- Organigramme du calcul de l'indice IR du RIF	53
Figure 2.9- La carte des pentes	55
Figure 2.10- Carte d'exposition des versants	55
Figure 2.11- Carte topo-morphologique de la wilaya de Batna	57
Figure 2.12- Carte de l'indice topo-morphologique	58
Figure 2.13- Carte d'indice de végétation normalisé	59
Figure 2.14- Carte de l'indice de la combustibilité	60
Figure 2.15- Carte de voisinage et de proximité des agglomérations	61
Figure 2.16- Carte d'indice d'occupation humaine	61
Figure 2.16- Carte d'indice de risque de feu	62
Figure 2.17- Carte de validation du risque d'incendie de foret (2002-2014)	63
Figure 2.18- Structure du modèle MC	64
Figure 2.19- Exemple de la probabilité annuelle de dépassement	66
Figure 3.1.- Étapes de la méthodologie proposée	69
Figure 3.2.- Image Landsat ETM+ du 06/08/2009 et 06/04/2011	70

Figure 3.3- Délimitation spatiale des parcelles d'entraînement sur la composition colorée des images satellitaires	72
Figure 3.4.a - NDVI des images satellitaires LANDSAT ETM+ étudiées du 2009	74
Figure 3.4.b - NDVI des images satellitaires LANDSAT ETM+ étudiées du 2011	75
Figure 3.5- Cartographie des surfaces brûlées dans la zone étudiée	77
Figure 4.1 - Stratégie pratiquée en Algérie pour la gestion des feux de forêts	84
Figure 4.2 - ACB pour la valorisation des mesures de prévention des incendies de forêts	88
Figure 4.3 - Répartition des superficies forestières (en ha) de la région des Aurès par communes	90
Figure 4.4 - Bilan des incendies de forêts dans la région des Aurès durant la période 2003-2013	91

Liste des tableaux

Tableau 0.1 – Extrait des problèmes rencontrés en matière de prévention et d'intervention contre les IF	13
Tableau 1.1 - Géologie de la zone étudiée	27
Tableau 1.2 - Caractéristiques des formations végétales de la zone étudiée	29
Tableau 1.3 - Classement des principales communes de la wilaya de Batna suivant la taille de leur population	31
Tableau 1.4 - Répartition des températures moyennes mensuelles de la région de Batna sur la période 1990-2012	33
Tableau 1.5 - Variation des précipitations moyennes mensuelles de la région de Batna sur la période 1990-2012	34
Tableau 1.6 - Répartition de la moyenne mensuelle des vents dans la région de Batna sur la période 1990-2012	35
Tableau 1.7 - L'humidité relative dans la région de Batna sur la période 1990-2012	36
Tableau 1.8 - Incendies de forêts dans la région de Batna (période : 1967-2014)	38
Tableau 2.1 - Exemple de la construction des pertes probables causées par une catastrophe naturelle	66
Tableau 3.1 - Caractéristiques des images retenues	70
Tableau 3.2 - Historique des incendies de forêts dans la région étudiée	78
Tableau 3.3 - La matrice de confusion de la classification des images satellitaires étudiée	79
Tableau 3.4 - Résultats de traitement des images satellitaires étudiées	80
Tableau 4.1 - Déficiences recensées dans les PFF et objectifs retenus	85
Tableau 4.2 - Mesures de prévention projetées pour la période 2013-17	91
Tableau 4.3 - Données relatives au calcul du dommage de l'état initial	92
Tableau 4.4 - Résultats d'optimisation des réajustements des contributions individuelles des mesures de prévention des incendies de forêts	95

Liste des abréviations

IF	Incendies de Forêts
RIF	Risques d'Incendies de Forêts
MC	Modèle Catastrophe
SIG	Systèmes d'Informations Géographiques
SI	Systèmes d'Informations
PAM	Perte Annuelle Moyenne
CG-RIR	Composante Géographique du RIF
INDV	Indice de Végétation par Différence Normalisée
ENVI	Environnement for Visualising Images
ACB	Analyse Coût Bénéfice
PFF	Plans Feux de Forêts

Liste des symboles

R	Risque
F	Fréquence
G	Gravité
SD	Situation Dangereuse
D	Danger
E _C	Evènement Contact
E _A	Evènement Amorce
IR	Indice de Risque
IC	Indice de Combustibilité
IM	Indice topographique
IH	Indice d'occupation des sols
IR	Indice de Régénération
IRN	Indice de Régénération Normalisé
IFR	Indice Fréquentiel du Risque
RMA	Risque Moyen Annuel
B	Bénéfice
C	Coût
O	Objectif
$\tilde{D}(S_i)$	Dommage moyen annuel de l'état i (i= 1..2)
\hat{D}_{EI}	Dommages évités
\hat{D}_j	dommages subis par les jeunes forêts
\hat{D}_m	dommages subis par les forêts mûrs.
V _A	Valeur actuelle (à l'instant t ₀)
V _F	Valeur future (à un instant t).

Sur le terrain, nous constatons que :

- ces actions sont planifiées par des plans de prévention et de protection des incendies de forêts. Des comités opérationnels à différents niveaux³ sont chargés par la mise en œuvre de ces plans,
- la définition des responsabilités en matière de lutte contre les IF est déléguée à la protection civile tandis que l'administration forestière est chargée des opérations de prévention, d'aménagement et souvent de première intervention,
- des problèmes en matière de lutte et de prévention contre les IF sont récurrents (tableau 0.1).

Tableau 0.1 – Extrait des problèmes rencontrés en matière de prévention et d'intervention contre les IF

Source : (Meddour-Sahar & Meddour, 2016)

<i>Problèmes de prévention</i>	<i>Problèmes d'intervention</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Indisponibilité de bases de données informatisée sur les IF - Manque d'application des textes réglementaires régissant les mesures préventives - Prise de conscience insuffisante des riverains sur le risque des incendies de forêt - Coordination intersectorielle presque absente (les forestiers et les pompiers se retrouvent seuls sur le terrain) - Infrastructure non entretenue et inadaptée - Insuffisance de la surveillance à caractère préventif et dissuasif - Budget limité - Prioriser la lutte sur la prévention en Algérie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Insuffisance des moyens humains et matériels d'intervention - Inaccessibilité de certains massifs forestiers - Insuffisance des comités de riverains - Manque de formation des riverains quant à la lutte - Organisation de la lutte non différenciée pour les petits et les grands feux - Difficultés de repérage des infrastructures sur le terrain

A ces problèmes s'ajoutent d'autres problèmes inhérents à la restauration des forêts où l'on note : l'absence d'opérations sylvicoles préventives, le manque de suivi des projets de réhabilitation (échec des reboisements) et la manque d'attention aux aspects écologiques.

1- Contexte de l'étude

Ce bref survol d'analyse de l'existant en matière des incendies de forêts, nous a conduits à nous intéresser à deux catégories de questions :

- Une première catégorie de questions à caractère pragmatique (ou pratique) :
 - o Quelle est la politique nationale de prévention des incendies de forêts ?
 - o Quelles sont les actions engagées avant l'occurrence des incendies de forêts ?
 - o Quel est le dispositif public de gestion⁴ des risques d'incendies de forêts en Algérie ?

³ Wilaya, Daïra, commune et riverains.

⁴ Pour rappel, les principaux éléments de ce dispositif sont : la prévention et la protection et la gestion des crises.

- Quelles sont les dépenses de prévention et de protection en termes d'incendies de forêts en Algérie ?
 - Quel est le bénéfice associé à ces dépenses ?
- Une seconde catégorie de questions à caractère académique permettant de cadrer, dans la mesure du possible, la catégorie des questions précédentes par des approches appropriées :
- Peut-on parlé d'un Système d'Incendie de Forêts (SIF) ? Si oui, comment est modélisé ce système ?
 - Quel est l'apport des modèles économiques en matière d'analyse des pertes causés par les incendies de forêts ?
 - Quel est l'intérêt des approches probabilistes et déterministes d'analyse du risque d'incendies de forêts ? Sont-elles complémentaires ces deux approches ?

L'ensemble de ces questions n'est autre que le *contexte de notre thèse de doctorat* que nous détaillerons dans le premier chapitre du présent manuscrit. Les trois autres chapitres permettent de développer les orientations retenues ainsi que nos contributions sur la base des recherches scientifiques effectuées sur les incendies de forêts qui fera l'objet de la section suivante.

2- Etat actuel des recherches sur les incendies de forêts en Algérie

Les recherches scientifiques sur les feux de forêts sont nombreux⁵ et touchent plusieurs aspects dont les plus importants sont : la phénoménologie des incendies de forêts et la gestion des risques d'incendies de forêts.

- i) Pour ce qu'est du premier aspect, [Meddour \(2014\)](#) montre que les premiers travaux de recherche ont été menés par les anglo-saxons : Wright (1932) au Canada, Byram (1959) aux USA. Ensuite, de multiples travaux ont vu le jour notamment sur les causes des incendies de forêts. Ces travaux de recherche avaient pour objectif d'analyser la multi-causalité des incendies de forêts ([Folkman, 1965](#) ; par exemple). Cet objectif s'est ensuite élargi pour s'intéresser au retour d'expérience sur les incendies de forêts et à la problématique socio-économique de ces causes ([UE, 2004](#)). En Europe, ce premier aspect est capitalisé par des projets fédérateurs parmi lesquels nous citons le fameux projet Forest Focus et la typologie des causes de feux de forêts en Europe.
- L'évolution des recherches sur cet aspect est, ensuite, axée sur la perception des causes d'incendies de forêts par les experts moyennant des méthodes typiques telle que la méthode Delphi ([Dick, 2000](#)).

⁵ Un extrait des mémoires de thèses de doctorat est fourni en annexe.

Enfin, cet aspect est marqué durant ces deux dernières décennies par une forte tournure vers l'usage du Datamining pour l'exploration de l'évolution des incendies de forêts (Dubuc, 2011).

- ii) Pour ce qu'est du second aspect, l'intérêt est porté sur les principales phases du processus décisionnel de la gestion des risques à savoir : l'analyse, l'évaluation et la maîtrise du risque d'incendies de forêts. Chacune de ces trois phases a connu une exploration intense par le biais de méthodes appropriées relatives à (Meddour, 2014) : l'inflammabilité et la combustibilité des végétations, cartographie des zones, télédétection, cartes de vulnérabilité aux incendies de forêts, ...etc.

Toutes les recherches scientifiques réalisées selon les deux aspects ci-dessus ont donné naissance à une autre voie qui concrétise la convergence des aspects précédents. Il s'agit de la prévention des incendies de forêts qui a attiré l'attention des chercheurs et des décideurs à travers le monde. C'est le cas, par exemple du programme-cadre lancé par l'Union Européen dans les années 80 (Pausa, 2004). Cette problématique est également abordée par d'autres chercheurs en s'intéressant notamment à l'évolution du dispositif règlementaire en matière de la prévention des incendies de forêts (Madinios et Vassiliadis, 2011),

Il est important de rappeler qu'un grand nombre d'auteurs (Meddour, 2014 par exemple) affirment que les travaux de recherche sur les politiques de prévention des incendies de forêts sont peu nombreux par rapport aux autres recherches qui cadrent les deux aspects (phénoménologique et gestion des risques) évoqués précédemment. Cependant, ces auteurs ne fournissent pas les explications nécessaires de ce constat.

Partant de ce constat, nous avons jugé utile de fournir une explication justifiée à ce fait marquant en se basant sur le lien entre le risque et la catastrophe. C'est ainsi que nous avons fixé l'objectif principal de nos travaux de recherches réalisés dans le cadre de cette thèse de doctorat.

3- Objectifs de la thèse

La notion du Risque d'Incendie de Forêts (RIF) est capitale pour cette étude. Notre objectif vise à progresser sur les manières d'appréhender ce RIF en vue de sa meilleure gestion.

Dans un premier temps, notre réflexion portera sur la définition du RIF (notamment, ces principales grandeurs : aléa et enjeux).

Dans un second temps, l'intérêt portera sur les approches d'analyse du RIF où l'on énumère deux tendances qui sont d'actualité :

- La systémique⁶ qui permet la gestion de la complexité des milieux naturels. En effet, l'approche systémique permet de modéliser le SIF en s'orientant vers les relations entre

⁶ Plus particulièrement, la géo-système qui permet la gestion des territoires

ses différentes composantes. Nous montrerons que cette approche permet, non seulement d'étudier son évolution dans le temps et dans l'espace, mais également d'alimenter le modèle de catastrophe par des informations pertinentes,

- la modélisation de catastrophes causées par les incendies de forêts par des modèles appropriés qui ont pour rôles d'évaluer l'ampleur du RIF. A ce propos, notre revue bibliographique sur le Modèle de Catastrophes (MC) naturels nous permet de mettre en exergue les pertes causées par les incendies de forêts.

Dans un troisième temps, nous explorons un module du modèle MC afin d'évaluer les dommages causés par les incendies de forêts dans la région des Aurès-Algérie. Ces dommages sont évalués en termes de surfaces incendiées.

Enfin, pour faire face aux RIF, nous proposons dans un quatrième temps une étude économique permettant de mettre en valeur les efforts d'investissement en matière de gestion du RIF.

A travers cette chronologie des idées, l'objectif principal de cette thèse se décline en deux sous-objectifs :

- une caractérisation et une cartographie des dommages causés par les incendies de forêts dans la région des Aurès-Algérie,
- une évaluation économique (analyse coût-bénéfice) d'une politique de prévention du RIF.

4- Organisation du présent manuscrit de la thèse de doctorat

Pour atteindre l'ensemble des objectifs cités précédemment, le présent manuscrit est structuré en quatre chapitres, cadrés par une introduction et une conclusion générales :

- Dans le premier chapitre, nous aborderons dans sa première partie le contexte de notre étude à savoir la problématique des incendies de forêts à travers le monde et en Algérie. Dans un second temps, nous présenterons la région d'étude qui servira comme exemple d'application dans les chapitres suivants. Il s'agit de la région des Aurès-Algérie.
- Le deuxième chapitre est dédié à la gestion du RIF où l'on rappelle, dans la première partie de ce chapitre, les notions générales de la gestion du RIF et, dans la seconde partie du même chapitre, les principales approches d'analyse du RIF (approche systémique et modélisation des catastrophes). Le modèle de catastrophe détaillé dans ce chapitre permet de mieux cadrer nos contributions que nous détaillerons dans les deux chapitres suivants.
- En effet, dans le troisième chapitre l'intérêt est porté sur la représentation spatiale du RIF moyennant les surfaces brûlées. Dans ce contexte, une étude diachronique des IF survenus dans la région des Aurès permet de mettre en évidence l'ampleur du phénomène et la nécessité de la gestion du RIF par le renforcement de la politique de sa prévention.

- L'évaluation de la pertinence de cette politique de prévention du RIF fera l'objet du quatrième et dernier chapitre de cette thèse de doctorat où l'on propose d'effectuer une analyse coûts-bénéfices des actions de prévention engagées par les instances locales chargées de la sauvegarde du patrimoine forestier de la région des Aurès.

Les annexes présentées en fin du document permettent de compléter certains aspects détaillés dans les différents chapitres du présent manuscrit.

La problématique consiste à répondre à des questions clés d'ordre pratiques et académiques (qui relève des travaux scientifiques universitaires)

Revue bibliographique

Chapitre 1

- Présentation du contexte de l'étude → meilleur positionnement des orientations retenues dans cette thèse de doctorat
- Présentation de la zone d'étude (région des Aurès) pour valider les approches et méthodologies développées dans les chapitres suivants.

Chapitre II

Usage du Modèle de Catastrophe (MC) comme cadre général de nos contributions présentées dans les deux chapitres suivants.

Chapitre III

Mise en évidence de la criticité du RIF moyennant les surfaces brûlées dans la région des Aurès et la nécessité de restaurer ces dégradations par une politique de prévention efficace et pertinente.

Chapitre IV

Evaluation d'une politique de prévention des IF de la région des Aurès-Algérie par le biais de l'ACB sur l'horizon 2013-17.

Contributions scientifiques

1

Présentation du contexte et de la zone d'étude

***L**es feux de forêts sont des incendies qui se développent et se propagent en forêts, bois, maquis ou garrigues. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ces incendies de forêts : le vent, l'ensoleillement, l'hygrométrie, le bilan hydrique, ...etc.*

Les forêts méditerranéennes ont tendance à s'organiser en niveaux altitudinaux ou étages successifs de végétation (Quezel et Médail, 2003). Le massif des Aurès représente un modèle type de la forêt méditerranéenne (Miara, 2011). En effet, par sa position géographique et la diversité de son relief, la zone des Aurès subit des influences climatiques causant des grands incendies de forêts (Miara et al, 2013). C'est pour cette raison que cette zone est retenue comme terrain d'étude et dont sa description et présentation fera l'objet de ce chapitre.

La présentation de la zone des Aurès est, logiquement, précédée par le contexte de notre recherche doctorale qui sera détaillée ci-après.

1.1 Contexte de l'étude

1.1.1 Les incendies de forêts dans le monde et dans la méditerranée

Le feu est l'un des principaux ennemis du forêt (Zeghdani, 2013). Car, chaque année des millions d'hectares de végétation brûlent à travers le monde⁷. En effet, dans le bassin méditerranéen près de 600000 hectares de forêts, en moyenne, partent en fumée.

Depuis près d'une décennie, d'immenses régions forestières de la planète s'embrasent tour à tour (figure 1.1). Des feux sans précédents ont touché l'Indonésie en 1997, brûlant près de 5 millions d'hectares et posant des problèmes graves de santé publique. En 1998, c'est au tour de l'Amazonie, du Mexique et des Philippines. En 2003, 2004 et 2005, des centaines de milliers

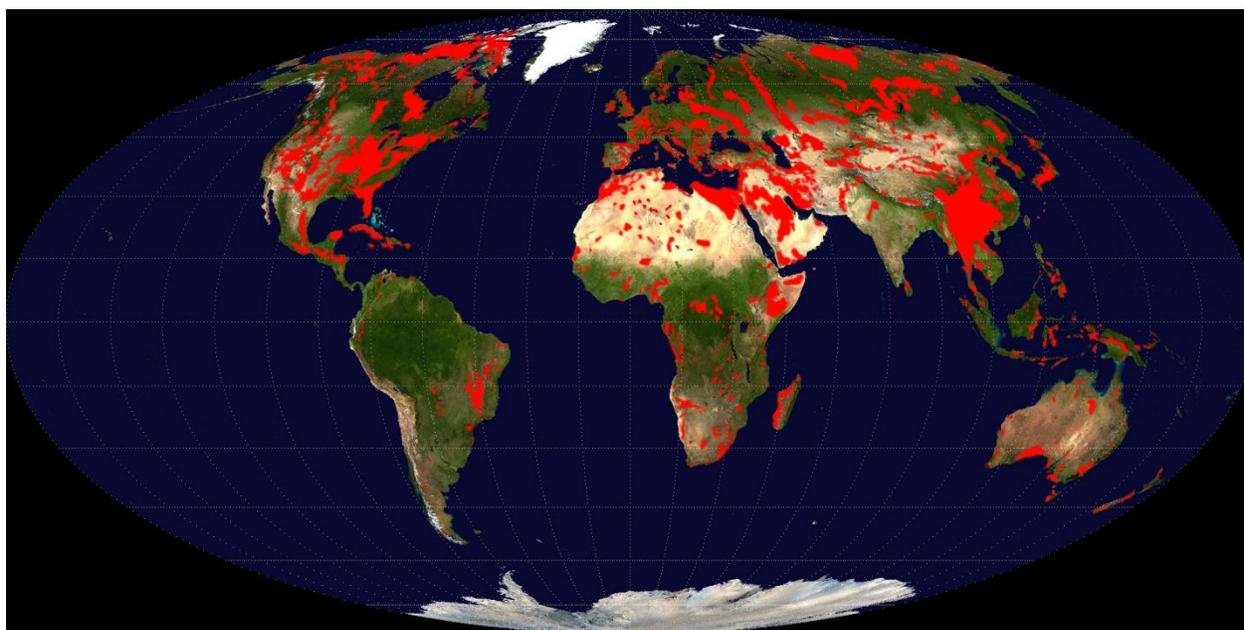
⁷ 3 à 4 de Km² de foret ont été ravagé par le feu (Meddour, 2014).

d'hectares de forêts des pays du pourtour méditerranéen, dont le Maroc, l'Algérie, la Grèce, l'Italie, la France et l'Espagne, ont été la proie des flammes.

Si les effets des changements climatiques et de la sécheresse favorisent les incendies de forêts, l'influence anthropique reste la principale cause des incendies dans le monde puisque 90% les feux de forêts sont liés, en grande partie, à des activités humaines (Robin et al, 2006) : agriculture, déforestation, accidents et pyromanes.

Les incendies de forêts représentent une part majeure auxquelles sont soumis les écosystèmes méditerranéens (Marcel et al, 1988). Car et en moyenne, près de 60.000 feux par année sont enregistrés dans les pays à risque d'incendie de la zone méditerranéenne. Ces feux parcourent chaque année jusqu'à 700.000 hectares dans cette région et le plus souvent éclatent durant la saison sèche (DGF,2012).

En plus de la sécheresse qui frappe la région méditerranéenne, dans cette région 92 à 98% des feux de forêts sont d'origine anthropique par négligence ou malveillance (Vélez, 1999).



Source : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Carbonate-outcrops_world.jpg

Figure 1.1- Carte des incendies de forets dans le monde

1.1.2 Cas du nord Algérien

En Algérie et à l'instar des pays méditerranéens, le patrimoine forestier continue à subir les effets de la dégradation pour causes (DGF, 2012): de sa composition floristique en espèce très combustibles, du climat chaud et sec en été qui favorise l'éclosion de foyers d'incendies et de l'activité anthropique croissante des populations riveraines.

En effet, l'Algérie qui couvre une superficie de 2 381 742 km², représente un couvert forestier global qui est de 4,1 millions d'hectares ; soit un taux de boisement de 1,7 % et de 16,4% pour le nord de l'Algérie (Hadeff, 2010; Meddour et Bouisset, 2013). Le Nord de l'Algérie où les conditions climatiques et de milieu permettent le développement des formations forestières occupent 250 000 km² (10% de la surface totale), l'autre superficie (90%) est occupée par le Sahara (Hadeff, 2010).

La région des Aurès représente la limite écologique la plus sèche de l'aire du cèdre avec une légère diminution de la pluviométrie (Chenouf, 2014).

Le paysage forestier en Algérie, couvre environ 4 millions d'hectares, soit moins de 2% de la surface totale du territoire national (Afra, 2008), y compris les nappes alfatières et les plantations artificielles. Il est très diversifié avec des essences autochtones à haut intérêt patrimonial (DGF, 2012) : cèdre, chênes, genévrier, pin d'alpe, ... etc.

Parmi les ressources naturelles les plus vulnérables, nous trouvons le Chêne-liège avec 4000 hectares dévastés pour la seule année 1994 et après la pinède à pinus halepensis est la communauté végétale la plus touchée (Bekdouche, 2010).

La période allant de 1985 à 2010 était cruciale pour l'Algérie en termes d'incendies de forêts ; car, cette période a connu un cumul de 42 555 feux de forêts. Conséquemment, 910 640 hectares ont été brûlé (Meddour et Bouisset, 2013).

Une superficie de plus de 15 500 hectares d'un couvert végétal, dont 6 500 hectares de forêts, a été détruite par les incendies durant la période du premier Juin jusqu'à la fin de moins d'Août 2014, causant d'énormes dégâts au patrimoine forestier national, selon un bilan établi par la direction générale des forêts (DGF, 2014).

Actuellement, la destruction progressive des couverts forestiers est liée à des facteurs anthropiques, quelque fois naturels, et ce malgré la réalisation d'importants programmes forestiers (MATE, 2002).

1.1.3 Facteurs de causes et d'aggravation des incendies de forêts

L'incendie de forêt est « une combustion qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace » (Trabaud, 1989 ; Gérard, 2001).

Pour rappel, le mot forêt signifie, en plus des forêts au sens strict, l'ensemble des formations sub-forestières qui sont les garrigues, maquis, ... etc. Dans les autres cas, on parle d'incendie de forêts de l'espace rural et périurbain lorsque l'incendie concerne une surface minimale d'un hectare dans (Hassas, 2005) : les boisements linéaires des feux d'herbes, d'autres feux agricoles, des dépôts d'ordures, ...etc.

Les incendies de forêts dépendent de facteurs naturels déterminants comme (Gérard, 2001) : les combustibles végétaux, les conditions climatiques, la topographie et surtout la présence des

facteurs anthropiques ou/et socio-économiques. D'après [Meddour \(2014\)](#), ce sont ces facteurs qui conditionnent dans une large mesure l'éclosion et la propagation d'un incendie.

Les forêts sont menacées par deux paramètres : le premier est naturel tandis que le second est anthropique.

1.1.4.1. Paramètre naturel

Les facteurs déterminants d'un incendie de forêts dépendent de paramètres naturels parmi lesquels figurent : les caractéristiques de la végétation, les conditions climatiques ainsi que la topographie.

A. Les caractéristiques de la végétation

Certaines formations végétales sont plus sensibles et plus vulnérables que les zones forestières que d'autres, compte tenu de l'inflammabilité et de la compossibilité de la végétation comme les landes, les maquis et les garrigues ([Gérard, 2001](#) ; [Hassas, 2005](#) ; [Meddour, 2014](#)). Cette situation s'explique par la composition, la structure de ces formations et les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises en particulier leur teneur en eau. A ce propos, il est important de souligner la difficulté d'établir un lien entre les incendies de forêts et les conditions météorologiques⁸ ([Hassas, 2005](#) ; [Meddour et al , 2010](#)).

L'état de la végétation est un facteur important par son inflammabilité des végétaux qui joue un rôle indirect dans la mise en feu et sa combustibilité :

- l'inflammabilité d'un végétal est déterminée par sa teneur en eau, en relation avec les paramètres climatiques (température, humidité, vent), ainsi que par sa composition chimique et en relation avec le type d'essence,
- la combustibilité d'un végétal est déterminée à partir de la structure des formations (distribution horizontale et verticale) et la composition en essence du peuplement.

B. Les conditions climatiques

Les conditions climatiques et plus précisément météorologiques, notamment les variations brutales des conditions climatiques, vont aussi affecter le feu en influençant ([Gérard, 2001](#)) : l'inflammabilité, la combustibilité de la végétation et le comportement du feu.

Ces conditions climatiques, qui traduisent la température, le vent, l'humidité relative et les précipitations, influent sur la teneur en eau des végétaux (dessèchement des plantes), qui seront plus ou moins propices à s'enflammer et à propager une flamme. De ce fait, la vitesse du vent est

⁸ Ces conditions sont représentées par : la température, l'humidité de l'air, la sécheresse, épisode de vents violents et dessèchement, le degré hygrométrique de l'air.

généralement corrélée à la vitesse de la propagation des feux⁹ et la direction du vent¹⁰ (Gérard, 2001).

C. La topographie

La topographie est une variable constante, c'est-à-dire qu'elle ne varie pas dans le temps. En conséquence, nous pouvons facilement déterminer son influence sur la propagation d'un feu où l'on peut retenir deux facteurs importants (Afra, 2008) : l'inclinaison des pentes et leur exposition aux vents dominants.

En effet et pour ce qu'est de l'inclinaison des pentes, nous signalons que la pente modifie l'inclinaison des flammes par rapport au sol et favorise les transferts thermiques vers la végétation située en amont quand l'incendie remonte une pente (Afra, 2008 ; Tir, 2016).

Pour l'exposition des pentes aux vents dominants, cette exposition joue un rôle indirect sur la propagation de feu versants (Dauriac et al, 2001 ; Tir, 2016) : la végétation étant en général plus inflammable sur les.

Pour conclure ce paramètre naturel, nous rappelons que la végétation ne s'enflammant pas seule même dans le cas d'une forêt où la sécheresse, les vents et la température sont élevés. En effet, pour qu'un incendie se déclenche, il faut que trois critères soient remplis (Amraoui, 2014) : une source combustible (végétation ou n'importe quel matériau pouvant brûler), une source externe de chaleur (flamme ou étincelle) et un comburant (un apport en exogène de l'air nécessaire pour alimenter le feu).

Par ailleurs, nous rappelons que l'unique cause naturelle connue dans le bassin méditerranéen est la foudre qu'est heureusement relativement rare. Par contre, les causes naturelles sont plus fréquentes en particulier en Europe et en Amérique.

1.1.4.2. Paramètre anthropique

Les facteurs anthropiques conditionnent dans une large mesure l'éclosion et la propagation d'un incendie de forêt. Parmi ces facteurs figure la présence de l'homme et son activité dans la zone de contact avec la forêt. D'après Gérard (2001), ce facteur est statistiquement le plus important. A ce propos, les études statistiques sur les causes d'incendies de forêts montrent que les causes humaines sont les plus plausibles.

Ces causes peuvent être involontaires ou volontaires (Cemagraf, 1990 ; Pierre et al, 2003).

Parmi les causes involontaires, nous citons :

- les imprudences liées aux travaux agricoles ou forestiers,

⁹ qui conditionne l'ampleur d'un incendie.

¹⁰ qui conditionne la forme finale de l'incendie.

- les accidents liés : à la circulation, aux installations des lignes électriques, aux chemins de fer, aux dépôts d'ordure, ...etc.

Pour les causes volontaires, ce sont surtout les actes de sabotage et de la vengeance qui sont les plus significatifs.

1.2 Zone d'étude

1.2.1. Limites géographiques

La wilaya de Batna, capitale des Aurès, est située à l'Est de l'Algérie à une distance de 430 km de la capitale Alger.

Géographiquement, La wilaya de Batna se trouve localisée dans la partie orientale du pays entre les 4° et 7° de longitude Est 35° et 36° de latitude Nord.

Elle s'étend sur une superficie de 12038 km² (Hannachi, 2010). Le territoire de la wilaya de Batna s'inscrit presque entièrement dans l'ensemble physique constitué par la jonction de deux Atlas Tellien et Saharien (Abdessemed, 2009) ; ce qui présente la particularité physique principale de la wilaya et détermine, de ce fait, les caractères du climat et les conditions de vie humaine.

Administrativement, la wilaya de Batna est délimitée (figure 1.2) :

- au Nord par la wilaya de Mila,
- au Nord- Est par la wilaya d'Oum El Bouaghi,
- à l'Est par la wilaya de Khenchela,
- au Sud par la wilaya de Biskra,
- à l'Ouest par la wilaya de M'sila
- au Nord-Ouest par la wilaya de Sétif.

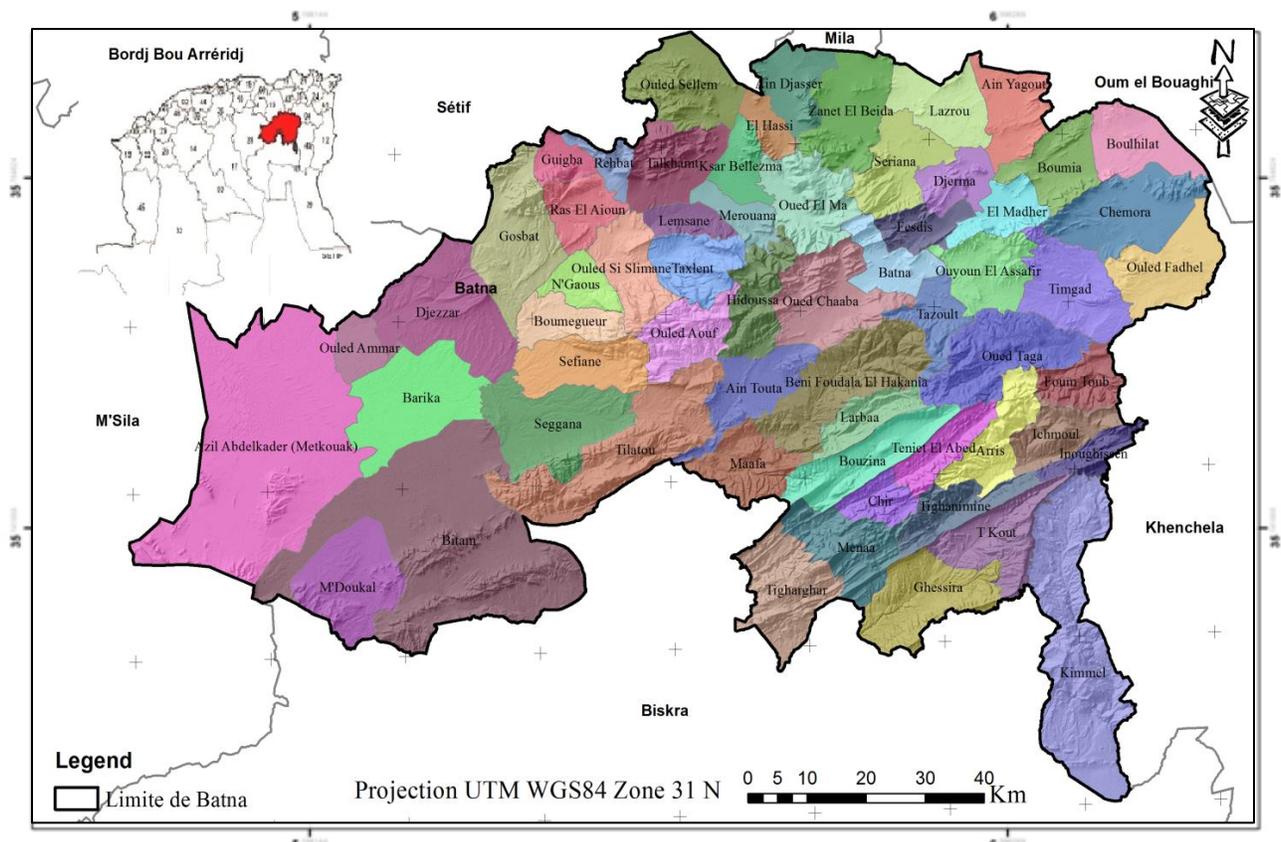


Figure 1.2- Situation géographique de la zone d'étude.

1.2.2. Description écologique de la zone d'étude

1.2.2.1. Le relief

Le relief est caractérisé par la jonction des deux Atlas Tellien et Saharien constitués par trois grandes zones relativement homogènes définies comme suit (Guettala, 2010) :

- Les hautes plaines Telliennes Nord qui représentent¹¹ 57.476 hectares (soit 25% de la surface forestière de la wilaya). Dans cette partie, les altitudes varient entre 800 et 1200 m et les pentes excèdent rarement 3% (Monographie, 2010 ; Abdessemed, 2009).
- Les reliefs montagneux « jonction des deux Atlas »: l'Atlas Tillien par l'ensemble des monts du Hodna, du Bou Taleb, les monts de Belezma et l'Atlas Saharien par les Aurès, le DJ Metlili et les Monts du Zab, formant « l'ossature physique » principale de la wilaya et de ce fait constituent l'ensemble physique le plus important du point de vue superficielle (occupant 45% de la surface totale de la wilaya).
- Les hautes Plaines steppiques qui sont constituées dans la partie Ouest de la wilaya Batna et qui se trouvent encadrées au Nord par les monts de Hodna , à l'Est par les monts du Belezma et le Dj Metlili et au Sud par le versant Nord des monts du Zab constitué par les DI Ammar, Mekmizane et Bouzokma. Cette partie peut être scindée, à son tour, en trois

¹¹ D'après le service des forêts de la wilaya de Batna.

zones (Monographie, 2010): la zone des glaciers immédiatement en contrebas des reliefs montagneux, la plaine de Hodna et la zone des Chotts.

Les altitudes (figure de la page suivante) varient de 700 m. La plus basse altitude, localisée dans cet ensemble, est située au Dj. Rebaa sur le versant Nord des Monts du Zab à 2 326 m au Dj. Chélia qui est considéré comme le plus haut point de la Wilaya et même de l'Algérie du Nord.

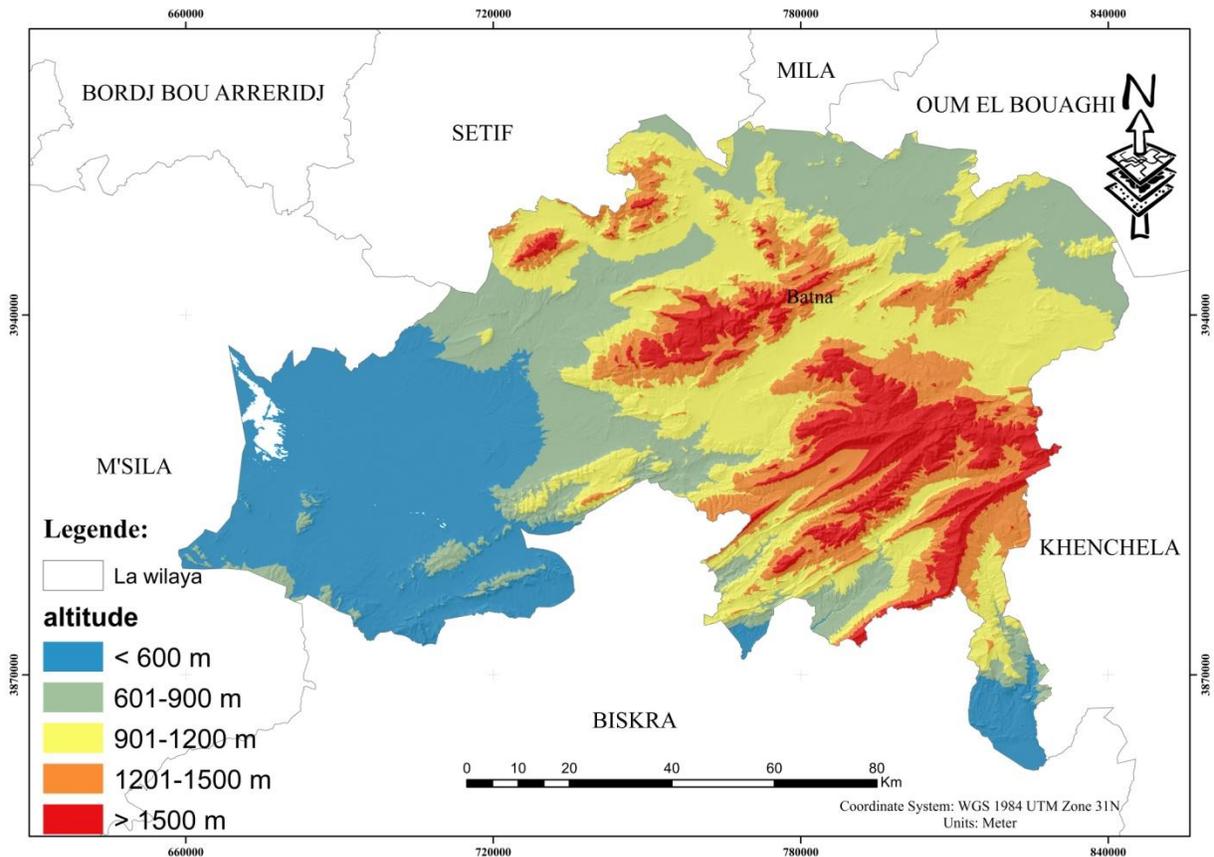


Figure 1.3- Carte des altitudes de la wilaya de Batna

1.2.2.2. Hydrographie, géologie et géomorphologie de la zone

A. Hydrographie

L'ensemble de la wilaya de Batna est réparti sur trois grands bassins versants selon la répartition faite par l'ANRH¹² :

- Le Bassin du Constantinois situé au Nord et Nord-est et qu'est caractérisé par la présence d'une série de Sebkhass, Garâats et Chotts qui marquent toute une série de cuvettes au passage vers les hauts plateaux Constantinois.

¹² Agence Nationale des Ressources Hydriques

- Le Bassin versant du Hodna situé à l'Ouest et caractérisé par la présence du Chott El Hodna, point d'arrivée de certains Oueds qui se dirigent vers le Sud-ouest, en particulier l'Oued de Barika et celui de Bitam.
- Le Bassin des Aurès-Nememcha qui occupe la partie Sud et Sud-est de la wilaya et dont les cours d'eau ont leur exutoire dans le Chott Melrhir en dehors des limites de la wilaya.

Signalons que tout le réseau hydrographique est étroitement lié aux précipitations ainsi qu'il est surmonté par une atmosphère à très fort pouvoir évaporant (Monographie, 2010). En conséquence, les ressources en eau dans les trois bassins versants, que ce soit les eaux superficielles ou les eaux renouvelables des nappes souterraines sont vulnérables.

B. Géologie

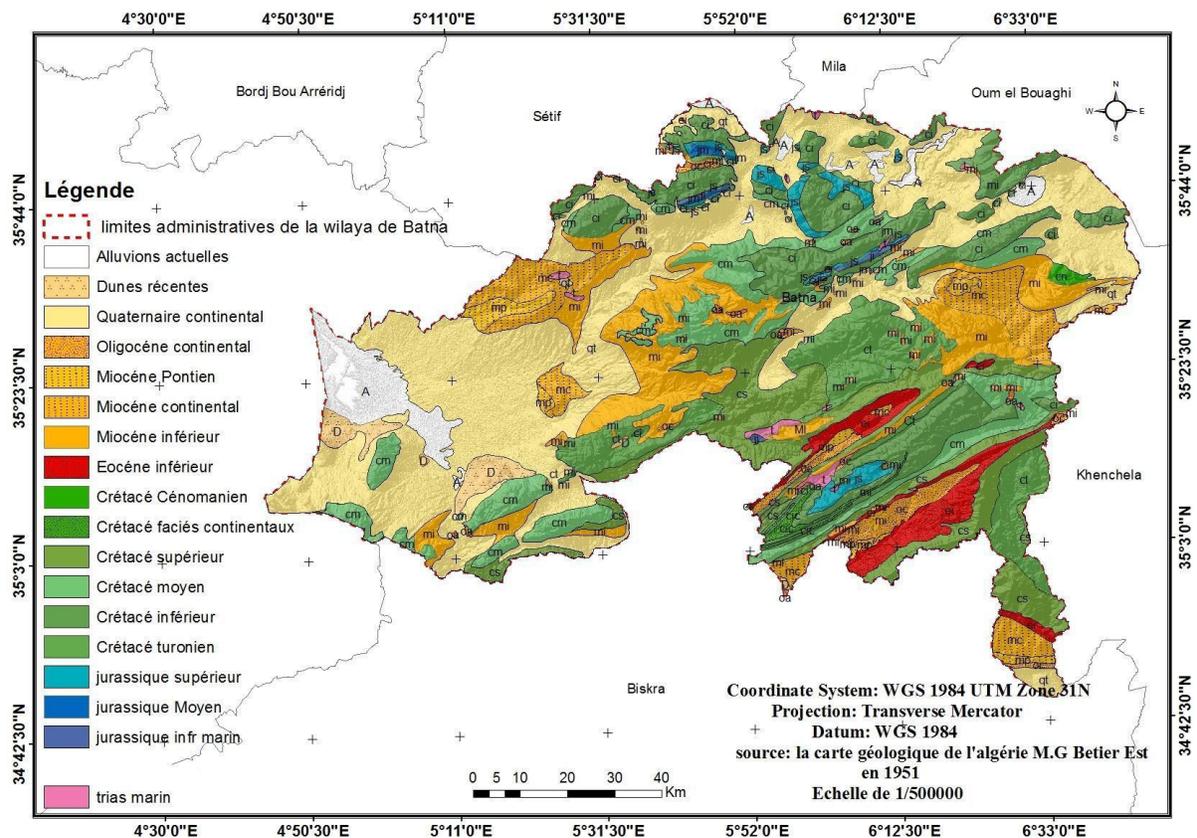
Rappelons d'abord que la géologie est à l'origine de la nature lithologique et des formes géomorphologiques. Conséquemment, elle nous permet de comprendre les types de sols sur lesquelles pousse la végétation.

Dans le cas de la zone étudiée, notre intérêt porte sur la géologie régionale et locale qui sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 1.1- Géologie de la zone étudiée.

Source : (Belkhiri, 2006).

Géologie régionale	La chaîne alpine d'Algérie orientale est constituée par la superposition de plusieurs types de séries définissables en général du Trias au Miocène. Les grands ensembles structuraux se subdivisent en trois grandes familles qu'on peut distinguer du Nord vers le Sud et qui sont d'origine interne, médiane et externe.	
Géologie locale	Litho stratigraphie	D'après l'inventaire stratigraphique dressé par plusieurs géologues et en particulier par Laffite (1939) in Belkhiri (2006), les terrains les plus anciens sont attribués au trias et les plus récents au Quaternaire.
	Tectonique locale	La région de Batna a été le siège d'une tectonique assez complexe surtout dans la partie septentrionale de la région. La tectonique prédominante est la tectonique Atlasique ayant abouti à des structures anticlinaux de même que les grandes fractures présentant de direction SW-NE. La présence des séries compétentes, constituées par des calcaires et dolomies qui présentent des formations résistantes, amène l'existence d'une tectonique cassante indiquée par des « horstes » et zones d'effondrement (Lambiridi-AinTouta). La présence des séries incompetentes; à dominante « Marneuse » et argileuse donnant des bombements anticlinaux et des plis à faible rayon de courbure. Le secteur étudié est limité du point de vue structural, de base, par l'ensemble allochtone Sud-Sétifien au Nord, et au sommet par l'ensemble para autochtone et autochtone au Sud.



Source : (Baziz, 2017)

Figure 1.4- Carte géologique de la wilaya de Batna

D. Géomorphologie

La région de Batna se compose essentiellement de hautes plaines du massif montagneux de l'Aurès et d'une portion de la cuvette du Hodna . La forme générale est montagneuse, traverse la région du l'Est ou l'Ouest. Notons aussi la présence d'une zone de plateaux sur la partie nord, et entre les chaînes montagneuses (Hannachi, 2010).

La géomorphologie du Nord-est présente un massif montagneux avec d'importants plissements de structure régulière dont les arêtes longues, rectilignes et minces, parallèles et serrées. Ce massif montagneux est caractérisé par :

- les plus hauts sommets d'Afrique du Nord (Dj Chélia, El mahmel, lahmar khadou et Dj Lazrag),
- de crêtes étroites séparés par de profondes vallées parallèles n'ayant entre elles que des communications difficiles : Oued Abdi et des hautes plaines.

1.2.2.3. Le couvert végétal et la désertification

La wilaya de Batna est l'une des plus grandes wilayas forestières du pays où le domaine forestier national s'étend sur 27 % de la superficie totale de la wilaya.

Une partie très importante de la superficie forestière est localisée au niveau des massifs de Belezma, Beni Fedhala, Z'gag, Bouarif, Beni Emloul et massif des Aurès.

Le patrimoine forestier de la Wilaya est constitué de formations végétales issues essentiellement de forêt et de maquis.

Il est important de signaler que les dernières décennies ont été marquées par une dégradation remarquable du couvert végétal dans la zone d'étude (Benmessaoud et al, 2009). D'après Yagoubi et Temar (2003), cette réduction du couvert végétal est due essentiellement à la pression humaine accentuée par l'influence de la désertification.

Les caractéristiques des formations végétales de la région étudiée sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 1.2- Caractéristiques des formations végétales de la zone étudiée.

Forêts	<p>Les forêts de la wilaya de Batna sont d'origine naturelle et se localisent particulièrement sur les versants Nord à relief accidenté couvrent une superficie d'environ 290.038 ha, soit 24 % de la superficie totale (Boukhtache, 2008).</p> <p>Le dixième de cette superficie (11%) est composé de Cèdre de l'Atlas plus ou moins à l'état pur, localisé sur les hauts versant nord à partir de 1800 m d'altitude au niveau des principaux massifs de Belezma, Z'gag Aurès et Chélia (Monographie, 2012).</p> <p>D'une manière générale, le patrimoine forestier de la région de Batna est constitué de formations végétales issues essentiellement des peuplements naturels à base de Pin d'Alep, Chêne vert, Genévrier oxycèdre, Genévrier de Phénicie, Frêne dimorphe, Genévrier Thurifère et Cèdre (Monographie, 2012 ; Boukhtache, 2008).</p> <p>Ce couvert végétal forestier se trouve, malheureusement, à différents niveaux de dégradation.</p>
Maquis	<p>D'origine naturelle également à base surtout de Chêne Vert qui représente près de 80 % et se localise au niveau de l'ensemble des massifs forestiers de la Wilaya.</p> <p>Rappelons que le maquis à l'état pur ou mélangé avec d'autres espèces surtout le Pin d'Alep et le Cèdre, il forme un sous-étage de ces essences. 20 % de ces Maquis sont à base de Genévrier et Phénicie (Monographie, 2012).</p>
Reboisements et plantations	<p>Issus de l'intervention humaine, ces peuplements sont constitués de :</p> <ul style="list-style-type: none">- reboisement à base forestiers de diverses espèces réparties selon les

diverses	<p>pourcentages suivants : 60% en Pin d'Alep, 20% en Cyprès, 10 % en Accacia Cyanophylla et 10 % par d'autres espèces (Frêne – Faux poivriers – Eucalyptus, ...etc.</p> <p>- plantations fourragères à base d'opuntia dans les zones rocheuses impropres à la sylviculture et dynamique de pédogenèse.</p>
Alfa	C'est une nappe alfatière qui a connu un stade de dégradation avancé par sa situation en zone aride de la Wilaya (Chraf, El Halfa) à Ain Touta et Seggana.

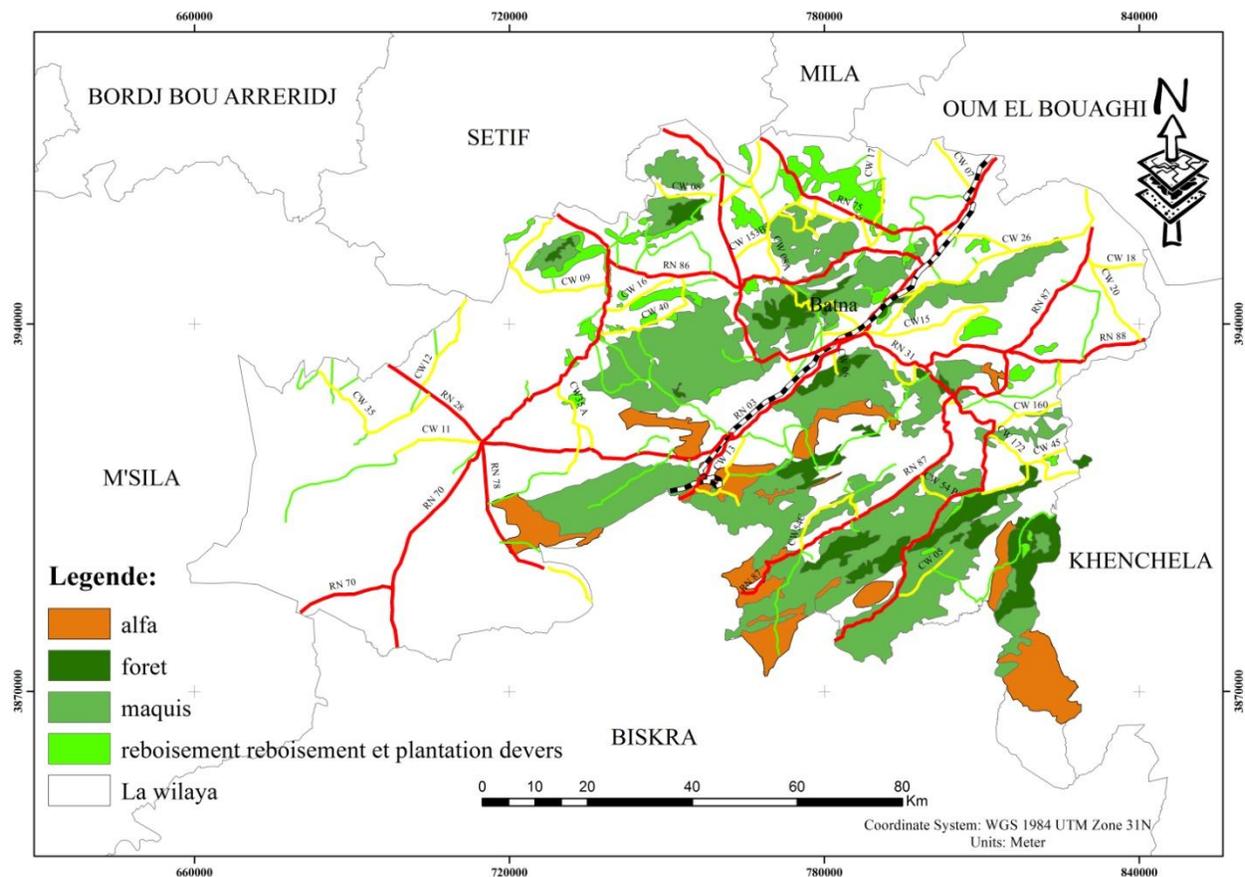


Figure 1.5- Carte des formations végétales dans la wilaya de Batna

1.2.3. Description socio-économique de la zone d'étude

1.2.3.1. Les principales communes

Selon le recensement du **DPAT (2008)**, la population de la wilaya de Batna s'élevait à 1.119.791 habitants avec un taux d'accroissement moyen entre 1998 et 2008 de 1,6 %. Une estimation au 31 décembre 2013 a donné 1.225.300 habitants dans toute la wilaya. La population est inégalement répartie sur la wilaya. La commune de Batna vient en tête avec 319.742 habitants (Monographie, 2014).

Le tableau suivant fourni le classement des principales communes de la wilaya de Batna selon la taille de leur population.

Tableau 1.3- Classement des principales communes de la wilaya de Batna suivant la taille de leur population.

N°	Commune	Population	Densité	N°	Commune	Population	Densité
1	Batna	319742	26,09	32	Zana elbaydha	11365	0,93
2	Barika	116769	9,53	33	Guigba	10517	0,86
3	Ain Touta	64809	5,29	34	Ichemoul	10 474	0,85
4	Merouana	41125	3,36	35	M'doukel	10247	0,84
5	Arris	33978	2,77	36	Ksar Belezma	9718	0,7
6	N'gaous	31920	2,61	37	Ouled ammar	9 959	0,81
7	Tazoult	31096	2,54	38	Taxlent	9053	0,74
8	Ras Elayoune	25086	2,05	39	Boumaguer	9117	0,74
9	Djezzar	25163	2,05	40	Elhassi	8 644	0,71
10	Oued el ma	22569	1,84	41	Fesdis	8741	0,71
11	Telkhempt	21368	1,74	42	Oued Chaaba	8184	0,67
12	Ouled Sellam	20773	1,70	43	Ghassira	7839	0,64
13	El maadher	20468	1,67	44	Boulhilet	7550	0,62
14	Oued taga	19382	1,58	45	Tigharghar	7275	0,59
15	Chemora	18369	1,50	46	Foum Toub	6 128	0,50
16	Gosbat	17862	1,46	47	Seggana	6525	0,53
17	Ain Djasser	17372	1,42	48	Chir	5605	0,46
18	Seriana	18058	1,47	49	Lazrou	5472	0,45
19	Sefiane	15937	1,30	50	Lemcen	5 434	0,44
20	Azil A.E.K	15736	1,28	51	Kimmel	5379	0,44
21	Mena	14535	1,19	52	Tighanimine	4358	0,36
22	Bouzina	13 673	1,12	53	Djarma	3676	0,30
23	O.S Slimane	13122	1,07	54	Inoughissene	3 510	0,29
24	Bitam	13634	1,11	55	Tilatou	3 454	0,28
25	Ouyoun el assafir	13313	1,09	56	Maafa	2815	0,23
26	Timgad	12373	1,01	57	Hidoussa	2411	0,20
27	Thniet el abed	11981	0,98	58	Ouled aouf	1939	0,16
28	T'kout	11479	0,94	59	Beni Fedhala	1776	0,14
29	Ain yagout	12076	0,99	60	Boumia	924	0,08
30	Rahbat	11954	0,98	61	Larbaa	0	0
31	Ouled Fadhel	11489	0,94	Total wilaya		1225300	100,00

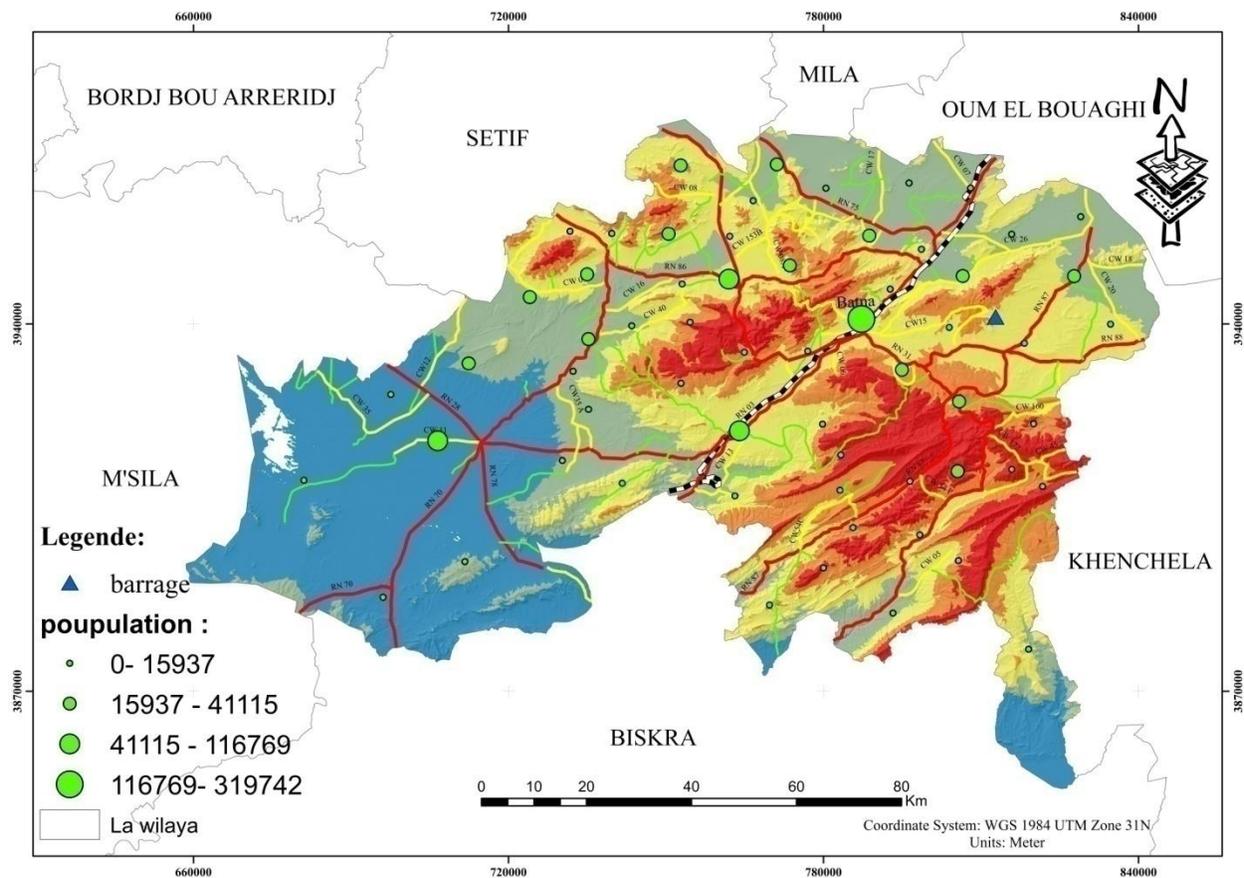


Figure 1.6- Carte d'occupations humaines

1.2.3.2. Les habitats

La répartition des logements est définie à partir de la croissance de la population dans la wilaya de Batna c'est à dire la croissance de la population est suivie logiquement par une croissance rapide du parc de logement. A ce propos, le parc de la wilaya de Batna à la fin de l'année 2013 se compose de 266.576 logements par contre au recensement de 2008 le parc logement était de 221.778. En 2014, il est de 281.226 logements.

La répartition du Taux d'Occupation des Logements (TOL) est comme suit :

- six communes ont un TOL supérieur à 6 personnes/logement,
- vingt communes ont un TOL comprise entre 5 et 6. Elles se situent au même niveau que la moyenne nationale,
- trente-cinq communes ont un TOL inférieur à 5.

1.2.3.3. L'agriculture et l'élevage

L'agriculture en Algérie demeure malgré tout un élément central de l'économie (Ghezlaoui, 2016). Dans ce contexte, la région des Aurès qui bénéficie des différenciations des altitudes et donc d'étagement climatique, est marquée par une agriculture variée (Benbouaziz, 2011) :

- sur les retombées à hiver frais, c'est l'arboriculture qu'est pratiquée,

- aux piémonts à climat aride, le pacage d'hiver et la culture sur épandage au printemps qui sont pratiqués,
- les hauteurs sont marquées par la pratique du pacage d'été et les cultures pluviales.

Pour résumer cette dimension socio-économique, nous rappelons que les différences climatiques de la région des Aurès conditionnent en grande partie l'arboriculture et à la céréaliculture auxquels s'ajoutent localement des cultures maraîchères au Nord et un élevage extensif et transhumant au sud. Cette transhumance est toujours d'actualité et se concrétise tous les ans par des déplacements d'hommes et de bêtes : l'hiver au sud, l'Été au Nord (Benmessaoud, 2009).

1.2.4. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

1.2.4.1. La température

La température est un facteur climatique très important qui joue un rôle considérable dans la répartition et la présence des espaces forestières et sur leur croissance.

La température est l'un des éléments les plus déterminants dans la caractérisation de la végétation. Elle a une action directe sur l'inflammabilité du combustible.

Le tableau et la figure suivants résument la répartition des températures moyennes mensuelles de la région des Aurès sur une période de plus d'une décennie.

Tableau 1.4- Répartition des températures moyennes mensuelles de la région de Batna sur la période 1990-2012.

Source : Météo de l'Aéroport Ben Boulaïd de Batna

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
T° _{min}	0,1	0,4	3,0	5,7	10,0	14,6	17,2	17,2	14,3	10,1	4,8	1,4
T° _{max}	12,0	13,4	17,1	20,0	25,9	32,1	35,6	35,0	29,3	23,9	17,5	12,8
T° _{moy}	5,6	6,6	10,0	13,0	18,1	23,6	26,7	26,1	21,5	16,7	11,1	6,6

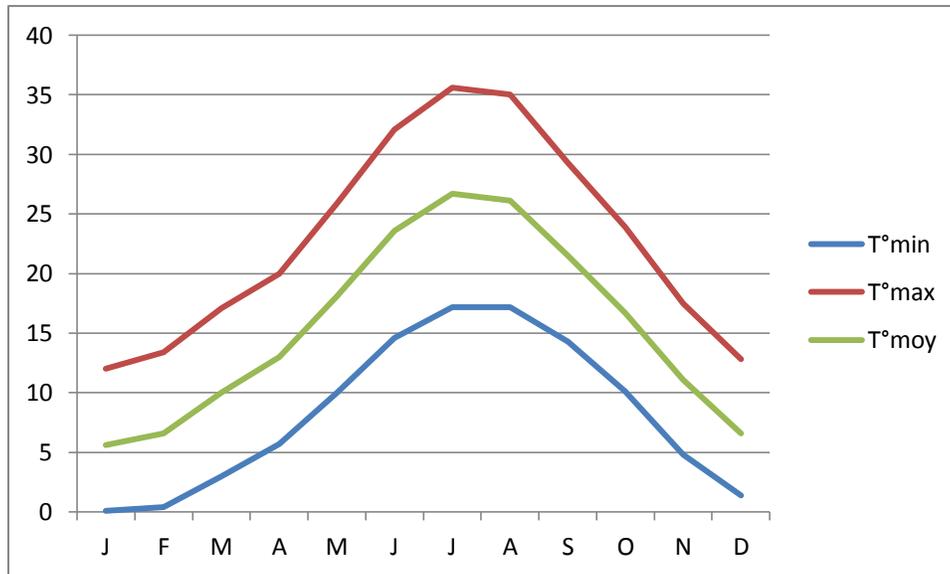


Figure 1.7 – Répartition des températures moyennes mensuelles (1990/2012)

Un examen de la figure ci-dessus montre que le mois de janvier est le mois où les températures sont les plus basses (0,1°C) et le mois de juillet est le plus chaud (35.6°C). En conséquence, un écart très important de 35.5°C marque ces deux extrémités. D’où la possibilité de déclenchement des incendies de forêts en période estivale.

1.2.4.2. Les précipitations

La variation des précipitations est remarquable dans la zone d’étude. En effet, les précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau de la station Ain Skhouna de Batna (Tableau 1.5) confirme nos propos.

Tableau 1.5- Variation des précipitations moyennes mensuelles de la région de Batna sur la période 1990-2012.

Source : Météo de l’Aéroport Ben Boulaid de Batna

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	32,0	25,7	31,5	38,2	47,6	15,3	7,3	18,6	37,7	25,0	26,6	31,7

La figure suivante illustre ces variations de précipitations où l’on remarque une différence pluviométrique importante entre les deux mois d’extrémités en termes de variations pluviométriques (47.6 mm pour le mois de Mai contre 7.3 mm pour le mois de juillet).

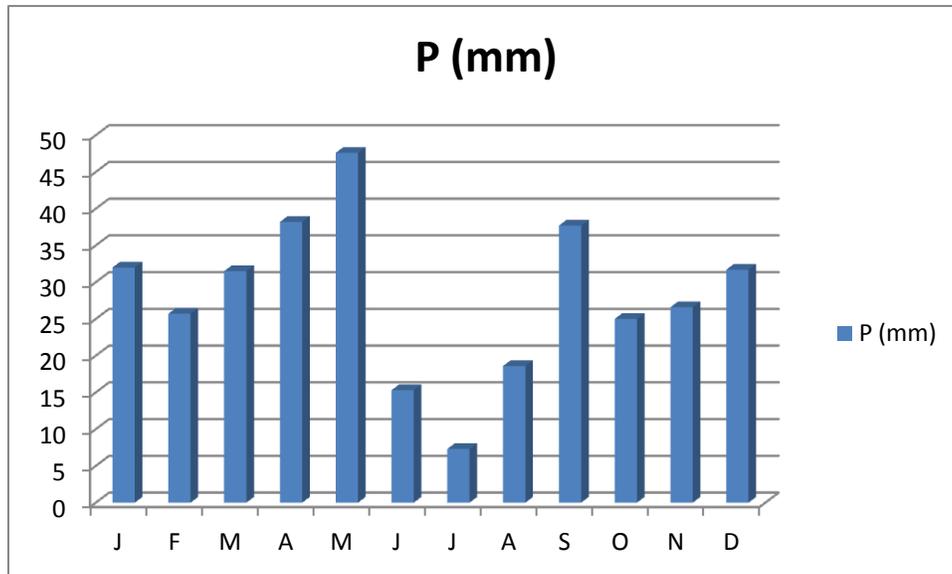


Figure 1.8 – Répartition des précipitations moyennes mensuelles (1990/2012)

Remarques: Ce qu'il faut noter est que le seuil de précipitations dans la région des Aurès est faible par rapport à la moyenne nationale. Ces précipitations varient d'une année à une autre mais avec une tendance vers la baisse.

1.2.4.3. Le vent

Les vents ont une influence directe sur les températures et l'humidité en activant dans une large mesure l'évapotranspiration. Les vents sont caractérisés par trois paramètres (Zaghdani, 2013) : fréquences, intensités et direction dominante.

La répartition annuelle des vents dans la zone d'étude est résumée par le tableau et figure suivants.

Tableau 1.6- Répartition de la moyenne mensuelle des vents dans la région de Batna sur la période 1990-2012.

Source : Météo de l'Aéroport Ben Boulaid de Batna

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
V (m/s)	3,0	3,2	3,6	3,8	3,6	3,7	3,7	3,4	3,4	3,2	3,3	3,2

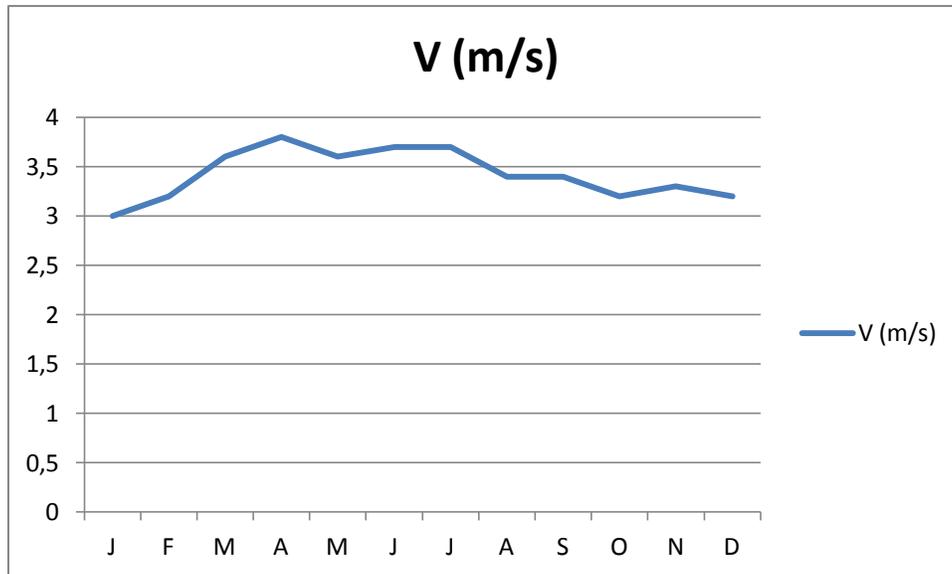


Figure 1.9 – Vitesses moyennes des vents dans la région d'étude (1990/2012)

La courbe de la figure ci-dessus montre que la vitesse moyenne maximale est de 3.8 m/s. Cette valeur est enregistrée dans la région d'Ain Skhouna au mois d'Avril.

Des études réalisées sur la même région montrent que cette dernière est soumise à des vents chargés de pluies versant du Nord-Ouest (Abdessemed, 1984 ; Houhamdi et al, 2012). Les vents de direction Sud-Ouest sont les plus dominants surtout le sirocco qui est un vent chaud est sec, à pouvoir desséchant qui engendre une augmentation brutale de la température.

Les vents généralement faibles sont à dominance Ouest à Sud-ouest et la vitesse moyenne calculée sur 22 ans est de 3.4 m/s (Houhamdi et al, 2012).

1.2.4.4. L'humidité relative

L'humidité est un paramètre qui permet d'exprimer l'état hydrométrique de l'air. L'humidité relative est un facteur très important qui contribue à la diminution des risques d'incendie de forêts.

La répartition des valeurs de cette humidité relative dans la région d'étude est fournie par le tableau et la figure suivants.

Tableau 1.7- L'humidité relative dans la région de Batna sur la période 1990-2012.

Source : Météo de l'Aéroport Ben Boulaid de Batna

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
H (%)	73	66	60	57	52	41	36	38	52	58	64	72

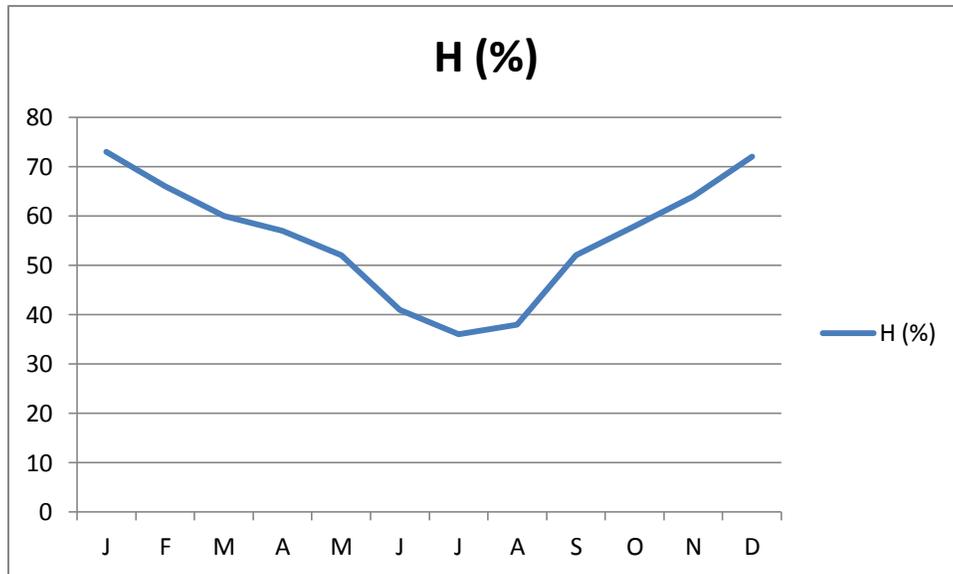


Figure 1.10 – Valeurs moyennes de l’humidité relative dans la région d’étude (1990/2012).

La courbe ci-dessus montre que les mois de janvier et décembre sont caractérisés par une humidité moyenne mensuelle de 73%. Le mois le moins humide est le mois de juillet avec une humidité moyenne mensuelle de 36% qui confirme le risque élevé d’incendie de forêt.

1.2.4.5. L’indice d’aridité

L’indice d’aridité de *Demartonne* (I) permet d’identifier le degré d’aridité d’une région d’étude (Sayah et Berreghui, 2014). Cet indice est fourni par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{(T+10)} \quad (1.1)$$

Avec : P = précipitation totale annuelle ; T = température moyenne annuelle.

L’intérêt de cet indice est qu’il permet d’effectuer la classification des climats en :

- hyperaride pour une valeur de I comprise entre 0 et 5 ($0 < I < 5$),
- aride pour une valeur de I comprise entre 5 et 10 ($5 < I < 10$),
- semi-aride pour une valeur de I comprise entre 10 et 20 ($10 < I < 20$),
- semi-humide pour une valeur de I comprise entre 20 et 30 ($20 < I < 30$),
- humide pour une valeur de I comprise entre 30 et 55 ($30 < I < 55$).

Compte tenu de la relation (1.1) et des valeurs P = 337.2 mm et T = 15.47 °C, la valeur de l’indice d’aridité de Demartonne calculé pour Ain Skhouna (Batna), est de 13,24. Ce résultat correspond à l’étage bioclimatique semi-aride.

1.2.5. Historique des incendies de forêts de la zone d'étude

1.2.5.1. Evolution des incendies de forêts

Les incendies de forêts figurent en tête de liste des risques environnementaux en Algérie qui connaît de plus en plus des périodes de sécheresse prolongées. Ces incendies se produisent chaque année avec des variations notables selon les années.

La zone d'étude, qu'est la région de Batna, ne fait pas exception à cette règle (tableau 8.1).

Tableau 1.8- Incendies de forêts dans la région de Batna (période : 1967-2014).

Source : Direction de forêts de Batna

Année	Nombre d'incendies	Superficie incendiée (ha)	Superficie incendiée (%)	Année	Nombre d'incendies	Superficie incendiée (ha)	Superficie incendiée (%)
1967	/	125,00	0,42	1995	5	1429,14	4,77
1968	/	125,00	0,42	1996	9	7,92	0,03
1969	/	0,00	0,00	1997	20	1412,64	4,72
1970	/	25,00	0,08	1998	9	20,52	0,07
1971	10	81,36	0,27	1999	24	1293,80	4,32
1972	2	3,01	0,01	2000	15	6,98	0,02
1973		2000,00	6,68	2001	34	2055,10	6,86
1974	6	6,07	0,02	2002	18	7,28	0,02
1975	5	563,00	1,88	2003	11	158,47	0,53
1976	3	31,00	0,10	2004	14	1131,00	3,78
1977	11	866,69	2,89	2005	47	1005,00	3,36
1978	/	25,00	0,08	2006	17	32,70	0,11
1979	0	0,00	0,00	2007	62	6176,87	20,63
1980	0	0,00	0,00	2008	15	21,00	0,07
1987	20	49,94	0,17	2009	28	724,62	2,42
1988	23	38,73	0,13	2010	49	2859,07	9,55
1989	3	13,32	0,04	2011	30	29,77	0,10
1990	6	0,14	0,00	2012	74	7125,79	23,80
1991	11	29,48	0,10	2013	43	179,97	0,60
1992	17	4,90	0,02	2014	30	208,10	0,70
1993	26	66,45	0,22	Total	707	29940,22	100
1994	10	0,38	0,00				

Les données du tableau ci-dessus couvrent une plage de temps de quatre décennies (42 ans). Au cours de cette période, la surface brûlée cumulée atteint presque les 300.000 hectares de forêts et d'espaces naturels (soit une moyenne de 739,29 hectares sur la période étudiée). Le nombre moyen de départ de feux sur la même plage du temps est de 16.83 foyers par an (soit en moyenne 1.4 foyers par mois).

Il faut noter que l'année la plus touchée durant cette période est bien l'année 2012 (72.6 fois supérieur au nombre moyen d'incendies de forêts). Les années les moins touchées sont les années 79 et 80 avec zéro incendie de forêts.

Les données du même tableau montrent une étroite relation entre nombre d'incendies et surfaces incendiées (ces deux données sont proportionnelles).

Une représentation de cette évolution d'incendies de forêts sous forme d'une courbe et par tranche de décennies montre une nette évolution des incendies de forêts pour la dernière décennie 2005-2014 (figure 1.5).

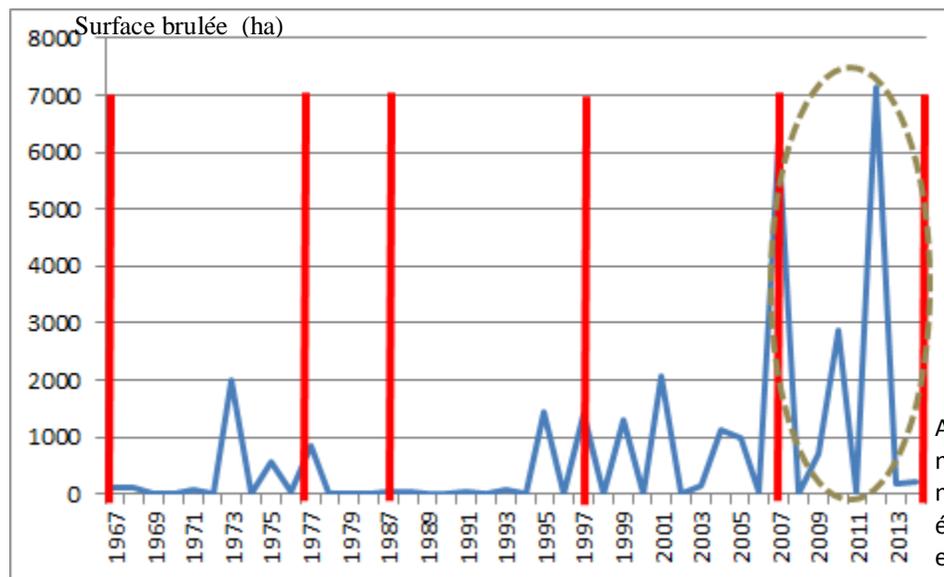


Figure 1.11- Evolution des incendies de forêts dans la région de Batna (période : 1967-2014).

Une analyse plus fine du risque d'incendies de forêts dans la région de Batna montre que l'ampleur de ce risque trouve ses explications dans : la nature de la végétation qui compose les forêts de cette région, le climat favorable à ce risque et qu'est caractérisé par un été chaud et sec, un relief mouvementé et des sociétés à forte démographie.

Ces faits marquants forment, donc, l'indice révélateur des grands risques d'incendies de forêts.

Une étude plus approfondie de l'évolution des incendies de forêts dans la zone d'étude est présentée en annexe.

1.2.5.2. Causes des incendies de forêts

L'origine d'un incendie de forêt est souvent difficile à cerner pour causes d'absence de preuves matérielles concrètes. En conséquence, souvent le pourcentage des causes inconnues est très important. Ce constat est confirmé par la Direction des forêts de la wilaya de Batna.

Indépendamment de ce constat frappant, les causes des incendies de forêts ont pour origines :

- les causes naturelles (ou climatiques) telles que la sécheresse et les vents qui sont les plus plausibles¹³,
- les causes humaines (ou anthropiques) où les populations humaines sont souvent à l'origine de déclenchement des feux de forêts. Ces causes sont à leur tour scindées en causes volontaires (actes de sabotage et/ou de malveillance) et involontaires (travaux agricoles, travaux forestiers et autres cas d'imprudence).

1.2.5.3. Impacts des incendies de forêts

Les incendies de forêts ont des impacts multiples ; notamment sur l'homme et ses environnements naturel et artificiel.

En effet, les incendies de forêts peuvent avoir des conséquences néfastes sur les zones d'activités : urbaines, de tourisme, de loisirs et même agricoles. Ces diverses zones présentent, donc, une vulnérabilité variable selon le risque d'incendie de forêts.



Figure 1-12 – Arbres brûlés, exemple d'un cas d'incendie de forêt Kimel.

Il est important de rappeler que l'impact des incendies de forêts est hétérogène, non seulement dans son action sur des écosystèmes différents, mais également dans l'espace et dans le temps au cours d'une même épisode. A ce propos, [Zouaidia \(2006\)](#) souligne que si les incendies ne sont pas fréquents, la végétation cicatrise après incendie (c'est à dire que ce sont les espèces qui existaient avant le feu qui se réinstallent après son passage).

Un autre aspect relatif aux impacts des incendies de forêts concerne le sol forestier où le passage d'un incendie peut entraîner une perte en éléments minéraux. Heureusement que ces pertes sont, en partie, compensées par les apports liés au matériel végétal brûlé.

¹³ L'annexe A1 présente l'apport de ces types de causes pour le départ des feux de forêts.

Un autre impact des incendies de forêts qui mérite d'être souligné concerne la microfaune et la microflore. Dans ce contexte, le bilan sur la faune et la flore est très variable selon le type d'incendie et selon les espèces concernées. Car, les animaux du sol et la microflore sont les moteurs du fonctionnement du sol forestier. Ils sont obligatoirement touchés par le passage des incendies au moins ceux des couches superficielles du sol (Zouaidia, 2006).

Enfin, il est impératif d'évoquer dans ce survol sur les impacts des incendies de forêts, leurs conséquences hydrologiques. A ce propos, Zouaidia (2006) souligne que les forêts permettent une meilleure utilisation des réserves en eau du sol par les systèmes racinaires et une forte interception de l'eau par la surface foliaire. Après un feu, le couvert végétal disparaît dans la plus part du temps, le sol est couvert de cendres et de charbon de bois, il n'y a donc plus d'interception des précipitations par les houppiers et l'énergie des gouttes d'eau n'est pas brisée par les cimes. Enfin, il n'y a plus d'humus pour jouer un rôle d'éponge. Les précipitations sont donc beaucoup plus agressives sur un sol qui n'est plus protégé et le danger de reprise d'érosion est très élevé. En effet, pendant les premières années de reprise végétale, une érosion hydrique importante et des crues impulsionnelles provoquées par le ruissellement sur les versants mis à nu par un incendie peuvent avoir lieu lors de violentes pluies.

Conclusion

Le long de ce chapitre, nous avons introduit les données et informations permettant d'évaluer la vulnérabilité de la zone étudiée face aux risques d'incendies de forêts.

Nous avons rappelé également qu'un incendie de forêt est la conséquence directe des agressions naturelles amplifiée par des actions humaines. De même, les rappels présentés dans ce chapitre confirment que les incendies de forêts restent parmi les plus dangereux et les plus complexes : un bon nombre de paramètres influent sur le comportement du feu de forêts. D'où la nécessité d'anticiper le schéma d'éclosion et de propagation d'un feu de forêt moyennant une gestion efficace et durable du risque d'incendies de forêts.

Ceci fera l'objet du chapitre suivant.

2

A propos de la gestion des risques d'incendies de forêts

Dans ce chapitre nous rappelons, dans un premier temps, les principales notions associées à la gestion du Risque d'Incendies de Forêts (RIF). Ces rappels de base nous permettent de mettre en exergue l'utilité d'une collaboration étroite entre les différents acteurs de la gestion du RIF grâce à une politique globale d'aménagement et d'entretien des espaces forestiers.

Dans un second temps, nous détaillerons le système d'incendie de forêt ainsi que le modèle de catastrophe qui sert comme cadre de présentation de nos contributions que nous détaillerons dans les chapitres suivants du présent manuscrit (chapitres 3 et 4).

2.1 Généralités sur le Risque d'Incendies de Forêts (RIF)

2.1.1. Définition d'un risque d'incendie de forêt

Un risque d'incendie de forêts (RIF) est un risque naturel qui implique l'exposition des écosystèmes, populations humaines et de leurs infrastructures à un événement catastrophique d'origines diverses (Amouric, 1992).

Un RIF est, donc, la rencontre entre un aléa et des enjeux qui sont du type humains, économiques et environnementaux.

Un RIF peut devenir un risque majeur si les dégâts sont importants. Dans ce cas, certains acteurs de prévention des risques naturels¹⁴ préfèrent l'usage des termes « *état de catastrophe naturelle* » qui matérialise les effets d'une catastrophe naturelle.

Indépendamment de cette vision des assurances, une catastrophe résulte de la combinaison de l'aléa, de la vulnérabilité et de l'incapacité à réduire les conséquences négatives du RIF.

¹⁴ Les assureurs en particulier.

Cette définition de la catastrophe nous amène à rappeler le quadruplet « risque-aléa-enjeux-vulnérabilité ».

En effet, un risque naturel est défini par :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Enjeux} \quad (2.1)$$

Le risque est donc la confrontation d'un aléa (incendie de forêt, dans notre cas) et d'une zone géographique où existent des enjeux qui peuvent être humains, économiques ou environnementaux.

- i) L'aléa est défini par l'intensité et les occurrences spatiale et temporelle du phénomène dangereux. L'intensité¹⁵ traduit l'importance du phénomène étudié.
La probabilité d'occurrence spatiale de l'aléa naturel est conditionnée par des facteurs de prédisposition alors que la probabilité de son occurrence temporelle dépend de facteurs déclenchant. Cette seconde probabilité peut être estimée qualitativement (négligeable, faible, forte) ou quantitativement (période de retour du phénomène). La durée du phénomène doit être également prise en compte (durée des incendies, par exemple).
Les facteurs qui interviennent dans l'aléa sont multiples mais les plus importants sont : sources de chaleurs (flammes et étincelles), les conditions météorologiques (vent et sécheresse) et la végétation (les différents strates, les essences et le relief).
- ii) La vulnérabilité dépend des éléments exposés (comportement et résistance). Elle traduit donc la fragilité de ces éléments (leurs capacités à s'opposer à l'aléa).
Mieux encore, la vulnérabilité traduit la résistance (capacité de résister à un phénomène dangereux) et la résilience (sa capacité à récupérer son état initial). Ainsi, la vulnérabilité d'un milieu est d'autant plus faible que sa résilience est plus grande. Enfin, la vulnérabilité est relative à une zone pour une période de temps bien déterminée.
- iii) Le risque est mesuré souvent en termes de gravité et de probabilité et peut donc représenté sous forme d'une matrice de criticité qui a l'avantage de situer le risque par rapport à ces domaines d'acceptabilités. Un autre intérêt de cette matrice des risques est la définition des politiques de prévention et de protection (figure 2.1)

¹⁵ Pour le cas des incendies de forêts, l'intensité peut être mesurée par l'humidité du sol (par exemple) ou bien estimée par la vitesse de déplacement de la fumée (par exemple).

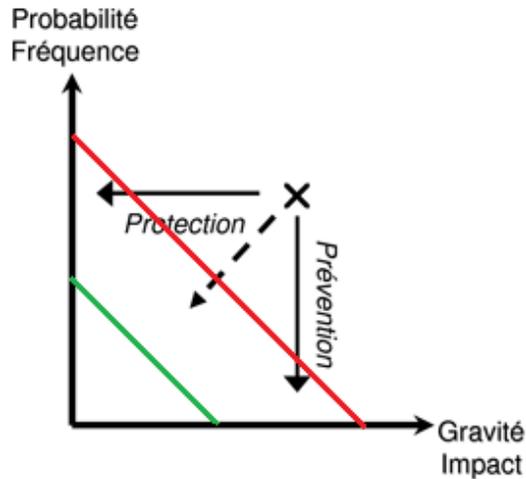


Figure 2.1 - Matrice des risques.

- iv) La probabilité du risque peut être formulée par le biais des éléments suivants : Danger et Situation Dangereuse. En effet et d'après [Desroches \(2005\)](#), le risque associé au danger est défini par la nature du danger, son niveau de dangerosité et la probabilité d'occurrence de ce niveau. Parallèlement, l'élément vulnérable est défini par sa nature, son niveau de vulnérabilité à un danger prédéfini.

Une Situation Dangereuse (SD) est définie par la relation suivante :

$$SD = D \cap E_C \quad (2.2)$$

Avec : D étant le danger et E_C est l'Évènement Contact.

Étant donné la dépendance entre les éléments de la situation dangereuse (D et E_C), la probabilité d'occurrence d'une situation dangereuse est fournie par :

$$\Pr(SD) = \Pr(D) \times \Pr(E_C/D) \quad (2.3)$$

Un Incendie de Forêt (IF) est, donc, défini par :

$$IF = SD \cap E_A \quad (2.4)$$

Où : E_A est l'évènement Amorce

L'intérêt des trois relations ci-dessus est qu'elles permettent de formuler la probabilité d'Incendie de Forêt (IF) qu'est exprimée par :

$$\Pr(IF) = \Pr(SD) \times \Pr(E_A/SD) \quad (2.5)$$

Les relations (2.3) et (2.5) permettent d'obtenir :

$$\Pr(IF) = \Pr(D) \times \Pr(E_C/D) \times \Pr(E_A/SD) \quad (2.6)$$

La relation (2.6) suscite deux remarques :

- le produit $\Pr(E_C/D) \times \Pr(E_A/SD)$ correspond à la probabilité d'exposition de l'élément vulnérable du milieu au danger du feu de forêt,
- si les causes du feu de forêts sont internes à une zone donnée (foyer de naissance du feu), l'évènement E_C peut être considéré comme certain. D'où :

$$\Pr(EC/D) = 1 \quad (2.7)$$

- Dans le cas d'une catastrophe naturelle d'une région (feux de forêts qui touchent toute la région), l'évènement E_A peut être également considéré comme certain. D'où :

$$\Pr(EA/SD) = 1 \quad (2.8)$$

2.1.2. La trilogie Danger - Risque - Catastrophe

Dans la relation (2.2) ci-dessus, la situation dangereuse est exprimée en fonction du danger. Ce dernier existe indépendamment de la présence d'unités vulnérables au sol. Il est uniquement dû à la présence d'un aléa, car il est inhérent aux effets catastrophiques du phénomène (le danger de feux de forêts est inhérent à la température due à la sécheresse).

Le danger est une source d'accident potentiel (menace des populations par les feux de forêts). D'où l'enjeu qu'est défini par l'impact causé par cette menace sur la population. L'association danger/menace permet de définir *qualitativement* le RIF (relation 2.1). En conséquence, la relation suivante correspond à la définition quantitative du RIF :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \quad (2.9)$$

Enfin, la catastrophe (naturelle, dans notre cas) est la réalisation du RIF. La catastrophe est caractérisée essentiellement par l'ampleur des dégâts causés par le RIF :

$$\text{Catastrophe} = \text{Accident} \times \text{Dommage} \quad (2.10)$$

2.1.3. Gestion d'un risque d'incendie de forêt

La gestion du RIF est un processus qui a pour but d'agir sur RIF par le biais de trois types d'actions qui sont complémentaires (Denis-Rémis, 2007):

- une action à court terme qui consiste en une *prévision* du RIF : c'est-à-dire d'anticiper son occurrence afin d'en optimiser sa gestion durant tout son cycle de vie (avant, pendant et après son occurrence),
- une action à moyen terme qui consiste en une *prévention* du RIF : c'est une action qui porte sur la probabilité d'occurrence¹⁶ du RIF en référence à la relation (2.9),

¹⁶ Si l'action porte sur la gravité du RIF (composante vulnérabilité en référence à la relation 2.10), l'action engagée est une action de protection.

- une action de moyen à long terme qui consiste en une instauration d'une culture du risque qui vise à favoriser la prise de conscience du RIF par les populations.

Ces trois actions sont cadrées également par trois approches de gestion des risques qui sont à leur tour complémentaires (figure 2.2) :

- l'approche scientifique qui s'attache à identifier, évaluer et maîtriser le RIF. En ce sens, cette approche est directement liée aux actions de prévision et de prévention du RIF ;
- l'approche sociétale qui évalue l'acceptabilité individuelle et sociale du risque. En ce sens, elle est directement rattachée à l'aspect « culture du risque » ;
- l'approche réglementaire qui édicte les actions nécessaires mais surtout obligatoires à engager pour faire face au RIF.

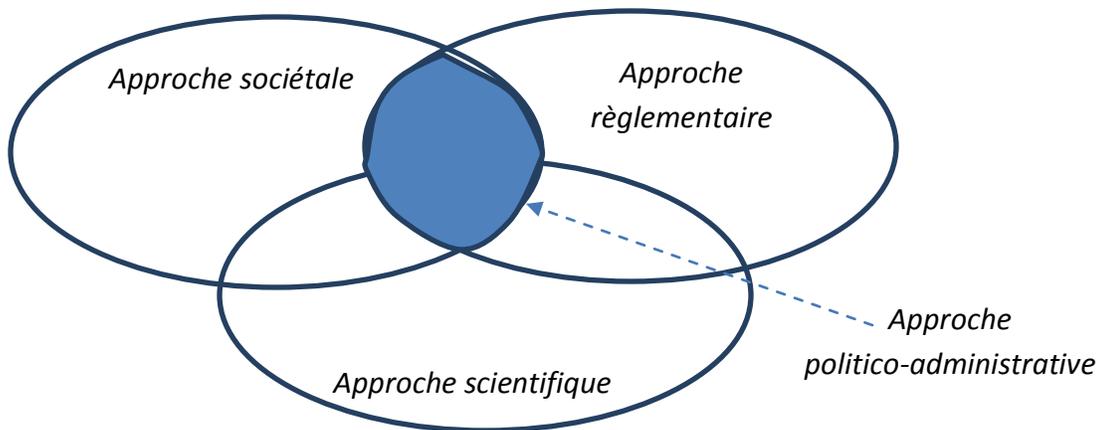


Figure 2.2 – Complémentarités des approches de gestion des risques.

Ces trois approches sont concrétisées sur le terrain par une approche politico-administrative qui vise, d'une part, à mettre en place des actions en faveur du RIF issues des trois approches précédentes et, d'autre part, à enclencher un processus de gestion de crise en cas d'occurrence du RIF.

Il est important de rappeler que l'approche scientifique de gestion des risques s'articule à son tour suivant deux approches qui sont du type probabiliste ou bien déterministe :

- L'approche probabiliste du risque est abordée suivant la définition retenue pour l'aléa (Givone, 1998) :
 - l'aléa peut être abordé selon sa définition (probabilité d'occurrence d'un événement donné). C'est notamment le cas pour les études de risque où l'événement est quantifié de manière simple (par exemple : température ambiante). Il est alors plus commode d'exprimer l'aléa en période de retour,
 - l'aléa peut être abordé sous forme descriptive et s'exprime comme une simple fréquence empirique des incendies de forêts constatés à partir du retour d'expérience,

- l'aléa peut être abordé sous forme de classifications spatiales (zonage des peuplements forestiers, par exemple) selon plusieurs paramètres. Cette piste est empruntée dans le cas où l'aléa¹⁷ peut intégrer à la fois les valeurs de fréquence et d'intensité du phénomène incendies de forêts. Cette piste est intéressante pour mettre en évidence la vulnérabilité¹⁸ dans une perspective décisionnelle.
- L'approche déterministe du risque basée sur l'étude de la composante « vulnérabilité » du RIF. Dans ce contexte, cette composante correspond à une mesure de l'endommagement des entités menacées par le RIF. Alors, deux démarches sont possibles pour l'évaluation déterministe de la vulnérabilité (Chaline et Dubois-Maury, 1994) :
 - la démarche factuelle qui est une mesure a posteriori de la vulnérabilité, exploitant les données des services de secours (lieux d'occurrence, montant des dommages directs et immédiats),
 - la démarche prospective qui est mesure fondée sur l'étude a priori des sources de danger et des facteurs démultipliant les risques et les enjeux (densité, morphologie urbaine, ... etc).

Les deux approches probabilistes et déterministes évoquées ci-dessus ont pour finalité la détermination du niveau du risque. Ce niveau de risque est représenté sous forme apte à être exploiter comme un outil d'aide à la décision (figures 2.3 et 2.4).

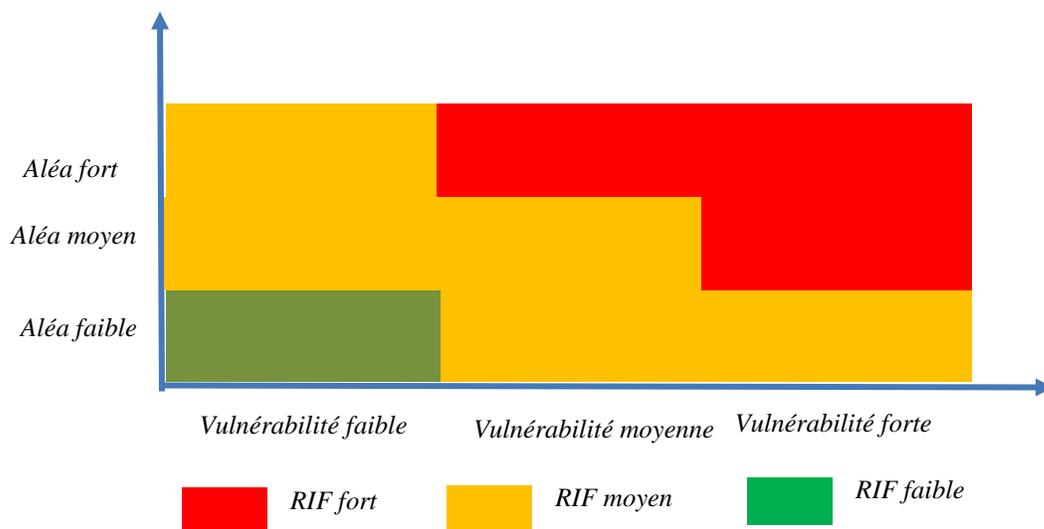
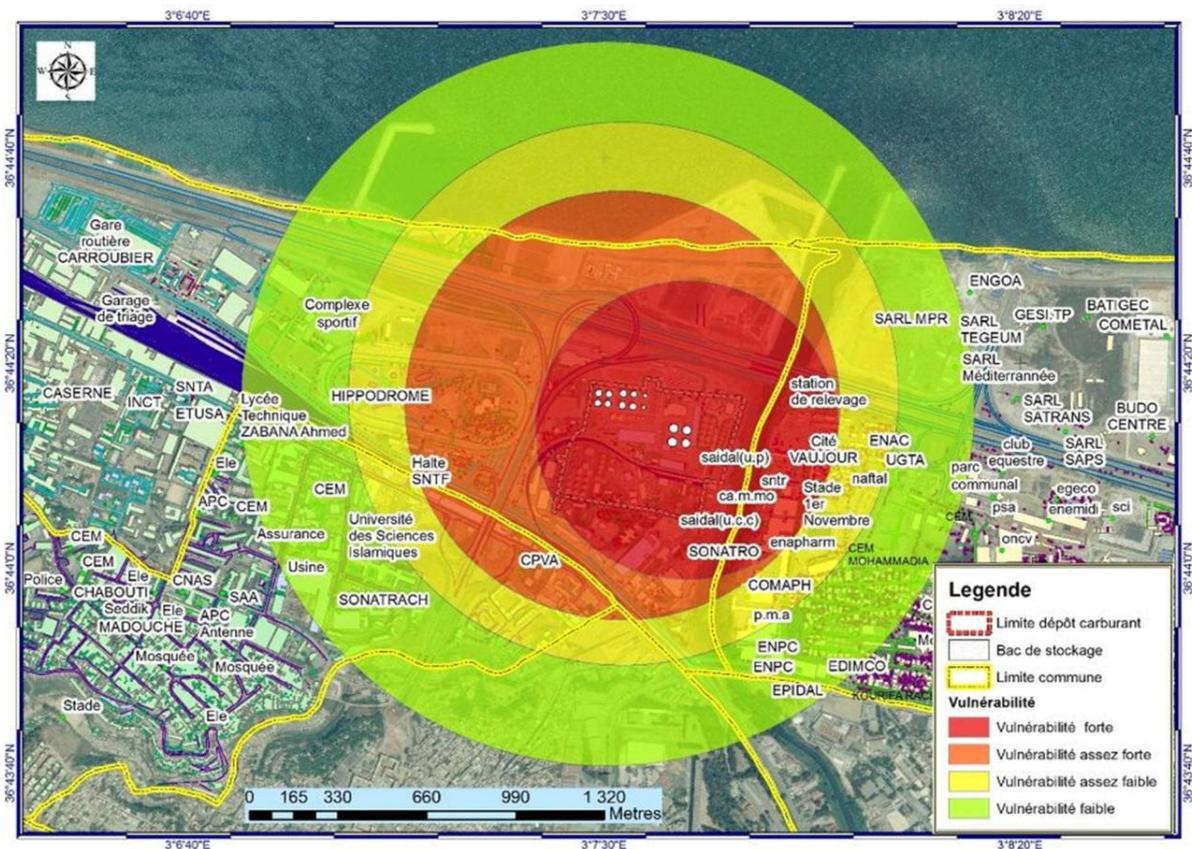


Figure 2.3 – Exemple des niveaux du RIF fournis par l'approche probabiliste.

¹⁷ Ceci est valable dans le cas où l'ampleur de cet événement est très fluctuante aléatoirement et spatialement

¹⁸ Il est important de souligner que, suivant cette troisième piste, la vulnérabilité correspond à un facteur aggravant de l'aléa.



Source : Image satellite Google Earth version 4 et Base de données SIG

Figure 2.4 – Exemple de la vulnérabilité d'un site issue d'une approche déterministe du risque.

2.2 Le Système d'Incendies de Forêts (SIF)

D'une manière générale, un système est un ensemble de constituants qui forment un tout structuré et qui ont la même finalité qui justifie la raison d'être du système.

Partant de cette définition générale d'un système, le SIF est composé principalement de : l'homme, le climat, la topographie, la végétation et la faune.

L'étude du SIF ou plus précisément, l'analyse du RIF nous conduit à considérer les interactions entre les constituants du SIF en termes de constituant actif -sous-système source- et constituant passif -sous-système cible- (figure 2.5).

Les interactions entre les constituants du SIF permettent, non seulement, l'étude du SIF en termes de causes/effets (sous-système source/sous-système cible) mais également d'analyser l'évolution de l'incendie de forêts dans l'espace et dans le temps (analyse spatio-temporelle). Autrement dit, le SIF est un système multi-phases (Dupuy, 1997) : phase d'avant l'occurrence de l'incendie de forêt, phase d'éclosion, phase de la propagation et phase de l'après incendie de forêt.

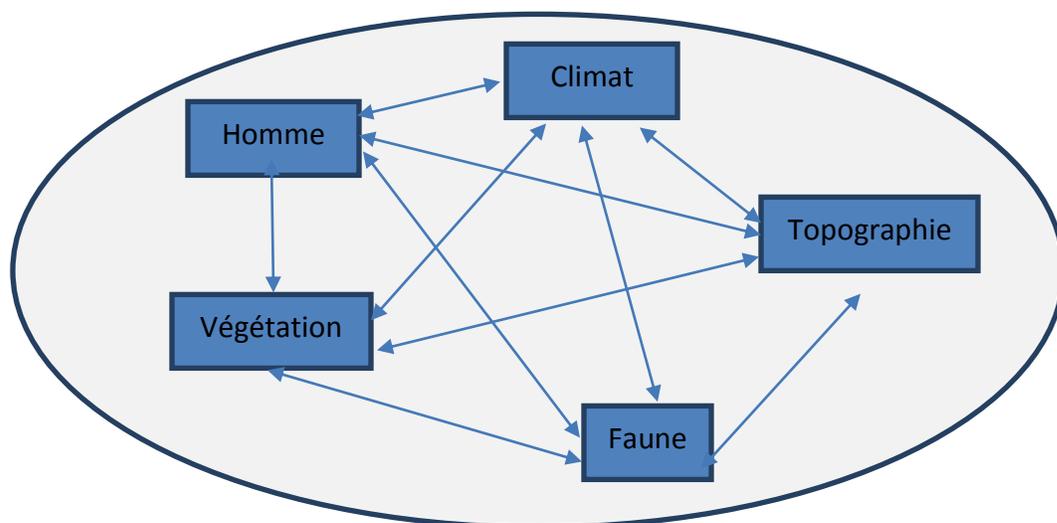
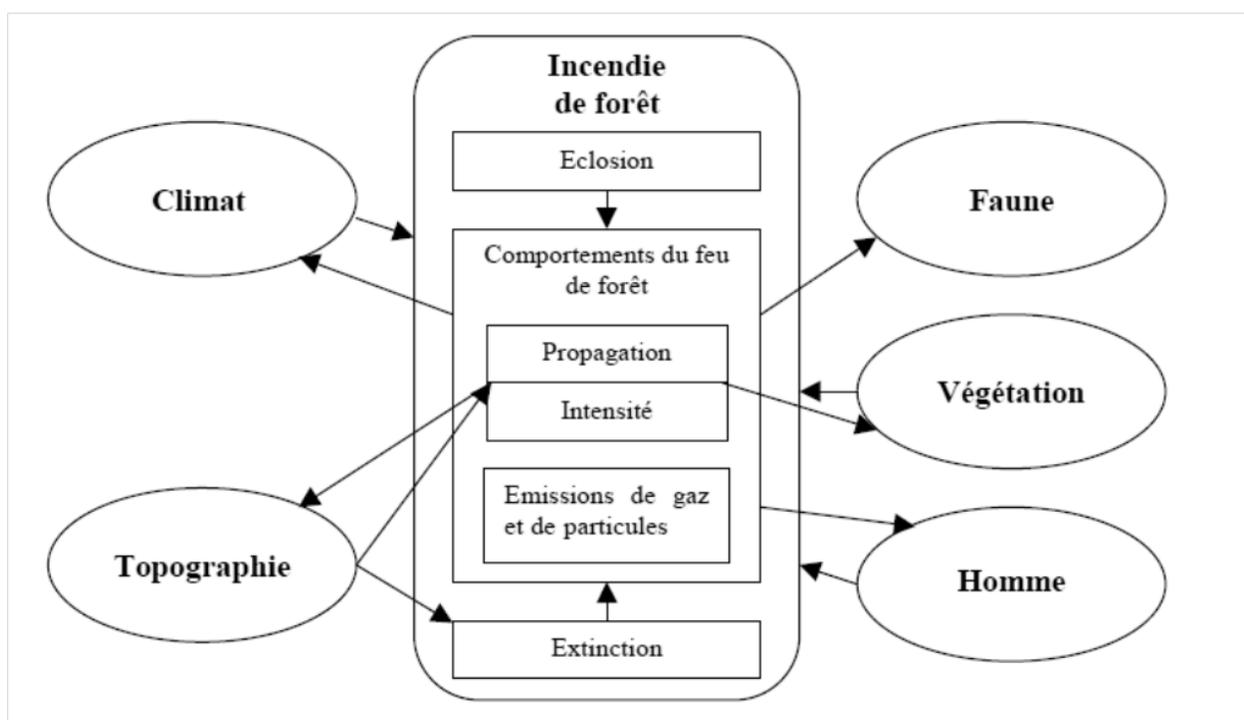


Figure 2.5 – Constituants du SIF.

L'objet de l'analyse spatio-temporelle est d'étudier l'évolution du SIF tout en tenant en compte des interactions entre ses constituants (figure 2.6),



Source : (Napoli, 2001)

Figure 2.6 – Analyse spatio-temporelle du SIF.

D'après Dupuy (1997), l'analyse spatio-temporelle du RIF permet de mieux appréhender le phénomène incendie de forêts. En effet, cette analyse sert comme support de base pour préparer

la modélisation d'une démarche expérimentale qui débute par la délimitation de la zone d'étude du RIF.

L'intérêt de considérer les phases du SIF est évident : permet aux analystes du SIF de réduire les constituants du SIF au niveau de chacune de ses phases. Pour illustrer nos propos, nous rappelons qu'en phase d'avant incendie de forêt, le constituant du SIF « faune » n'est pas une cause plausible du phénomène incendie de forêt. De même, pendant la phase d'éclosion, l'élément du SIF « topographie » n'est pas une cause plausible du phénomène incendie de forêt.

Cette réduction se poursuit en s'intéressant également aux éléments du SIF en tant que sous-systèmes cibles. Par exemple, en phase d'éclosion, l'interaction vers les éléments « climat » et « topographie » est nulle¹⁹.

Enfin, pour les autres éléments du SIF retenus durant les phases de vie du SIF en tant que sous-système source ou bien sous-système cible, l'intérêt des interactions réside dans la mise en exergue de l'influence des éléments du SIF sur le RIF et inversement²⁰.

A notre avis, l'intérêt de l'analyse du SIF est que cette analyse permet d'alimenter le modèle de catastrophe que nous présentons ci-après.

2.3 . Le modèle de catastrophe

Le but de cette section est d'effectuer un bref survol du modèle de catastrophe et ses apports dans l'évaluation des désastres causés par les incendies de forêts. A notre avis, l'intérêt de ce modèle de catastrophe réside essentiellement dans sa focalisation sur ces désastres qui sont en augmentation continue (IARD, 2013).

Pour les incendies de forêts, ce modèle est construit des variables aléatoires²¹ qui caractérisent l'occurrence et la sévérité des incendies de forêts, aussi bien que leur conséquences potentielles de perte (Grossi et al, 2005).

Le modèle de catastrophe est détaillé ci-après.

2.3.1. Fondements et formalisme du modèle de catastrophe

Etant donné que le modèle de catastrophe se focalise sur les pertes engendrées par les catastrophes (IF, dans notre cas), son principe fondamental est basée sur la combinaison de la représentation mathématique d'occurrence des sinistres avec les caractéristiques scientifiques du risque assuré pour générer une distribution de pertes (Cohen-Salamon et Fongang, 2014).

¹⁹ Ceci s'explique par le fait que l'influence de l'incendie de forêt sur ces éléments est nulle.

²⁰ Pour plus de détails sur ces interactions, le lecteur pourra consulter la référence (Napoli, 2001).

²¹ Car l'IF est entaché de multiples incertitudes d'intensité et de distributions temporelle et spatiale.

Plus précisément et comme tout modèle, le Modèle de Catastrophe (MC) est définie par (figure 2.7) : ses entrées, ses sorties et ses principales parties qui le composent.

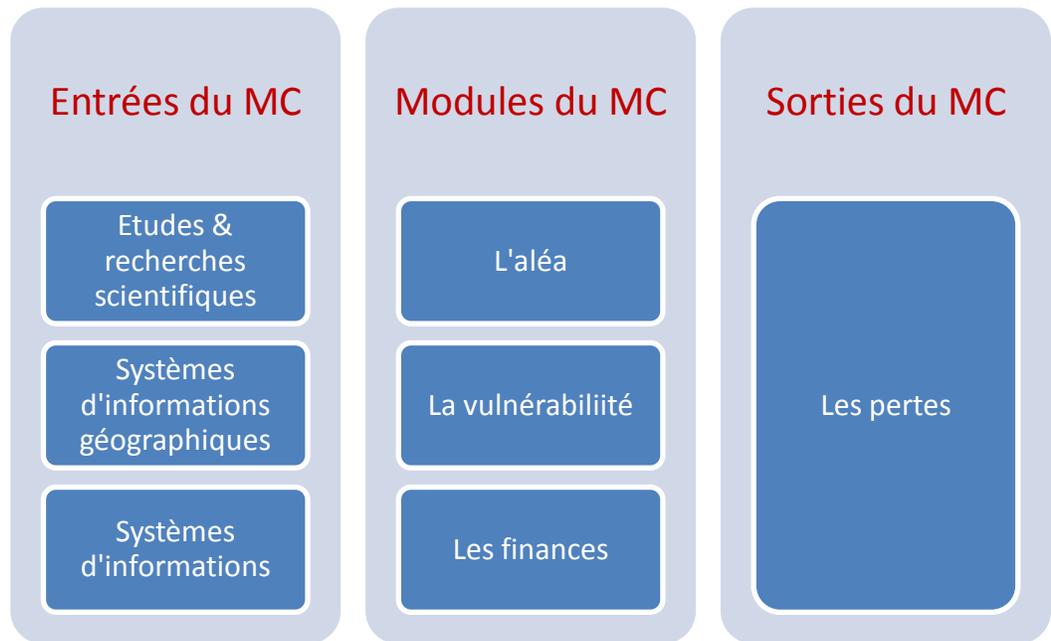


Figure 2.7- Constituants du modèle de catastrophe.

L'ensemble des constituants du MC sont détaillés ci-après.

2.3.1.1. Les entrées du modèle de catastrophe

D'après la figure 2.7, les entrées du MC sont les suivantes :

- i) La première entrée du MC, qu'est la recherche scientifique relative aux catastrophes naturelles, permet de fournir toute la connaissance scientifique indispensable pour la gestion et la maîtrise du RIF. D'une manière générale, les études et recherches scientifiques sur le RIF oscillent autour de trois grands axes : le dispositif réglementaire de la prévention des IF, les statistiques des IF pour capitaliser leur historique et l'usage de la technologie moderne de l'information et la télécommunication où les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) occupent une place de choix.
- ii) Le Système d'Information Géographique (SIG) est capable d'organiser et de présenter des données alphanumériques spatialement référencées (Servigne & Libourel, 2006). L'élaboration d'un SIG pour les incendies de forêts revient à faire la cartographie du RIF.

Le point de départ de la cartographie du RIF et après avoir délimitée la zone d'étude (zone des Aurès dans notre cas) consiste en une énumération des composantes du RIF

qui sont de types (Belhadj-Aissa, 2003) : physique (relief, topographie, ...), écologique (essence, densité, teneur en eau, ...), climatique (pluviométrie, humidité, température, vents, ...), socio-économique (populations, activités, ...) et infrastructure de la forêt (pistes, points d'eau, ...).

Les données nécessaires pour l'élaboration d'un SIG du RIF oscillent autour de l'Indice de Risque (IR) qui assure la variabilité spatiale du RIF et dont la formulation est la suivante (Maktite et Faleh, 2017):

$$IR = 5IC + IM + 2IH \quad (2.11)$$

Avec : IC est l'Indice de combustibilité ; IM est l'indice topographique ; IH est l'indice d'occupation des sols.

Dans l'équation (2.11), les trois indices qui composent l'IR sont calculés de la manière suivante :

- L'indice IC est représenté par un modèle empirique :

$$IC = 39 + 0.23 BV (E - 7.18) \quad (2.12)$$

Avec : BV est une donnée calculée à partir du bio volume du combustible et E représente la combustibilité moyenne de chaque peuplement.

- L'indice IM est exprimé par :

$$IM = 3 p + (m \times e) \quad (2.13)$$

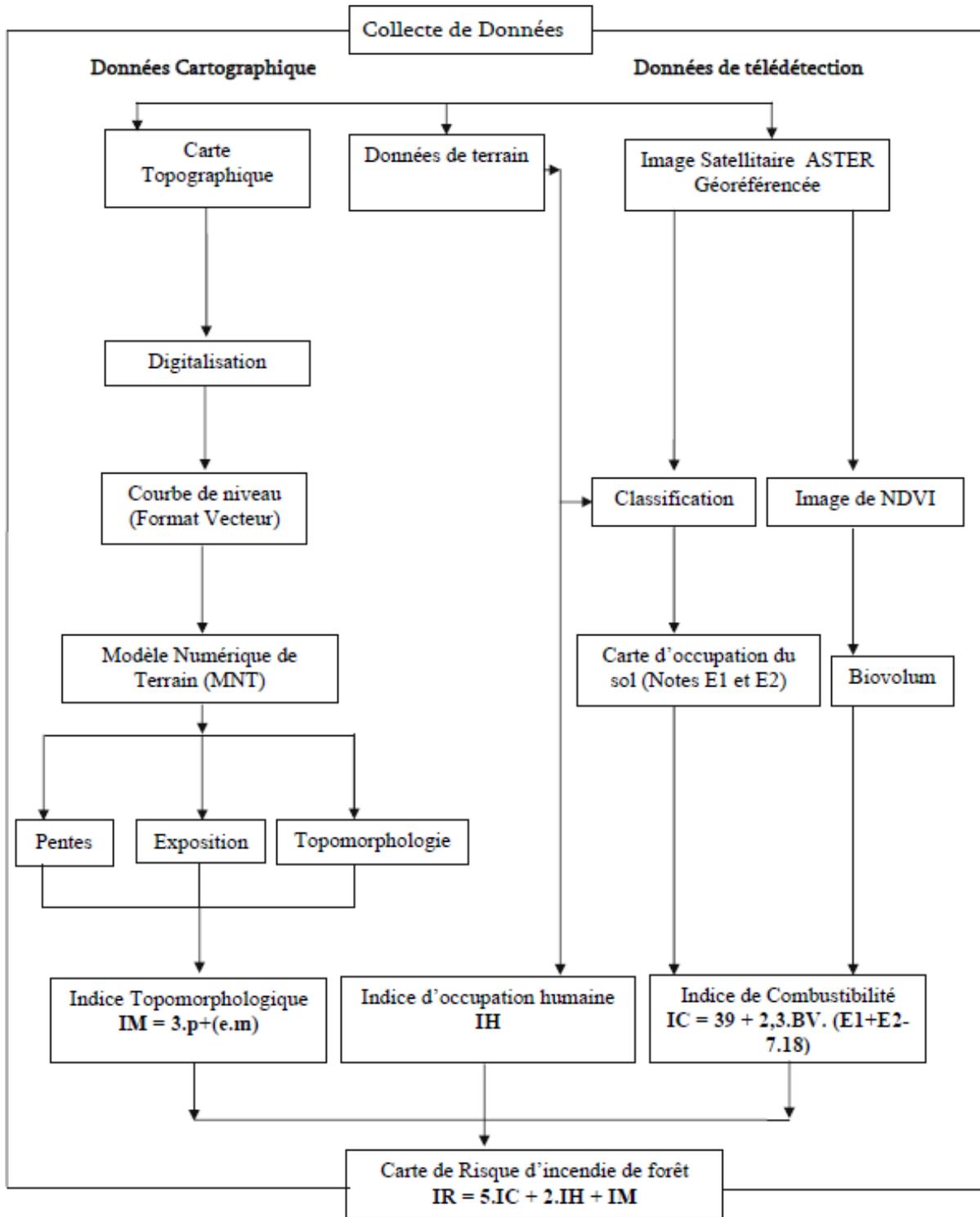
Où : p étant la pente, m est l'attitude exprimée par le paramètre de topographie et e étant l'exposition.

- Enfin, l'indice IH est exprimé par la sommation de deux indices de voisinage (IV) et de présence humaine (ID)

$$IH = IV + ID \quad (2.14)$$

Le processus du calcul de l'indice IR du RIF est synthétisé par la figure 2.8. Les résultats obtenus sont sous forme de cartes parmi lesquelles citons la carte d'indice de végétation NDVI que nous détaillerons dans le chapitre suivant.

Pour résumer les entrées du modèle MC, nous disons que ces entrées correspondent aux connaissances scientifiques dont leur utilisation permet de déterminer les événements susceptibles de se produire sur un territoire donné et en estimer les pertes potentielles.



Source : (Khader et al, 2009)

Figure 2.8- Organigramme du calcul de l'indice IR du RIF.

Afin d'illustrer la démarche du calcul de l'indice IR du RIF, nous rappelons que lors de la première étape, l'intérêt est porté sur une bonne superposition des couches d'information. Ceci nécessite la récupération du modèle numérique du terrain (MNT) extrait à partir d'un DEM (Aster GDEM, 2009) et le téléchargement des images satellitaires de la région d'étude pour la géo-référencement des données.

La projection choisie pour cette illustration est WGS 1984 UTM zone 31 Nord et l'unité étant le degré décimal.

La seconde étape concerne l'élaboration des cartes thématiques des facteurs de risque par la digitalisation des données spatiales et élaboration des bases de données attributaires. Enfin, la troisième étape est celle de la superposition et croisement des couches d'informations (Cartes thématiques) et application des formules de la technique dans ARCGIS pour faire la cartographie de l'indice du risque d'incendie de forêts de la zone d'étude qu'est la Wilaya de Batna (Faleh et al, 2012).

Les facteurs de risques retenus sont analysés par ordre d'importance (cf. organigramme de la figure 2.8).

A- Indice topo-morphologique (IM)

Le modèle numérique du terrain nous renseigne sur les altitudes, à partir duquel sont dérivées les cartes des : pentes, d'exposition et topo-morphologique de la zone d'études.

Ces trois paramètres topographiques interviennent dans la réalisation la carte d'indice topo-morphologique.

Ainsi et pour ce qu'est de la carte des pentes, nous rappelons que la pente joue un rôle très important dans la propagation du feu : "autant la pente est forte autant le feu se déplace rapidement". A ce propos, les classes de pente ont été retenues en vue de rendre compte de la vocation des terres, de leur mode d'utilisation et de leur sensibilité au risque d'incendie de forêt.

Dans cette illustration, nous avons retenu quatre classes qui ont été notées de 1 à 4 en fonction du risque qu'elles représentent dans la figure représentée dans la page suivante.

A partir de cette classification, nous distinguons que la plus grande partie de la wilaya de Batna est très accidenté.

Signalons également que les classes les plus représentées de la zone d'étude sont : la classe à risque très fort qui représente 53.75 %. (ces classes occupent presque moitié de la zone d'étude), la classe à risque fort qui représente 26.18% , la classe à risque moyen qui ne représente que 15.10% et la classe à risque faible qui représente 4.97%.

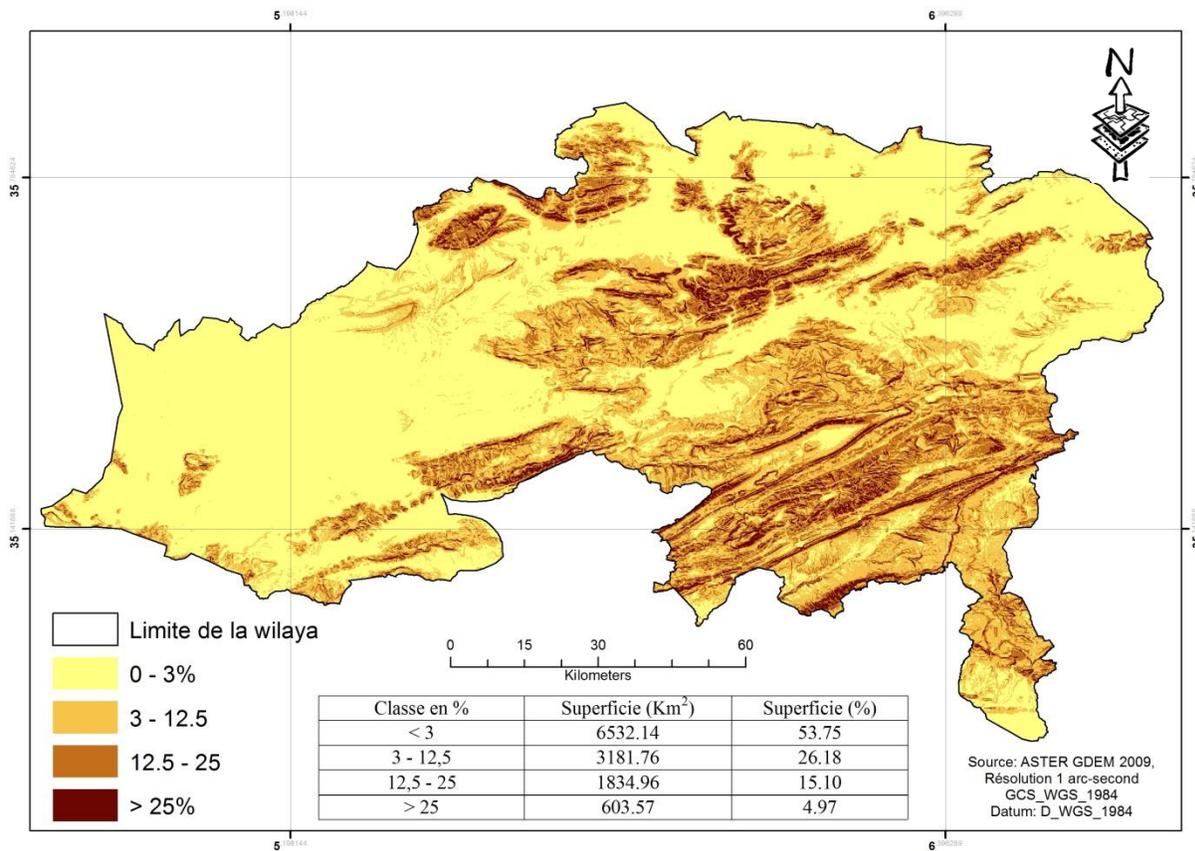


Figure 2.9- La carte des pentes de la zone d'étude.

Ensuite et pour ce qu'est de la carte d'exposition des versant, nous notons que l'exposition des versants joue un rôle important dans la propagation des inflammations. En conséquence, la classe la plus répandue est la classe à risque très fort qui représente 28.72 % avec une superficie de 3490.37 km² de la zone d'étude. Ceci est du essentiellement, du fait, que La zone d'étude est caractérisée par des expositions diverses dont les plus dominantes sont, successivement, les expositions Nord-ouest et Centre. Par ailleurs, la classe à risque fort représente 28,49 % de la même zone et les classes à risques moyen, faible et très faible représentent, successivement, 22.95 % , 10,38% et 9.46%.

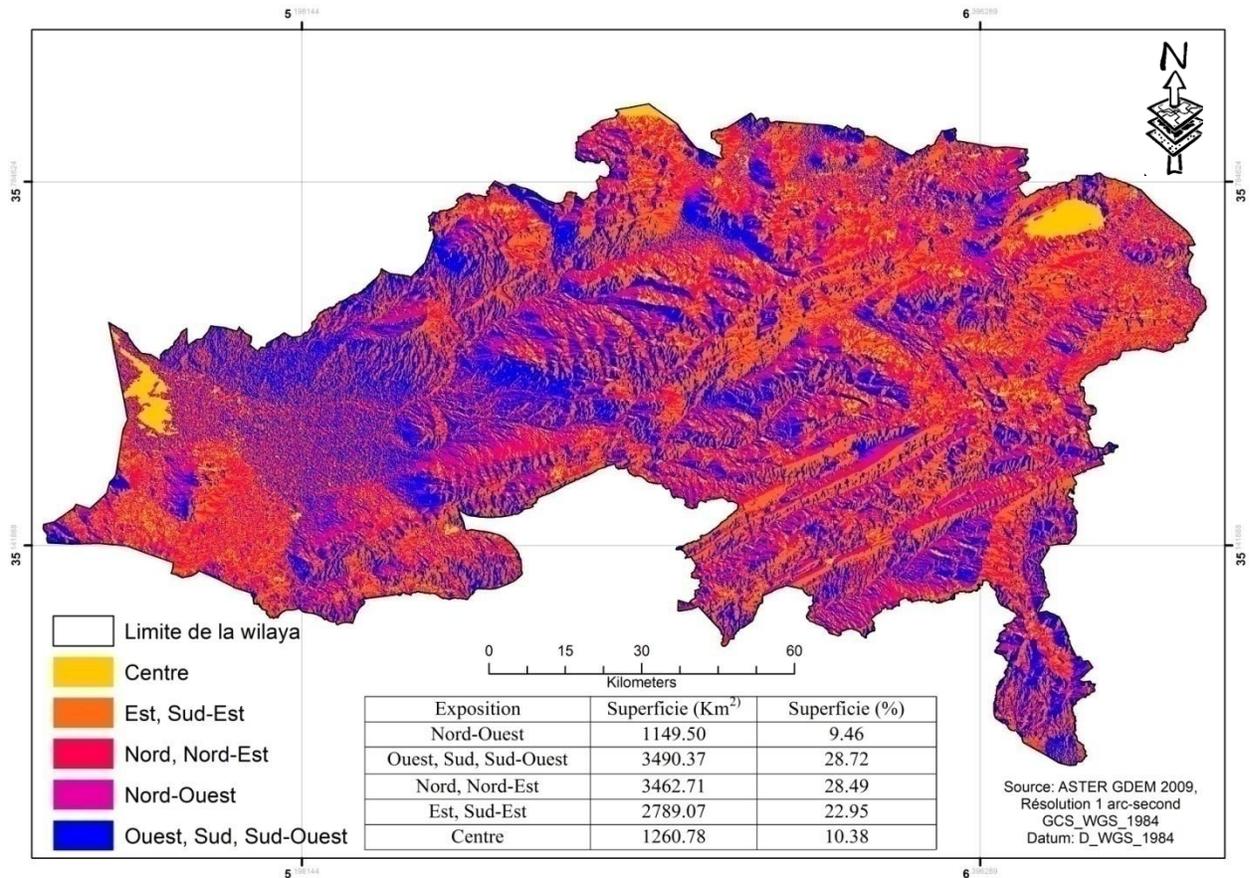


Figure 2.10- Carte d'exposition des versants.

Enfin et pour ce qu'est de la carte topo-morphologique, nous signalons qu'elle a été réalisée à partir du modèle numérique du terrain MNT. Elle est classée en quatre degrés d'altitude (cf. figure de la page suivante) où suivant le degré d'inclinaison on détermine les différentes classes morphologiques. La topo-morphologie a été retenue de préférence à l'altimétrie avec 4 classes selon les contraintes du relief :

- Plaine ($P < 3\%$) (1) qui représente une grande surface de 53.75 %.
- Bas piémont P entre (3-12,5%) (2) qui représente une moyenne surface de 26.18 %.
- Haut piémont P entre (12,5-25%) (3) qui représente une faible surface de 15.10 %.
- Montagne ($P > 25\%$) (4) qui représente une surface très faible de 4.97 %.

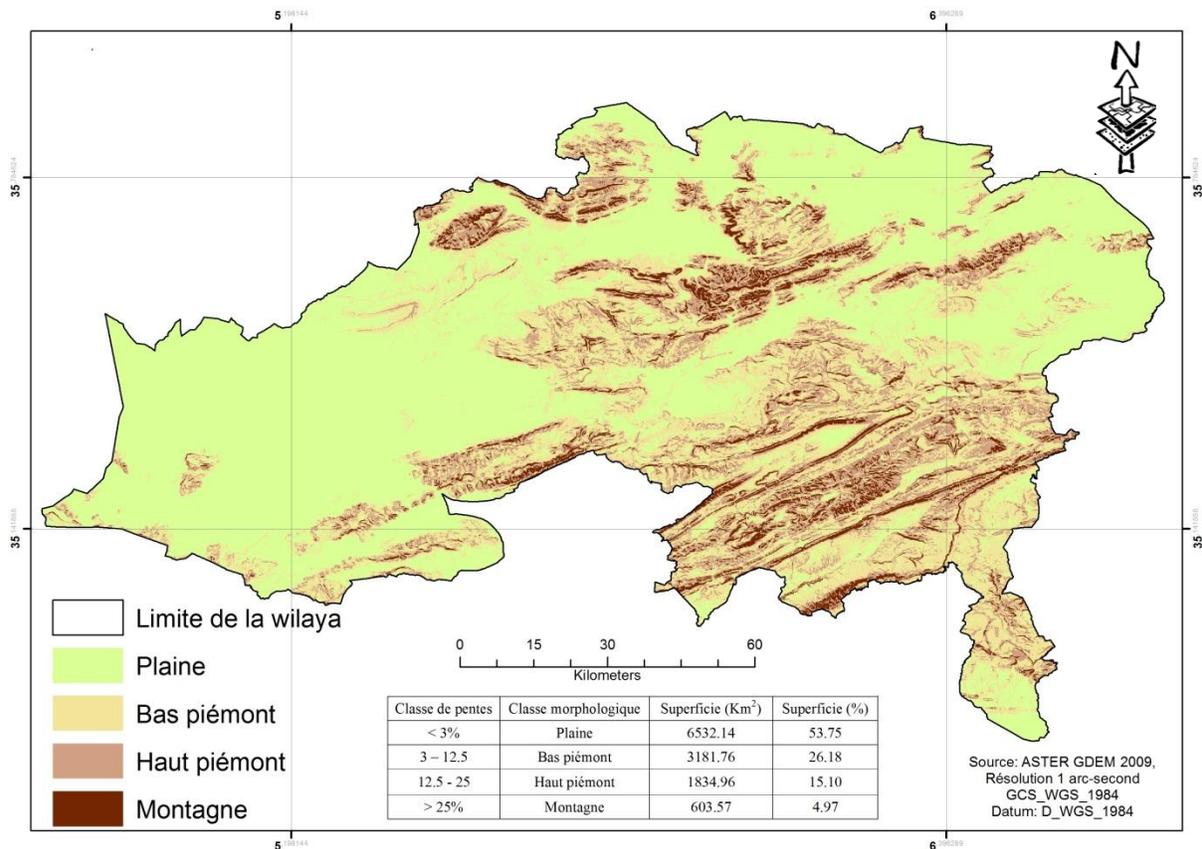


Figure 2.11- Carte topo-morphologique de la wilaya de Batna

A partir des trois cartes précédentes (pentes, exposition et topo-morphologique) que la carte de l'indice topo-morphologique est élaborée par la superposition de ces cartes par l'intégration de la formule de l'indice topo-morphologique dans l' ArcGis.

La combinaison entre les trois cartes donne une idée sur l'influence du relief sur la propagation des incendies.

Pour rappel, l'indice IM est égal au produit $3p + (m \times e)$. Théoriquement, cet indice peut varier entre 8 et 16.

Cet indice intervient comme un facteur dans le calcul de l'indice de risque, en fonction de la situation topographique et de l'exposition rencontrée, aggravant plus ou moins la propagation et la puissance de l'incendie (Khader et al, 2009).

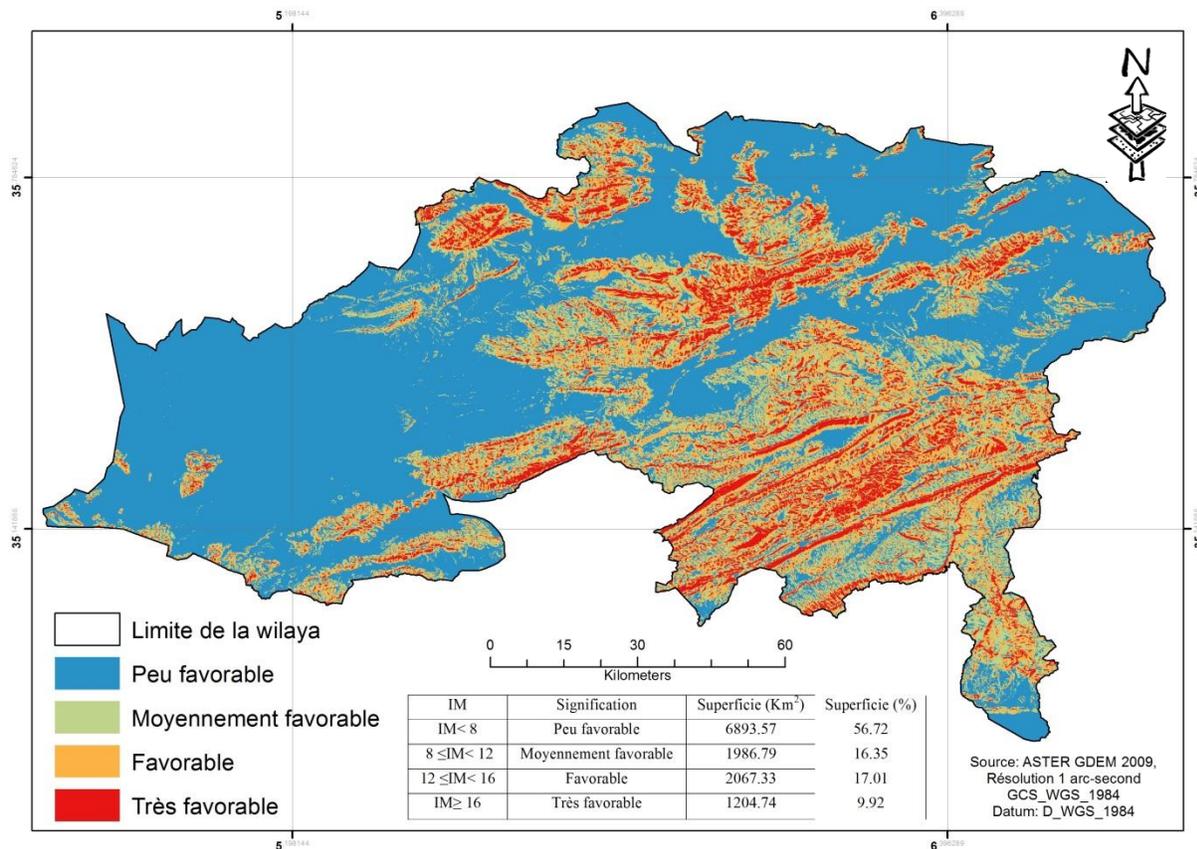


Figure 2.12- Carte de l'indice topo-morphologique

La figure ci-dessus montre qu'un taux de 56.72% de la superficie de la forêt de la wilaya de Batna se trouve dans des conditions topo-morphologiques peu favorables à l'accentuation du feu. Les conditions moyennement favorable au risque d'incendie sont de 16.35%, et seulement 17.01% dans la tranche favorable et uniquement 9.92% dans la gamme très favorable (Khader et al, 2009).

B- Indice de combustibilité

La carte de l'indice de combustibilité a été réalisée à partir de la carte de végétation de la carte NDVI. La densité de la végétation ou la biomasse relative est considérée comme un facteur important dans l'extension des incendies de forêt. Elle a été déterminée en calculant l'indice de végétation normalisé à partir d'image satellitaire (Faleh et al, 2012)

Selon CEMAGREF la densité du couvert végétale présentée par la structure et la combustibilité (BV: la biomasse des couverts végétales), en plus de son inflammabilité (le pourcentage de teneur en eau) sont deux facteurs importants à l'extension des incendies des forêts. Ces deux facteurs ont été calculés à partir de la base de données de la carte de végétation en suivant la formule de l'indice de combustibilité; qui a été déterminée à partir des images satellitaires et les notes d'intensité calorique des espèces (E1 et E2) (Missoumi et Tadjerouni, 2003). Ainsi, les valeurs des ligneux hauts (E1) et bas (E2) sont égaux, successivement, à : 7 et 3.

La carte de l'indice de combustibilité est classée en 4 classes selon la résistance en feu. La répartition des différents types d'occupation des sols (Figure 2.13) répond à l'influence conjuguée d'une multitude de paramètres écologiques (le climat, l'altitude, l'exposition des versants, la pente, ...etc.) et des actions anthropiques. Les résultats de ce traitement sont illustrés par la carte de l'indice de combustibilité (Figure 2.14)

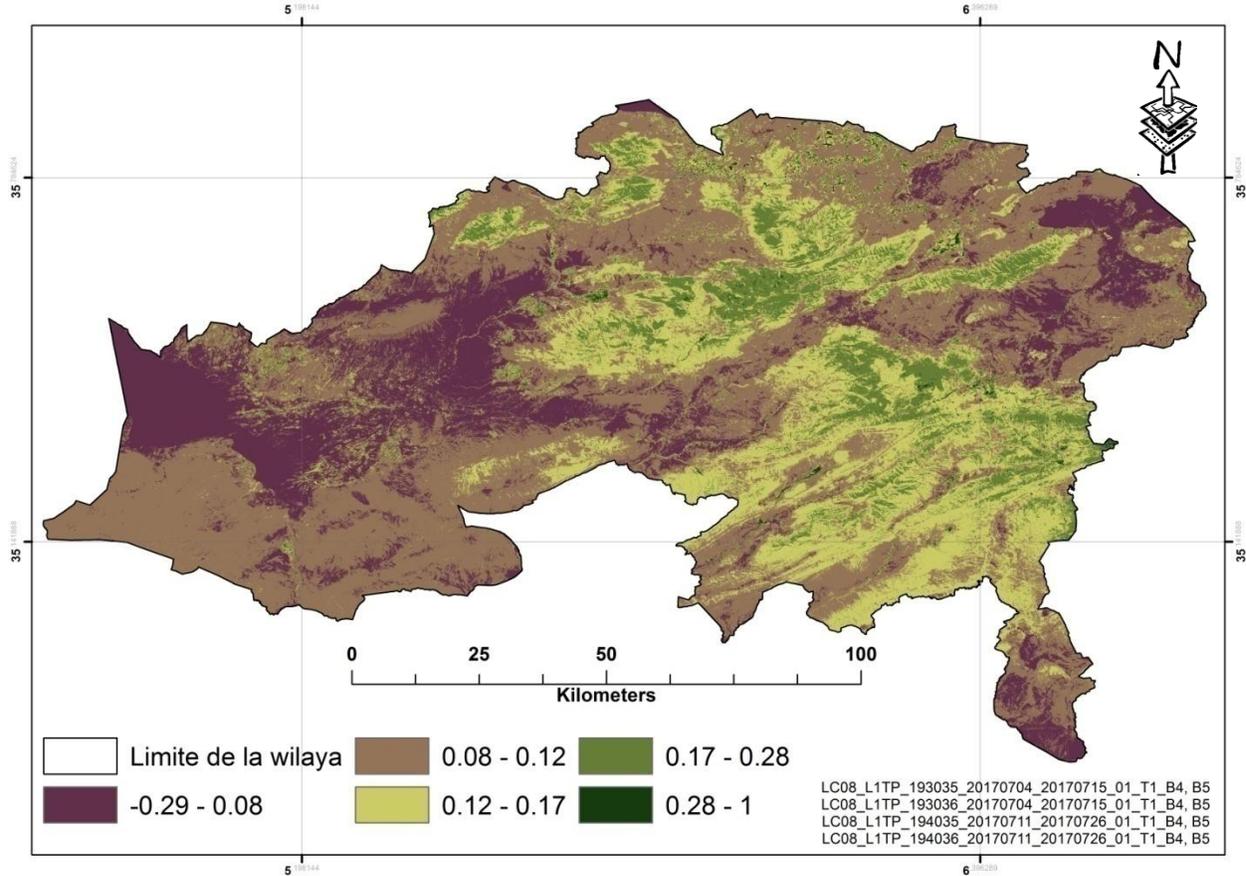


Figure 2.13- Carte d'indice de végétation normalisé

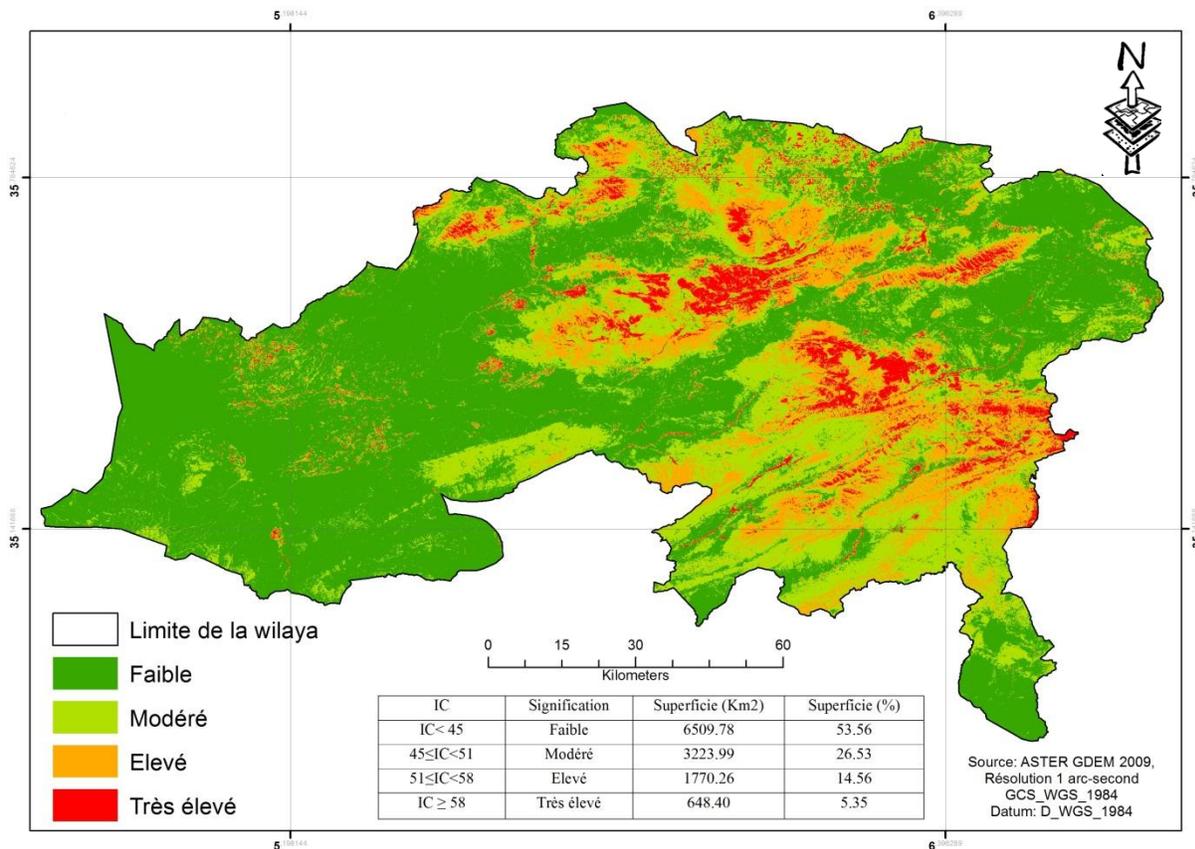


Figure 2.14- Carte de l'indice de la combustibilité

Un examen de la carte ci-dessus montre que la plus part de la superficie de la wilaya (53%) présente un indice de combustibilité faible et une superficie modéré de 26.53%.

C- Indice d'occupation humain

Cet indice prend en compte deux paramètres qui sont : l'indice de voisinage et occupation humain.

Pour évaluer l'effet humain sur les risques d'incendie de forêt, nous avons digitalisé les différentes routes (principales, secondar et pistes) et la densité de la population de chaque commune de la wilaya avec une zone d'influence de 100 m autour de chaque élément et classés ces derniers de 1 à 4 selon l'éloignement des forêts.

De ce fait et pour ce qu'est de l'indice de voisinage, la figure 2.15 indique que 88,12 % de la zone d'étude présente un risque moyen. Cependant, la classe à risque très fort et fort est la plus dominante avec, successivement, 3,83% et 3.45% de la superficie de la zone d'étude, que la classe à risque faible qui représente 4.57%.

Pour ce qu'est de l'indice de proximité des agglomérations, nous constatons que la zone d'étude présente un risque de faible à moyen (proximité 100 m). Cependant, la classe à risque très fort

représente 0.10 % de la zone soit une superficie de (466.84 Km²), De même, la classe à faible risque occupe 73.87%.

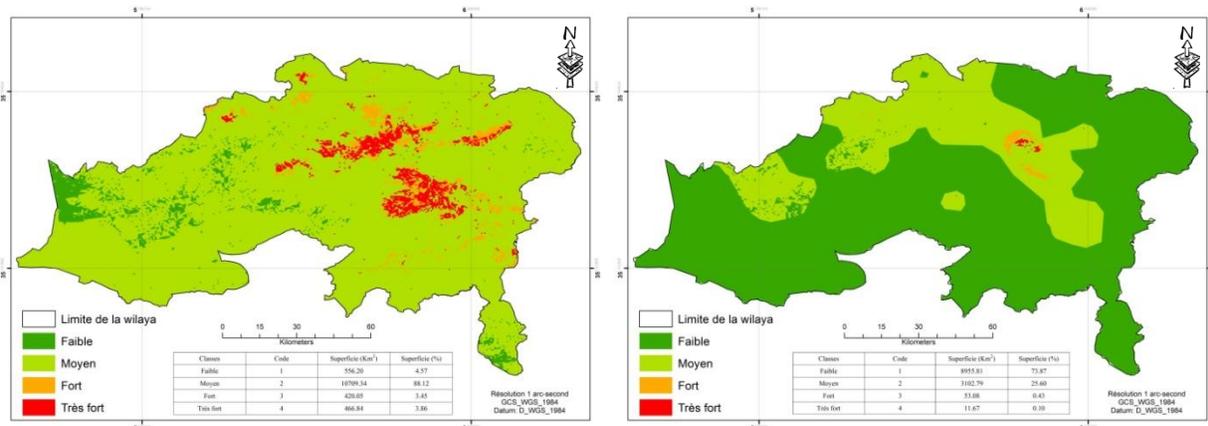


Figure 2.15- Cartes de voisinage et de proximité des agglomérations

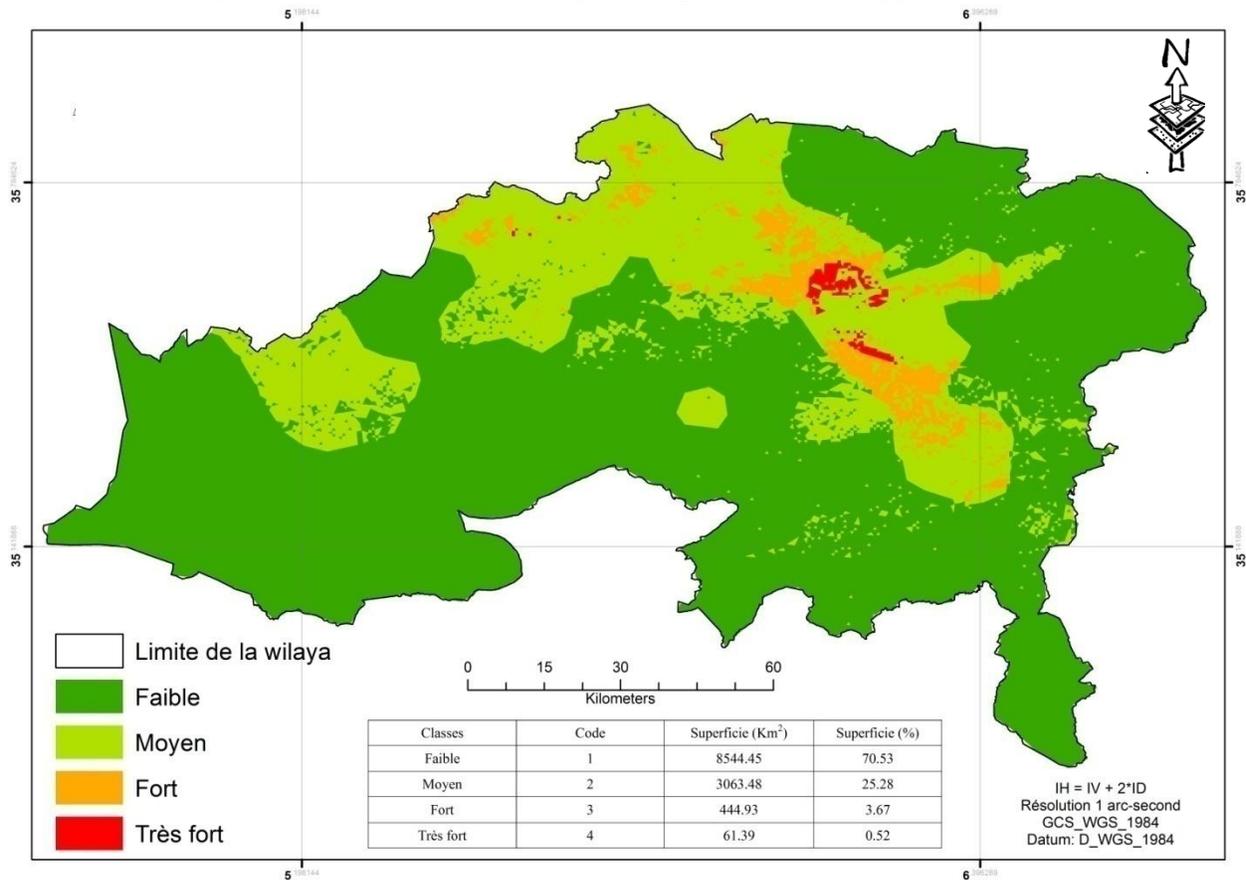


Figure 2.16- Carte d'indice d'occupation humaine

L'indice d'occupation humaine, reflète des petites surfaces dont le risque de départ des incendies de forêts intervient. Cette situation est due aux faibles densités humaines et à la faible densité du réseau routier implanté en forêt.

La superposition des cartes des indices (topo-morphologique, combustibilité et humain) permet de déduire la carte d'indice du risque d'incendie de forêt. Pour rappel, la formule utilisée est la suivante : $IR = 5IC + 2IH + IM$.

D'après cette formule, l'indice IR peut varier de 255 à 334.

Les résultats de cette superposition de cartes sont fournis par la figure 2.16 où les valeurs de l'indice de risque sont représentées en 4 classes.

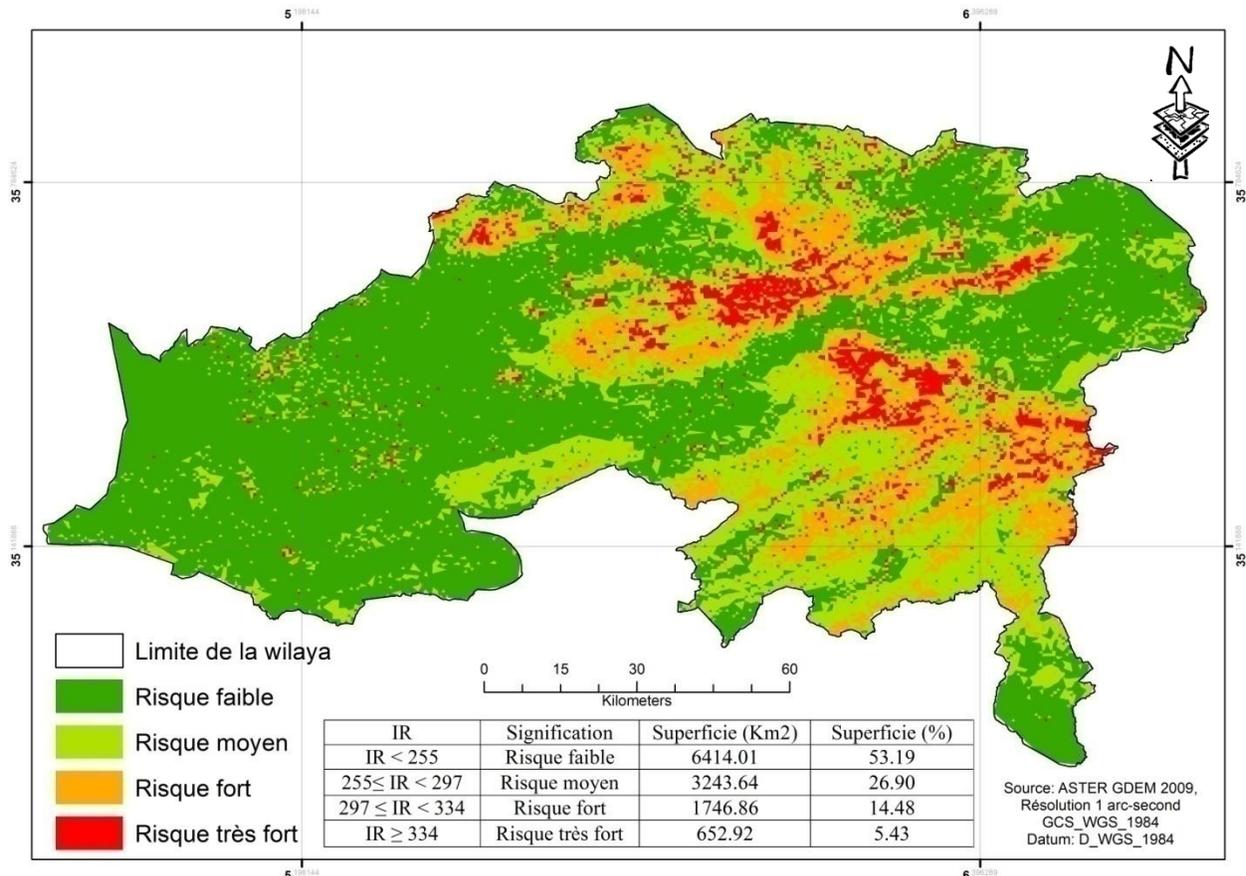


Figure 2.16- Carte d'indice de risque de feu

D'après cette figure, il apparaît nettement une auréole de pixels très vulnérables sur le pourtour de la dépression centrale. C'est là que doit se porter l'attention des gestionnaires de l'espace (Dagorne et al, 1994).

D- Validation des résultats

Pour valider ce modèle, une comparaison a été faite entre la carte synthétique du risque de feu et les départs de feu enregistrés entre 2002 et 2014 élaborés par la direction des forêts de Batna, cette comparaison permet de prouver les résultats de l'analyse et fournir un élément d'évaluation sur les limites de l'indice IR à partir l'archive des incendies.

La carte de valorisation du modèle (Figure 2.17) illustre la superposition des points d'incendie (cf. Annexe, tableau A1.5) et les zones à risque très fort sur la zone d'étude afin de corroborer la

carte du risque d'incendie. Parmi les 20 points d'incendies localisés sur la zone d'étude, 8 se trouvent sur les zones à risque fort, 10 sur les zones à risque moyenne et 2 sur les zones de faible risque.

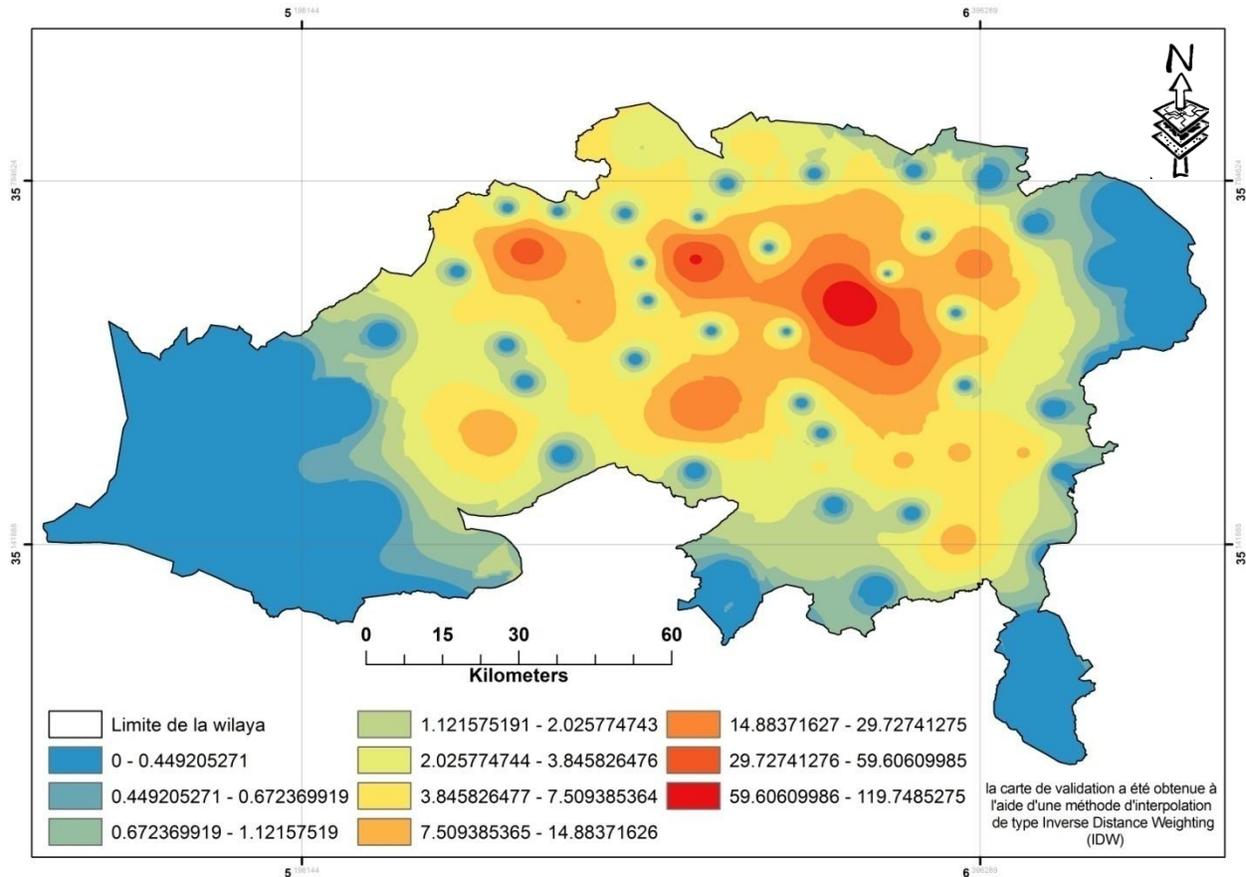


Figure 2.17- Carte de validation du risque d'incendie de forêt (2002-2014)

2.3.1.2. Les modules du modèle de catastrophe

Les principaux modules du MC sont (figure 2.9) : l'aléa, la vulnérabilité et les finances.

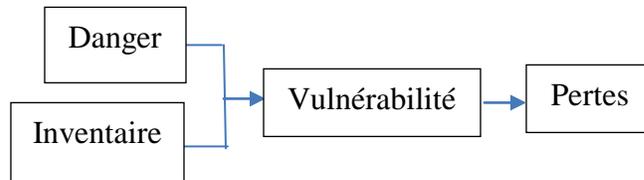
Dans une catastrophe naturelle, l'aléa est un phénomène potentiellement dangereux et qu'est défini par l'intensité du phénomène naturel (IF, par exemple) et ses occurrences spatiale et temporelle.

Le module Aléa du modèle MC requiert des informations sur l'incendie (vitesse et direction du vent, topographie, ...) et des hypothèses relatives aux : foyers, distributions statistiques nécessaire à la génération des phénomènes stochastiques (probabilistes), ... etc.

D'une manière générale, ce module permet de répondre aux trois questions suivantes : Où les évènements peuvent se produire ? Avec quelle intensité ? Avec quelle fréquence ?

Le module Vulnérabilité décrit la vulnérabilité des milieux (environnement, occupation des sols, matériaux de construction, ...).

Enfin, le module Finances permet le calcul des pertes. Ces calculs sont importants car ils constituent une aide à la décision pour les acteurs impliqués dans la gestion du RIF et plus particulièrement les directions de forêts aux niveaux des wilayas pour la restauration et la réhabilitation des sols. Plusieurs méthodes sont d'usage courant et qui sont basées sur la télédétection²².



Source : (Grossi et al, 2005)

Figure 2.18- Structure du modèle MC.

2.3.1.3. Les sorties du modèle de catastrophe

La perte est la principale sortie d'un modèle de catastrophe. Elle est représentée sous forme d'une distribution de perte en se basant sur la période de retour d'IF dont le principe de détermination est la suivante (Desroches, 1995) : un RIF peut être associé à l'occurrence d'un évènement se caractérisant par le dépassement d'une valeur seuil x_p d'un paramètre donné (vitesse du vent dans une zone incendiée, par exemple). A partir de la fonction de répartition au non dépassement F de la variable X , on cherche à estimer la fréquence d'apparition p au non-dépassement d'une valeur donnée x_p de la variable aléatoire et on déduit sa période de retour :

$$T(x_p) = 1/(1 - F(x_p)) \quad (2.15)$$

A partir de cette relation, la probabilité d'observer en n unités de temps, un évènement de période de récurrence de T unités de temps s'écrit (Desroches, 1995) :

$$\begin{aligned} \Pr(x_p) &= \Pr(X_n > x_p) = 1 - \Pr(X < x_p)^n \\ &= 1 - (F(x_p))^n \\ &= 1 - \left(1 - \frac{1}{T(x_p)}\right)^n \end{aligned} \quad (2.16)$$

Remarquons que si x_p et T sont grands, cette dernière relation devienne :

²² Son principe est basé sur l'utilisation de plusieurs bandes spectrales qui permettent la détection des changements moyennant des indices spécifiques tel que l'indice de végétation NDVI que nous présenterons dans le chapitre suivant.

$$\Pr(X_n > x_p) = 1 - e^{-\frac{n}{T}} \approx \frac{n}{T} \quad (2.17)$$

2.3.2. Usage du modèle de catastrophe dans la gestion du RIF

Le MC est utilisé pour évaluer les risques naturels (RIF, dans notre cas) en vue d'une prise de décision pour une meilleure gestion de ces risques (Roux-Dufort, 2003).

En effet, deux outils d'aide à la décision sont offerts par MC : une présentation sous forme des cartes fournies par SIG²³ des pertes potentielles causées par les risques (André, 2002) ou bien une présentation sous forme d'une courbe de la probabilité de distribution des pertes (Gleyze, 2002).

Dans cette section, nous détaillerons la seconde forme de présentation afin d'illustrer les possibilités offertes par MC²⁴ en matière de gestion du RIF.

En effet, dans une courbe de la probabilité de distribution des pertes, l'intérêt est accordé à sa partie droite où les pertes sont conséquentes (cf. figure 2.10).

Afin d'illustrer le principe d'élaboration de cette courbe, nous supposons qu'un ensemble d'incendies de forêts ont endommagés un territoire donné. Evidemment, chaque incendie est caractérisé par le couple : probabilité annuelle d'occurrence (p) et pertes associées à son occurrence (L).

Ce couple de données caractérise un ensemble d'incendies de forêts (cf. tableau 2.1) où chacun est considéré comme étant une variable aléatoire qui obéit à la loi de Bernoulli (Grossi, 2005) :

$$\Pr(\text{occurrence IF}_i) = p_i \quad (2.18)$$

$$\Pr(\text{non-occurrence IF}_i) = 1 - p_i \quad (2.19)$$

Dans l'équation (2.19), la perte probable causée par l'IF_i étant nulle. Par contre, dans l'équation (2.18), cette perte une année donnée est fournie par la relation suivante :

$$E(\text{perte}) = p_i \times L_i \quad (2.20)$$

La perte globale pour l'ensemble des IF est considérée comme étant une Perte Annuelle Moyenne (PAM) qui correspondre à la somme des pertes probables causées par chacun des IF pendant une année donnée :

$$\text{PAM} = \sum_i p_i \times L_i \quad (2.21)$$

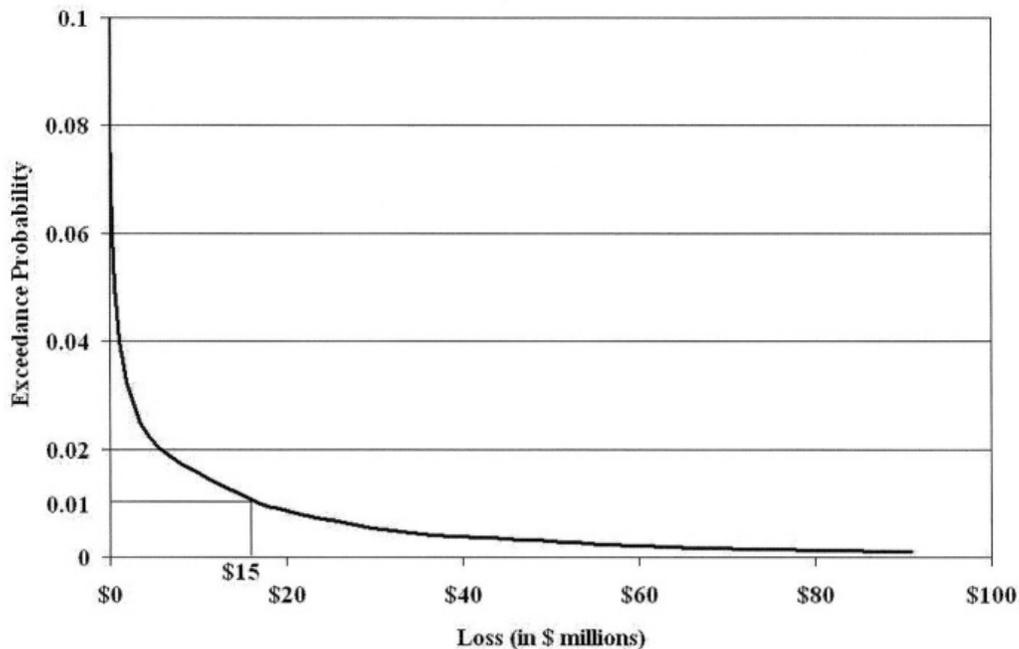
²³ Cette forme de présentation relève de l'approche déterministe du RIF. Cette présentation sera détaillée dans le chapitre suivant.

²⁴ La première forme de présentation sera détaillée dans le chapitre suivant.

Supposons que pour une année donnée, une catastrophe s'est produite dont les pertes excèdent le niveau de pertes causées par un IF_i pour la même année. La probabilité de la catastrophe est exprimée par (Grossi, 2005) :

$$\Pr(\text{Catastrophe}) = \Pr(L > L_i) = 1 - \Pr(L \leq L_i) \quad (2.22)$$

$$\Pr(\text{Catastrophe}) = 1 - \sum_{j=1}^i \Pr(L \leq L_j) \quad (2.23)$$



Source : (Grossi, 2005)

Figure 2.19- Exemple de la probabilité annuelle de dépassement.

Une illustration de l'usage des formules fournies par les équations (2.18 à 2.23) est fournie par le tableau 2.1.

Tableau 2.1- Exemple de la construction des pertes probables causées par une catastrophe naturelle.

Source : (Grossi, 2005)

IF_i	Prob. annuelle d'occurrence (p_i)	Pertes probables (L_i) en $10^3 \$$	Prob. de dépassement	Pertes estimées (Ep_i) en \$
1	0,002	25000	0,002	50000
2	0,005	15000	0,007	75000
3	0,01	10000	0,017	100000
4	0,02	5000	0,037	100000
5	0,03	3000	0,065	90000
6	0,04	2000	0,103	80000
7	0,05	1000	0,148	50000
8	0,05	800	0,190	40000
9	0,05	700	0,231	35000

10	0,07	500	0,285	35000
11	0,09	500	0,349	45000
12	0,1	300	0,414	30000
13	0,1	200	0,473	20000
14	0,1	100	0,525	10000
15	0,28	0	0,658	0
				PAM = 760000 \$

Remarque : la courbe de la figure 2.10 est obtenue à partir des données de la colonne relative aux probabilités de dépassement (colonne 4) triées par ordre décroissant.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les approches de gestion du RIF. Le modèle de catastrophe qui a attiré notre attention dans la dernière partie de ce chapitre peut être résumée par le séquençement suivant : description de la zone d'étude → évaluer les aléas et les expositions → analyser la vulnérabilité et les pertes.

Evidemment, l'analyse des pertes, qui s'effectue suivant deux approches (probabiliste ou déterministe), dans une optique de prise de décision pour faire face au RIF. Cette prise de décision concerne soit l'élaboration d'un nouveau plan d'actions ou bien la révision d'un plan existant.

Notre étude exploratoire de la zone des Aurès nous a montré que l'approche probabiliste d'analyse des pertes causées par les IF est entachée d'incertitudes. D'où l'intérêt de privilégier l'approche déterministe.

C'est pour cette raison que le chapitre suivant sera dédié à l'approche déterministe d'analyse des pertes du RIF. Plus précisément, il s'agit d'une étude diachronique des pertes causées par les incendies de forêts dans la région des Aurès. Ces pertes sont matérialisées par les surfaces incendiées dans cette région.

L'approche déterministe suggérée dans le chapitre suivant s'intègre dans le cadre d'une gestion intégrée du RIF.

3

Apport de l'imagerie satellitaire dans l'analyse des incendies de forêts dans la région des Aurès-Algérie

Dans le chapitre précédent, nous avons rappelé que le Risque d'Incendies de Forêts (RIF) est défini par le croisement d'aléa et d'enjeux : l'aléa résume les facteurs qui interviennent dans le déclenchement et la propagation des feux de forêts (sources de chaleur, météorologie et végétation) tandis que les enjeux concernent, à la fois, les personnes, les biens et l'environnement menacés par un aléa et susceptibles de subir des dommages ou de préjudices.

Ces deux grandeurs du RIF possèdent une composante géographique indispensable à leur formalisation sous forme d'indices du RIF. Conséquemment, la connaissance de cette composante géographique est primordiale pour la gestion du RIF. C'est dans ce contexte que s'intègre ce chapitre qui a pour but de proposer une analyse du RIF capitalisée sous forme d'une image satellitaire qui matérialise les surfaces incendiées (cartes de surfaces brûlées).

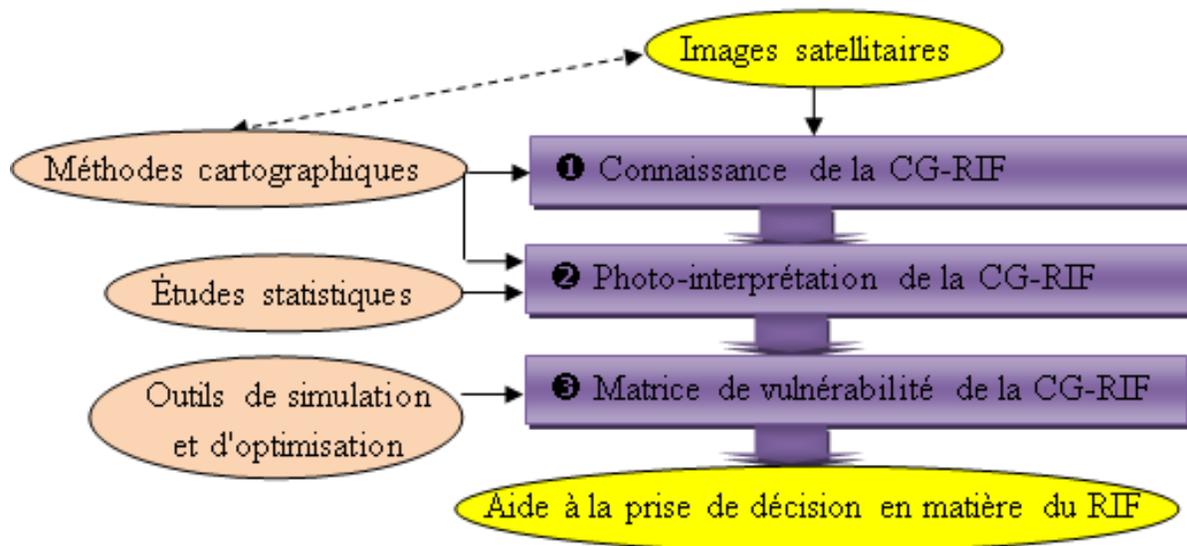
L'objectif de ces cartes est de mettre en évidence la répartition spatiale et temporelle des incendies de forêts pour formuler un diagnostic précis de la dégradation des forêts et élaborer des cartographies qui délimitent les zones vulnérables afin d'orienter les priorités d'intervention et d'aménagement et aussi pour minimiser la dégradation de ce patrimoine naturel. En d'autres termes, trois principales raisons sont à l'origine de la conception de la méthodologie détaillée dans la section suivante (Mokhtari et al, 2013) : disposer d'un diagnostic du site afin d'améliorer la prévention du RIF, optimiser les coûts associés à la gestion du RIF et mettre en avant les opportunités existantes sur le territoire face aux aléas des RIF.

Conséquemment, notre méthodologie de gestion du RIF est orientée vers son analyse synthétique moyennant une matrice de vulnérabilité de la Composante Géographique du RIF (CG-RIF).

3.1 Méthodologie proposée

Pour rappel, la notion de RIF est la combinaison de deux grandeurs : l'aléa et les enjeux. Ces deux grandeurs du RIF possèdent une composante géographique indispensable à leur formalisation sous forme d'indices du RIF. Conséquemment, la gestion du RIF dépend de l'évaluation de la vulnérabilité de la CG-RIF. Dans ce contexte, trois grandes familles de méthodes existent pour entreprendre l'évaluation de la vulnérabilité (Mokhtari, 2011) : méthodes cartographiques, méthodes statistiques et les modèles de simulation.

L'articulation de ces méthodes dans une démarche méthodologique est d'une grande importance notamment pour la gestion du RIF. D'où les grandes étapes de la méthodologie proposée basée sur la complémentarité entre méthodes d'évaluation de la vulnérabilité de la CG-RIF (figure 3.1).



Source : (Mokhtari et al, 2013)

Figure 3.1.- Étapes de la méthodologie proposée.

3.1.1 Etape 1 = connaissance de la CG-RIF

La connaissance de la CG-RIF est primordiale pour la gestion du RIF. A ce niveau de la méthodologie, les méthodes cartographiques sont les plus utilisées notamment en phases de politiques ou de planification stratégique.

Pour illustrer cette étape, nous nous sommes intéressés à la zone des Aurès en Est de l'Algérie comme CG-RIF. Elle correspond à un chaînon montagneux marquant le début du massif des Aurès. Elle s'étend sur une superficie de 27450 ha et sur un périmètre de 216,1 km.

Les données nécessaires à la méthode cartographique retenue sont du type (Bouhatta, 2007) : auxiliaire telle que l'échelle des cartes topographiques de la zone d'étude qu'est de 1/50000 et satellitaire (images satellitaires à moyenne résolution : Landsat ETM+ du 06-08-2009 et Landsat ETM+ du 06-04-2011).

Rappelons que le choix d'images satellitaires est basé sur le nombre d'incendies et de superficie brûlée (figure 3.2)

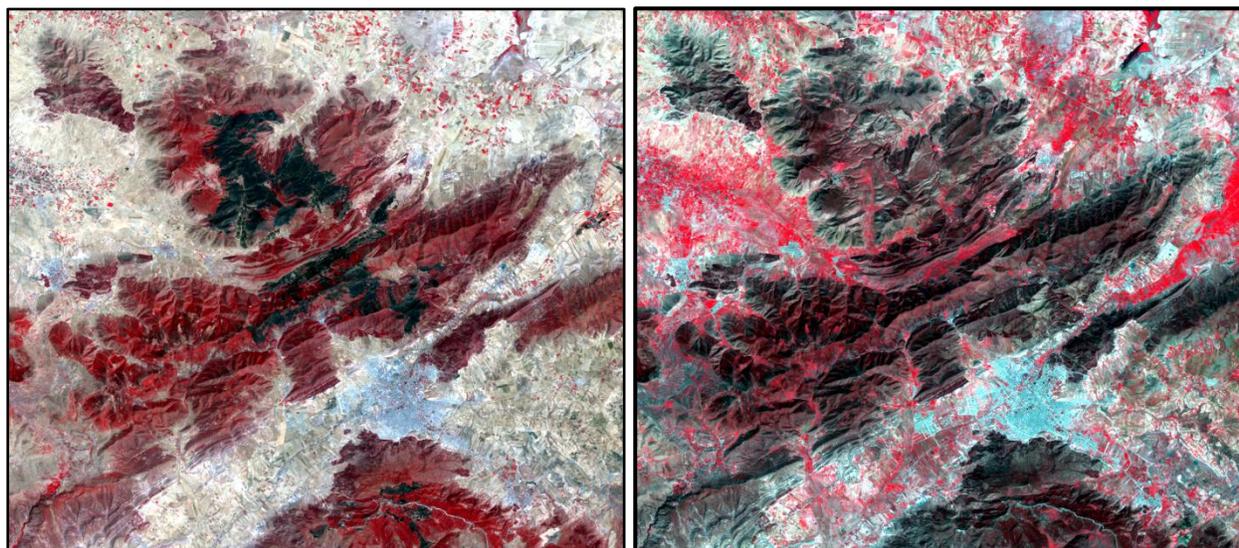


Figure 3.2.-Image Landsat ETM+ du 06/08/2009 et 06/04/2011

Les caractéristiques de ces deux images sont rappelées dans le tableau suivant.

Tableau 3.1- Caractéristiques des images retenues.

<i>Satellite et capteur</i>	<i>Scène 2009</i>	<i>Scène 2011</i>
Dimensions	1402×1232 (Byte)	1382 x 1223 (Byte)
Date d'acquisition	2009/08/06	06/04/2011
Format	TIFF	TIFF
Le nombre de bande	03 bandes (RGB)	03 bandes (RGB)
Résolution spatial	30 m	30 m
Type de projection	UTM, zone 31 Nord	UTM, zone 31 Nord
Catégorie	WG 84	WG 84

Notons également que pour les canaux, notre choix s'est porté sur des canaux avec trois bandes qui représentent bien le couvert végétal :

- canal 4 qui correspond au proche infrarouge (0,76 – 0,90 μm),
- canal 3 qui correspond au rouge visible (0,63 – 0,69 μm),
- canal 2 qui correspond au vert visible (0,52 – 0,60 μm).

3.1.2 Etape 2 = photo-interprétation de la CG-RIF

Cette étape est scindée à son tour en trois sous-étapes suivantes : composition colorée des images satellitaires, classification des images et cartographie des surfaces brûlées.

Ces trois sous-étapes sont supportées par l'usage de logiciels spécifiques. Dans notre cas, nous avons utilisé les logiciels suivants :

- le logiciel ENVI²⁵ qui permet d'extraire rapidement l'information pertinente de l'image géo-spatiale et qui offre la possibilité de visualisation et d'analyse complète des images satellitaires. Ce logiciel comporte une bibliothèque d'algorithmes comprenant
- des fonctions de transformation de données, des fonctions de filtre ainsi que des fonctions de classification.
- les logiciels de cartographie MapInfo et Adobe Photoshop (Bouhatta, 2007) pour le traitement et de retouche d'image.

3.1.2.1 Composition colorée des images satellitaires

La composition colorée est une combinaison visuelle des trois bandes spectrales des deux images étudiées par le biais du logiciel ENVI (version 4.2) où la composition colorée de ces deux images (c.-à-d. de leurs trois bandes spectrales nous a permis d'identifier le couvert végétal de façon nette par rapport à une image d'un seul canal.

3.1.2.2 Classification des images satellitaires

Le mode supervisée qui a été choisi pour réaliser la classification de la composition colorée de la CG-RIF est basée sur la méthode de maximum de vraisemblance. Dans ce contexte, l'opération de la classification des images par le logiciel ENVI, nécessite de délimiter spatialement les parcelles d'entraînement sur la composition colorée (figures 3.3).

²⁵ Environnement for Visualising Images. URL : http://www.harrisgeospatial.com/docs/using_envi_Home.html

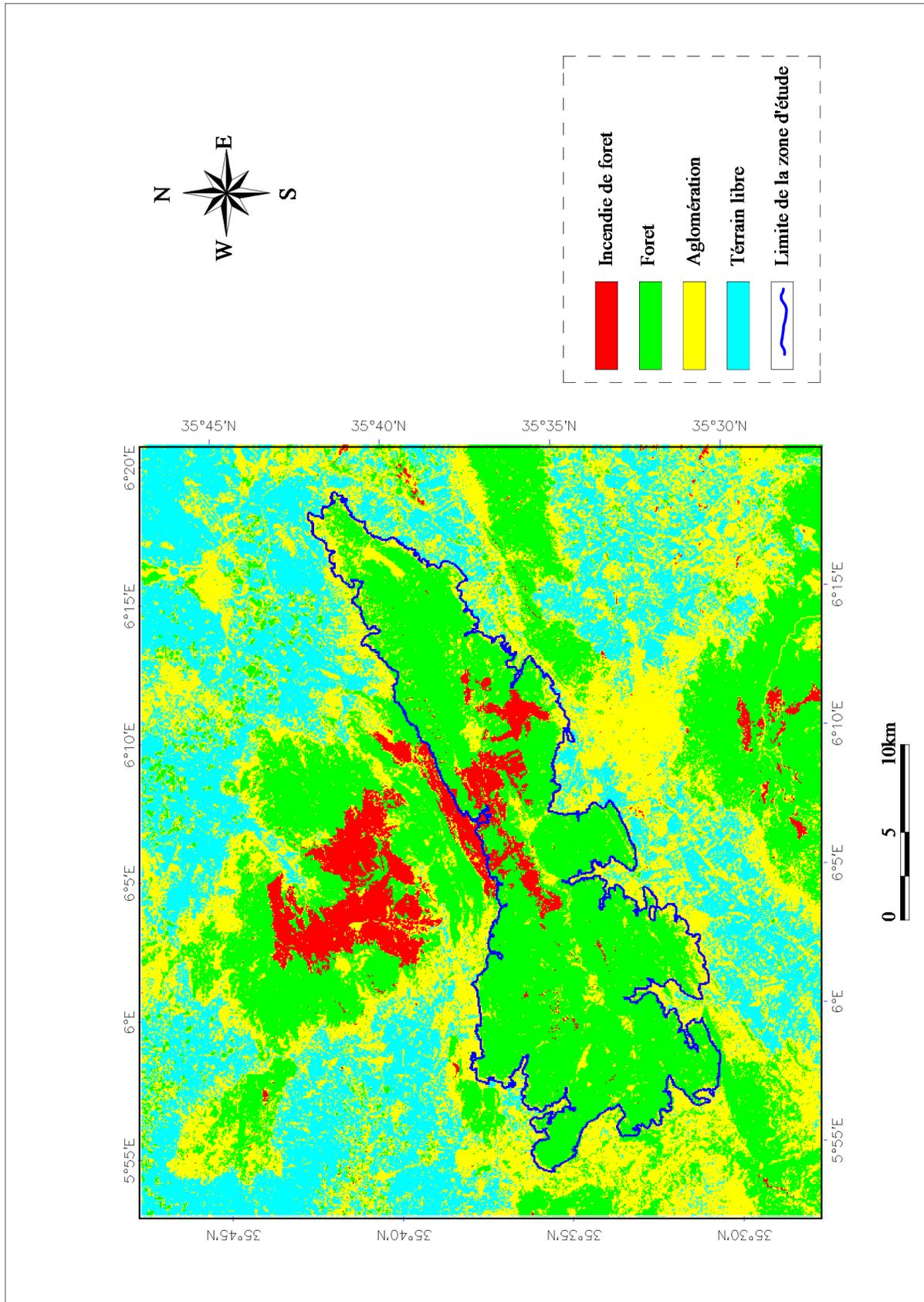


Figure 3.3- Délimitation spatiale des parcelles d'entraînement sur la composition colorée des images satellitaires.

3.1.2.3 Cartographie des surfaces brûlées

La cartographie des surfaces brûlées débute par l'identification de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI). En effet, pour chacune des deux images satellitaires étudiées, nous avons procédé à l'identification de l'indice NDVI²⁶ afin d'obtenir les états des surfaces moyennant la relation suivante :

$$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R} = \frac{TM_4 - TM_3}{TM_4 + TM_3} \quad (3.1)$$

Avec : PIR qu'est égal à TM_4 est la bande proche de l'infrarouge thématique et R qu'est égal à TM_3 est la bande rouge thématique.

Rappelons, par ailleurs, que le résultat de NDVI est une image qui présente respectivement l'absence ou la présence de la couverture végétale chlorophyllienne. Par conséquent, il est utilisé pour discriminer les surfaces brûlées et les surfaces de végétation (figures 3.4 a et b).

En effet, dans le cas de la présence du couvert végétal, d'autres indices peuvent être déduits de l'indice NDVI. Il s'agit de :

- l'Indice de Régénération (IR) qu'est fourni par la relation suivante :

$$IR = \frac{NDVI_{Post-incendie}}{PNDVI_{pré-incendie}} \quad (3.2)$$

- l'Indice de Régénération Normalisé²⁷ (IRN) qu'est fourni par la relation suivante :

$$IRN = 1 + \frac{NDVI_{Post-incendie} - NDVI_{pré-incendie}}{NDVI_{Post-incendie} + NDVI_{pré-incendie}} \quad (3.3)$$

$$\text{Soit : } IRN = \frac{2 NDVI_{Post-incendie}}{NDVI_{Post-incendie} + NDVI_{pré-incendie}} \quad (3.4)$$

²⁶ Cet indice, qu'est développé par Rouse et al (1974), est toujours compris entre -1 et +1.

²⁷ Rappelons que l'indice NRI varie entre 0 et 1. La valeur 1 indique que le taux de recouvrement de l'état pré-incendie est égal au taux de recouvrement de l'état post-incendie.

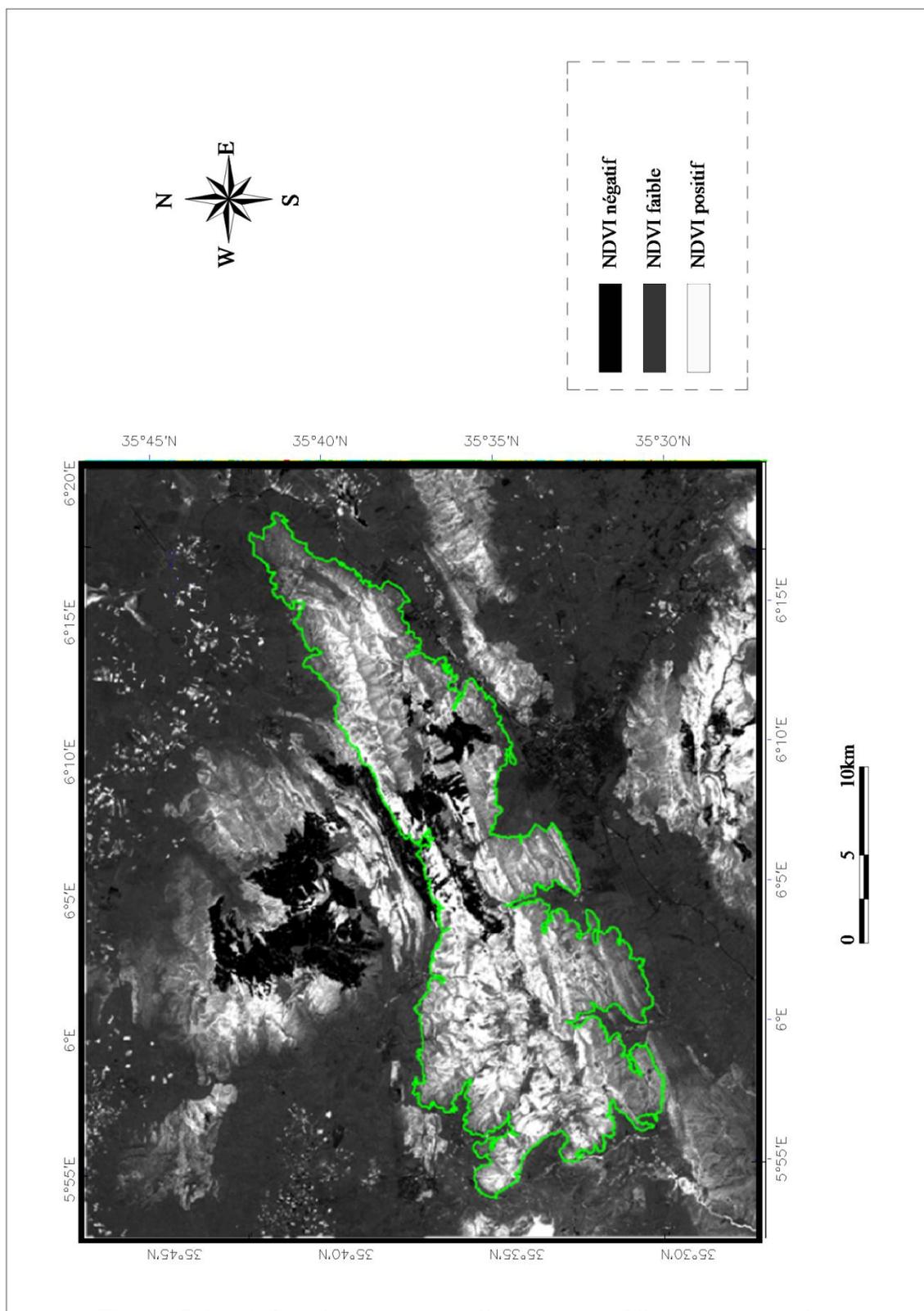


Figure 3.4.a- NDVI des images satellitaires LANDSAT ETM+ étudiées.

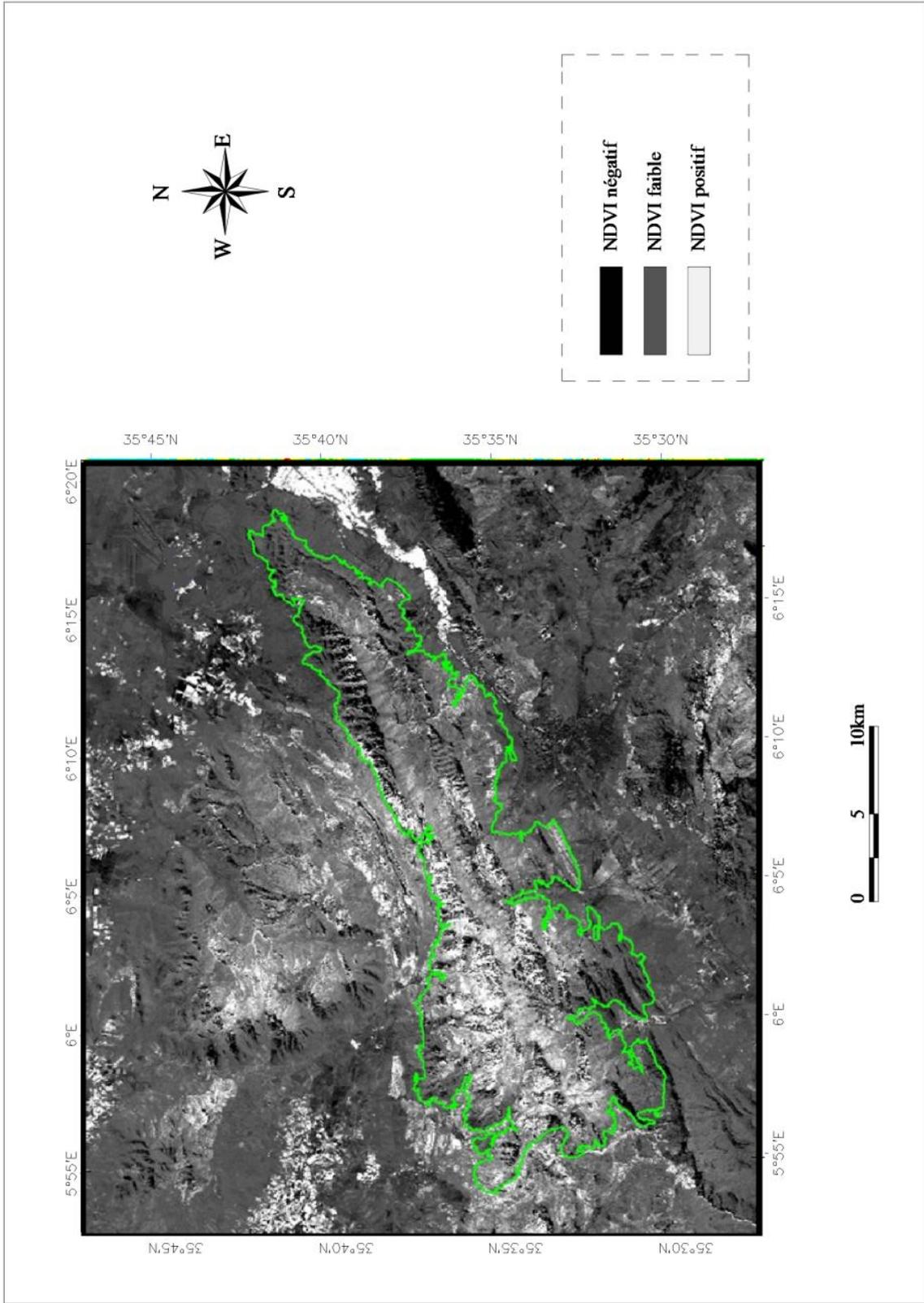


Figure 3.4.b - NDVI des images satellitaires LANDSAT ETM+ étudiées.

Dans la figure ci-dessus, les surfaces d'incendie de forêts apparaissent dans des teintes très foncées « Noire » et correspondent à des valeurs de l'indice faibles ou négatif. Par contre, les surfaces des espèces boisées (forêt) apparaissent dans des teintes claires et correspondent à des fortes valeurs de l'indice NDVI. La couleur blanche, qui représente la végétation dans l'NDVI occupe la totalité de la scène est plus apparente sur l'image ETM+ 2001 que sur l'image ETM+ 2009 ; ce qui est révélateur d'une régression de la couverture végétale entre les deux dates.

Dans l'exemple de la CG-RIF retenue dans cette étude, l'identification du NDVI nous a permis de mettre en évidence une régression du couvert végétal dans la zone étudiée. Cet indice sert de base pour l'estimation des surfaces brûlées moyennant la méthode de maximum de vraisemblance. En effet, les résultats de la cartographie des surfaces brûlées montrent que les surfaces touchées par les feux couvrent une superficie de 188.73 ha (soit 0,69% de l'aire de l'image). Les surfaces non affectées par les feux, quant à elle, touchent 27261,2 ha, soit un pourcentage de 99.31% de la surface totale étudiées (figure 3.5).

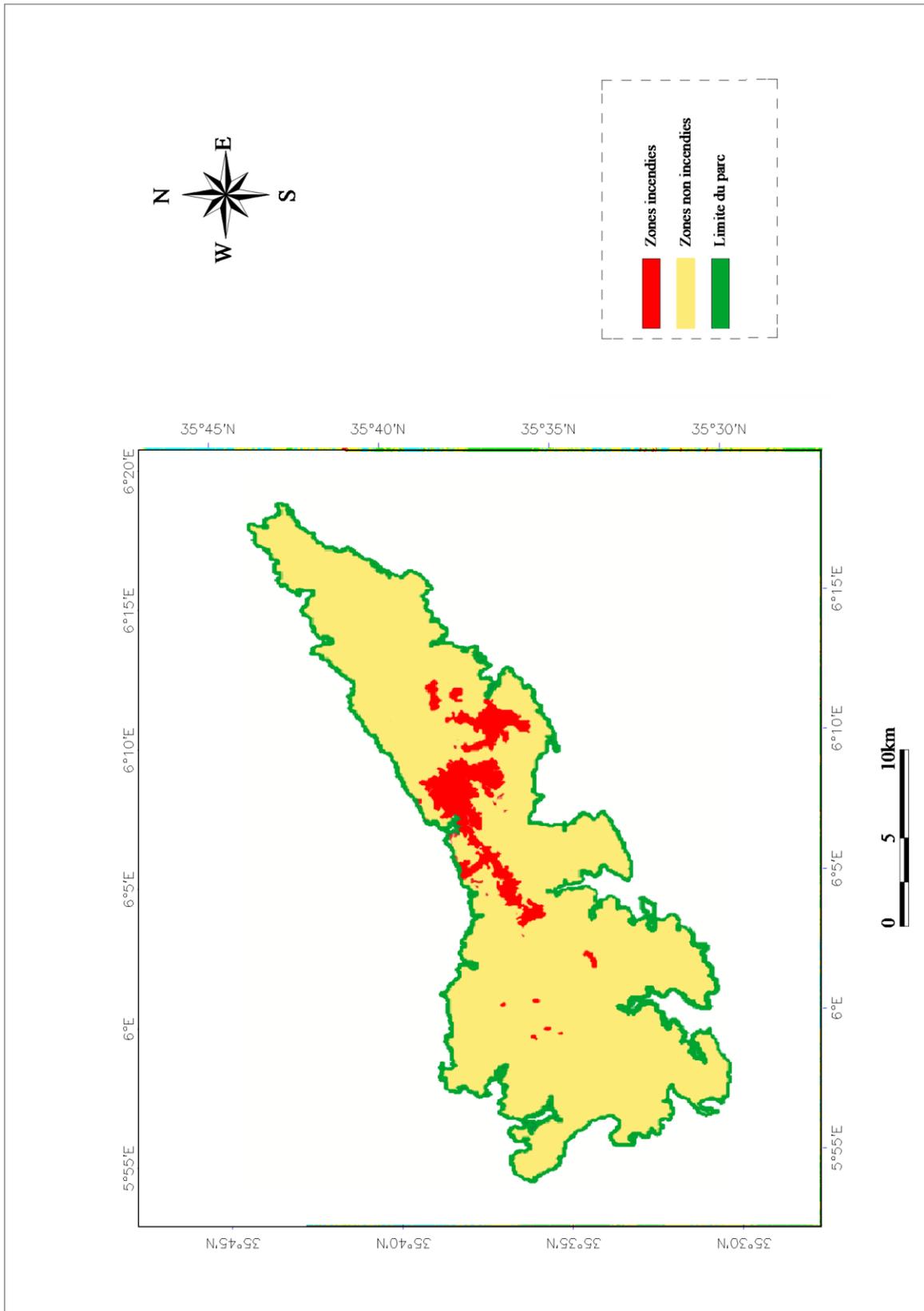


Figure 3.5- Cartographie des surfaces brûlées dans la zone étudiée.

Puisque l'étape photo-interprétation de la CG-RIF est basée sur une étude diachronique de deux images satellitaires, nous avons jugé utile de compléter cette investigation par une étude statistique des incendies de forêts qu'a connues la région étudiée durant la période 2009 et 2011 (tableau 3.2).

Tableau 3.2 - Historique des incendies de forêts dans la région étudiée

<i>Année</i>	<i>Nombre</i>	<i>Surface brûlée (ha)</i>	<i>Végétation</i>
2001	13	13,02	Pin d'Alep, Genévrier, chêne v
2002	03	0,01	Pin d'Alep.
2003	03	04,01	Chêne v, Genévrier.
2004	02	00,75	Chêne v, Genévrier
2005	14	104,42	Pin d'Alep, Genévrier, Chêne v, Cèdre.
2006	05	01,71	Chêne v, Genévrier, Pin d'Alep.
2007	16	195,72	Genévrier, Pin d'Alep.
2008	01	00,045	Pin d'Alep.
2009	08	761,01	Pin d'Alep, Cèdre, Genévrier, Chêne v.

Source : Direction des forêts

D'après le tableau au-dessus nous remarquons le caractère aléatoire des incendies de forêts durant la période 2009 - 2011 (c.à.d. on observe une grande variabilité du nombre de feux et un grand écart entre la dimension des superficies incendiées d'une année à l'autre). Par ailleurs, notre constat montre que les forêts de Pin d'Alep sont le plus vulnérables.

La fusion des constats issus de la cartographie des surfaces incendiées complétées par des interprétations statistiques montrent que les impacts de ces incendies sur les écosystèmes sont considérablement accentués par (Mokhtari et al, 2013) : la structure du combustible, les caractéristiques topographiques, les conditions météorologiques ainsi que les actions anthropiques.

3.1.3 Etape 3 = matrice de vulnérabilité de la CG-RIF

Il est possible d'évaluer les interprétations de cette classification par estimation du pourcentage et le nombre de pixels correctement classés à l'intérieur de chaque polygone test. La matrice de confusion de l'estimation des images ETM+ illustre cette interprétation. Cette évaluation a été complétée par des visites de terrain visant à valider la classification effectuée sur les images. En effet, le tableau 3.3 ci-dessus permet de présenter les matrices de confusions des traitements indiquent que les précisions globales de classification. Ce tableau affiche également dans sa diagonale principale le pourcentage de pixels bien classés et hors diagonale le pourcentage de pixels mal classés.

Tableau 3.3 - La matrice de confusion de la classification des images satellitaires étudiées.

<i>Image satellitaire 2009 : précision globale = 98.7605%%</i>				
Classes	Incendie	foret	Agglomération	Terrain libre
Incendie de foret	99.60	0.00	0.00	0.00
Foret	0.02	99.51	0.00	0.00
Agglomération	0.38	0.49	96.09	0.00
Terrain libre	0.00	0.00	3.91	100
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
<i>Image satellitaire 2011 : précision globale = 91.4993%</i>				
Classes	Incendie	foret	Agglomération	Terrain libre
Incendie	97.19	0.00	0.00	0.00
Foret	2.59	87.96	0.00	5.88
Agglomération	0.00	0.00	93.03	1.87
Terrain libre	0.22	12.04	6.97	92.24
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Une analyse rapide des résultats présentés dans le tableau ci-dessus montre que la classe d'incendie présente de fortes confusions avec les autres classes.

3.2 Discussions des résultats

Rappelons d'abord que l'étude diachronique présentée dans ce chapitre a pour objet de comparer deux zones géographiques en deux temps. A ce propos, la littérature spécialisée dans ce type d'études montre qu'il est préférable que la carte NDVI corresponde à l'avant-incendie et la seconde soit celle de l'après incendie. Dans notre cas, nous avons retenu deux cartes espacées dans le temps afin de donner le temps à l'occurrence du RIF. En conséquence, la première carte est certainement celle de l'avant-incendie qui a eu lieu durant la période qui sépare les deux cartes.

Etant donné que la zone étudiée est caractérisée par une géologie et une pédologie assez uniformes ainsi que par le même type de climat, nous nous sommes focalisé uniquement sur l'état de la végétation et les paramètres liés à la topographie pour analyser la variation spatiale de la végétation durant la période qui sépare les deux cartes NDVI. Cette analyse nous a permis, donc, de mettre en évidence les surfaces brûlées (tableau 3.4) dont leur exploitation permet d'assurer un suivi de la régression du couvert végétal au niveau de l'espace d'étude.

Tableau 3.4 - Résultats de traitement des images satellitaires étudiées

	2011	2009
Incendie de foret	13.66	33.43
Foret	35.81	27.49
Agglomération	28.79	24.07
Terrain libre	21.74	15.00
Total	100.00	100.00

En effet, les résultats obtenus à partir des classifications des images satellitaires étudiées montrent l'existence d'une régression importante de couvert végétal de la forêt de la zone d'étude à cause des incendies de forêts qu'a connue cette zone durant la période 2011-2009.

La méthode déployée dans cette étude nous a permis, donc, de visualiser les modifications et les dégradations de l'espace forestier ainsi que l'évaluation de l'ampleur de ces modifications et dégradations à partir des images satellitaires.

Signalons également que cette étude exploratoire de la région des Aurès nous a permis de mettre en évidence trois types de formations forestières qui ont des origines climatiques et topographiques : forêts denses, forêts semi-denses et forêts non-denses.

En effet, le premier type de forêts est situé dans les grandes altitudes et occupe environ 10 % de la superficie totale de la région étudiée. C'est cette formation forestière qu'est la plus touchée par les incendies de forêts.

Notons enfin que l'intérêt majeur de cette étude diachronique de la région des Aurès est de mettre en évidence l'ampleur des incendies de forêts sous forme des surfaces brûlées. Cette information peut être exploitée de deux manières qui sont complémentaires :

- à des fins de réhabilitation et de reboisement des forêts de cette région. A ce propos, l'indice de régénération normalisé (équation 3.4) est d'une aide précieuse pour la suite à donner à cette étude diachronique,
- à des fins d'élaboration des indices de risques, tels que l'Indice Fréquentiel du Risque (IFR) et le Risque Moyen Annuel (RMA), qui constituent une aide précieuse quant à la cartographie des risques d'incendies de forêts de cette région. A ce propos, ces deux indices sont exprimés comme suit (Meddour-Sahar et Medour, 2016) :

$$IFR = \frac{\text{Fréquence annuelle des incendies}}{\text{Surface du massif forrestier (ha)}} \quad (3.5)$$

$$RMA = \frac{\text{Surface moyenne annuelle incendiée par an (ha)}}{\text{Surface du massif forrestier (ha)}} \times 100 \quad (3.6)$$

Dans la relation (3.5), la fréquence annuelle des incendies (F_i) est exprimée par :

$$Fi = \frac{\Sigma \text{incendies de forrêts sur une plage d'années}}{\text{Nombre d'années}} \quad (3.7)$$

Dans le chapitre suivant du présent manuscrit, l'intérêt sera porté sur la première possibilité qui sera cadrée par une approche économique pour des raisons évidentes liées essentiellement à la pertinence des moyens de restauration et de lutte contre les incendies de forêts.

Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous rappelons que l'avantage majeur de la méthode présentée est qu'elle permet l'identification de la typologie des espaces à risque. En effet, en plus de l'évaluation objective des surfaces incendiées qu'elle fournisse, cette méthode permet :

- *Sur une plage de temps relativement importante (plusieurs années), de fournir une information capitale sur l'éventuelle dégradation du couvert végétal pour causes d'incendies de forêts ;*
- *Sur une plage relativement courte (semaines à quelques mois), de comparer les espaces incendiés en vue de distinguer les surfaces déjà brûlées de ceux qui sont récemment brûlées. Cette distinction permet, logiquement, de déduire le sens de la propagation des feux de forêts.*

Finally, le suivi continu par imageries satellitaires des feux de forêts permet sans doute de mieux apprécier le RIF en vue de sa gestion. Cependant, sur le plan pratique cette méthode basée sur l'imagerie satellitaire requiert la disponibilité de ces images avec une haute résolution. C'est la contrainte majeure que nous avons rencontrée durant notre déploiement de cette méthode.

La surface incendiée mis en évidence par l'imagerie satellitaire sert comme support de base pour le déploiement d'un plan d'actions gouverné par une approche économiste (axée sur les dommages).

Le dernier chapitre du présent manuscrit permet de détailler ce plan d'action dédié pour le RIF.

4

Contribution à l'évaluation de l'investissement en matière de prévention des incendies de forêts par la méthode ACB

L'objectif de ce chapitre est de mettre en valeur les opérations de gestion des risques d'incendies de forêts sur lesquelles la société a intérêt à engager ses forces et ses ressources. La région des Aurès fera l'objet de l'exemple d'application.

L'approche retenue est basée sur l'analyse économique des risques d'incendies de forêts moyennant l'Analyse-Coûts-Bénéfices (ACB) qu'est devenue incontournable dans l'analyse des risques d'une manière générale et les risques naturels en particulier.

En effet, la méthodologie proposée dans ce chapitre permet de mettre en évidence l'intérêt de la méthode ACB dans le sens où chaque mesure de réduction du risque d'incendies de forêts permet d'éliminer des dommages potentiels et, donc, susceptible de générer des bénéfices pour la société en termes de dommages évités sur le territoire bénéficiant de la mesure.

Les implications pratiques de notre proposition résident dans la comparaison, dans le temps, des bénéfices générés par une mesure de réduction du risque d'incendies de forêts et son coût de mise en œuvre. Cette comparaison permet d'apporter un éclairage important sur la pertinence économique d'une telle mesure de réduction de risque d'incendies de forêts.

4.1 Rappel du contexte de la méthodologie proposée

En Algérie, les incendies de forêt constituent un phénomène chronique dont l'intensité semble croissante (Abdessemed, 1984; Ozturk, 2002; Meddour 2014). En effet, en 2013 plus de 3700 incendies ont ravagés plus de 11.200 ha causant des dommages écologiques et socio-économiques énormes (NCPF, 2014).

Afin d'illustrer l'ampleur de ces dommages sur le plan écologique, nous rappelons que jusqu'à une période récente, la région des Aurès en Est d'Algérie située sur la frontière qui sépare le Nord-Est du Sud-Est Algérien, était la première au niveau national qui recèle plusieurs variétés et espèces d'arbres avec une prédominance (Benmessaoud, 2009) : du pin d'Alep, le cèdre de l'Atlas, le chêne vert, le pistachier de l'Atlas, l'érable, le frêne, mais aussi avec beaucoup de plantes médicinales et mellifère. Hélas, toute cette richesse forestière fait partie du passé pour causes des feux de forêts.

Un autre dommage écologique qui frappe progressivement cette région est sa désertification pour causes de régression du parc forestier due à l'intensification des incendies de forêts et à la déforestation dans cette région (Benmessaoud, 2009).

L'ampleur de l'ensemble de ces dommages dus aux incendies de forêts ont obligé les autorités locales de la région des Aurès à renforcer leurs efforts en matière de lutte contre ces incendies moyennant la mise en œuvre des Plans Feux de Forêts (PFF) au début de chaque saison estivale²⁸. Cependant, la réalité du terrain montre que ces PFF ont connus beaucoup d'insuffisances notamment dans (NCPF, 2014) : la sensibilisation et l'implication des acteurs de prévention, la recherches des causes et les auteurs de ces incendies et enfin la déficience de certaines mesures de prévention. Cette déficience est due au fait que toutes les mesures se focalisent sur les feux déclarés. Autrement dit, sur la lutte et non pas sur la prévention incendie de forêts.

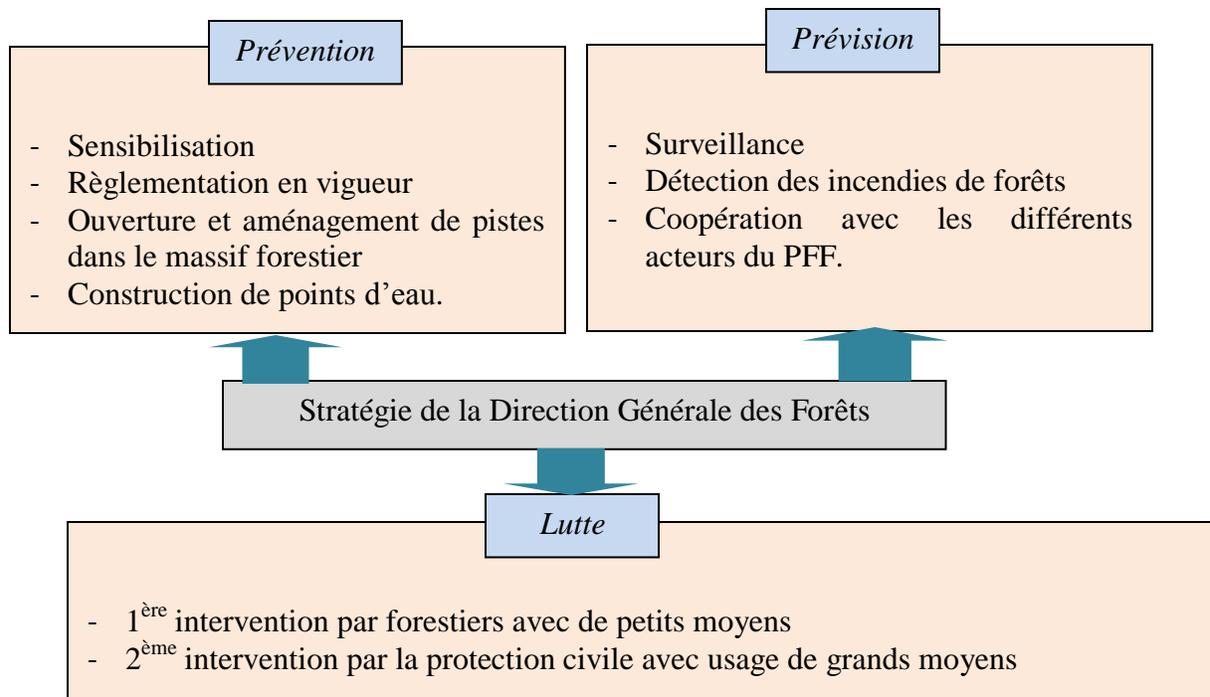
Sur le plan académique, de nombreuses études de recherche ont été réalisées sur les incendies de forêts (Carrega, 2007). Elles sont basées essentiellement sur : l'apport des outils juridiques ainsi que l'évolution du dispositif règlementaire en matière de la prévention des incendies de forêts (Madininos et Vassiliadis, 2011), l'exploration statistique des incendies de forêts (Meddour et Derridj 2012) et également sur l'exploitation de l'imagerie satellitaire afin de mettre en exergue l'ampleur des dommages dus aux incendies de forêts tels que la réalisation des cartes de vulnérabilité aux incendiées (Arfa, 2008 ; Benmessaoud, 2007 ; Mokhtari et al, 2013) ou bien à la désertification dans les régions Arides et semi-arides (Feloï et al, 2003; DGF 2004; Beaudin, 2007). En conséquences et à notre connaissance, toutes ces études mettent en exergue l'ampleur du phénomène incendie de forêts et la nécessité de réduire ce risque. Or, cette réduction est cadrée par le PFF dont l'efficacité et la pertinence reposent, non seulement, sur le diagnostic du massif forestier et sur le bilan descriptif des incendies survenus ainsi qu'une analyse de leurs principales causes mais également sur l'utilité des mesures de prévention retenues. En effet, l'utilité de ces mesures de prévention dans un PFF permet d'évaluer dans le temps la pertinence et l'efficacité de ce plan. C'est dans ce contexte que s'intègre la méthode proposée qui a pour objet de suggérer une procédure de valorisation de ces mesures par le biais de la méthode des dommages évités cadrée par une Analyse Coût-Bénéfice (ACB).

²⁸ Ce PFF est cadré par une stratégie d'action détaillée en annexe.

Pour atteindre cet objectif, dans la suite de ce chapitre nous rappelons dans la section suivante le PFF de la région forestière étudiée ainsi que ses insuffisances afin de mieux justifier le choix de la méthode ACB. La troisième section présente la démarche proposée pour la valorisation des actions de ce plan tandis que la quatrième section décrit les principaux résultats issus de l'application de notre démarche sur la zone d'étude retenue. Enfin, la dernière section résume les apports de la démarche proposée pour renforcer la lutte contre les incendies de forêts dans cette région d'Algérie.

4.2 A propos des PFF : cas de la région des Aurès

Pour rappel, les actions du PFF de la région des Aurès-Algérie, comme dans tous les pays, est basé sur le schéma traditionnel « Prévention + Détection + Extinction » qui cadre les actions du PFF (figure 4.1).



Source : (Meddour et al, 2013).

Figure 4.1 – Stratégie pratiquée en Algérie pour la gestion des feux de forêts.

Un examen de la stratégie déployée dans un PFF montre qu'elle s'effectue en deux temps : en amont des incendies de forêts par le biais de la préparation du PFF et la mobilisation de ces moyens et en aval des incendies de forêts par le dressement des bilans et le déclenchement des opérations de reboisement et nettoyage des forêts incendiés.

Dans la figure 4.1 les actions :

- de la prévention d'un PFF concernent la prévention et les combustibles forestiers ;
- de la prévision sont axés sur la prédiction du danger d'incendie et sur les moyens de communication ;

- d'extinction concernent surtout le personnel de lutte et les équipements d'extinction terrestre et aériens.

Les travaux de recherches effectuées sur les PFF d'une manière générale montrent que les investissements en matière de détection/extinction sont plus élevés que ceux affectés à la prévention, bien que l'on ne puisse chiffrer avec précision la différence. De même, si l'on tient compte de la structure des dépenses dans les pays qui ont les budgets les plus élevés, on peut estimer que les investissements en matière d'extinction absorbent plus de 60 % du total affecté aux actions des PFF (Vélez, 1999).

Le PFF retenu dans cette étude ne fait pas exception de cette répartition budgétaire des investissements alloués à la gestion du risque d'incendies de forêts. En plus de cette répartition non équilibrée des ces investissements, la réalité du terrain montre également l'existence des déficiences dans les PFF qui remettent en cause la pertinence et l'efficacité de ces investissements (Collectif, 2006).

Pour le cas des PFF de la région des Aurès-Algérie, ces déficiences sont résumons dans la première partie du Tableau 4.1. Afin de remédier à ces insuffisances, les responsables chargés de la conception et de la mise en œuvre des PFF ont préparé une campagne de prévention pour les années avenir dont les actions sont présentées dans la deuxième partie du tableau 4.1.

Tableau 4.1 - Déficiences recensées dans les PFF et objectifs retenus.

Source : Direction générale des forêts - Algérie, 2015.

<i>1- Déficiences recensées dans les PFF de la région des Aurès</i>	
<i>Déficiences</i>	<i>Origine</i>
Application des PFF par anticipation	Nombre croissant des incendies de forêts ainsi que des insuffisances dans la politique de prévention des feux de forêts
Problèmes dans la sensibilisation des populations et des touristes	Manque de campagnes de sensibilisation des populations et des touristes par usage des moyens de communication de masse
Fréquences des incendies d'origine humaine	Insuffisances dans les poursuites contre les auteurs d'incendies
Etat d'abandon généralisé des forêts	Insuffisances dans la politique de prévention des feux de forêts
<i>2- Actions retenues</i>	
M ₁ = Ouverture et l'aménagement des pistes	
M ₂ = Ouverture et aménagement de tranchée par feu	
M ₃ = Construction et aménagement de points d'eau	
M ₄ = Réalisation des travaux sylvicoles	
M ₅ = Entretien de routes longeant ou traversant les massifs forestiers	
M ₆ = Confection de tourneries autour des exploitations agricoles limitrophes aux forêts	
M ₇ = Entretien de tranchées sous lignes de haute tension	

Afin de mettre en valeur les investissements en termes de ces actions de prévention, nous proposons une méthodologie basée sur l'ACB qui a le mérite d'évaluer de manière économique l'intérêt d'un tel investissement.

4.3 Méthodologie proposée

4.3.1 Rappels de l'ACB des risques naturels

Rappelons d'abord que l'ACB est un outil d'aide à la décision. Son usage permet d'aboutir à un indicateur synthétique pour juger de la pertinence d'un projet (Boardman, 2015). En termes des risques naturels, elle permet également de générer un indicateur économique de l'exposition au risque d'un territoire (Shreve et Kelman, 2014).

L'application de l'ACB aux risques naturels est très répondeuse notamment pour les risques ; d'inondation (Joseph et al, 2014), d'incendies de forêts (Gould et al, 2013), sismiques (Pozos-Estrada et al, 2016), cyclone et avalanche (Bründl et al, 2006), éruption volcanique (Gordan, 2015). Par ailleurs, il est important de rappeler que les étapes de l'ACB sont bien connues (Litman, 2009) mais le point crucial pour son application aux risques naturels réside dans le choix de la méthode d'évaluation des bénéfices. A ce propos, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Les plus répondeuses sont les suivantes : l'évaluation contingente (Diamond et Hausman, 1994), les choix conjoints (Jaeger et al, 2001) et les dommages évités (Torterotot, 1993).

D'après Erdlenbruch et al. (2008), l'intérêt de la méthode des dommages évités est qu'elle permet d'estimer à la fois l'exposition d'un territoire aux risques naturels ainsi que l'efficacité d'un projet de prévention de ce territoire. Les deux autres méthodes ont tendances à prendre en compte les impacts sur les vies humaines, les pertes affectives et les dommages environnementaux mais elles sont beaucoup moins propices à l'estimation de l'exposition d'un territoire à un risque naturel (Erdlenbruch et al, 2008). C'est pour cette raison que dans la suite de cette étude, nous retenons la méthode des dommages évités.

La mise en œuvre de l'ACB à travers cette méthode a pour objectif d'évaluer l'utilité économique des mesures de réduction des risques naturels.

Deux cas sont possibles :

- étudier le passage entre deux états d'un territoire exposé à un risque naturel,
- comparer les coûts et les bénéfices d'un état d'un territoire à un autre pour déterminer quel état est le plus acceptable.

Dans le premier cas, les conditions d'acceptabilité de l'ACB sont traduites par l'utilité de passage d'un état à un autre. Cette utilité doit être positive :

$$\tilde{D}(S_1) - \tilde{D}(S_2) > 0 \quad (4.1)$$

Dans le second cas, ces conditions d'acceptabilité d'ACB sont fournies par la relation suivante :

$$\tilde{D}(S_2) < \tilde{D}(S_1) \quad (4.2)$$

Avec : $\tilde{D}(S_i)$ est le dommage moyen annuel de l'état i ($i= 1..2$).

Suivant ces deux cas, l'ACB des risques naturels par le biais de la méthode des dommages évités a pour vocation de comparer entre deux états : *état initial* (sans mesures) et *état projeté* (avec mesures). A l'issue de cette comparaison, les bénéfices correspondent aux dommages évités.

Afin de mieux justifier la relation que nous adoptons dans la suite de cette étude pour les dommages évités, nous rappelons que dans le premier cas évoqué ci-dessus (Equation 4.1), *l'utilité* des mesures de prévention du PFF est exprimée par la différence entre les dommages potentiels qui caractérisent l'état initial et ceux associés à l'état projeté. Cette différence exprime, dans le cas où elle est positive, le bénéfice due aux dommages évités grâce aux mesures projetées. Cette utilité est dite cardinale car elle est basée sur un calcul d'utilité. A ce propos, nous soulignons que dans les études prévisionnelles (telle est notre cas), l'utilité cardinale est trop restrictive (Djebabra et al, 2015). En conséquence, l'intérêt doit être porté sur l'utilité ordinale qu'est du type comparatif entre deux états (Equation 4.2).

Afin d'exploiter utilement cette inéquation (4.2) dans le cadre de la méthode ACB, nous considérons également l'inéquation suivante :

$$\frac{B}{C} > 1 \quad (4.3)$$

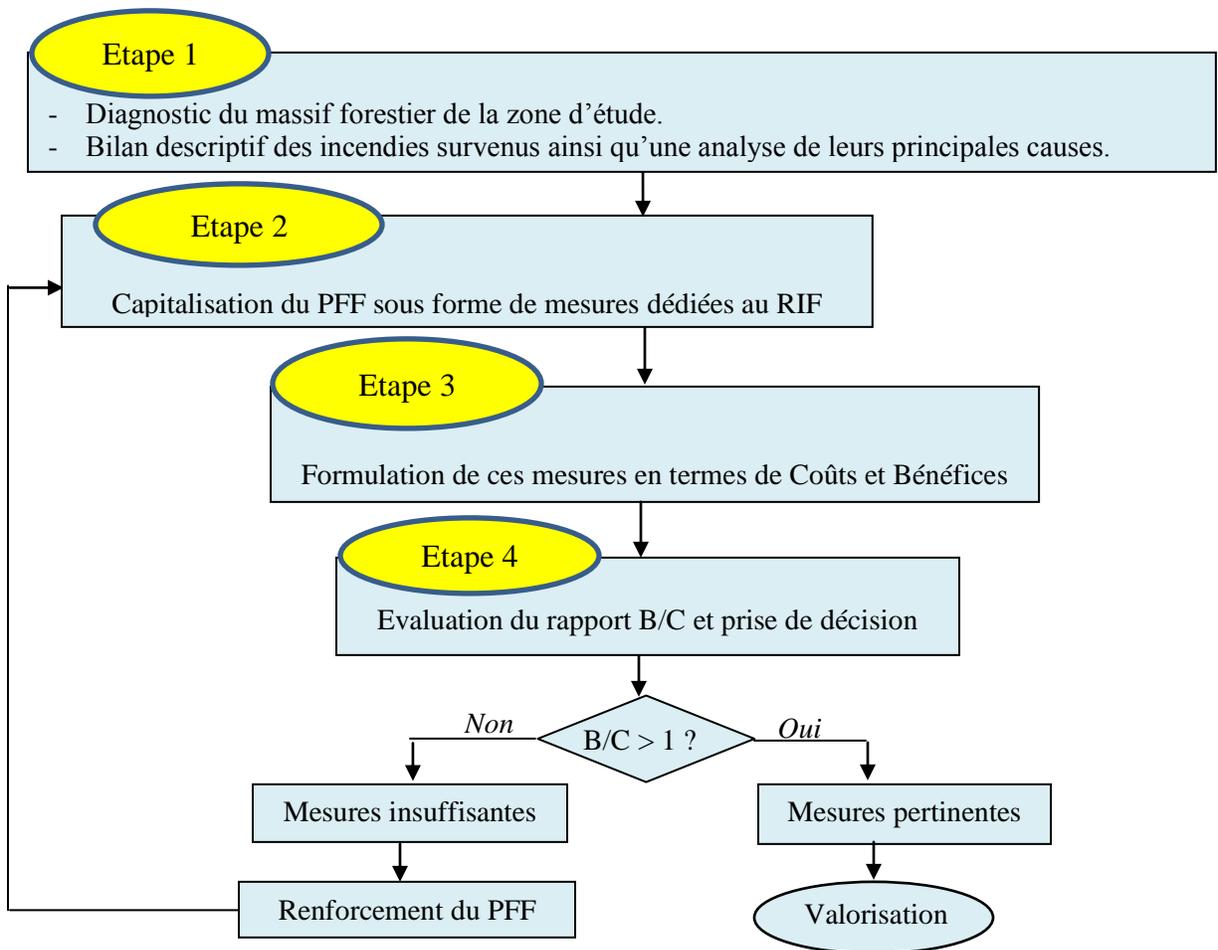
Finalement, l'ACB basée sur les dommages évités que nous proposons pour les risques d'incendie de forêts consiste à exploiter d'une certaine manière les relations (4.2) et (4.3). Ceci sera détaillé dans la section suivante.

4.3.2 ACB préconisée pour le risque d'incendies de forêts

La mise en œuvre de l'ACB à travers la méthode des dommages évités (figure 4.2), permet de mieux connaître l'exposition de la zone d'étude au Risque d'Incendies de Forêts (RIF) et, par voie de conséquences, d'alimenter la concertation en vue d'une meilleure gestion du RIF.

Les quatre étapes de cette démarche sont détaillées ci-après :

- *Etape 1* qui consiste en un choix de la zone d'étude (cf. description de la zone forestière étudié dans la section suivante).
- *Etape 2* qui consiste en une définition des mesures dédiées au RIF. Etant donné que l'étude porte sur les PFF (cas de la zone des Aurès-Algérie), nous retenons dans cette étape, les mesures présentées dans le tableau 4.1.
- *Etape 3*, qui constitue le noyau de notre démarche proposée, permet d'exprimer ces mesures en termes de bénéfices et coûts.
- *Etape 4*, qui consiste à évaluer le rapport B/C qui permet de rapporter les bénéfices des mesures à leurs coûts. Ces mesures seront pertinentes économiquement si le rapport B/C est supérieur à 1.



Source : Mokhtari et al, 2016

Figure 4.2 – ACB pour la valorisation des mesures de prévention des incendies de forêts.

La formulation des bénéfices et coûts de la troisième étape de notre démarche est détaillée ci-après.

4.3.2.1 Expression du paramètre Bénéfice

Etant donné que le Bénéfice (B) est le dommage évité, il est donc déduit de la relation suivante :

$$B = \widehat{D}_{EI} \times O \quad (4.4)$$

Où O est l'objectif retenu pour faire face aux incendies de forêts.

Rappelons que la formulation du Bénéfice requiert la définition de l'enjeu de la gestion du RIF. Dans notre cas, cet enjeu est celui du patrimoine forestier (contenu de la forêt en matière du bois) dont la valeur du bois est évaluée séparément pour les jeunes forêts et les forêts mûres approchant l'âge d'abattage (Vélez, 1999). Conséquemment, les dommages évités (\widehat{D}_{EI}) sont calculés pour

ces deux types de forêts par la relation suivante :

$$\widehat{D}_{EI} = \widehat{D}_j + \widehat{D}_m + \widehat{F}_j + \widehat{F}_m \quad (4.5)$$

Avec : \widehat{D}_j et \widehat{D}_m correspondent, successivement, aux dommages subis par les jeunes forêts et les forêts mûrs.

\widehat{F}_j et \widehat{F}_m correspondent, successivement, aux actualisations de ces dommages.

Les formulations de ces quatre paramètres sont fournies par Véléz (1999) comme suit.

$$D_j = k.S_j.[(A + 1.25C_0).(1.04^{e_j} - 1) + (C'_0 1.04^{e_j})] \quad (4.6)$$

Où : k est le coefficient de densité des forêts

S_j est la superficie incendiée de jeunes forêts (en ha)

A est la valeur d'un hectare de terre forestière sans arbre (en KDA)

C_0 est le coût actuel de la régénération d'un hectare (en KDA)

e_j est l'âge moyen de jeunes forêts (en années)

C'_0 est le coût réel de la régénération d'un hectare (en KDA). Sa valeur peut être la même que celle de C_0 . Elle peut être faible en cas de régénération, voire nulle.

$$D_m = P_m \cdot V_m - P'_m \cdot V'_m \quad (4.7)$$

Où : P_m est le prix moyen d'un m³ de bois avant abatage correspondant à la catégorie de taille des forêts brûlés (en KDA).

V_m est le volume de bois commercialement exploitable endommagé par le feu (en m³).

P'_m est le prix moyen d'un m³ de bois avant abatage ayant été endommagé par le feu et dont sa valeur maximale est P_m (en KDA).

V'_m est le volume de bois récupérable et dont sa valeur maximal est V_m (en m³).

$$F_j = k.S_j.P_T.V_T \cdot \frac{(1+t)^{e_j} - 1}{(1+t)^T} \quad (4.8)$$

Où : P_T est le prix moyen d'un m³ de bois mûr (en KDA).

V_T est le volume moyen du bois produit par un hectare de forêt en un cycle moyen (en m³).

t est le taux d'intérêt et T est le cycle en années.

$$F_m = S_m.P_T.V_T \cdot \frac{(1+t)^{T-e_m} - 1}{(1+t)^{T-e_m}} \quad (4.9)$$

Avec : S_m étant la superficie incendiée de forêts mûres (en ha).

Signalons que dans l'Equation (4.8), l'actualisation des dommages (F_j) est calculée en fonction de l'augmentation de la valeur entre l'époque du reboisement et l'année de l'incendie. De même, les dommages indirects (F_m) de l'Equation (4.9) sont évalués en calculant la valeur potentielle que le bois perdu aurait atteint s'il avait été abattu à la fin du cycle.

4.3.2.2 Expression du paramètre Coût

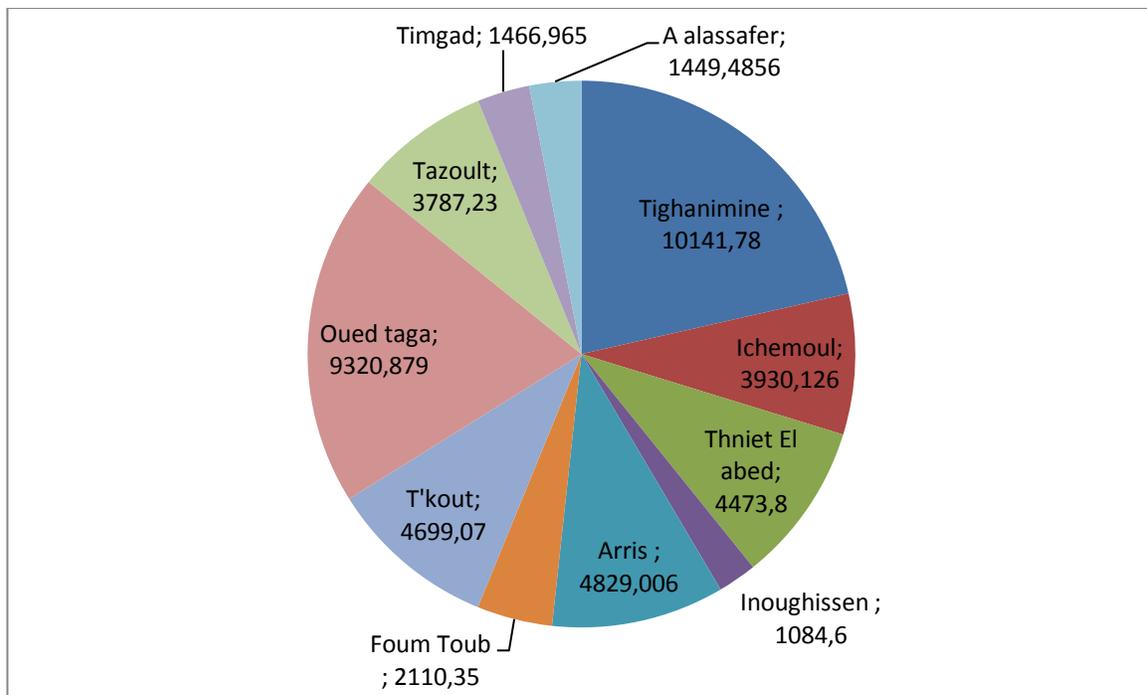
Le coût est celui du à l'investissement en matière de prévention des incendies de forêts. Autrement dit, c'est le coût associé au déploiement des mesures relatives au RIF. Par ailleurs, signalons qu'une mesure de prévention a vocation à avoir des effets dans le temps qui sont matérialisés par des dommages évités grâce à cette mesure. Afin de prendre en considération l'échelonnement de ces dommages évités, on procède à leur actualisation moyennant l'équation suivante (Mellal et Djebabra 2015) :

$$V_A (\text{à } t_0) = \frac{V_F (\text{à } t)}{(1+t)^T} \quad (4.10)$$

Où V_A est la valeur actuelle (à l'instant t_0) et V_F est la valeur future (à un instant t).

4.4 Application de la démarche proposée à la région des Aurès

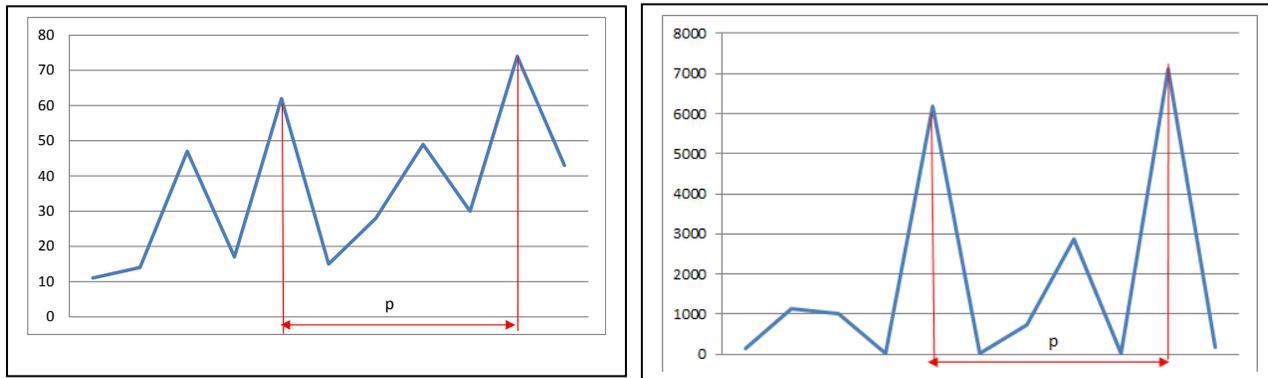
La région des Aurès, située en Est d'Algérie, s'étale sur une surface d'environ 10.000 km². Les forêts de cette région sont assez considérables et sont réparties par communes de la région comme suit (figure.4.3).



Source : (Benmessaoud et al, 2007)

Figure 4. 3 - Répartition des superficies forestières (en ha) de la région des Aurès par commune.

Les incendies de forêt qu'a connue cette région durant la période 2003-2013 sont résumés par la figure 4.4 où le pique est enregistré en 2012 avec : 74 incendies et 7125 hectares brûlés.



(a) Nombre des incendies de forêts

(b) Surfaces incendiées (en ha)

Source : (Mokhtari et al, 2016).

Figure 4.4 - Bilan des incendies de forêts dans la région des Aurès durant la période 2003-2013.

La figure 4.4 montre que la période de retour des incendies de forêts (p) est devenue très courte pour cette région ($p = 6$ années). D'où la nécessité de renforcer les mesures de prévention des incendies de forêts.

Le renforcement de ces mesures est synthétisé dans le tableau 4.2 qui résume les mesures projetées pour la période 2013-2017.

Tableau 4.2- Mesures de prévention projetées pour la période 2013-17.

Sources : (Direction de forêts-Batna, 2015 ; Mokhtari et al, 2016)

Mesures de prévention retenue	Données relatives à la période 2006-2012			Données projetées pour la période 2013-2017			
	En nombre	En unite	Valeurs en KDA	En nombre	En unité	Valeurs actualisées en KDA	Contribution individuelle des mesures (en %)
M ₁	216	2025.4 km	16203200	15	439 km	658500000	62.54
M ₂				10	2 km	800000	00.07
M ₃	148 unités		111000000	11 unités		11000000	01.05
M ₄	850	9000 ha	225000000	300	3307 ha	13228000	01.26
M ₅	60	130 km	850000000	10	60 km	367653125	34.92
M ₆	40	200 ha	10500000	20	155 ha	294122,5	00.03
M ₇	10	80 km	2500000	5	2 km	1400000	00.13
Coût total estimé	1215203200			1052875248			100%

Ces mesures de prévention projetées pour la période 2013-2017 ont pour objectifs de réduire le RIF de **10 %**. D'où une préservation de 1944.26 hectares de la surface forestière.

L'actualisation des coûts de ces mesures sur la période 2013-2017 est fournie par l'équation (4.10) où le taux d'actualisation retenue (t) est égal à 2.5%. D'où les coûts estimés pour l'ensemble des mesures retenues (cf. dernière ligne du tableau 4.2).

Ces coûts représentent l'investissement qu'il faut réaliser afin d'éviter des dommages qui seront causés par les incendies de forêts durant la période 2013-2017.

Nous obtenons, donc : $C = 1052875248$ KDA.

Pour évaluer les bénéfices réalisés (B), nous avons retenu les données fournies par le tableau 4.3 à partir desquelles et par application de la relation (4.5), nous obtenons : $\widehat{D}_{EI} = 8132308304$ KDA. Ensuite, l'équation (4.4), nous permet de déduire le bénéfice : $B = 813230830,4$ KDA.

Tableau 4.3 - Données relatives au calcul du dommage de l'état initial.

Source : (Mokhtari et al, 2016)

$k = 0.3$ $S_j = 44426$ $A = 10000$ KDA $C_0 = C'_0 = 0$ $e_j = 10$ years	$P_T = 90$ KDA $V_T = 6000$ m ³ $t = 10\%$ $T = 20$	$P_m = 10000$ KDA $V_m = 2000$ m ³ $P'_m = 1000$ DA $V'_m = 500$ m ³	$S_m = 19000$ $e_m = 20$ years
$D_j = 64005997,81$	$F_j = 1515528627$	$D_m = 19500000$	$F_m = 5567851200$

Enfin, les résultats des calculs issus de l'application de la relation (4.3) montrent que le rapport B/C est inférieur à l'unité ($B/C \approx 0,77$). D'où la nécessité de réajuster les paramètres B et C de sorte à respecter l'inéquation (4.3).

4.5 Apports de la démarche proposée

La méthodologie présentée dans ce chapitre tente de donner une réponse chiffrée à la question de la portée des investissements en termes de mesures de prévention d'incendies de forêts. Cela permet une meilleure évaluation des dommages évités dus aux incendies de forêts et par conséquent à leur utilisation ultérieure en termes de décision d'aménagement.

Signalons que les dommages évités²⁹ retenus dans cette étude sont du type tangible et correspondent à des effets pouvant faire l'objet d'une évaluation monétaire.

Par ailleurs, les dommages tangibles évités doivent être évalués sur plusieurs périodes de retour des incendies de forêts afin de mettre en évidence la fréquence courte de cette périodicité des incendies de forêts. Dans ce contexte, nous avons effectué une analyse statistique sur les incendies de forêts dans la région des Aurès sur une période de cinq décennies (Mokhtari et al,

²⁹ D'autres dommages intangibles, non considérés dans cette étude, sont difficile à évaluer dans le cadre d'une ACB. Ils peuvent faire l'objet d'une démarche d'Analyse multicritère.

2016). C'est à partir de cette étude que nous nous sommes limités, dans cet étude, à deux périodes de retour des incendies de forêts (2006 et 2012).

Compte tenu des données fournies dans les Tableaux 4.2 et 4.3, les résultats obtenus montrent que l'ACB telle que pratiquée dans cet article est axée sur l'évaluation de la pertinence de l'ensemble des mesures de prévention incendie. Cette évaluation nous a permis de mettre en évidence la nécessité de réajuster les paramètres Bénéfices et Coûts de l'ACB.

En termes d'ACB, trois possibilités sont offertes : augmenter uniquement le paramètre Bénéfices ou bien diminuer uniquement le paramètre Coûts ou bien d'agir simultanément sur ces deux paramètres de sorte à augmenter le paramètre Bénéfices tout en diminuant en même temps le paramètre Coûts.

C'est cette dernière alternative qui semble la plus judicieuse pour cause d'indépendance entre les paramètres B et C.

Afin d'illustrer nos propos, nous rappelons que le réajustement de ces deux paramètres est initié, d'abord, par le pourcentage des causes d'incendies de forêts d'origine inconnue qui dominent les autres causes (humaines et naturelles). A ce propos, un retour d'expérience sur les incendies de forêts survenus dans différents pays a permis de formuler des explications axées sur l'attitude des populations rurales et urbaines vis-à-vis de la forêt (Bryden et Hart, 2004). Dans le cas, de la région des Aurès-Algérie, et après chaque incendie de forêt, un bon nombre de commerçants informels s'impliquent occasionnellement dans la vente du bois incendié. Ce constat du terrain confirme les résultats des études sociologiques sur l'attitude des populations vis-à-vis des incendies de forêts. Dans le cas de la région des Aurès-Algérie, ce constat montre la nécessité de faire face à ce commerce informel qui explique d'une certaine manière les causes inconnues des incendies de forêts dans cette région. En termes d'ACB, l'interdiction du commerce informel du bois incendié n'est possible que par une canalisation administrative (appels d'offres) qui permet de valoriser le prix moyen du bois brûlé (Paramètre, P_m , dans l'Equation 4.7) et d'augmenter, par voie de conséquences, le bénéfice B dans l'Equation 4.3).

Suivant cette alternative et d'après les tendances du marché algérien, la valeur espérée avec cette valorisation du prix moyen du bois brûlé peut atteindre 10.000 KDA. D'où une augmentation de la valeur du paramètre Bénéfices (cf. tableau 4.4).

Une autre action permettant le réajustement des paramètres Bénéfices et Coûts concerne la restauration des forêts dégradés et leur reboisement. Malheureusement, cette opération s'effectue dans le cas de la région étudiée dans des conditions climatiques défavorables (sécheresse). Pour solutionner ce problème, l'apport d'ACB consiste à réajuster les contributions individuelles des mesures de prévention présentées dans le tableau 4.2 de sorte à ce que le Coût global soit inférieur à sa valeur initiale qu'est de 1052875248 KDA (cf. tableau 4.2). Dans ce contexte, nous recommandons un renforcement de la contribution individuelle de la mesure M_3 (et donc une réduction des taux de contribution des mesures M_1 ou M_5 (cf. tableau 4.4). En effet, le

renforcement des constructions des points d'eau permet de solutionner le problème de sécheresse qui frappe la région des Aurès-Algérie, d'une part, et permet d'espacer entre les essences afin de ne plus créer des espaces forestiers d'un seul tenant où le risque de grands incendies s'en trouve accru du fait que la propagation est favorisée par la continuité des combustibles.

De plus, le renforcement de cette construction de points d'eau permet d'augmenter le volume moyen du bois produit par un hectare de forêt en un cycle moyen (V_T dans l'Equation 4.8). D'où une augmentation de la valeur F_j de cette Equation (cf. tableau 4.4).

Une dernière action qui concrétise le réajustement des paramètres Bénéfices et Coûts correspond au renforcement des travaux de sylvicoles. En effet, la région étudiée est connue par l'accroissement des périodes de sécheresse qui augmente le risque d'incendie de forêts. A ce propos, la mesure la plus pratiquée dans les pays du méditerrané est basée sur l'interdiction générale du feu (mesure organisationnelle). Cette mesure peut être efficace dans certains pays mais pas à notre avis pour le cas de l'Algérie où la mise en valeur agricole a reculé durant les deux dernières décennies ce qui a entraîné l'apparition de la végétation ligneuse et par voie de conséquence l'accumulation de combustibles légers qui sont à l'origine de l'accroissement du risque d'incendie.

Les difficultés de l'accumulation de combustibles légers proviennent de l'absence de l'aménagement de la forêt de cette région où la majorité des arbres sont laissés à l'abandon. Dans ce contexte et pour instaurer une nouvelle politique d'aménagement du parc forestier de cette région des Aurès-Algérie, il faut penser à instaurer la sylviculture de ce patrimoine forestier. En termes d'ACB, il s'agit de réajustement de la contribution individuelle de la mesure M_4 (cf. tableau 4.4).

Finalement et après discussion avec les responsables concernés du projet, l'ensemble des réajustements possibles des contributions individuelles des mesures ciblées suivant cette seconde alternative sont résumés dans la première partie du tableau 4.4. Dans sa seconde partie, sont portées les nouvelles valeurs qui contribuent à l'augmentation du paramètre Bénéfices.

Les résultats de l'ACB axée sur les dommages évités montre que les solutions formulées ci-dessus ont tendance à équilibrer entre les taux de contributions individuelles des mesures tout en respectant l'enveloppe totale des investissements allouée à cette région pour l'horizon 2013-2017. Il s'agit donc de trouver le réajustement le plus optimal dans ces recommandations pour que le rapport B/C soit supérieur à l'unité. D'où :

- La première recommandation qui est axée sur la revalorisation dans le sens de la maximisation des prix moyens du bois incendié : P_m et P'_m dans l'Equation (4.7) et réajustement des coûts des mesures (M_4 , d'une part et M_1 et/ou M_5 , d'autre part).
- La seconde recommandation orientée vers la revalorisation de la restauration des forêts et le reboisement avec intérêt accordé au réajustement des coûts des mesures (M_3 , d'une part et M_1 et/ou M_5 , d'autre part).

Afin d'optimiser les réajustements relatifs à ces deux principales recommandations, nous avons effectué des simulations dont les résultats sont regroupés dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 – Résultats d'optimisation des réajustements des contributions individuelles des mesures de prévention des incendies de forêts.

Mesures de prévention retenues	Données pour la période 2013-2017			
	En nombre	En unité	Valeurs actualisées en KDA	Nouvelle contribution individuelle (en %)
M ₁	12	300 km	450000000	42.74
M ₂				00.09
M ₃		100	100000000	09.49
M ₄	460	5000 ha	20000000	01.89
M ₅	7	50 km	306377604	29.01
M ₆				00.16
Total cost			872099727	100%
<i>Réajustement du parameter Bénéfice</i>				
P _m = 10000 KDA ⇒ B = 470371574 (cf. Equations 4.4 et 4.5)				
V _T = 10000 m ³ ⇒ F _j = 30039597,6 (cf Equation 4.8)				

Les résultats du tableau ci-dessus montrent que l'ACB basée sur les dommages évités constitue un outil d'aide à la décision pour les pouvoirs publics. Le recours aux réajustements des contributions individuelles des mesures retenues pour faire face aux incendies de forêts ont permis de surmonter la contrainte budgétaire, d'une part et de rendre ces mesures plus efficaces, d'autre part.

Conclusion

Le long de ce chapitre, nous avons montré la pertinence de l'ACB basée sur les dommages évités pour évaluer l'efficacité des mesures de prévention d'un PFF sur un horizon du temps. S'appuyons sur un cas d'étude de la région des Aurès-Algérie, nous avons montré comment le rapport B/C appuyé par une optimisation des réajustements des contributions individuelles des mesures de prévention d'un PFF peut contribuer à la meilleure politique de prévention des incendies de forêts.

Les propositions et formulations mathématiques proposées dans la démarche proposée ont pour but de servir comme support de base pour construire une concertation autour de la meilleure stratégie de prévention des incendies de forêts. A ce propos, la méthodologie proposée peut contribuer à la définition d'une politique de prévention des incendies de forêt qui doit avoir l'ambition de contribuer à la gestion durable des zones forestières. Ceci n'est possible que par le biais d'une analyse et évaluation des effets de maintien des mesures de prévention sur un horizon du temps et par le biais du maintien de la cohérence entre ces investissements en termes de mesures de prévention avec les stratégies opérationnelles.

Conclusion Générale

Certes, les incendies de forêts sont beaucoup moins meurtriers que la plupart des catastrophes naturelles mais, ils n'en restent pas moins coûteux au niveau matériel et environnemental. La seule restauration de l'environnement témoigne du coût élevé de la préservation du patrimoine forestier dans la région de Batna. Conséquemment, la prévention des feux de forêts occupent une place de choix dans toute action en faveur de la préservation de ce patrimoine forestier.

La principale contribution réalisée dans le cadre de cette thèse de doctorat s'intègre dans ce contexte et a pour objectif de mettre en exergue la pertinence de la politique de prévention. Plus précisément, nos investigations effectuées sur le PFF de la région de Batna nous ont permis de réajuster le déséquilibre des investissements relatifs à la prévention des feux de forêts dans la région étudiée.

Au terme de cette contribution, nous proposons de renforcer le PFF étudié par deux principales recommandations :

- Accorder une grande importance à l'aspect économique pour la gestion forestière par usage d'outils appropriés telle que l'ACB qu'est une méthode de prévision et de prévention du risque d'incendies de forêts. L'usage de cette méthode permet, à notre avis, de mieux maîtriser le budget et les investissements réalisés dans le cadre de la prévention des incendies de forêts.
- Compléter ces efforts en matière d'investissements forestiers par une forte sensibilisation des riverains et la nécessité de leur implication plus active dans la politique de prévention des incendies de forêts. Plus particulièrement dans les actions involontaires (emploi imprudent du feu en agriculture, par exemple). Les messages répressifs doivent être accompagnés par d'autres du type incitatif.
- Renforcer la prévision par l'incitation des services météorologiques de la région de Batna à intégrer dans leur base de données *l'indice-forêts-météo* afin d'anticiper le départ des feux. Pour rappel, cet indice est la combinaison des indices de combustibilité et ceux du comportement des feux de forêts.

Il est important de rappeler également que notre principale contribution relative à l'usage de l'ACB est cadrée par le modèle de catastrophe. A ce propos, nous avons montré l'apport de ce modèle basé sur des considérations assez formelles permettant de faciliter le passage de l'expertise (acquisition de la connaissance sur les incendies de forêts) à la prise de décision. En

effet, le modèle de catastrophe permet de gérer les pertes causées par les incendies de forêts en trois temps : l'avant-incendie de forêts (prévention), la réaction à l'incendie de forêts (protection) et l'après-incendie de forêts (apprentissage pour alimenter le retour d'expérience).

Ces trois actions constituent, donc, une boucle sans fin. Car :

- la prévention, qu'est la sécurité primaire, doit être priorisée,
- la protection permet de compléter la prévention,
- l'apprentissage permet d'alimenter la prévention et la protection par des actions plus appropriées et plus efficaces pour réduire les pertes dues aux incendies de forêts.

Ainsi, cette boucle permet une meilleure exploitation de la connaissance sur les incendies de forêts. Ceci n'est possible que par le biais de la gestion de la connaissance sur les incendies de forêts. D'où l'autre apport du modèle de catastrophe qui permet d'assurer la transition de la gestion des catastrophes à la gestion des connaissances. C'est la première perspective que nous projetons à notre travail.

Une seconde perspective de recherche concerne la prise en considération des effets dominos dans l'évaluation des pertes causées par les incendies de forêts. Dans ce contexte, nous projetons l'usage combiné des méthodes d'évaluation des pertes (méthode des dommages évités et méthodes des contingents) afin de généraliser l'évaluation des pertes non monétaires (c.à.d. des valeurs) par la méthode ACB.

Une troisième et dernière perspective de recherche concerne l'apport de l'ACB dans l'analyse AFOM³⁰ (SWOT). En effet, l'ACB constitue un outil adéquat pour choisir la meilleure combinaison AFOM³¹ de la région étudiée.

³⁰ Atouts, Forces, Opportunités et Menaces.

³¹ Une présentation détaillée de l'analyse AFOM de la région de Batna est présentée en annexe.

Références bibliographiques

- Abdessemed K., 1984, « Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Première partie : La dégradation, ses origines et ses conséquences », Forêt méditerranéenne, Vol. VI, N°1, 1984, pp. 19-26.
- Abdessemed S, 2009, « Comportement des semis du Cèdre de l'Atlas en conditions de stress thermique », Mémoire de magister soutenu à l'Université Mantouri de Constantine, Algérie
- Amouric H., 1992, « Le feu à l'épreuve du temps », Editions Aix-en-Provence : Narration, France.
- Amraoui M, 2014, « Contribution à l'étude floristique post-incendie dans la subéraie de Zariffet « wilaya de Tlemcen » », Mémoire de master soutenu à l'Université de Tlemcen, Algérie
- André, G., 2002, «Détection et la cartographie des dommages et des marqueurs de catastrophes naturelles-par imagerie spatiale optique et radar ». Thèse de Doctorat soutenu à l'Université de Paris VII, Paris, France.
- Arfa A-M-T., 2008, « Les incendies de forêts en Algérie : stratégies de prévention et plans de gestion », Mémoire de magister soutenu à l'Université Mantouri de Constantine, Algérie
- Baziz, N, 2017, « Contribution à la caractérisation et modilisation du cycle de l'eau potable et les risques associés dans la wilaya de batna (Approche par SIG), Thèse de doctorat soutenue à l'Université de Batna 2, Algérie
- Beaudin I., 2007, Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de sécheresse en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat soutenue à l'Université de Laval-Québec Canada
- Bekdouche, F, 2010, « Evaluation après feu de l'écosystème Suberaie de kabylie », thèse doctorat, univ Tizi ousou. Thèse de doctorat soutenu à l'Université Tizi ousou, Algérie
- Belhadj-Aissa M., Belhadj-Aissa A. et Smara Y., 2003, « Application du SIG et la détection dans la gestion du risque de feux de forêts en Algérie », paper presented in 2nd FIG Regional Conference and 10 th Anniversary of ONIGT Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.
- Belkhiri K, 2006, « Contrôle Rapide des Structures en Relation avec le Risque et Evaluation des Dommages Causés par une Catastrophe Naturelle : cas de séisme » Mémoire de Magister, soutenu à l'Université de Batna. Algérie
- Benbouaziz, A , 2011, « Les transformations architecturales et morphologiques de l'habitat traditionnel dans les Aurès : Cas de Menaa », Mémoire Master, Univ. Mémoire de Master

soutenu à l'Université Mohamed Khider Biskra, Algérie

- Benmassaoud H, Kalla M, Dridi H, 2009, « Evaluation de l'occupation des sols et désertification dans le sud des Aurès (Algérie) », revue Mappemonde N° 94 (2-2009).
- Benmessaoud H., 2009, Etude de la vulnérabilité à la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie), Thèse de doctorat soutenue à l'Université Hadj-Lakhdar de Batna, Algérie
- Benmessaoud H., Kalla M., Dridi H., 2007, "Utilisation des images Alsat 1 pour la réalisation d'une carte d'occupation du sol des zones semi arides. Cas de la région des Aurès (Algérie)", Actes du colloque Géoflore, Mai 10-12, Nancy – France.
- Boardman A-E., 2015, Cost-Benefit Analysis, International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition), pp. 47-54.
- Bouhata R, 2007, « Analyse de la dynamique des sebkhs et son impact sur la vulnérabilité au risque d'inondation dans les dépressions endoéiques situées entre Zana et Madgassen à l'aide de l'imagerie satellitaire LANDSAT », Mémoire magistère soutenu à l'Université de Batna, Algérie.
- Boukhtache N, 2008, « Contribution à l'étude de la niche écologique de la Cigogne blanche *Ciconia ciconia* L., 1758 (Aves, Ciconiidae) et du Héron garde-bœufs *Bubulcus ibis* L., 1758 (Aves, Ardeidae) dans la région de Batna », Mémoire de magisère soutenu à l'Université de Batna, Algérie
- Bründl M., McAlpin M.C., Gruber U. and Fuchs S., 2006, Application of the marginal cost approach and cost-benefit analysis to measures for avalanche risk reduction. A case study from Davos-Switzerland, in RISK21 - Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century. Edited by Ammann W. J., Dannenmann S. and Vulliet L., Taylor & Francis, London, pp. 155-168.
- Bryden, J., Hart K., 2004, A new approach to rural development in Europe - Germany, Greece, Scotland and Sweden. The Edwin Mellen Press. Lampeter.
- Carrega P., 2007, Information Géographique et Climatologie, Hermès- Lavoisier Editions, Paris-France.
- Chaline C. et Dubois-Maury J., 1994, « La ville et ses dangers : prévention et gestion des risques naturels, sociaux et technologiques », Collection « Pratiques de la Géographie », éditions Masson, Paris-France.
- Chenouf N, 2014, « la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national », rapport national-Algérie - n°5 MATE/PNUD
- Cohen-Salamon L. & Fongang D-J., 2014, La modélisation du risque de gel en France, Mémoire pour l'obtention du diplôme de la filière Actuariat et l'admission à l'Institut des Actuaire. Ecole Nationale de la Statistique et de l'Administration Economique de Paris-Tech. France

- Collectif, 2006. Le risque feu de forêt. Les cahiers de Préventique. Editions Préventique, Bordeaux – France.
- Commission Nationale de Protection de Forêts –CNPF-, 2014, Synthèse du bilan de feux de forêts en Algérie pour l’année 2013. Rapport de la CNPF. Direction Générale des forêts. Ministère Algérien de l’Agriculture et du Développement Rurale.
- Dagorne A, Duché Y, Castex J, Ottavi J, Christophe D, Coster A, 1994, «Protection des forêts contre l’incendie & Système d’information géographique: Application à la commune d’Auribeau-sur-Siagne (Alpes-Maritimes)», revue de forêt méditerranéenne T. XV, N° 4, pp 409-420.
- Dauriac F, Deshayes M, Gillon D, Roger J-M, 2001, « Suivi de la teneur en eau de la végétation méditerranéenne par télédétection. Application au risque de feu de forêt », [en ligne],
- Denis-Rémis C., 2007, Approche de la maîtrise des risques par la formation des acteurs. Thèse de doctorat présentée à l’Ecole des Mines de Paris-France.
- Desroches A., 1995, « Concepts et méthodes probabilistes de base à la sécurité », Lavoisier – Tech & Doc, France.
- Desroches A., 2005, Les invariants du risque, Actes du colloque international QUALITA’05, Bordeaux-France.
- Diamond P.A. and Hausman J.A., 1994, “Contingent Valuation: Is Some Number better than No Number?”, The Journal of Economic Perspectives, Vol. 8, No. 4, pp. 45-64.
- Direction Générale des Forêts –DGF- (2004), *Rapport national de l’Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification*. DGF, Alger, septembre 2004, [en ligne] <http://www.unccd.int/cop/reports/africa/national/2004/algeria-fre.pdf>
- Direction générale des forêts, 2012, « 50 ans de réalisations forestières », Document interne de la direction de conservation de forets de la wilaya de Batna.
- Djebabra M, Mouda M & Bellala D., 2015, “The contribution of the BQA method to the analysis of the work procedures violation”, Journal of Management Development, Vol. 34 No. 6, pp. 704-714.
- Dupuy J.L., 1997, « Mieux comprendre et prédire la propagation des feux de forêts : expérimentation, test et proposition de modèles », Thèse de Doctorat présentée à l’Université Claude Bernard - Lyon I, France.
- Erdlenbruch K., Gilbert E., Grelot F. and Lescoulier C., 2008, Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre des inondations. Application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l’Orb. Ingénieries - E A T, pp. 1-20. <hal-00602482>
- Faleh A, Lakhouaja H, Sadiki A et Chaouan J, 2012, «SIG, télédétection et évaluation de risque d’incendie de forets : exemple du massif forestier khezana (province de chaouene)», revue Papeles de Geografía, ISSN: 0213-1781 núm. 55-56, 2012, pp. 37-48

- Feloi E., Giacormich P., Mignozzi K., Oztruk M. & Scimone M., 2003 "Monitoring desertification risk with an index integrating climatic and remotely-sensed data: An example from the coastal area of Turkey", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 14 Iss:1, pp.10 - 21
- Gemagraf, 1990, « protection des forêts contre l'incendie », guide pratique, Edition du chapitre 4, France.
- Gérard B, 2001, « Gestion spatiale des risques », hemers/lavoisier, 1ère édition, France.
- Ghezlaoui S-M B-D, Séminaire national sur la Problématique et les enjeux de l'agriculture Algérienne INRA Algérie- Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen - 11 Avril 2016
- Givone P., 1998, « Risques naturels et transcriptions cartographiques », *Revue Ingénieries - eau, agriculture, territoire du CEMAGREF*, numéro spécial 1998 « Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt », pp. 79-85.
- Gordan W., 2015, "Cost-Benefit Analysis in Volcanic Risk, Volcanic Hazards", *Risks and Disasters*, pp. 289-300.
- Gould J.S., Patriquin M.N., Wang S., McFarlane B. L. and Wotton B.M., 2013, "Economic evaluation of research to improve the Canadian forest fire danger rating system", *Forestry*, Vol. 86, pp. 317 – 329.
- Grossi P., Kruntheur H. & Windeler D., 2005, « An introduction to catastrophe model and insurance », In "Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk". Editors: Grossi, Patricia, Kunreuther, Howard (Eds.)
- Grossi, P., and Kunreuther, H., 2005, *Catastrophe modeling: A new approach to managing risk* New York: Springer
- Guettala F.N, 2010, « Entomofaune, Impact Economique et Bio- Ecologie des Principaux Ravageurs du Pommier dans la région des Aurès », Thèse doctorat soutenu à l'Université de Batna, Algérie
- Hadef A, 2010, « Cartographie de l'occupation du sol par la végétation à partir des données satellites dans la région d'Annaba (Chétaibi) », Mémoire magister, soutenu à l'Université de Annaba, Algérie.
- Hachemi, M, 2014, Apport de la géomatique dans la protection des forêts contre les incendies (cas la forêt Fenouane Ain el Hdjar, Saida), Mémoire master, soutenu à l'Université de Telemcen, Algérie.
- Hannachi A, 2010, « Etude des mauvaises herbes des cultures de la région de Batna: systématique, biologie et écologie », Mémoire magister, soutenu à l'Université de Sétif, Algérie
- Hessas N, 2005, « Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon,

Nice, Alpes – Maritimes », thèse doctorat PMprésenté à l' université de Grenoble I- Joseph Fourier.

Houhamdi M, Zitouni A, Rouibi A, Merzoug A, Atoussi S, Metallaoui S, 2012 « Biomonitoring et dynamique de l'avifaune aquatique dans les chotts et les sebkhas des hautes plaines de l'Est algérien - BDAA-HPEA –« , Rapport final du projet PNR, Université 8 Mai 1945 de Guelma.

https://www.researchgate.net/profile/M_Deshayes/publication/237391640_Suivi_de_la_teneur_e_n_eau_de_la_vegetation_mediterranenne_par_tldtection._Application_au_risque_de_feu_de_fort/links/02e7e5283899d1f484000000.pdf

Iard., 2013, « La modélisation des catastrophes naturelles : les innovations face aux catastrophes non-vie », Journée d'étude IARD, 13 mars, Tours-France.

Jaeger S.R., Hedderley D., and MacFie J.H., 2001, "Methodological issues in conjoint analysis: a case study", European Journal of Marketing, Vol. 35 Iss: 11/12, pp.1217 – 1239.

Joseph R., Proverbs D., Lamond J., Wassell P., 2014, "Application of the concept of cost benefits analysis (CBA) to property level flood risk adaptation measures : A conceptual framework for residential", Structural Survey, Vol. 32 Iss: 2, pp.102 – 122.

Khader M., Benabdeli K., Mederbal K., Fekir Y., Gueddim R. et Mekkous B., 2009, « Etude du risqué d'incendie à l'aide de la géomatique : cas de la forêt de Nesmoth-Algérie », MEDITERRANEA, Vol. II, N° 20, pp. 1-39.

Litman, T-A. 2009. Transportation cost and benefits analysis: Techniques, estimates and implications. Technical Report, Victoria Transport Policy Institute, Canada.

Maditinos Z. and Vassiliadis C., 2011, "Mega fires: can they be managed effectively?", Disaster Prevention and Management: An International Journal, Vol. 20 Iss: 1, pp.41 – 52.

Maktite A, Faleh A, 2017, Cartographie des zones à risque d'incendies de forêts à l'aide du SIG et La Télédétection dans l'arrière-pays Du Port Tanger Med, revue d'European Scientific Journal November 2017 edition Vol.13, No.32 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431, pp 205-224

Meddour S-O et Bouisset C, 2013, « Les grands incendies de forêt en Algérie: problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques », revue méditerranée, N° 121.

Meddour S-O et Derridj A., 2012, « Bilan des feux de forêts en Algérie. Analyse spatiotemporelle et cartographie du risque (période 1985-2010) », Sécheresse, Vol. 23 Iss :2, pp. 133-141.

Meddour S-O, 2014, « les feux de forets en Algérie : analyse du risque, étude des causes, évaluation dispositif de défense et des politiques de gestion », thèse doctorat présenté à l'université de Tizi Ouzou.

Meddour S-O, Meddour R, Derridj A, 2010, « Les facteurs favorables aux incendies de forêts en

région méditerranéenne », Univ Tizi Ouzou , Revue Campus N°17

Meddour S-O. & Medour R., 2016, Analyse des stratégies de gestion des incendies de forêts en Algérie. Atelier sur les incendies de forêts et changement climatiques. Les 11 et 12 janvier 2016 à Hôtel "Casablanca" à Dar El Beida, Alger.

Meddour S-O., 2014, Les feux de forêts en Algérie : Analyse du risque, étude des causes, évaluation du dispositif de défense et des politiques de gestion, Thèse de doctorat soutenue à l'Université Mouloud Mammerie de Tizi Ouzou, Algérie.

Mellal L., Djebabra M., 2015, "Contribution of cost-benefit analysis to optimization of eco-design plants", Journal of Engineering, Design and Technology, Vol. 13 No. 2, pp. 334-346.

Météo de l'Aéroport Ben Boulaid de Batna, 2014.

Miara M D, Ait H M, Hadjadj-Aoul S, Hamerlain A S, 2013, "bioclimats, étages de végétation et zonation altitudinale des groupements végétaux dans les monts de Tiaret (exemple des groupements forestiers et préforestiers du massif de Guezoul) », Revue Ecologie-Environnement (9) : 2013 ISSN : 1112-5888

Miara M.D, 2011, « Contribution à l'étude de la végétation du massif de Guezoul (Tiaret) ». Mémoire Magistère soutenu à l'Université de Oran, Algérie.

Mokhtari S, Djebabra M., Bellala D. and Boulagouas W., 2017, "Contribution to the investment evaluation in terms of the forest fires prevention using the cost-benefit analysis method", *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 28 Issue: 5, pp.651-663,

Mokhtari S, Kalla M., Djebabra M. (2013), *Apport de l'imagerie satellitaire dans l'analyse du risque incendie de forêts..* International Conference ICIESE'14 on Engineering of Industrial Safety and Environment, January 26th-27th Oran, Algeria, pp. 1-10.

Mokhtari S., 2011, Étude diachronique et évaluation cartographique par télédétection des incendies de forêts dans le Parc de Belezma -Batna. Mémoire de master académique en Aménagement du territoire. Université de Batna 2.

Monographie de la wilaya de Batna, Avril 2010, Document interne de la direction de planification et de l'aménagement du territoire

Monographie de la wilaya de Batna, 2012, Document interne de la direction de planification et de l'aménagement du territoire

Monographie de la wilaya de Batna, 2015, Document interne de la direction de planification et de l'aménagement du territoire

Napoli A., 2001, « Formalisation et gestion des connaissances dans la modélisation du comportement des incendies de forêts. Géographie. Université Nice Sophia Antipolis, 2001. Français. <NNT :2001NICE2044>. <tel-00532631>

- Ozturk M., Celik A., Yarci C., Aksoy A. and Feloli E., 2002, "An overview of plant diversity, land use and degradation in the Mediterranean region of Turkey", *Environmental Management and Health*, Vol. 13 Iss: 5, pp.442 – 449
- Pierre-Y C, Marielle J, Anne M, 2003, « Protection des forêts contre l'incendie, Fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen », *Cahier FAO conservation*, n°36.
- Pozos-Estrada A., Liu T.J., Gomez R. and Hong H.P., 2016, “Seismic design and importance factor: Benefit/cost for overall service time versus per unit service time”, *Structural Safety*, Vol. 58, Iss. 1, pp. 40-51.
- Quézel P, Médail F, Juillet 2003, « Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen », ISBN : 2-84299-451-5, 574 p., 85 euros Editions scientifiques Elsevier, Collection environnement, 23 rue Linois 75724 Paris cedex 15.
- Robin, J.G., Carrega, P, Fox, D.M, 2006, Modelling fire ignition in the Alpes-Maritimes department, France : A comparison. *Forest Ecology and Management*
- Rouse, J .W., Haas, R.W., Schell, J.A., Deering, D.W. and Harlan, J.C., 1974, Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. NASA/ Type – III Final report, Greenbelt (Maryland).
- Roux-Dufort C., 2003, *Gérer et décider en situation de crise*, Editions Dunod, Paris-France.
- Sayah L.L, Berregui El-H, 2014, « Synthèse piézométrique et hydrochimique de la nappe phréatique d’Ouargla entre les années 2003 et 2013 », mémoire master soutenu à l’université de Ouargla.
- Servigne S., Libourel T., 2006, « Fondements des bases de données spatiales ». Hermès / Lavoisier Editions, Paris, France.
- Shreve C.M. and Kelman I., 2013, “Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 10, Part A, pp. 213-235.
- TIR Ej, 2016, « Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt », Mémoire magister, soutenu à l’Université de Tlemcen, Algérie
- Torterotot J.-P., 1993, *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*, PhD thesis, the national School of the Highways Departments, Paris-France.
- Trabaud L 1989, « les feux de forêt, mécanisme, comportement et environnement », édition France-selection
- Vélez R., 1999, Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action, In: Vélez R. (ed.). *Protection contre les incendies de forêt : principes et méthodes d'action*. Zaragoza: CIHEAM, Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n° 2 6, pp. 1 -18.

Yagoubi M, Temar T, 2003, « L'impact du phénomène de la désertification sur le développement durable », Revue Des économies nord Africaines N°5

Zaghdani N, 2013, « Cartographie de risque feu de foret prévisionnelle cas de Djbel ICH ALI – Batna », Mémoire mater, soutenu à l'Université de Batna, Algérie

Zouaidia H, 2006, « Bilan d'incendie de foret s dans l'est Algérien, cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras », Mémoire magistère, soutenu à l'Université de Constantine, Algérie

Annexes

Annexe 1: Extrait de thèses de doctorats et mémoires de masters réalisées sur la thématique des incendies de forêts

N°	Titre	Auteur (année)
1	Utilisation de l'imagerie numérique aéroportée pour identifier différents niveaux de perturbations d'un feu de forêt	Nathalie Laprise (1997)
2	Méthodologie de détection des feux de forêt à partir d'images satellitaires NOAA	Claude Pelletier (2001)
3	Modélisation d'un feu de forêt	Murielle Jarry et Pierre Campet (2010)
4	Analyse et calibration d'un modèle multi-échelle pour la simulation de feux de forêt.	Éric Brunelle (2007)
5	Contribution à l'étude de la propagation des feux de forêts. Influence de la végétation sur la dynamique du feu	Berrichon Damien (2009)
6	NimetPaslefeu : Un outil d'aide à la décision pour la prévention des incendies dans le milieu périurbain nîmois	Marie Bourgeois (2006)
7	Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion	Arfa Azzedine Mohamed Touffik (2008)
8	Impact de l'occupation spacio-temporelle des Espaces sur la conservation de l'écosystème Forestier. Cas de la commune de Tessala, wilaya de Sidi Bel Abbes, Algérie	Ferka Zazou Nesrine (2006)
9	Sensibilité de la végétation forestière aux incendies : cas de la forêt domaniale de Chettabah –Ain Smara- Constantine.	Megrerouche Radia (2006)
10	Bilan des incendies de forêts dans quelques wilayas de l'Est algérien; cas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Arréridj	Merdas Saifi (2007)
11	Etude de l'effet de variation du vent sur la propagation d'un front de feu	Sabi Fatima-Zohra (2010)
12	Etude de la dimension fractale du front dans un système désordonné binaire. Application aux feux de forêt	Ammari Mokhtar (2011)
13	Bilan des incendies de forêt dans l'est Algérien ; cas de Mila, Constantine, Guelma, et Souk Ahras.	Zouaidia Hanene (2006)
14	L'influence de la variabilité climatique récente et future sur l'activité des feux dans la région de Waswanipi (Québec) et ses implications pour l'aménagement forestier durable	Héloïse Le Goff (2009)
15	Formalisation et gestion des connaissances dans la modélisation du comportement des incendies de forêt	Aldo Napoli (2001)
16	Modélisation et simulations Numériques de la Propagation de feux de Forêts	Jonathan

		Margerit (1998)
17	Evolution après feu de l'écosystème subéraie de Kabylie (Nord Algérien)	Bekdouche Farid (2010)
18	Communication relation et médias sociaux : étude du cas de la sensibilisation aux feux de forêt	Asdourian Bruno (2010)
19	Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes – Maritimes.	Nassima Hesses (2005)
20	Suivi multi-échelle par télédétection et spectroscopie De l'état hydrique de la végétation méditerranéenne Pour la prévention du risque de feu de forêt	Fabien Dauriac (2004)
21	Détection de zones brûlées après un feu de forêt à partir d'une seule image satellitaire spot 5 par techniques SVM	Olivier Zammit ; 2008
22	Contribution à la modélisation des feux de forêt : cinétique de dégradation thermique et cinétique de combustion des végétaux	Valérie Leroy (2007)
23	Communication relation et médias sociaux : étude du cas de la sensibilisation aux feux de forêt	Asdourian Bruno (2010)
24	Vulnérabilité des sols méditerranéens aux incendies récurrents et restauration de leurs qualités chimiques et microbiologiques par l'apport de composts	René Guénon (2010)
25	La rurbanisation, Facteur aggravant du risque feux de forêts dans les espaces naturels méditerranéens	Patricia Detry Fouque (2007)
26	Suivi, par imagerie NOAA-AVHRR, de l'état hydrique de peuplements de conifères du bassin du fleuve Mackenzie (Territoires du Nord-Ouest) dans une perspective de prévision du danger d'incendie de forêt	Lisa Gallant (1998)

Annexe 2 : Compléments d'informations sur l'évolution des incendies de forêts dans la région de Batna

A1.1. Fréquence mensuelle des incendies de forêts (2002-2014)

En fonction des conditions météorologiques, la fréquence et l'ampleur des incendies sont différentes d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre. Toutefois, durant la période 2002-2014, il a été constaté que le mois d'août était le plus critique : 37.71% des incendies de forêts se sont déclarés pendant cette période (2002-2014) et ont parcourus 46,50% de la superficie totale incendiée (soit 10375,7 ha).

Ensuite, vient le mois de juillet où nous avons enregistré 33,17% de foyers avec une superficie de 5075,11ha (soit un pourcentage de 22.74% du total de la superficie incendiée). De même pour le mois de juin pendant lequel il y a eu 17.90 % d'incendies et 19,26% de la superficie brûlée (Tableau A1.1). Les mois de septembre et d'octobre viennent loin derrière avec, respectivement, 8.83% et 239% du total des foyers. Pour les autres mois de l'année, nous n'avons enregistré aucun foyer.

L'explication que nous pouvons formuler est due essentiellement à la conjonction des facteurs météorologiques saisonnières qui sont favorables aux incendies de forêts (vents violents et chauds, sécheresse excessive, ... etc.) accentuées par des comportements humains à l'égard de la nature.

Tableau A1.1: Fréquence mensuelle des incendies de forêt entre 2002-2014 dans la région de Batna

Source : Direction de forêts de Batna.

	<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	<i>Août</i>	<i>Septembre</i>	<i>Octobre</i>	<i>Total</i>
Nombre des foyers (en %)	75 (17,90)	139 (33,17)	158 (37,71)	37 (8,83)	10 (2,39)	419 (100)
Superficie incendiée (en %)	4298,18 (19,26)	5075,11 (22,74)	10375,7 (46,50)	2548,52 (11,42)	15,7 (0,07)	22313,21 (100)

A1.2. Répartition des incendies de forêts suivant les jours de semaine

La répartition des incendies de forêts suivant les jours de la semaine est résumée par le tableau A1.2 où l'on remarque une constance relative du nombre d'incendie du samedi au Jeudi. Le week-end est apparemment le plus vulnérable.

Tableau A1.2 : Fréquence mensuelle des incendies de forêt pendant les jours de la semaine (période 2002-2013)

Source : Direction de forêts de Batna.

	<i>Samedi</i>	<i>Dimanche</i>	<i>Lundi</i>	<i>Mardi</i>	<i>Mercredi</i>	<i>Jeudi</i>	<i>Vendredi</i>	Total
Nombre de foyers	57	49	50	38	45	45	63	347
En %	16,43	14,12	14,41	10,95	12,97	12,97	18,16	100,00

A1.3. Répartition des incendies de forêts suivant les tranches horaires

Suivant les tranches horaires de la journée, nous avons enregistré pour l'année 2013, 123 foyers qui se sont déclarés durant la tranche horaire allant de 12 à 16 heures ; ce qui représente 38.92% du nombre total de foyers durant cette année avec une fréquence assez soutenue entre 16h et 18h (68 foyers soit 21,52%), puis une régression en fin de journée.

Pour la période allant de 2002 à 2013, le nombre de foyers est de 316 qui représentent 92.40% du nombre total d'incendies déclarés durant cette période. Pendant la nuit, un minimum de 24 foyers d'incendies seulement sont comptabilisés soit un taux de 7.59%. C'est en effet durant la journée que les conditions climatiques sont les plus propices pour l'éclosion des foyers de feux de forêts.

Cette répartition (tableau A1.3) est liée probablement à une plus grande inflammabilité de végétaux après l'évaporation des condensations nocturnes favorisées par les conditions météorologiques journalières.

Tableau A1.3 : Fréquence horaires des incendies de forêt pendant les jours de la semaine (période 2002-2013)

Source : Direction de forêts de Batna.

<i>Tranche horaire</i>	00h-6 h	6h-10h	10h-12h	12h- 16h	16h-18h	18h-20h	20h-00h	Total
<i>Nombre de foyers</i>	3	21	38	123	68	42	21	316

A1.4. Formations végétales incendiées dans la zone d'étude pour la période (1967-2014)

L'investigation effectuée par le service de forêts de Batna montre que les espèces forestières qui sont plus touchées par le feu, sur un total de 12568.74 ha incendiés, sont les formations du maquis avec 4976.22 ha (soit un pourcentage de 39.59 %) suivie des formations forestières (34.10%) viennent ensuite les broussailles, l'alfa et autre essences dont les effets sont moins importants (tableau A1.4).

Tableau A1.4 : Répartition des surfaces incendiées suivant les formations végétales

Source : Direction de forêts de Batna.

	<i>Formation végétale</i>					Total
	Forêt	Maquis	Broussaille	Alfa	Autre	
Superficies incendiées	4286,45	4976,22	1313,11	1950,60	42,36	12568,74
En (%)	34.10	39.59	10.45	15.52	0.34	100.00

Ces informations fournies par le tableau ci-dessus nous nous renseignent mieux sur la sensibilité de nos forêts composées d'espèces très inflammables (pin d'Alep, chêne vert, etc..) accompagnées d'un sous-bois souvent très dense et auquel s'ajoute une pelouse d'herbes sèche mélangée à des feuilles mortes (aiguilles de pin, ...etc.).

A1.5. Répartition des incendiées de forêts dans la zone d'étude par catégories de causes

La catégorisation des causes d'incendies de forêts est un autre critère qui nous permet de capitaliser l'évolution des incendies de forêts dans la zone étudiée. En effet, suivant ce critère nous constatons que : le nombre de foyers d'incendie déclarés et dont les causes sont inconnues représente un taux très important de 96.11% (Ce taux correspond à 395 foyers déclarés pour causes inconnues contre 16 foyers dont les causes sont connues). Ce constat montre que l'effort devra être consenti au niveau des enquêtes menées par les différents services de sécurité en collaboration avec les services des forêts pour déterminer les causes exactes et mettre fin à ce fléau.

A1.6. Répartition des incendiées de forêts dans la zone d'étude par régions

En examinant l'occurrence des incendies de forêts par région, nous remarquons que les communes de Batna, totalisent une superficie de **27213,59** ha pour 403 foyers d'incendies durant la période de 2002-2014 (tableau A1.5).

Tableau A1.5 : Répartition des incendies de forêts de la zone d'étude par régions

Source : Direction de forêts de Batna.

<i>Communes</i>	<i>Nombre de foyers</i>	<i>Superficies brûlées en 'ha'</i>	<i>superficies brûlées en %</i>
Batna	120	1512,07	5,56
Merouana	64	509,36	1,87
Arris	8	85,53	0,31
Ng'ouas	4	3,57	0,01
Ain touta	29	4271,93	15,70
Tazoult	34	2556,53	9,39
Elmaadher	19	8836	32,47
T'kout	10	6053,19	22,24
Th-el- Abed	8	14,55	0,05
Ichemoul	8	24,1	0,09
Ras el Ayoun	42	167,49	0,62
Seriana	14	39,16	0,14
O Si sliman	15	56,59	0,21
Saggana	12	2686,8	9,87
Ain Djasser	5	4,7	0,02
Timgad	3	17	0,06
Manaa	2	234	0,86
Bozina	4	136	0,50
Ouled Salame	2	5,02	0,02
Total	403	27213,59	100

Les résultats fournis par ce tableau montrent que la région d'El Maadher et de T'kout sont les plus touchées avec, respectivement, 8836 ha et 6053,19 (soient 32.47% et 22.24% de la superficie totale brûlée).

La Région de Ain Touta est moyennement affectée en superficie avec 4271.93 ha (soit un pourcentage de 15.70%.)

A1.7. Influence du climat sur les incendiées de forêts dans la zone d'étude

Le climat joue un rôle fondamental dans tout milieu naturel. Cependant, l'étude des facteurs climatiques (à savoir la température, les précipitations, les vents, ... etc.) et de leur influence est capitale pour la compréhension des phénomènes écologiques d'un écosystème. En effet, il existe une étroite relation entre le comportement du feu et les conditions climatiques tout au long de l'année.

Le tableau suivant regroupe les données du climat et leur influence sur les incendies de forêts dans la zone étudiée pour la période Juin-Octobre.

Tableau A1.6 : Relations nombre de foyers et données climatiques pour la période « juin-octobre »

Source : Direction de forêts de Batna

<i>Année (Nb. foyers)</i>	<i>Précipitations (en mm)</i>	<i>Température maximale absolue (en °C)</i>	<i>Humidité relative moyenne</i>	<i>Vitesse moyenne des vents (en m/s)</i>
2002 (18)	24,3	37,44	47	4,1
2003 (11)	30,0	39,26	49,2	2,6
2004 (14)	29,5	37,58	51	2,3
2005 (47)	16,6	38,16	48,8	3,2
2006 (17)	08,5	38,42	46	3,7
2007 (62)	23,8	38,22	48,2	4,0
2008 (15)	31,7	37,34	54	3,9
2009 (28)	19,0	37,74	51,4	4,2
2010 (49)	13,0	38,22	50,8	4,4
2011 (30)	34,2	37,42	58,8	2,1
2012 (74)	09,0	38,5	45,4	4,5

Un examen rapide des données du tableau ci-dessus montre qu'une augmentation des précipitations s'accompagne toujours d'une diminution du nombre de foyers d'incendie de forêts. Par contre et contrairement à l'effet des précipitations, l'augmentation des températures est favorable aux incendies de forêts ; ce qui entraîne une augmentation du nombre de départs de feux. Ce deuxième constat s'explique par le fait qu'une augmentation de la température favorise l'évaporation et le dessèchement des combustibles et donc les rend plus vulnérables au risque d'incendie.

Un troisième constat (3^{ème} colonne du tableau ci-dessus) concerne l'état de l'humidité de l'air qui influence également les incendies de forêts. Cette influence est indirecte et peut s'expliquer au niveau des combustibles dont l'humidité est dépendante de l'humidité de l'air. En effet, durant la période 2002-2012, nous remarquons qu'une augmentation de l'humidité de l'air entraîne une diminution du nombre de feux.

Enfin, le vent est considéré également comme un facteur aggravant la sévérité des incendies et ceci en agissant sur le processus de la combustibilité. Ainsi plus le vent souffle, plus les combustibles sont plus secs et donc la combustion est plus rapide. Ce constat est prouvé par les données de la dernière colonne du tableau A1-6.

Annexe 3 : Stratégie nationale d'intervention en matière des incendies de forêts

La stratégie nationale d'intervention en matière d'incendies de forêts est matérialisée par six axes (CNPf, 2014) :

- Législation et réglementation où l'on cite : la loi 84/12 du 23 juin 1984 portant régime général des forêts, le Décret 87/44 du 10 février 1987 relatif à la prévention contre les incendies dans le domaine forestier national et a proximité en collaboration avec les autres organismes, le Décret 87/45 du 10 février 1987 portant organisation et coordination des actions en matière de lutte contre les incendies de forêts dans le domaine forestier national et le Décret 07/301 du 27 septembre 2007 modifiant et complétant le Décret 80/184 du 19 juillet 1980 portant mise en place des organes de coordination des actions de protection des forêts (CNPf, CWPF, COD, COC et CPW³²).
- Organisation COW/COD/COC cadrée par le Décret 87/45. Cette organisation est matérialisée par la création de 40 COW, 472 COD, 1312 COC et 2075 comités de riverains.
- Sensibilisation par le biais de³³ : conférences et débats (147), expositions et journées portes ouvertes (122), émissions télédiffusées (41), émissions radiophoniques (240), prêches religieuses (36), articles de presses (147), rencontres de sensibilisation (1185), distribution de plantes (476395), distributions d'affiches et dépliants (14920).
- Travaux de prévention³² tels que : l'ouverture des pistes (1914 km), l'aménagement des pistes (3243 km), l'ouverture de tranché par feu (436 ha), l'aménagement de tranché par feu (1721 ha), la construction des points d'eau (181 unités), l'aménagement des points d'eau (125 unités) et la réalisation des travaux sylvicoles (29832 ha).

Signalons que les objectifs fixés pour ces travaux de prévention sont dans l'ordre suivant : l'ouverture des pistes (2384 km), l'aménagement des pistes (3800 km), l'ouverture de tranché par feu (1300 ha), l'aménagement de tranché par feu (2200 ha), la construction des points d'eau (173 unités), l'aménagement des points d'eau (140 unités) et la réalisation des travaux sylvicoles (40000 ha).

- Plan opérationnel de lutte composé de : 405 postes de vigies (avec un effectif de 1000 agents), 1836 chantiers de travaux (avec un effectif de 28432 ouvriers mobilisables), 511 brigades mobiles d'intervention ((avec un effectif de 2489 agents), 2400 points d'eau, 50 camions citernes ravitailleur en eau d'intervention et des réseaux de

³² CNPF = Commission Nationale de Protection des Forêts ; CWPF = Commission de Wilaya de Protection des Forêts ; COD = Comité Opérationnel de Daïra ; COC = Comité Opérationnel de Commune ; CPW = Comité Permanent de Wilaya.

³³ Les chiffres entre parenthèses reflètent les réalisations en 2014 en matière de sensibilisation (CNPf, 2014).

télécommunication radioélectriques (composés de : 74 stations relais, 73 stations fixes, 437 stations semi-fixes, 747 stations mobiles et 600 portatifs).

- Coopération avec les partenaires notamment avec :
 - l'ASAL pour l'utilisation de l'imagerie satellitaire pour l'évaluation des superficies incendiées et de la reprise de la végétation),
 - la protection civile pour l'organisation de la lutte contre les feux de forêts,
 - les centres de formation pour la formation des agents forestiers aux techniques de lutte contre les feux de forêts,
 - ONM et INSID pour l'utilisation des données météorologiques,
 - EFFIS pour l'intégration du système européen d'information sur les feux de forêts,
 - la gendarmerie nationale pour la protection du domaine forestier.

Annexe 4 : Tableau AFOM de la région de Batna (Cas du patrimoine forestier)

Avantages	Faiblesses	Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Important potentiel : le domaine forestier représente 21% du territoire de la wilaya ; ✓ Formations végétales issues de peuplement naturel donc bien adaptées à la région ; ✓ Diversification des formations végétales (pin d'Alep, cèdre, chêne vert, genévrier...etc.) ; ✓ Importantes nappes d'alfa (3 000 ha). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Importance des formations arbustives (maquis : 144 118 ha) ; ✓ Domination du pin d'Alep sur les formations arborescentes ; ✓ Faiblesse des travaux de régénération et de reforestation ; ✓ Faible valorisation du patrimoine. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perspectives des travaux de régénération et de reforestation prometteuse ; ✓ Valorisation du patrimoine sylvicole (activités en zones montagnardes) ; ✓ Circuits touristiques et scientifiques en forêts...etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Patrimoine forestier menacé par : <ul style="list-style-type: none"> • Les ravageurs • Les feux de forêts • L'érosion ✓ Menace de disparition de la cédraie ; ✓ Défrichement ; ✓ Déboisement., coupe illicite.

الملخص تتمحور مذكرة الدكتوراه التي بين أيدينا حول تسيير المعرفة المتعلقة بالمخاطر الطبيعية و خصوصا حالة حرائق الغابات التي تقع في منطقة الأوراس بالجزائر. في هذا السياق، أخذنا بعين الاعتبار نمط الكارثة كحيز في دراستنا. باستعمال هذا النمط تمكنا في أول الأمر من طرح دراسة زمنية للحرائق التي تحدث في الغابات في منطقة الأوراس، و كثاني خلاصة خرجنا بها هي تحليل للتكاليف و الفوائد التي تستخرج من تطبيق طريقة الأضرار المجتنبية. هذا التحليل مكنا من معرفة مدى ملائمة و فعالية الاجراءات الوقائية المتخذة لمخطط حرائق الغابات على مدى فترة من الزمن.

كلمات مفتاحية : تحليل التكاليف و الفوائد، كارثة، نموذج، حرائق الغابات، المنطقة، الأوراس.

Résumé- La présente thèse de doctorat porte sur la gestion de la connaissance liée aux risques naturels et plus précisément le cas des incendies de forêts dans la région des Aurès-Algérie. Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés au modèle de catastrophe que nous avons retenu comme un cadre de notre étude. A travers ce modèle, nous avons contribué, dans un premier temps, par une étude diachronique des incendies de forêts de la région des Aurès et, dans un second temps, par une analyse coûts-bénéfices supportée par la méthode des dommages évités. Cette analyse nous a permis d'évaluer l'efficacité et la pertinence des mesures de prévention d'un PFF sur un horizon du temps.

Mots-clés : ACB, catastrophe, modèle, incendie de forêts, région, Aurès,

Abstract- The present doctora's thesis consists of management of the knowledge related to the natural risks, and precisely the case of the forest fires in the Aures region in algeria. In this context, we have focused our study on the model of the catastrophe which we had hold as a frame of our study. By using this model we were able to substract firstly a diachronic study of forest fires in the Aures region, and secondly an analysis of cost-profit supported by the method of avoided damages. This analysis allowed us to evaluate the efficiency and the relevance of the preventive measures of FFP on a time horizon.

Key-words : CBA, model, catastrophe, forest fires, region, Aures,